

Riesgos de origen geológico y geomorfológico: deslizamientos de tierras, identificación, análisis y prevención de sus consecuencias

←
Dunas móviles. Guardamar, Alicante.
Año 1901

Resumen

En el presente artículo se analizan los diferentes procesos y tipos de deslizamientos en tanto que son susceptibles de provocar situaciones de riesgo en combinación con la actividad y ocupación humana del suelo. En primer término se exponen las fases que intervienen en la dinámica de los movimientos de ladera y una metodología para obtener mapas de susceptibilidad útiles en la prevención de zonas inestables. Así mismo se presenta una relación de los términos y métodos comúnmente empleados en la cartografía de riesgos asociados a deslizamientos de tierras. A modo de ejemplo, la susceptibilidad de los terrenos en las Cordilleras Béticas es analizada aquí con detalle a través de inventarios y mapas elaborados para los dominios bético y subbético y las depresiones neógenas y cuaternarias. A partir de datos de campo y de la definición de factores derivados de modelos digitales del terreno y factores temáticos, se obtienen mediante SIG diversas correlaciones que sirven de indicadores para evaluar la susceptibilidad de estas zonas. Finalmente, se hace referencia a determinados principios y ejemplos de sistemas de regulación, control y mitigación de los efectos de los deslizamientos de tierras, para terminar con unas conclusiones, entre las que destaca la necesidad de incorporar este tipo de riesgo al planeamiento urbanístico en el Sureste peninsular.

Palabras clave

Riesgos geomorfológicos, deslizamientos de tierras, tipología, inventario, Cordilleras Béticas, mapas de susceptibilidad, mitigación del riesgo.

GEOLOGIC AND GEOMORPHOLOGIC RISKS: IDENTIFICATION, ANALYSIS AND CONSEQUENCE PREVENTION OF LANDSLIDES

Abstract

Study of different landslide processes and types responsible for causing situations of risk in the presence of human occupation. Analysis and cartography (GIS) of the susceptibility of lands (to landslides) from field data, and the definition of digital models and thematic factors. Principles and examples of systems of control ant the minimisation of landslide effects.

Keywords

Geomorphological risks, landslides, typology, inventory, Betic Cordilleras, susceptibility maps, risk minimisation.

AREAS

Revista de Ciencias Sociales
Nº 23 / 2003

Los procesos de riesgo con origen natural:
una constante en la relación entre hombre
y medio

(pp. 33-64)

Riesgos de origen geológico y geomorfológico: deslizamientos de tierras, identificación, análisis y prevención de sus consecuencias

I. Introducción

Los deslizamientos de tierras se pueden analizar en el contexto de la vertiente o del talud afectado y también se les debe considerar como un producto geomorfológico o ambiental de procesos dinámicos relacionados con la evolución del paisaje. En la primera aproximación los deslizamientos de tierras tienen lugar cuando se desarrolla un balance desfavorable entre la resistencia de los materiales geológicos en los que están excavadas las vertientes naturales y las fuerzas gravitatorias que tienden a desplazarlas ladera abajo. Ese balance suele expresarse en el análisis de estabilidad de laderas o taludes mediante el factor de seguridad, normalmente calculado a partir de parámetros geotécnicos o mecánicos de los materiales geológicos implicados que permiten estimar la resistencia a la cizalla y la masa de las porciones inestables. La segunda aproximación consistiría en considerar los aspectos geomorfológicos y ambientales de los procesos implicados en la inestabilidad de vertientes, comenzando por la tectónica de placas y el contexto concreto de la tectónica activa en el sector, los eventos climáticos globales de enfriamiento y calentamiento que determinan las fluctuaciones del nivel del mar y las respuestas de los terrenos a los procesos climáticos y la evolución del paisaje afectada finalmente por la acción antrópica. Es en este último contexto en el que tienen significado los *riesgos geomorfológicos como expresión de la interferencia entre las actividades humanas y las dinámicas naturales*, interferencias de las que resultan no solamente determinados impactos ambientales sino también la exposición de usos y actividades humanas a *escenarios de riesgos* y eventualmente al desencadenamiento de *catástrofes naturales*.

En ambas aproximaciones, ingeniería y geomorfología ambiental, la actividad humana es la condición necesaria para la presencia del riesgo y su magnitud dependerá de la *vulnerabilidad* de elementos valiosos para la sociedad o *elementos en riesgo*. La *probabilidad* de que el

proceso natural (deslizamiento, terremoto, inundación, etc.) se desarrolle en un momento y lugar dados, multiplicada por la vulnerabilidad de un elemento dado (ej: urbanización, vivienda, presa, carretera, etc.) entendida como el grado de pérdidas que experimentará el elemento bajo la acción destructiva, expresa el *riesgo específico* del elemento. La sumatoria de los riesgos específicos de todos los elementos del territorio afectados cuantificaría el *riesgo total* para la región (Varnes, 1984). Si no hay actividad humana afectada por el proceso potencialmente destructivo no se producen riesgos, si bien se puede analizar *la peligrosidad* del fenómeno, entendida como expresión de su capacidad destructiva.

La magnitud del impacto económico de los deslizamientos de tierra ha sido objeto de discusión en numerosos artículos (Ayala *et al.*, 1986; 1987) y en general se ha establecido su importancia en la mayor parte de los países del mundo, particularmente cuando se encuentran en cordilleras jóvenes activas, como el SE ibérico, y la necesidad de que se pongan en marcha planes especiales de prevención y mitigación.

II. Clasificación, inventario y análisis de los deslizamientos y los riesgos derivados

La literatura sobre la descripción del proceso de deslizamiento, en sentido general, o sobre la terminología de los movimientos de ladera es abundante. De muy amplia aceptación internacional es la clasificación de Varnes (1978) y las técnicas de reconocimiento de Hutchinson (1988), a pesar de numerosas aportaciones posteriores (Corominas y García Yagüe, 1997), que no han restado interés a las citadas. En lo sucesivo se empleará indistintamente los términos *movimientos de ladera* (slope movements) o *deslizamiento de tierra* (landslide) con carácter general válido para todos los tipos de movimientos, mientras que deslizamientos planares y rotacionales (planar and rotational slides) son tipologías específicas como se indicará después. Para establecer las causas de la inestabilidad de

vertientes se apela por lo general a *factores determinantes* de las condiciones de estabilidad y *factores desencadenantes* o activadores de los movimientos de ladera (Hansen, 1989). *Los factores determinantes* son los que establecen las condiciones generales de la estabilidad de la vertiente y se refieren a las condiciones geométricas de la ladera (pendiente, orientación, elevación, forma) y a las condiciones resistentes de los materiales afectados (litología, resistencia a la cizalla friccional y/o cohesiva, presión de agua, remoldeo, relaciones de volumen, densidad y masa, etc.). *Los factores desencadenantes o activadores* del movimiento son los que se relacionan con las condiciones particulares del momento en el que se produce el movimiento, y en general se asocian a cambios en las condiciones del terreno derivados de lluvias extraordinarias, sacudidas sísmicas o bien la actividad humana relacionada con obras civiles, urbanizaciones y, en general, cambios de uso de los terrenos.

Las diversas clasificaciones de movimientos de ladera distinguen, en general, tipos básicos tales como: a) caídas y desprendimientos de rocas; b) colapsos de ladera o taludes; c) deslizamientos planos; d) deslizamientos rotacionales; e) flujos, coladas y avalanchas de tierras; f) derivas laterales y g) movimientos complejos. Entre todos ellos se pueden distinguir:

1) movimientos derivados de roturas frágiles del terreno para definir masas más o menos disgregadas de suelos o rocas como son las tipologías a) caídas y desprendimientos de rocas y b) colapsos de ladera o taludes. Tienen en común el descender por caída libre desde posiciones elevadas (caídas y desprendimientos) o no (colapsos) en taludes o laderas muy inclinadas sometidas a la inestabilidad por procesos erosivos o bien en taludes cuya inestabilidad ha sido inducida por el procedimiento de excavación o por una deficiente adecuación del terraplén.

2) movimientos más coherentes de masas por rotura frágil del terreno que delimitan láminas planares de rocas o suelos compactos (c) deslizamientos planos) o bien cuerpos cilíndricos de

rocas o suelos compactos (d) deslizamientos rotacionales).

3) movimientos de ladera asociados a rotura plástica o plástico-viscosa de suelos arcillosos, margosos o arcilloso-arenosos en los que la condición de humedad y la posición topográfica de la masa movilizada determina el desarrollo de flujos más o menos lentos en laderas suaves, coladas de barro rápidas a muy rápidas en laderas inclinadas o avalanchas de barro, rocas y hielo en laderas montañosas fuertemente vertientes y derivas laterales de bloques compactos sobre sustratos plásticos.

La rotura frágil supone que el desplazamiento de la masa se produce sobre una superficie plano de rotura, más o menos irregular o discontinuo en el caso de las caídas y desprendimientos de rocas, mejor definido en los colapsos y claramente establecido en los deslizamientos planos y rotacionales donde pueden ser uno o varios planos sucesivos de rotura los que se desarrollen. En cualquier caso la rotura frágil supone que la deformación producida desde antes a después de la rotura se resuelve en el desplazamiento de la masa desde la posición inicial a la final a lo largo del plano de rotura, sin que se produzca deformación interna en la propia masa movilizada. En el tercer grupo, la rotura plástico-viscosa implica que el desplazamiento de la masa se asocia a la deformación interna de la misma además del posible, y no siempre necesario, desarrollo de un plano de rotura que delimite la masa movilizada de la no afectada por la rotura.

Los movimientos complejos suelen presentar una cierta combinación de mecanismos de rotura frágil y plástica que da lugar a diferentes combinaciones de tipologías de movimientos como pueden ser caídas de rocas y flujos de tierras o avalanchas; deslizamientos planos o rotacionales y flujos o avalanchas de tierras; caídas de rocas y colapsos; flujos y colapsos, etc. En general se requiere una cierta extensión de la masa afectada para que se puedan observar diferentes mecanismos superpuestos espacial o temporalmente. Las magnitudes de las masas

movilizadas son muy variables y una clasificación de tamaños propuesta por Rodríguez Ortiz (1978) es:

| Tamaño | Volumen | (m ³) |
|-------------------------|---------|-------------------|
| Pequeña | 1 | 50 |
| Moderada | 50 | 500 |
| Grande | 500 | 5000 |
| Muy grande | 5.000 | 50.000 |
| Excepcionalmente grande | 50.000 | |

Hansen (1989) diferencia los siguientes intervalos de velocidades:

| Velocidad | cm/seg | otras unidades |
|-----------------------|-----------|----------------|
| Extremadamente rápida | 300 | 0,3 m/min |
| Muy rápida | 0,5 | |
| Rápida | 0,0017 | 1,5 m/día |
| Moderada | 0,00006 | 1,5 m/día |
| Lenta | 0,000005 | 1,5 m/año |
| Muy lenta | 0,0000001 | 0,6 m/año |
| Extremadamente lenta | | |

Las mayores velocidades se alcanzan en avalanchas de hielo, nieves y rocas en alta montaña cuando las magnitudes son moderadas o superiores. Las más lentas, conocidas como velocidades de *reptación* se asocian a pequeñas deformaciones en suelos posiblemente inducidas por la infiltración del agua y el reajuste volumétrico de las partículas del suelo durante ciclos de helada y deshielo. Suelen ir acompañadas por ciertas formas características como es el desarrollo de “terrascitas” o laderas escalonadas.

Desde el punto de vista espacial y temporal el desarrollo de un movimiento de ladera, en las diferentes tipologías, desde su inicio a la finalización, suele producirse en diferentes etapas que pueden ser distinguidas particularmente cuando alcanzan cierta magnitud.

Resulta conveniente disponer de criterios que permitan el seguimiento del proceso tanto en lo referente al desarrollo de la masa movilizada y formas asociadas (grado de desarrollo) como al régimen de velocidades asociadas (actividad). La tabla 1 resume esos criterios (Chacón, 1996; WP/WLI, 1990, 1993a, b).

Para la cartografía de zonas expuestas a los movimientos de ladera una herramienta muy valiosa es el mapa de susceptibilidad de los terrenos en el que se muestran con colores diferentes la mayor (rojo) a menor (verde) tendencia de los terrenos a la inestabilidad. Este mapa se obtiene a partir de un inventario de movimientos de ladera, en el que se identifican por separado las superficies de ruptura (escarpes, cicatrices, grietas de tracción) y los

depósitos resultantes del movimiento, así como , en el caso de los flujos de tierras y los desprendimientos de rocas, las zonas de trayectoria de las masas movilizadas. Una vez obtenido y digitalizado el inventario, en un Sistema de Información Geográfica se elaboran modelos digitales del terreno y se obtienen mapas de formas del terreno (pendientes, exposición, elevaciones, formas, zonas cóncavas y convexas, red de drenaje, etc.) y se digitalizan mapas temáticos relacionados con los factores determinantes de la estabilidad y activadores de los movimientos (litología, parámetros geotécnicos, recubrimientos, nivel freático, vegetación, unidades tectónicas, etc.).

El análisis de correlación entre el inventario y los factores temáticos considerados permite obtener mapas de susceptibilidad útiles para la prevención de zonas inestables. La escala del producto es variable y se adapta al objetivo del mapa, desde el 1:1.000 de interés en estudios de taludes carreteras, al 1:25.000 para estudios municipales o 1:200.000 para estudios regionales.

El empleo de S.I.G. hace posible un potente análisis bidimensional, y cada vez más tridimensional, de la región que requiere una suficiente cantidad de información bien establecida y comprobada directamente en el terreno.

Dependiendo de la calidad de la información suministrada al sistema se obtendrán resultados más o menos fiables desde el punto de vista de su utilidad (Brabb, 1987, 1996; DeGraff *et al.*, 1991; Carrara *et al.*, 1991; Chacón *et al.*, 1993 b, 1996). Se emplean también las imágenes de satélite para ínter activar con SIG. y proporcionar inventarios muy completos que, no obstante, deben de ser igualmente comprobados sobre el terreno.

En cuanto al potencial destructivo (peligrosidad) de los deslizamientos de ladera, a partir de la experiencia se pueden indicar algunas conclusiones respecto a su relación con el grado de desarrollo y la actividad del movi-

miento, sin olvidar que la magnitud de la masa es también determinante. Es interesante retener que:

1. Los daños en las viviendas y construcciones se pueden producir ya desde una etapa muy incipiente del movimiento en cuanto que la aparición de grietas de tracción, abombamientos o depresiones se produzca bajo ellas. Son muy frecuentes los daños que se producen en urbanizaciones, caminos, carreteras, muros, saneamientos, etc., a veces con graves costos económicos. Cuando tales elementos de la estructura territorial se encuentran sobre la traza de la coronación o de los flancos laterales de los deslizamientos los daños se producen desde el mismo inicio del proceso.

2. Conforme progresa la deformación de la vertiente la masa se desarrolla dependiendo del tipo de movimiento. En general se puede admitir que el potencial destructivo de un deslizamiento decrece conforme progresa su desarrollo. En muchos casos la masa se mantiene internamente indeformada y el desplazamiento se produce sobre la superficie de rotura (deslizamientos planares y rotacionales) por lo que se puede dar el caso de que los daños sean mucho menores en los elementos estructurales situados sobre la masa y mucho mayores en los situados hacia los bordes de la misma. En la medida en que progresa el movimiento la deformación interna de la masa puede aumentar y se verán igualmente afectadas las construcciones que reposan sobre la masa movilizada. Al mismo tiempo el desarrollo del movimiento supone la reducción del potencial destructivo bien porque los elementos estructurales y bienes afectables han sido ya destruidos o son menos abundantes los que restan por ser afectados o simplemente porque la masa movilizada ha agotado su posible itinerario de desplazamiento, a lo largo del cual ha ido destruyendo bienes, y no puede incrementar sustancialmente su magnitud o su velocidad.

Tabla 1. Dinámica de los movimientos de ladera

| FASE | DESARROLLO | ACTIVIDAD | DAÑOS POTENCIALES |
|----------------------------------|--|---|---|
| Preparatoria o Incipiente | Poco apreciable. Cambios en manantiales, fuentas, abombamientos locales, grietas de tracción en cabecera. Duración imprevisible. | Activo, velocidad lenta a rápida. Intermitente o permanente. Puede ser inactivo largo tiempo antes de reactivarse. | Daños lineales por las grietas en estructuras afectadas. Alto potencial según magnitud de la masa y distancia a zona de reposo. |
| Inicio | Apreciable: ruidos, abombamientos, extensión lateral de las grietas que delimitan desde coronación al pie. Hundimientos locales. Escarpe perimetral, destacado en cabecera y escarpes menores en la masa. Inicio del frente de acumulación de depósitos. Duración, progresión y continuidad variables. | Activo, velocidad muy variable y no siempre continua. Puede detenerse y permanecer inactivo largo tiempo antes de la reactivación o permanecer dormido indefinidamente. | Daños mayores en zonas del borde de la masa y algunos sobre el interior a lo largo de escarpes menores, frente y grietas transversales o longitudinales. Potencial de daños muy alto según magnitud de la masa y distancia a zona de reposo. |
| Desarrollo | Despliegue del escarpe de cabecera y avance de la masa ladera abajo. Hundimiento (rotacional) o elevación (traslacional) en cabecera de la masa y lo opuesto hacia el pie. Duración, progresión y continuidad variables. | Activo, velocidad muy variable y no siempre continua. Puede detenerse y permanecer inactivo largo tiempo antes de la reactivación o permanecer dormido indefinidamente. | Se extienden a toda la masa movilizada y a las zonas situadas bajo el frente y en la trayectoria de la masa. Potencial destructivo limitado a la trayectoria posible hasta la zona de reposos y la posible extensión ladera arriba por remonte de la cabecera. |
| Avanzado | Desarrollo del escarpe principal y despliegue de escarpes menores y de la masa ladera abajo. Posible remonte del escarpe principal ladera arriba. Duración, progresión y continuidad variables. | Activo, velocidad muy variable y no siempre continua. Puede detenerse y permanecer inactivo largo tiempo antes de la reactivación o permanecer dormido indefinidamente. | Se agravan en toda la masa movilizada y en las zonas situadas bajo el frente y en la trayectoria de la masa. Potencial destructivo limitado a la trayectoria posible hasta la zona de reposos y la posible extensión ladera arriba por remonte de la cabecera. |
| Agotamiento | Masa acumulada en zona de reposo y reducción de la pendiente media. Derrumbe de bloques en escarpes menores y cabecera. | Poco activo. Reactivación posible por obras civiles o por erosión o excavación de ríos, terremotos o explosiones. | Peligrosidad para transeúntes por derrumbes en toda la masa, depósitos y escarpes. Potencial mínimo salvo reactivaciones parciales por obras, terremotos, erosión, inundaciones o explosiones. Reajustes parciales en los bloques y movimientos verticales asociados. |

3. Un primer balance de daños potenciales atribuibles a un deslizamiento de tierras dependería del grado de desarrollo del mismo (Tabla 1). También se debe tener en cuenta el régimen de actividad del movimiento al cartografiar zonas de potencial destructivo o *peligrosidad* por deslizamientos, criterio que no se suele considerar en los actuales mapas de peligrosidad, pero que sería abordable con la ayuda de los SIG y una adecuada investigación sobre el terreno.

4. Los daños asociados a los movimientos de ladera se asocian a los siguientes aspectos del proceso: la ruptura del talud o la ladera y de la masa (escarpes principales y menores), el desplazamiento de la masa ladera abajo y a las consecuencias indirectas del movimiento, principalmente a la perturbación de la red de drenaje que se verá ocupada por los depósitos del movimiento. De esta forma se pueden generar represas naturales de materiales sueltos y mal consolidados que podrán ceder ante el empuje de las aguas y generar olas de inundación o avalanchas de agua, rocas y barro.

5. En regiones semiáridas, como el SE ibérico, la actividad de los deslizamientos de tierras suele quedar suspendida en cualquiera de las etapas del desarrollo (Tabla 1). La reactivación puede suceder mucho después, cuando diversos procesos pueden haber ocultado las trazas del desarrollo inicial; sin embargo, el potencial de daños, peligrosidad, puede ser muy elevado. Los deslizamientos de tierras activas en la región suponen un ínfimo porcentaje del total en todos los inventarios (Chacón *et al.*, 2002) y la inmensa mayor parte permanecen suspendidos en régimen durmiente.

6. La actividad de los deslizamientos observados en las Cordilleras Béticas es de régimen dormido o activo intermitente, en el 98% de los casos. La intermitencia se asocia a los regímenes de lluvias intensas que afectan a un punto determinado de la región. Los deslizamientos de origen sísmico presentan las mismas caracte-

rísticas en cuanto a la actividad y pueden ser reactivados parcialmente por las lluvias intensas o por terremotos de magnitudes similares o superiores a los que los originaron.

De las anteriores consideraciones se desprende que la cartografía de zonas de riesgo o peligrosidad por deslizamientos de tierras debe ir precedida de un detallado inventario en el que datos referentes a la actividad y grado de desarrollo son fundamentales para una correcta evaluación. Para la evaluación detallada de factores activadores de deslizamientos de tierras superficiales del tipo de los flujos de tierras o las coladas de barro, una combinación de datos geotécnicos y modelos hidrológicos permiten la obtención de mapas predictivos (Terlien, 1996), ya que en tales casos el desarrollo del movimiento es muy rápido y se asocia a cambios de presión de poros durante o inmediatamente después de lluvias intensas. Sin embargo, la predicción de zonas susceptibles para los diversos tipos de movimientos mediante análisis de correlación entre rupturas, depósitos y factores (Chacón *et al.*, 1992, 1993, 1994) ha sido validado con resultado muy satisfactorios (Irigaray *et al.*; 1998).

11.1. La evaluación del riesgo y la cuestión terminológica

El significado del término inglés “hazard” tiene la doble acepción de azar y riesgo ya que se puede traducir por peligrosidad o expectativa de riesgo o peligro en una situación dada. En cualquier caso implica una cierta probabilidad de que un proceso destructivo tenga lugar en una zona. El término peligro o peligrosidad, como se ha visto, supone, sin embargo, una evaluación del potencial destructivo en virtud de diversos criterios relacionados con el tipo de movimiento, magnitud, velocidad, actividad y grado de desarrollo. Sin embargo, en los métodos actuales de evaluación la peligrosidad se suele expresar sobre la base del mero inventario de movimientos de ladera o directamente a partir de la susceptibi-

lidad de los terrenos. El término riesgo también ha sido empleado con diversas acepciones según los autores.

Okrent (1980) propuso el siguiente ejemplo para definir los términos “hazard”, catástrofe y riesgo: dos personas atraviesan el océano, uno en un yate crucero acompañado de un grupo de marineros y pasajeros, con modernas técnicas de impulsión, vigilancia y emergencia mientras el otro lo hace en una pequeña canoa individual. El “hazard” que se puede reconocer en ambos casos sería un supuesto naufragio, aunque el riesgo sería mucho menor en el yate que en la canoa. Si tiene lugar finalmente el naufragio, en el caso del yate podría ser una catástrofe mientras que no lo sería en el caso de la canoa individual. Tanaka (1981) indicó que un desastre en una zona desértica virgen solo sería un evento sísmico sin ningún “hazard” asociado ya que este sólo se produciría en áreas urbanas donde existen elementos en riesgo. Si ocurre un terremoto catastrófico (elevada magnitud) sucedería en áreas urbanas y no en zonas desérticas.

Varnes (1984) ofreció unas bases metodológicas muy interesantes como resultado del trabajo de una comisión de expertos sobre el tema reunida por la antigua Oficina de Mitigación de Desastres de la ONU (United Nations Disaster Relief Office, UNDRO). Así definió Azar natural “Natural Hazard” (H): probabilidad de que ocurra un fenómeno determinado potencialmente destructivo en un periodo de tiempo específico y en una región determinada. Vulnerabilidad (V): grado de pérdidas experimentadas por un elemento o conjunto de elementos territoriales como resultado de un proceso natural de magnitud determinada. Se expresa en una escala desde 0 (no hay daños) a 1 (pérdida total). Elementos en riesgo (E): población, propiedades, actividad económica, servicios públicos, expuestos a los efectos del evento destructivo. Riesgo Específico (Rs): grado esperado de pérdidas derivadas del evento natural destructivo. Se expresa por el producto $R_s = H * V$. Riesgo (Rt) es el número esperado de pérdidas

de vidas humanas, heridos, daños a propiedades, perturbación económica, etc., derivadas del evento natural destructivo y se expresa como $R_t = (E)(R_s) = (E)(H)(V)$.

Rahn (1986) consideró el azar natural (natural hazard) como un daño potencial para los seres humanos y sus propiedades. Einstein (1988) propuso los términos peligro, azar y riesgo (danger, hazard and risk). Peligro sería un término cualitativo que expresaría alguna característica mecánica o geométrica del fenómeno destructivo sin ningún tipo de previsión. También propuso la equivalencia entre “landslide hazard” y “landslide susceptibility” (Brabb *et al.*, 1972) como una vía alternativa para estimar las probabilidades temporales a partir de la distribución espacial de los deslizamientos de tierras o de las correspondientes zonas de susceptibilidad. Bryant (1991) también definió los azares naturales “natural hazards” como las diferentes formas en que la naturaleza produce daños y pérdidas económicas a la sociedad. Smith (1992) consideró el azar “hazard” una medida de daños potenciales y riesgo como la probabilidad de que se produzca un determinado azar “hazard”. Como se puede ver, en muchas de las anteriores aproximaciones se emplea “hazard” en su traducción como riesgo o peligro.

Las metodologías para la cartografía de riesgos derivados de los deslizamientos de tierras también son muy diversas y un buen número de ellas emplea el término riesgo sin carácter predictivo sino más bien como indicador de presencia de zonas inestables. Muy raramente se han aplicado los métodos de Varnes (1984) e Einstein (1988) y son muy escasas las investigaciones sobre vulnerabilidad de los elementos territoriales que no se asocian con la evolución del riesgo sísmico y desde luego muy escasas para deslizamientos de tierras. La metodología para la elaboración de mapas de susceptibilidad y riesgos implica, en su conjunto (Chacón *et al.*, 1992b e; 1993b; 1994; 1996b, 1999) la realización de:

a) inventarios de movimientos de ladera (rup-

turas y depósitos; tipología, actividad y grado de desarrollo),

b) la selección de factores determinantes de la estabilidad,

c) la digitalización de los mapas resultantes del inventario y de la selección de factores,

d) modelización en SIG del mapa de susceptibilidad,

e) la realización del análisis de correlación entre movimientos y factores,

f) la obtención de mapas de susceptibilidad mediante el método de la matriz (Irigaray, 1995) y su validación (Fernández *et al.*, 1997; Irigaray *et al.*, 1999),

g) la digitalización y obtención en el SIG de mapas de los elementos del territorio

h) la evaluación e introducción en el SIG de mapas de vulnerabilidad de los elementos del territorio,

i) la obtención de mapas de riesgos derivados de los distintos tipos de movimientos de ladera o del conjunto de los previsible en la zona.

A partir de los mapas de susceptibilidad se obtienen *mapas de zonas expuestas* por extensión de la zonación obtenida en función del ángulo de reposo de los movimientos de ladera. Las zonas de mayor exposición aparecen situadas ladera abajo de las zonas de mayor susceptibilidad y comprenden hasta los valores de pendiente iguales o superiores a las de reposo observadas en el inventario de depósitos. Este mapa es interesante para la planificación del territorio y coberturas de riesgos en seguros e hipotecas.

Un verdadero *mapa de peligrosidad* se obtendría por modelización condicionada del mapa de zonas expuestas con datos relativos a actividad, grado de desarrollo, velocidad y magnitud. Requiere una amplia información en inventarios extensos y una información histórica contrastada difícil de obtener en muchas regiones. (Chacón *et al.*, 1996). Sería igualmente de gran interés para prevención aplicada a la planificación del territorio y la evaluación de coberturas de seguros.

La obtención de verdaderos mapas de *riesgo*

específico o riesgo total requiere, por su parte, la evaluación de la *vulnerabilidad* de los *elementos del territorio* frente a movimientos de ladera de los diversos tipos y en las diferentes circunstancias de actividad, desarrollo, magnitud y velocidad antes citados. Esta es la principal limitación del método de Varnes que, por otra parte, puede aplicarse sin necesidad de la expresión cartográfica que suponen los mapas. En cualquier caso, cualquier estándar sobre la elaboración de mapas previsores de deslizamientos de tierras requiere la participación, en alguna forma real, de agentes implicados en la administración del urbanismo y las obras públicas, de manera que el producto obtenido, sea mediante S.I.G. o con las expresiones cartográficas que se requieran, sea aceptado y fácil de interpretar y aplicar (Brabb, 1996).

III. Susceptibilidad de los terrenos en las Cordilleras Béticas

III.1. El contexto geológico

La evolución geomorfológica reciente de la Cordillera Bética, se puede describir en función de dos características esenciales para la comprensión de la génesis de las inestabilidades en la región: el desarrollo de cuencas sedimentarias interiores entre el Mioceno y el Cuaternario (Sanz de Galdeano *et al.*, 2001), por una parte, la excavación de los ríos y el rejuvenecimiento del relieve (Chacón, 1999; Chacón *et al.*, 2001) por otra.

Las depresiones intraorogénicas se desarrollaron desde el Mioceno, una vez que se inició un proceso de levantamiento regional en relación con la colisión postalpina entre Eurasia y África. Se da lugar, así, al depósito de potentes series de margas y materiales terrígenos groseros a lo largo del Mioceno, el Plioceno y el Pleistoceno en facies sedimentarias que evolucionaron desde el medio marino continental a medios costeros y finalmente a medios lacustres y fluviales. (Sanz de Galdeano *et al.*, 2001).

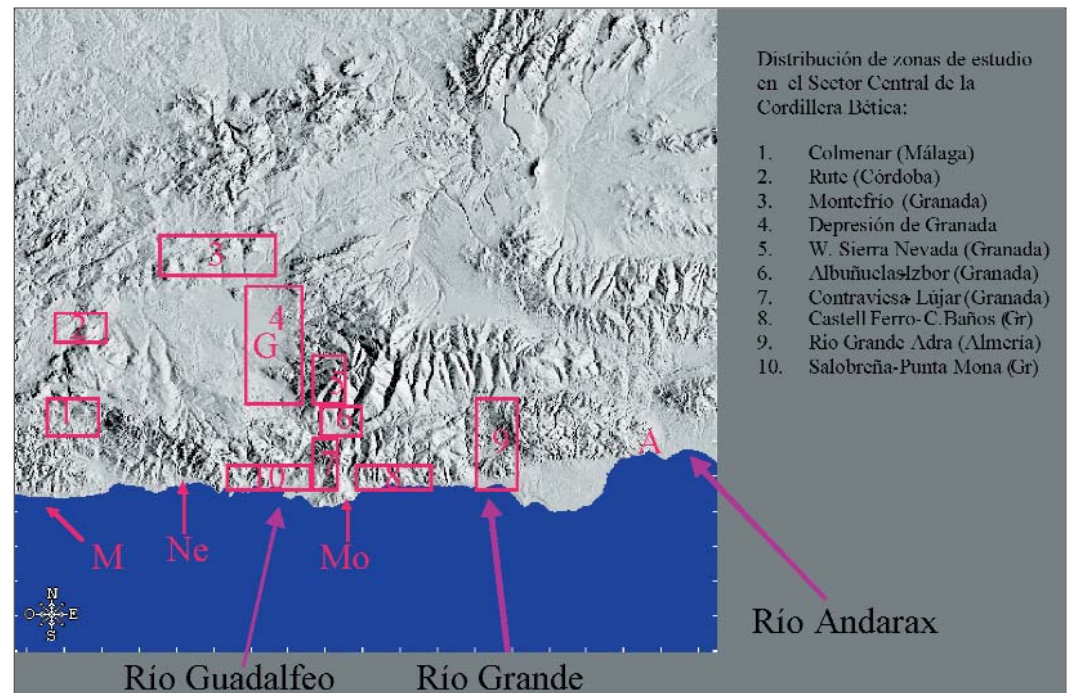
En el conjunto de las cuencas del entorno del Mediterráneo, por otra parte, tienen lugar sucesivos cambios en el nivel de base mientras que, al inicio del Pleistoceno, los relieves alpinos precedentes quedan arrasados. El proceso final de reactivación del relieve, durante el Pleistoceno medio e inferior, ha dado lugar a los fuertes encajamientos de la red fluvial (gradientes estimados entre 0.13 y 5.9 mm/año, Chacón 1999; Chacón *et al.*, 2001; 1,4 mm/año en medidas actuales de Giménez *et al.*, 2000) espectacularmente visibles, en especial, en las franjas costeras de Andalucía tanto en el curso de los ríos de la Cuenca Hidrográfica del Sur, como en las abundantes costas de levantamiento. La inestabilidad de vertientes y los movimientos de masas constituyen en la Cordillera Bética un poderoso motor del modelado, que en extensas áreas de las cuencas re-excavadas superan ampliamente al efecto de la erosión de partículas, sin que este hecho haya sido hasta el momento evaluado para el diseño de obras hidráulicas de la Cuenca del Sur.

A continuación se presenta una síntesis de las conclusiones obtenidas en las investigaciones realizadas en el sector central de la cordillera (Figura 1).

III.2. Inventarios y Mapas de Susceptibilidad

La identificación de los tipos de movimientos de ladera, rupturas, depósitos y valoración relativa a la actividad y el grado de desarrollo se ha realizado de acuerdo con Varnes (1978, 1984), Cruden y Varnes (1999) Corominas y García Yagüe, 1997; Chacón *et al.*, (1997), WP/WLI. (1990-1993b). Los mapas de susceptibilidad se han sometido a una validación espacial (Irigaray *et al.*, 1999; Fernández, 2001; El Hamdouni, 2001).

Figura 1. Modelo de iluminación del sector central de la Cordillera Bética y distribución



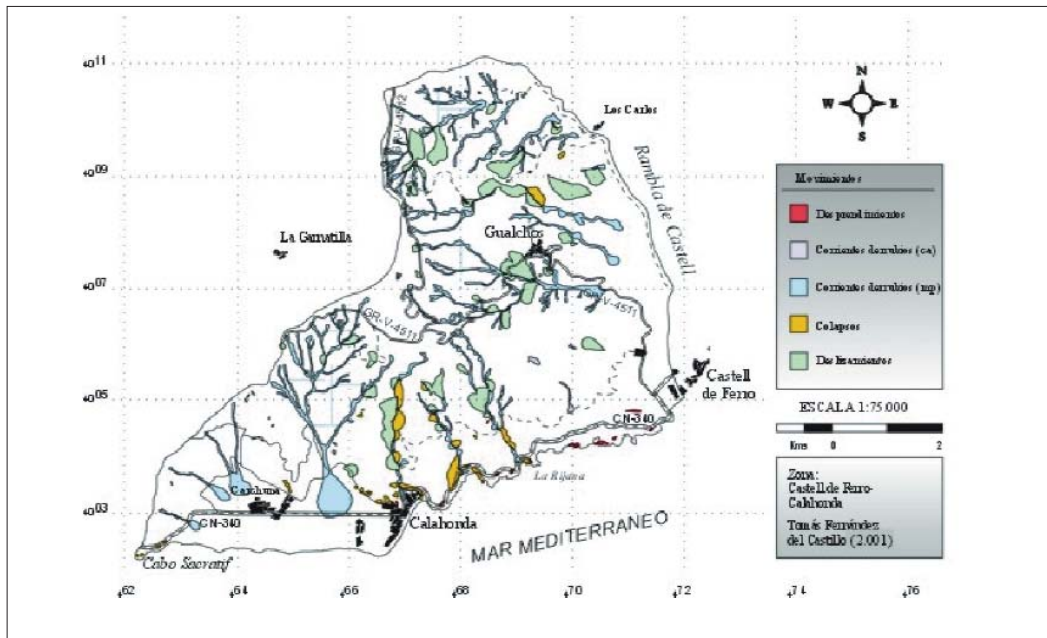


Figura 2. Inventario del sector de Castell de Ferro (Fernández, 2001)

Tabla 2. Resumen de inventarios de movimientos de ladera en diversas áreas.

CR: caídas de Rocas; DR: desprendimientos de rocas; DesR: deslizamientos rotacionales; DesT: deslizamientos traslacionales; F.T: flujos de tierras; C.B: coladas de barro; CD: corrientes de derrubios; DL: derivas laterales; MC: movimientos complejos; N°: número de movimientos; %Ar porcentaje de área con rupturas; %Adp: porcentaje de área con depósitos:

| Área | CR-DR | DesR-T | F.T. y C.B. | CD | MC | N° | %Ar | %Adp |
|-------------------|-------|--------|-------------|-----|-----|------|-------|--------|
| NE Guájares | 45 | 141 | - | 59 | 35 | 280 | 30 | 37 |
| Ízbor-Albuñuelas | 231 | 198 | 157 | 323 | 71 | 980 | | |
| Lújar-Contraviesa | 26 | 260 | - | 118 | 33 | 437 | 15 | 19 |
| Castell Ferro | 14 | 02 | - | 23 | 20 | 159 | 8 | 14 |
| Castillo Baños | - | 41 | - | 43 | 7 | 127 | 8 | 17 |
| S. Nevada | 82 | 26 | - | 47 | 30 | 185 | | |
| Total | 398 | 768 | 157 | 613 | 196 | 2168 | 8-30% | 14-37% |

Dominio Bético

La figura 2 muestra un ejemplo de inventario y la tabla 2 la distribución de tipos de movimientos en las áreas de estudio, esencialmente en unidades alpujárrides. Se aprecia el predominio de tipologías características de macizos rocosos como son las caídas de rocas y los deslizamientos traslacio-

nales y rotacionales, junto a las corrientes de derrubios. En el contacto con las series neógenas de las cuencas de Granada o Ugíjar, abundan las caídas de rocas y coladas de derrubios de materiales compactos calcareníticos y conglomeráticos. En la zona de Albuñuelas (El Hamdouni, 2001) aparece tal situación en calcarenitas y limos a lo largo del contacto con el alpujárride. Igual-

mente en los contactos entre las formaciones carbonatadas y las filitas de los mantos alpujárrides abundan tales tipologías así como los deslizamientos y diversas combinaciones. Aunque en el inventario no se mencionan las derivas laterales, se ha observado un posible caso en el Cerrajón de Murtas donde los mármoles alpujárrides parecen derivar sobre un sustrato de filitas alteradas. En Sierra Nevada, predominan los desprendimientos y caídas de rocas en escarpes orientados hacia el norte, afectados por procesos de gelifracción intensos por encima de los 2.100 m. Asimismo abundan los flujos y coladas de tierras y derrubios en esquistos o filitas descompuestos también en umbrías con pendientes entre el 30% y 45% (Chacón y Soria, 1992).

Los movimientos incipientes son muy abundantes y generan un cortejo de grietas de tracción en cabecera en laderas sometidas a descalse por erosión fluvial, erosión de la base de la ladera en filitas o por la acción de desmontes. Cuando afectan a viviendas o vías de comunicación producen daños de consideración como ha ocurrido en muchos casos a lo largo de la costa de Granada y en el interior de la Alpujarra. Predomina la inactividad o actividad estacional de los deslizamientos y sólo algunos de los más profundos mantienen un movimiento permanente con velocidades muy lentas.

Dominio Subbético

Se ha prestado una atención preferente a un

área entorno a la comarca de los Montes Orientales (Montefrío, Granada), al sector de Rute (Córdoba) y al sector de Colmenar-Sierra de Camarolos (Málaga) (Irigaray y Chacón, 1991; Irigaray, 1995; Irigaray *et al.*, 1994; Irigaray *et al.*, 1996). La figura 3 muestra un ejemplo de inventario en la Zona Subbética (Irigaray, 1995). La tabla 3 muestra un resumen de resultados de los inventarios realizados.

La abundancia y extensión predominante de los afloramientos de series margosas a lo largo del Mesozoico, particularmente en el Cretácico y Jurásico Medio a Superior, se refleja, de manera directa, en el predominio de los movimientos de ladera típicos de los suelos geotécnicos como son los flujos y coladas de barro o tierra, que suponen 945 del total de 1475 movimientos inventariados (64%) y las corrientes de derrubios (9%). Si el 73% de los movimientos son en suelos geotécnicos, el resto (27%) se distribuye entre caídas y desprendimientos de rocas (16%), deslizamientos (6%) y movimientos complejos (4%) desarrollados en series de calizas y dolomías del Jurásico inferior, y de las intercalaciones calcáreas del Jurásico superior y Cretácico.

Las Depresiones Neógenas y Cuaternarias

Las depresiones intra orogénicas desarrolladas desde el Mioceno una vez que la cordillera ini-

Tabla 3. Resumen de inventarios en el Dominio Subbético.

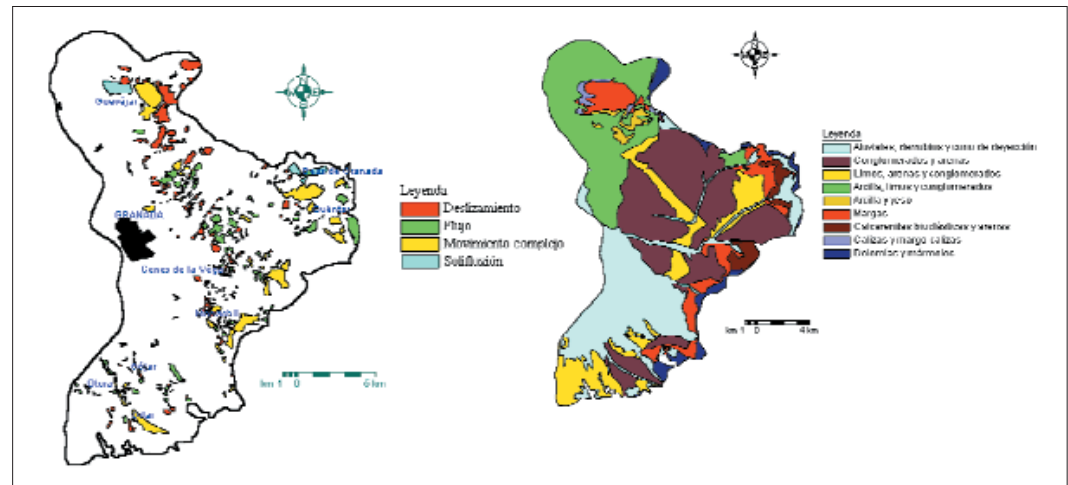
CR.-DR: caídas y desprendimientos de rocas; DesR.-T.: deslizamientos rotacionales y traslacionales F.T.y C.B.: flujos y coladas de tierra y barro; CD: corrientes de derrubios; MC: movimientos complejos; N°: movimientos inventariados; %Ar: porcentaje de superficie afectado por roturas; %Adp: porcentaje de superficie cubierto por depósitos.

| Área | CR-DR | DesR-T | F.T. y C.B. | CD | MC | N° | %Ar | %Adp |
|-----------|-------|--------|-------------|-----|----|------|-----|------|
| Colmenar | 59 | 8 | 66 | - | - | 133 | 6,5 | 9,7 |
| Rute | 92 | 46 | 509 | 109 | 44 | 800 | 8,7 | 10,4 |
| Montefrío | 82 | 34 | 370 | 22 | 34 | 542 | 7,8 | 9,2 |
| Total | 233 | 88 | 945 | 131 | 78 | 1475 | 9,8 | |

Tabla 4. Distribución del porcentaje de unidades litológicas afectadas por los diferentes movimientos y número total de movimientos inventariados en el borde oriental de la cuenca de Granada (Chacón *et al.*, 2001).

| Unidad litológica | Deslizamientos | Flujos | Soliflucción | Complejos |
|---------------------------------|----------------|--------|--------------|-----------|
| Conos y coluviales | 12,6 | 8,3 | 0,0 | 1 |
| Conglomerados y arenas | 60,1 | 23,4 | 10,5 | 19,3 |
| Limos, arenas y conglomerados | 16,5 | 26,0 | 0,0 | 11,7 |
| Arcillas, limos y conglomerados | 3,7 | 8,1 | 18,0 | 35,5 |
| Arcillas y yesos | 0,0 | 0,4 | 9,9 | 6,1 |
| Margas | 7,1 | 33,8 | 61,6 | 22,4 |
| Calcarenitas y arenas | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,2 |
| Margas, limos y calizas | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,2 |
| Nº Movimientos inventariados | 66 | 208 | 7 | 18 |

Figura 4: Inventario de movimientos de ladera en el borde oriental de la Depresión de Granada. Chacón *et al.* (2001)



III.3 Los factores determinantes

Las zonas de la cuenca del Río Granada de Adra (Chacón, 1983) y Sierra Nevada (Chacón y Soria, 1996) se han analizado a partir del inventario de campo y de observaciones sobre el terreno. Las restantes se analizaron a partir de datos del terreno y mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica. En general los factores determinantes considerados en los diferentes casos han sido:

1) Factores derivados del Modelo de Elevación Digital:

A. Directos: pendientes del terreno; altura o elevación del terreno; iluminación por ángulo de incidencia solar; exposición respecto al Norte.

B. Previa transformación o combinación: formas del terreno clasificadas en 5 tipos y diez clases, desde llanuras planas a montañas bajas; curvatura vertical; radio de curvatura; segmentos; rugosidad; amplitud.

2) *Factores temáticos:*

A. Digitalizados a partir de datos de campo o mapas disponibles: litologías o unidades litológicas; contactos litológicos; formaciones superficiales; distribución regional del mapa de isoyetas de precipitaciones medias anuales; vegetación y unidades tectónicas; erosión potencial.

B. Obtenidos a partir de mapas digitalizados: proximidad a cauces clasificados según orden de los segmentos; discontinuidades; zonas de fractura; inestabilidad geométrica; densidad de fracturas, contribución de las cuencas, actividad tectónica, etc.

En el *Dominio Bético* las correlaciones analizadas para modelar la susceptibilidad han sido muy variadas, particularmente en el caso de estudios realizados en Los Guájares, Rambla de Baños, Lújar, La Contraviesa y áreas próximas a Castell de Ferro (Fernández *et al.*, 1998; Fernández, 2001) donde se ha tratado de analizar en un SIG el efecto de las discontinuidades y del comportamiento del macizo rocoso en la

distribución y tipologías de las rupturas.

También se han realizado correlaciones entre rupturas y factores en las restantes áreas mediante SIG en la cuenca del río Izbor y sector de Albuñuelas, donde la importancia de la tectónica activa como factor determinante ha sido demostrada (El Hamdouni *et al.*, 2002, en este volumen) o mediante técnicas cartográficas convencionales en la cuenca del río Grande de Adra o en Sierra Nevada (Chacón, 1983; Chacón y Soria, 1992; Chacón *et al.*, 1996; Catena *et al.*, 1995).

La capacidad de los distintos mapas de factores para obtener buenas correlaciones con la distribución de las diversas tipologías de rupturas es muy variable y se ha ponderado mediante parámetros estadísticos (Irigaray, 1995; Fernández, 2001; El Hamdouni, 2001).

A modo de resumen la tabla 5 muestra el grado de correlación entre factores y rupturas, si bien es el conjunto del análisis multifactorial el que permite la obtención de mapas de susceptibilidad valiosos para la predicción de los movimientos de ladera.

Tabla 5. Grado de correlación entre factores determinantes y tipologías de movimientos.

A, B y C: correlaciones alta, media y baja. CR.-DR: caídas y desprendimientos de rocas; DesR.-T.: deslizamientos rotacionales y traslacionales; F.T; C.B. y CD: flujos y coladas de tierra y barro; corrientes de derrubios; M. CPL.: movimientos complejos; valor: utilidad global para el análisis.

| Factor | CD.-DR | DesR.-T | F.T., CB. y CD | M.CPL. | Todo el inventario | valor |
|---------------|--------|---------|----------------|--------|--------------------|-------|
| Litología | A | A | A | B | A | A |
| Vegetación | A | B | B | C | B | B |
| Unid. Tect. | A | B | B | C | B | B |
| Pendiente | A | A | B | B | B | A |
| Elevación | B | B | B | C | B | B |
| Formas | A | B | A | C | B | A |
| Prec. Med An. | B | C | C | C | C | C |
| Curv. Vert. | B | A | A | C | B | A |
| Exposición | B | C | C | C | C | C |
| Cauces | C | A | A | A | A | A |
| Cuencas | C | A | B | A | B | A |
| Segmentos | C | A | A | C | B | A |
| Rugosidad | A | C | B | C | B | C |
| Amplitud | C | C | A | A | B | A |
| In. Potenc. | A | B | C | C | B | A |

| Factor | CD.-DR | DesR.-T | F.T., CB. y CD | M.CPL. | Todo el inventario | valor |
|-----------------------|--------|---------|----------------|--------|--------------------|-------|
| Contribución | C | B | B | A | B | A |
| Contactos | C | C | C | A | C | A |
| Fracturas Reg. | C | C | C | B | C | C |
| Recubrim. | C | B | B | B | B | B |
| Dens. Drenaje | C | B | C | C | C | C |
| Índices de Tect. Act. | B | A | B | A | A | A |

En el Dominio Subbético la correlación entre la distribución espacial de las clases de cada uno de los factores determinantes considerados y el inventario de rupturas se estableció mediante estadísticos (Irigaray, 1995) y se resume en la tabla 6. Al mismo tiempo se ofrece una estimación del valor de conjunto del factor en los distintos tipos de movimientos para explicar la distribución del inventario de rupturas.

cantiles), flujos y coladas de barro (cultivos extensivos o zonas en barbecho), movimientos complejos (cultivos extensivos y/o boques) y como resultado, también con el conjunto del inventario. Las unidades *tectónicas* se asocian a determinadas litologías y por lo tanto a diferentes tipos de movimientos. Factores tales como pendientes, (señalada como factor determinante primordial en numerosos trabajos), elevaciones y formas del

Tabla 6. Grado de correlación entre factores determinantes y tipologías de movimientos.

A, B y C: correlaciones alta, media y baja CR.-DR: caídas y desprendimientos de rocas; DesR.-T.: deslizamientos rotacionales y traslacionales F.T, C.B. y CD: flujos y coladas de tierra y barro; corrientes de derrubios; M.C.: movimientos complejos. valor: utilidad global para el análisis.

| Factor | CR.-DR | DesR.-T. | F.T., C.B. y CD | M.C. | Todo el inventario | valor |
|-----------------------|--------|----------|-----------------|------|--------------------|-------|
| Litología | A | A | A | A | A | A |
| Vegetación | A | B | A | A | A | A |
| Unid. Tect. | A | A | A | A | A | A |
| Pendiente | A | B | B | B | C | B |
| Elevación | B | B | B | B | B | C |
| Formas | B | B | C | A | C | B |
| Prec. Med An. | B | C | C | B | C | C |
| Iluminación | B | B | C | B | C | C |
| Curv. Vert. | B | C | C | C | C | C |
| Exposición | C | C | C | B | C | C |
| Cauces | C | C | C | B | C | C |
| Dens. Drenaje | C | B | C | C | C | C |
| Índices de Tect. Act. | B | A | B | A | A | A |

El factor *litología* es el que más claramente se asocia estrechamente a cada uno de los diferentes tipos de movimientos sea en macizos rocosos o en suelos geotécnicos. El factor *vegetación* se asocia de manera clara con caídas de rocas (bosque y matorral de borde de

relieve se asocian de manera irregular a los distintos tipos de movimientos y no constituyen factores determinantes de primer orden, a pesar de que no sean poco frecuentes las asociaciones con clases de valores más significativos de pendientes (cantiles subverticales y caídas

das), elevaciones (caídas de rocas) y montañas (movimientos complejos). En tales ejemplos la asociación de primer orden se reduce a algunos de los casos inventariados.

En las cuencas Neógenas como las de Granada el factor determinante principal lo constituye la litología, ya que la evolución del relieve ha sido limitada y la distribución de elevaciones, pendientes, y demás rasgos morfológicos, quedan supeditados al desarrollo de colinas y laderas suaves. Un segundo factor a considerar es el desarrollo de la red de drenaje, a cuyos márgenes se asocian una buena parte de las rupturas inventariadas.

III.4. Los factores activadores

La acción de la lluvia constituye el agente activador más regular en la región, si bien se han realizado escasos avances en la determinación de umbrales de la inestabilidad. En el Valle del Monachil, donde los deslizamientos afectan a las series neógenas de la Depresión de Granada en el contacto con el Dominio Bético, los dos principales eventos históricos de movimientos de ladera ocurridos en 1924 y 1962 sucedieron bajo lluvias medias anuales superiores a 700 mm mientras que la media anual es de 400 mm (Mateos y Ferrer, 1994). Durante las lluvias del invierno de 1996 y la primavera de 1997 se alcanzaron máximos históricos en buena parte de la Alpujarra de Granada, Málaga y Almería y se produjeron cuantiosos daños en la red viaria por los movimientos de ladera que, en general, se asociaron más a la susceptibilidad de los terrenos que a la categoría de la calzada, ya que fueron dañadas carreteras locales, regionales y nacionales. Se establecieron nuevos máximos históricos en tormentas de hasta 400 mm/día que sobrepasaron los umbrales de estabilidad de

vertientes en las que recubrimientos coluviales y macizos rocosos de esquistos y filitas alteradas, unidades muy susceptibles, se vieron afectados ampliamente por deslizamientos, coladas de barro y derrubios, desprendimientos, colapsos y movimientos complejos combinados. Se puso de manifiesto, en todo caso, que la susceptibilidad de los terrenos no se ve sustancialmente corregida por la obra civil de la red viaria, por lo que los riesgos se mantienen en función de la susceptibilidad de los terrenos (Lamas *et al.*, 1997; Irigaray *et al.*, 2000).

La actividad sísmica de la región constituye el otro factor activador fundamental. Las deformaciones dinámicas generadas por las ondas sísmicas pueden conducir a la licuefacción de suelos limosos saturados y poco compactos, al remoldeo de arcillas sensitivas y al colapso de arenas, y pueden, igualmente, reducir el factor de seguridad de vertientes que, en condiciones estáticas, tendrían un coeficiente superior. En consecuencia las zonas de mayor susceptibilidad son las que potencialmente podrían también experimentar movilizaciones abundantes en condiciones dinámicas. Este es el caso del deslizamiento histórico de Güevéjar, producto de la acción de terremotos de magnitudes elevadas (1755 y 1884) sobre una vertiente compuesta por una serie neógena de suelos finos culminada por un paquete de travertinos, en el borde septentrional de la cuenca de Granada, que deslizaron en masa desplazando hasta 300 m el curso del río Bermejo y destruyendo sucesivos emplazamientos de la localidad. Aunque no se ha establecido, hasta el momento, una correlación espacial entre fuentes sísmicas y la distribución de grandes deslizamientos (Chacón *et al.*, 1992) tal posibilidad queda abierta a futuras investigaciones.

Tabla 7. Resumen del inventario de 3.942 movimientos de ladera.

CR-DR caídas y desprendimientos de rocas; DesRyT deslizamientos rotacionales y traslacionales; F.T. y C.B. flujos de tierra y coladas de barro; CD coladas de derrubios; MC movimientos complejos; N° número; %Ar porcentaje de superficie con rupturas; %Adp porcentaje de superficie ocupada por depósitos.

| Zona | CR.-DR | DesR.-T. | F.T.y C.B. | CD | MC | Nº | %Ar | %Adp |
|-------------|--------|----------|------------|-----|-----|------|--------|--------|
| Bética | 398 | 768 | 157 | 613 | 196 | 2168 | 8-30 | 14 -37 |
| Subbética | 233 | 88 | 945 | 131 | 78 | 1475 | 7,7 | 9,8 |
| Depresiones | - | 66 | 215 | - | 18 | 299 | 9,8 | 15,0 |
| Total | 631 | 922 | 1317 | 744 | 292 | 3942 | 7,7-30 | 10-37 |
| % | 16 | 23 | 33 | 19 | 7 | 100 | | |

III.5. Conclusiones sobre la susceptibilidad de los terrenos

Los terrenos del sector central de la Cordillera Bética muestran una marcada susceptibilidad a los movimientos de ladera que se expresa en su abundancia (3.942 inventariados en unos 2000 km²) y en la existencia de áreas de alta susceptibilidad en los diferentes dominios regionales. En todo caso es el dominio alpujarride tanto al Sur de Sierra Nevada, como en el borde costero, cuenca Sur, el que concentra la mayor incidencia de zonas inestables que corresponden a la mayor susceptibilidad de las filitas y los esquistos y a los contactos con las unidades carbonatadas, en áreas que pueden mostrar hasta un 40% de superficie ocupada por depósitos de movimientos de ladera.

Se han elaborado mapas de susceptibilidad de la zona mediante SIG y se han validado sus resultados con excelentes ajustes entre la distribución de movimientos de ladera posteriores a los propios mapas y la zonación de susceptibilidad propuesta. Para ello se han empleado una amplia variedad de factores determinantes en el modelado de la susceptibilidad, de entre los cuales el principal factor para todos los movimientos es la litología. Otros factores determinantes ofrecen correlaciones de variada significación para explicar la distribución de movimientos de ladera, lo que determina la necesidad de realizar mapas de susceptibilidad específicos de cada tipología de movimientos.

Las tipologías de flujos de tierra, coladas de barro y coladas o avalanchas de derrubios son muy abundantes (52%) tanto en el dominio subbético y en las depresiones en relación con

materiales margosos y arcillosos del Mesozoico y del Neógeno, como en el dominio bético donde se afectan los coluviones de zonas montañosas o los productos de la descomposición de los esquistos y filitas, todos ellos en relación directa con períodos de precipitaciones torrenciales. Los deslizamientos rotacionales y traslacionales (23%) se expresan en materiales compactos de los diferentes dominios si bien predominan en el conjunto bético donde las unidades carbonatadas alpujarrides y los paquetes de cuarcitas, gneises o anfibolitas nevadofilábrides presentan el mayor número de ejemplos. Las caídas y los desprendimientos de rocas (16%) se relacionan igualmente con escarpes en unidades rocosas compactas con similar frecuencia en los dominios bético y subbético. Los movimientos complejos se asocian, sobre todo, a la combinación de deslizamientos y alguna tipología de flujos.

En general los deslizamientos son incipientes, inactivos o estacionales, mientras los flujos se desencadenan durante las lluvias y son erosionados posteriormente con rapidez. Los principales agentes determinantes de la inestabilidad proceden de la composición litológica de los materiales y factores morfológicos que varían según la tipología del movimiento. La actividad tectónica reciente es responsable de una rápida excavación de los ríos desde el Pleistoceno a la actualidad, que ha determinado una amplia presencia de vertientes inestables, especialmente en la Cuenca Sur y en el borde meridional de Sierra Nevada.

Lluvias y actividad sísmica son agentes activadores de movimientos de ladera durante terremotos, lluvias torrenciales e inundaciones, en

los que los movimientos de ladera son directamente responsables de la mayor parte de los daños asociados a tales eventos destructivos en el sector central de la Cordillera Bética.

IV. Algunos principios y ejemplos de diferentes sistemas de regulación, control y mitigación de los efectos de los deslizamientos de tierras

IV.1. Principios de reducción de riesgos

Un cuidado tratamiento de las vertientes montañosas y los taludes durante obras civiles y urbanizaciones puede reducir las pérdidas económicas y sociales al evitar la exposición y reducir la vulnerabilidad de los nuevos elementos del territorio. Los riegos pueden reducirse mediante diferentes tratamientos (Kockelman; 1986).

1. Restricción del desarrollo o cambio de uso de zonas susceptibles.
2. Regulación de normas técnicas estrictas para excavaciones, abancalamientos, rellenos, construcciones y, en general, cambios del paisaje.
3. Medidas físicas para prevenir o controlar las zonas inestables (drenaje, modificación de la geometría del talud, estructuras de contención o protección).
4. Puesta en marcha de sistemas de alarma y emergencia.

Combinadas con la moderna tecnología, tales medidas podrían reducir en un 90% los daños por deslizamientos en California (Schuster y Leighton, 1988). Slosson y Krohn (1982) estimaron que tales métodos redujeron las pérdidas por deslizamientos en la ciudad de Los Ángeles entre el 92 y el 97%.

Además, unas políticas adecuadas en las coberturas de seguros, con una modificación de los costos de cobertura que implicara cuotas proporcionales a la estimación del riesgo ayudarían a mejorar la situación.

Por otra parte los deslizamientos de tierras en la mayoría de los casos suceden en contextos multirriesgo en los que el escenario general está

determinado por eventos mayores del tipo de erupciones volcánicas, terremotos catastróficos, huracanes o ciclones o crisis de gota fría con lluvias intensas. Se plantean aquí problemas de efectos combinados que exigen trasladar la perspectiva de la mitigación de deslizamientos a sistemas más amplios que consideren todos los efectos destructivos involucrados en cada crisis catastrófica (inundaciones, vibraciones sísmicas, nubes ardientes, lluvias de bloques y cenizas, licuefacción sísmica, maremotos, etc.).

Un planteamiento óptimo de la mitigación de desastres implica la puesta marcha de una combinación de las técnicas antes citadas. La colaboración entre ingenieros, geólogos, geógrafos, de las empresas del ramo y de las personas implicadas en la toma de decisiones sobre planeamiento urbano a nivel municipal, provincial, regional y estatal, etc., constituye un requisito previo para que las medidas adoptadas se lleven a la realidad.

La clave de estos programas es la comprensión y convencimiento acerca del problema planteado por los deslizamientos de tierras en las regiones inestables, para lo cual los trabajos de Varnes (1978), Brabb *et al.*, (1972), Brabb (1984); Cruden and Varnes (1995) Varnes *et al.*, (1984); Hansen (1989), Rib y Liang (1978), etc., tienen interés a nivel internacional, mientras que en España los de Ayala, Ferrer y Laín, etc., (Instituto Geológico y Minero de España); Corominas y otros (Universidad Politécnica de Cataluña), Cendrero y otros (Universidad de Cantabria), González de Vallejo (Universidad Complutense de Madrid) y los del Grupo de Investigaciones Medio Ambientales, Riesgos Geológicos e Ingeniería del Terreno (Plan Andaluz de Investigación RNM 221) de la Universidad de Granada en las Cordilleras Béticas, constituyen los referentes principales en el tema.

Un elemento importante para determinar la distribución internacional de los riesgos derivados de deslizamientos es el Inventario Mundial de Deslizamientos de tierras (World Landslide

Inventory), en desarrollo actual por la UNESCO en su Comisión de Trabajo sobre el tema (UNESCO Working Party on the World Landslide Inventory; WP/WLI) y auspiciado por las Sociedades Geotécnicas Internacionales desde 1991). Se han publicado diferentes recomendaciones de la citada Comisión (WP/WLI 1990, 1991, 1993a, b) y un directorio sobre el tema y las instituciones implicadas (Brown *et al.*, 1992; Cruden y Brown 1992). La extensión e implicaciones económicas del fenómeno en 136 países han sido informadas por Brabb y Harrod (1989). Estos informes han sido de gran valor para la Década Internacional de Reducción de Desastres. Otras referencias de interés son libros de comunicaciones y actas de los International Landslides Research Groups, de los que uno se celebró en España (Chacón *et al.*, 1996), los Simposios Internacionales sobre Deslizamientos de Tierras (ISL) y en nuestro país, los Simposios Naciones de Taludes y Laderas Inestables (Organizadores E. Alonso y J. Corominas). Igualmente merece reseñarse la Guía Ciudadana de Desastres Naturales (Suárez y Regueiro, 1999) editada por el Colegio de Geólogos y la memoria editada por la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía sobre Riesgos Catastróficos y Ordenación del Territorio en Andalucía (Pita, 1999).

IV.2. Ejemplos de programas de mitigación de riesgos en el ámbito internacional

Los programas de mitigación de riesgos de deslizamientos en USA se basan en los siguientes factores (U.S. Geological Survey 1982):

1. Una base de datos adecuada de información técnica sobre susceptibilidad y riesgos en la región.
2. Una comunidad técnica dispuesta a aplicar y extender esta base de datos.
3. Unas autoridades locales conscientes y comprometidas con el programa y bienestar general de la comunidad.
4. Una ciudadanía que constata la utilidad de

un programa que defiende la salud, seguridad y bienestar general de la comunidad.

En general, las políticas de prevención de desastres desarrolladas en los diferentes países del mundo, con mayor o menor éxito (Petak y Atkisson 1982; Olshansky y Rogers 1987; Olshansky (1990) parten de tres aproximaciones esenciales (Rossi *et al.*, 1982).

1. No adoptar ninguna medida ni acción sobre el tema.
2. Proporcionar asistencia y rehabilitación después que ocurra el desastre o,
3. Adoptar medidas para controlar los riesgos antes de que se produzcan daños mayores.

Una primera opción en la mitigación de riesgos por deslizamientos se basa en la aplicación de los mapas de susceptibilidad a la restricción de áreas inestables Kockelman (1986), una medida muy efectiva y económica para evitar los daños aplicables a escala de término municipal particularmente cuando no hay elevadas concentraciones urbanas. Este procedimiento se realiza básicamente mediante una regulación urbanística que limite o impida los usos en zonas inestables, aunque también puede ir acompañado de un replanteamiento de aquellos usos o actividades existentes en zonas inestables que determinan altos niveles de riesgo, por ejemplo hacia usos que impliquen una menor vulnerabilidad de los elementos existentes.

En países en los que la densidad de población es media a baja y se dispone de espacios y terrenos en cantidad suficiente para atender la demanda pública y privada, como es el caso de USA, los gobiernos locales, condados en cada estado, adoptan ordenanzas que limitan los usos en función de las previsiones del mapa de susceptibilidad (ejemplo tradicional el Condado de San Mateo en California, Brabb *et al.*, 1972). Por el contrario en países con fuertes problemas de superpoblación y escasez de terrenos, como es el caso de Japón, no es frecuente este tipo de regulaciones (Huffman, 1986).

Una segunda aproximación a la mitigación de riesgos establece la exigencia previa a los promotores de informes técnicos que muestren y

se hagan responsables de que aquellos proyectos que impliquen excavaciones, abancalamientos, remodelaciones paisajísticas y construcción de estructuras no contribuyan a la inestabilidad de laderas.

Finalmente una tercera aproximación consiste en la puesta en marcha en las zonas afectadas por deslizamientos, de programas de estabilización y prevención, mediante construcción de muros, remodelación de la geometría de laderas y taludes inestables, sistemas de drenaje y puesta en marcha de sistemas de alerta y emergencia.

Estas medidas están al alcance de las corporaciones locales y provinciales, dependiendo del coste presupuestario correspondiente, pero no requieren la existencia de regulaciones específicas en el ámbito autonómico o nacional. Sin embargo, en muchos países la persistencia y gravedad del problema ha conducido a la regulación de leyes y normas técnicas de aplicación obligatoria y a veces muy exigentes y detalladas con responsabilidades para el Estado, la comunidad específica, sea regional, provincial o local y para los promotores públicos o privados, individuales o corporativos. Así en USA la jurisdicción competente está en el gobierno local del condado (Swanston y Schuster 1989) y el gobierno federal o los gobiernos de los estados juegan un papel menor, fundamental de suministro de experiencia e información, investigación o de financiación de las iniciativas locales. Los métodos más eficaces de mitigación en USA se orientan a la restricción de usos en zonas inestables (U.S. Geological Survey 1982) y la aplicación de medidas como:

a) Programas de información pública a los promotores individuales o corporativos, relativa a las zonas susceptibles y a las medidas técnicas que han de adoptar para minimizar pérdidas o daños.

b) Regulación de limitaciones de usos en zonas inestables, tendentes a deslizar, especialmente destinada a compradores potenciales de terrenos. Por ejemplo el Condado de Santa Clara (California) requiere que los promotores de

urbanizaciones informen por escrito a los potenciales compradores de parcelas sobre las prescripciones oficiales del condado respecto a zonas inestables y la responsabilidad de los vendedores en caso de desastre, especialmente si las parcelas se encuentran en zonas afectadas por deslizamientos, inundaciones o fallas activas. En general los gobiernos locales pueden desestimar el uso de terrenos de riesgo para usos públicos tales como usos urbanos residenciales, redes de saneamientos, depuradoras, etc. (Kockelman, 1986). Otras prácticas en ciertos condados son el empleo de carteles oficiales indicadores de zonas de riesgo, reducciones de impuestos a las propiedades que queden afectadas por zonas de riesgo y políticas financieras de hipotecas y coberturas de seguros que graven las iniciativas en zonas de riesgo. En ocasiones las agencias del gobierno local pueden hacerse con la propiedad de los terrenos más inestables bien por adquisición directa, destinada a evitar cualquier uso de riesgo, o bien como resultado de las denuncias a promotores o propietarios que incumplan las normativas, de manera que la administración destina los terrenos adquiridos o requisados a usos de interés público exentos de riesgo.

c) Regulación del desarrollo en zonas de nueva edificación o construcción bajo la planificación de las agencias competentes a nivel local, con indicación de tipos de usos compatibles y densidades de los mismos, en cada una de las zonas de riesgo identificadas en el término local. Las zonaciones de usos compatibles resultantes son de obligado cumplimiento y determinan el fundamento para acciones jurídicas coercitivas o imputadoras de responsabilidades civiles y penales. En el Estado de Colorado, por ejemplo, el Servicio Geológico del Estado preparó el modelo de regulaciones para las corporaciones locales de los condados (Rogers *et al.*, 1974) en el que se contemplaban los siguiente usos compatibles con sus recomendaciones: 1) Usos recreativos que no requieren estructuras permanentes y habitables, como parques, espacios y reservas naturales, campos de golf, cotos de

caza, pesca, áreas de esquí, etc., siempre que no supongan elevadas concentraciones de población; 2) Usos agrarios de baja densidad, como bosques, cereales y cultivos extensivos y 3) Usos comerciales e industriales de baja densidad y uso temporal como aparcamientos, áreas de almacenamientos de equipos transportables, etc. Colorado ha puesto a punto el Consejo de Mitigación de Riesgos Naturales (Colorado Natural Hazards Mitigation Council, 1992), un cuerpo estatal de oficiales compuesto por 300 miembros entre geólogos, ingenieros, geógrafos, técnicos de las agencias de urbanismo, etc., cuya misión consiste en formular nuevas acciones y regulaciones sobre el tema y cuya primera iniciativa ha ido dirigida hacia la unificación de las normas técnicas que de alguna manera incidan en la regulación de riesgos. Han constituido equipos técnicos encargados de zonas inestables o de riesgo específicos para proponer actuaciones concretas. Así se elaboran planes de actuación estatales en los que fundamentar la futura legislación sobre el tema. Entre los numerosos ejemplos de regulaciones en USA, merece la pena destacar los resultados obtenidos en la ciudad de Los Ángeles (California) donde hasta 1952 eran prácticamente inexistentes. Aquel año, después de intensos daños producidos por las tormentas durante el invierno se pusieron en marcha unas primeras normas que se completaron después, de manera substancial, en 1963. Los daños por deslizamientos debidos a las intensas tormentas de 1968-69 y 1978 permitieron valorar la beneficiosa incidencia de las regulaciones, ya que los daños, que afectaron a un número de construcciones anteriores a 1952, fueron 10 veces superiores a los que sufrió un número equivalente de obras sometidas a las regulaciones de 1963. Similares resultados se obtuvieron durante las tormentas de 1978 (Slosson, 1969). Las medidas reguladas por el código de 1963 y normas posteriores (Committee on Ground Failure Hazards 1985) se refieren básicamente a controles físicos de las zonas inestables (drenajes, refuerzo de taludes, muros de contención, retención y protección).

Se trata de obras de estabilización y control de coste elevado que se restringen a lugares cuyo uso está determinado de tal forma por circunstancias complementarias (valor de las propiedades, densidad de población, accesos, cercanías, comunicaciones, etc.) que no pueden ser descartados por el nivel de riesgos y por lo tanto justifican la inversión. Alternativa o complementariamente las zonas inestables pueden ser controladas mediante sistemas de alarma y emergencia basados en técnicas de medida de deformaciones (extensómetros, inclinómetros, piezómetros, estaciones meteorológicas y de aforos, etc.), sistemas de captación de imágenes y su transmisión a centros remotos desde los que se realiza el seguimiento de la zona y el tratamiento de los datos resultantes, así como de las medidas y acciones cuando el sistema se activa.

A partir del mapa de susceptibilidad a los deslizamientos del condado de San Mateo (California) combinado con el mapa de pendientes del condado, se produce el asesoramiento de zonas inestables (Brabb y Pampeyan, 1972b) en aplicación de medidas preventivas aprobadas en 1973. Se regula la densidad y naturaleza del desarrollo de las zonas susceptibles alejadas de los núcleos urbanos. Se impiden las estructuras residenciales en zonas inestables y las no residenciales se autorizan previo informe geotécnico de detalle que justifique el modelo constructivo. Las regulaciones prohíben además la construcción de escuelas, hospitales, estaciones de bomberos, presas y otras infraestructuras en zonas inestables.

El proyecto del área de Franconia (1974, Fairfax County, Virginia, USA), una zona costera azotada por deslizamientos de tierras y otros procesos naturales destructivos, también se fundamentó en proceso integral de planificación que abarcó desde el inventario de procesos geológicos o físicos que afectan a la región hasta la determinación de los requisitos que deben satisfacer las unidades territoriales para los diferentes usos y actividades, mediante un conjunto de recomendaciones de la Comisión de Planificación del Condado a la oficina de Supervisores del Condado.

El territorio de Hong Kong también dispone de un sistema de control de precipitaciones y aforos para identificar períodos de elevado potencial de deslizamientos. El sistema lo mantiene la Oficina de Control Geotécnico del Departamento de Ingeniería del gobierno local (Geotechnical Control Office, 1985). Durante las lluvias más intensas el sistema opera en régimen de emergencia para suministrar medidas de alerta y atención en zonas afectada por deslizamientos (Evans, Huang y King, 1997). El sistema incluye también un conjunto de programas de mitigación en zonas inestables, desde el control del agua de infiltración y la erosión por escorrentía, hasta técnicas de estabilización de terrenos en zonas inestables. Igualmente se preparan y diseñan zonas lejos de los elementos en riesgo para que depositen allí las abundantes coladas de barro y avalanchas y se reduzca el enorme potencial destructivo. El sistema se basa en el Estudio de Deslizamientos del terreno natural de Hong Kong (Natural Terrain Landslide

Study, NTLS) en un entorno con fuerte demanda de suelo donde se han inventariado 25.000 deslizamientos de tierras visibles en un mapa a escala 1:5.000. Un interés especial se prestó a la susceptibilidad frente a avalanchas de derrubios (Evans y King, 1998), puesto que unos 325 eventos suceden cada año en la zona, particularmente en laderas excavadas en depósitos volcánico-clásticos con pendientes entre 30° y 40°, una unidad de terrenos distinguida en el sistema entre otras 247 unidades.

El Departamento Británico de Medio Ambiente también ha propuesto una política de regulación de la ordenación territorial para zonas inestables afectadas por deslizamientos de tierra (HMSO, PPG 14, 1996). Se trata de una nota técnica en la que se introduce una corta exposición sobre los problemas derivados de la inestabilidad y las diferentes estrategias para prevenir, controlar y mitigar los riesgos derivados. La tabla 8 resume el cuadro de acciones propuesto.

Tabla 8. Respuestas británicas al planeamiento urbano en zonas inestables

RESPUESTAS DE EMERGENCIA Y GESTIÓN DE LA CRISIS

Los problemas se afrontan sólo cuando se producen – Se requieren planes de emergencia específicos para áreas en los que el desarrollo se hizo sin considerar la exposición a riesgos; implica la existencia de daños evitables que pueden ser inaceptables donde la seguridad pública se expone al riesgo.

PLANIFICACIÓN DE LAS PÉRDIDAS PLANNING FOR LOSSES

Las pérdidas se reparten entre seguros, compensaciones estatutarias o medidas fiscales – El riesgo de pérdidas ha de ser asumido en zonas donde el desarrollo ya se ha producido en zonas inestables implica la existencia de daños evitables que pueden ser inaceptables donde la seguridad pública se expone al riesgo.

MODIFICACIÓN DEL RIESGO (HAZARD)

Por prevención o corrección – Se adoptan medidas de estabilización de taludes o laderas, construcción de estructuras de protección frente a caídas de rocas; una buena práctica en mantenimiento y la restricción de ciertas obras para contribuir a la reducción de pérdidas; esta respuesta se justifica donde hay un riesgo significativo para la seguridad pública o de edificios y construcción; su puesta en práctica puede quedar limitada por consideraciones económicas o por la titularidad de los terrenos privados.

CONTROL DE LOS EFECTOS

Evitándolos: - mediante la identificación de deslizamientos y empleo de mapas de riesgos en la planificación se pueden evitar las zonas inestables; Mediante obras de ingeniería: – La planificación y construcción de sistemas de control y estabilización pueden evitar o reducir las pérdidas.

El código técnico PPG 14 (1996) es más detallado que las normas técnicas anteriores en la práctica del Reino Unido de Gran Bretaña (UK) y por lo tanto su aplicación tendrá ciertas consecuencias para algunas autoridades locales. El método de asesoramiento sobre deslizamientos que se incorpora al nuevo código permitirá que los costes de estabilización y de los programas de actuación en zonas inestables se distribuyan a lo largo de un periodo de años y también ofrece ciertas compensaciones en los costes de los desarrollos urbanísticos emprendidos por las autoridades locales que serán asumidos por el gobierno central, lo que es particularmente interesante para las zonas con riesgos por deslizamientos no contemplados con anterioridad. Se dispone en ese país de una guía detallada destinada a los agentes y autoridades implicados en los desarrollos urbanísticos, en la que se explican y detallan las nuevas posibilidades del código PPG 14 y se muestran ejemplos de diferentes estudios e investigaciones en zonas afectadas por deslizamientos de ladera (Clark, Lee y Moore, 1996).

En Suiza se ha adoptado el mapa de riesgos como documento base para la planificación del territorio (Lateltn, 1997) a partir de los siguientes principios:

- 1) La integración y reconocimiento de riesgos naturales como tarea legal que ha de ser satisfecha por los proyectos urbanísticos.
- 2) Aunque el mapa de riesgos por sí mismo no sea un documento con significado legal sus consecuencias son de nivel legal regulador, ya que se incluyen en el proceso administrativo del planeamiento urbanístico.
- 3) Los diferentes cantones deben desarrollar sus propios mapas de riesgos.
- 4) Los mapas de riesgos son una condición previa para la obtención de financiación federal de los proyectos de mitigación de riesgos naturales.

Se preparan mapas de riesgos de tipo semáforo (tres colores) que muestran la zonación de tres niveles de riesgos:

- 1) Riesgo bajo o zona amarilla, donde los pro-

motores deben conocer los riesgos naturales y las medidas a adoptar para su mitigación

2) Zona azul o de riesgo medio, en la que las nuevas construcciones se condicionan a un conjunto de medidas que se establecen para cada tipo de riesgo, y a la presentación de un detallado plan de mitigación y

3) Zona roja o de alto riesgo, donde no se autorizan edificios o construcciones permanentes así como tampoco se autorizan incrementos del tamaño de las construcciones y edificios actuales.

Se deben informar los proyectos de cambios de usos o actividades y sólo se autorizan después de un estudio en el que se muestre la posible vulnerabilidad frente a los diversos procesos naturales de riesgo.

En numerosos países se han puesto a punto sistemas de monitorización de deslizamientos de tierra, como es el caso de USA, Canadá, Nueva Zelanda y los países alpinos de Europa. Se emplean diversos sensores y detectores cuantitativos y cualitativos de presión de agua, lluvias, deformaciones, esfuerzos, movimientos, etc., conectados mediante sistemas de control remoto a las oficinas técnicas o administrativas de seguimiento y alarma. Se logran éxitos en la prevención y mitigación de daños, aunque no sea posible evitar completamente el desarrollo de catástrofes a veces en zonas insospechadas.

IV.3. Ejemplos de programas de mitigación de riesgos en el ámbito nacional

Aunque la mayoría de las comunidades autónomas españolas disponen de regulaciones urbanísticas en su ámbito competencial, en general se puede afirmar que el tratamiento de la prevención de riesgos es muy escaso. Se da la paradoja de que la Ley de Urbanismo de la comunidad autónoma andaluza establece en su artículo 7 la obligatoriedad de la prevención de riesgos, sin que tal práctica se concrete en los diferentes ámbitos de actuación regional, provincial o local. Se distinguen las comunidades autónomas del País Vasco (Ley 4/1990 de

Ordenación Territorial del País Vasco), Valencia (Ley 6/1989 de Ordenación del Territorio de la Comunidad Valenciana) y Murcia (Ley 4/1992 de Ordenación y Protección del Territorio de la Región de Murcia) por diferentes avances en la materia (Pita, 1999).

En el caso valenciano, entre los contenidos del Plan de Ordenación del Territorio, se incluyen referencias específicas al señalamiento de áreas y zonas inundables en el tratamiento general del medio físico, no así a los restantes procesos generadores de riesgos (Pita, 1999).

El ordenamiento del País Vasco trata de manera más amplia la gestión de zonas de riesgo, tanto en la propia definición de los modelos territoriales del medio físico, entre los que se incluyen áreas vulnerables a la contaminación de acuíferos, áreas erosionables o con riesgos de erosión y áreas inundables, como en las categorías de ordenación territorial que se ven afectadas por los modelos previamente definidos. Además establecen actividades aceptables en tales unidades de riesgo, se eleva a la categoría de Plan Sectorial Territorial el Plan Integral de Prevención de Inundaciones y se regula la elaboración de un Plan Sectorial de Prevención de Riesgos Naturales, centrado en dos aspectos fundamentales: inundaciones y deslizamientos, con indicación de contenidos básicos. Todo ello supone un conjunto de criterios preventivos y de restricción de usos y actividades muy novedoso en la legislación urbanística española (Pita, 1999).

En el caso de la Región de Murcia se prescribe entre los contenidos generales de las directrices regionales la necesidad de la evaluación de los riesgos actuales y futuros para los asentamientos humanos y las actividades económicas. Se vuelve a indicar esa necesidad en lo referente a las directrices sectoriales, si bien no se presta atención a la regulación específica de diferentes tipos de procesos de riesgo ni se detallan actuaciones en relación con los mismos (Pita, 1999). Por lo tanto se puede afirmar que no existen normas estatales para la prevención de riesgos en el marco urbanístico, ya que los desarrollos

referentes a Protección Civil no tienen tales objetivos, si bien en este ámbito se han producido considerables avances. Sólo las Comunidades de Valencia, Murcia y País Vasco incluyen tratamientos, como se ha indicado antes, más desarrollados en el último caso. El caso de Andalucía, también mencionado, no se ha producido ningún desarrollo de la legislación vigente a pesar de que el apartado 7. 2º establece la obligación de contemplar la prevención de riesgos como criterio director del urbanismo.

V. Conclusiones

Una nueva era de teledetección y Sistemas de Información Geográfica, junto a los desarrollos de la tecnología para el control remoto mediante sensores de movimiento, ofrece inmensas posibilidades en la gestión de riesgos. Se disponen de métodos validados para la cartografía de zonas inestables y la elaboración de los diferentes mapas de evaluación o predicción de zonas inestables. Sin embargo, la asignatura pendiente sigue siendo la incorporación al planeamiento urbanístico en el ámbito regional y local de la prevención de riesgos como criterio básico. A pesar de que todos los informes técnicos e investigaciones sobre riesgos geológicos en el SE ibérico señalan la incidencia de diferentes procesos destructivos como terremotos, lluvias torrenciales, deslizamientos de tierra, inundaciones, etc., en la región y muestran cómo en algunos de esos eventos el nivel de riesgo, expresado en cualquiera de las diferentes metodologías, es el más alto del país, no se han incorporado las nuevas técnicas y los nuevos avances al planeamiento urbanístico; si bien en la Comunidad de Murcia se han dado algunos pasos de interés, no existe en cambio gran concreción en lo referente a erosión e inundaciones.

Esta investigación se ha realizado en el marco del "Grupo de Investigaciones Medio-ambientales, Riesgos Geológicos e Ingeniería del Terreno". RNM 221 Plan Andaluz de Investigación (Junta de Andalucía).

- ADVISORY BOARD ON THE BUILT ENVIRONMENT (1983): *Multiple Hazard Mitigation: Report of a Workshop on Mitigation Strategies for Communities Prone to Multiple Natural Hazards*. National Research Council, Washington, National Academy Press, D.C.
- ADVISORY COMMITTEE ON THE INTERNATIONAL DECADE FOR NATURAL HAZARD REDUCTION (1987): *Confronting Natural Disasters: An International Decade for Natural Hazard Reduction*. National Research Council, Washington, National Academy Press, D.C.
- AMERICAN INSURANCE ASSOCIATION (1956): *Studies of Floods and Flood Damages, 1952-55*. New York, N.Y.
- AYALA CARCEDO, F.; DURAN, J.J.; GAZAPO, C.; ALFONSO, F.; PEREZ, E.; PALOMO, E.; y LAFORET, V. (1987): *Los riesgos geológicos: guía didáctica*. Madrid, ITGME.
- AYALA, F.J. y ELIZAGA, E. (1988): *Impacto económico de los riesgos geológicos en España*. Madrid, IGME.
- AYALA, F.J. y FERRER, M. (1989): "Extent and economic significance of landslides in Spain", en BRABB, E.E. y HARROD, B.L. (Eds.), *Landslides: Extent and economic significance*, Proc. 27th ISL Washington, Rotterdam, Balkema, pp. 169-178.
- BRABB, E.E. y HARROD, B.L. (Eds.) (1989): *Landslides: extent and economic significance*. Rotterdam, Balkema.
- BRABB, E.E. (1984): "Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping". Proc., *Fourth International Symposium on Landslides*, Canadian Geotechnical Society, Toronto, Canada, Vol. 1, pp. 307-323.
- BRABB, E.E. (1996): "Hazard maps are not enough", en "Riesgos Naturales, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente". Editors J.Chacón & C.Irigaray. vol. I., pp. 331-336. Granada. Spain.
- BRABB, E.E. (1987): Analyzing and portraying geologic and cartographic information for land-use planning, emergency response, and decision making in San Mateo county, California. Proc. GIS'87, San Francisco, IInd. annual Int. Conf. on GIS, pp. 362-74.
- BRABB, E.E.; PAMPEYAN, E.H. Y BONILLA, M. (1972): Landslide susceptibility in the San Mateo county, California. U.S. Geol. Surv. Misc. Field Studies Map MF344, scale 1:62.500.
- BROWN, W.M. (1992): Information for Disaster Reduction: The National Landslide Information Center, U.S. Geological Survey. In "Landslides: Proc., Sixth International Symposium on Landslides (D.H. Bell, ed.), Christchurch, New Zealand, Feb. 10-14, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, Vol. 2, pp. 891-892.
- BROWN, W.M.; CRUDEN, D.M. Y DENISON, S. (1992): The Directory of the World Landslide Inventory, U.S. Geological Survey Open-File Report 92-427, 216 pp., Appendix 19 pp.
- BRYANT, E.A. (1991): *Natural Hazards*. Cambridge University Press.
- CAMBIAGHI, A., Y SCHUSTER, R.L. (1989): Landslide Damming and Environmental Protection—A Case Study from Northern Italy. In Proc., Second International Symposium on Environmental Geotechnology (H.Y. Fang and S. Pamukcu, eds.), Shanghai, May, Envoy Publishing Company, Inc., Vol. 1, pp. 469-80.
- CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V. AND REICHENBACH, P. (1991): GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. Earth Surf. Proc. and Landforms., 16, pp. 427-45.
- CATENA, M.; FERNÁNDEZ, T., IRIGARAY, C., y CHACÓN, J. (1996): Movimientos de ladera en el curso bajo de los ríos Darro y Aguas Blancas (sector Quentar-Granada). In: CHACÓN, J. AND ROSÚA, J.L. (Eds.) 1ª Conferencia Internacional Sierra Nevada Conservación y Desarrollo Sostenible. Vol. I. Granada. pp 263-279.
- CHACÓN, J. (1983): Mapa geotécnico de la cuenca del Río Adra. Lucdeme. IRIDA. Málaga. 1 mem. 32 pp y 2 mapas 1:25.000.
- (1988): Riesgos geológicos en Andalucía. II Congreso Geológico de España. Comunicaciones vol. 2, pp.507-515. Edita Univ.Granada.
- CHACÓN, J. Y LÓPEZ GALINDO, A. (1988): El deslizamiento de Olivares (Moclín, Granada): Geología, composición mineralógica y evolución dinámica durante los 15 primeros días. E.ALONSO y J. COROMINAS, eds. II Simpo-

- sio Nacional de Taludes y Laderas Inestables. Andorra. pp 723-731
- CHACÓN, J. (1988): Riesgos geológicos en el sector de Olivares (Moclín, Granada). E. ALONSO y J. COROMINAS eds. II Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables. Andorra. pp 705-722.
- CHACÓN, J. (1999): Riesgos naturales en el borde suroriental de la depresión de Granada. En "Rivas, P. & Gómez, R. editores, Ciclos Naturales y Desarrollo Sostenible". Grupo Editorial Universitario. Pp. 35-121. Granada
- CHACÓN, J., y RODRÍGUEZ, I. (1988): Diferenciación de movimientos de ladera en el sector de Olivares (Moclín, Granada). II Congreso Geológico de España. Comunicaciones vol. 2, pp 325-329
- CHACÓN, J.; IRIGARAY, C; LÓPEZ GALINDO, A; RODRÍGUEZ MORENO, I., y ROMERO CORDÓN E. (1988): Deslizamientos de ladera en el Dominio Subbético. II Congreso Geológico de España, Guía de Excursión B5. 34, pp. Granada.
- CHACÓN, J.; FERNÁNDEZ, T. e IRIGARAY, C. (1992): El movimiento de ladera de El Montañés (Almuñécar). III Simp. Nac. de Laderas y Taludes Inestables., vol. 2, pp. 695-706.
- CHACÓN, J.; FERNÁNDEZ, T y HERNÁNDEZ, J.C. (1992): Movimientos de ladera en la costa granadina al W de Almuñécar. III Cong. Geológico de España, Simposios, vol. 2, pp. 610-619.
- CHACÓN, J., y SORIA, F.J. (1992): Inventario y caracterización de movimientos de ladera en la vertiente septentrional de Sierra Nevada. In Corominas J. y Alonso, E. III Simp. Nac. de Laderas y Taludes Inestables. vol. 1, pp. 149-160.
- CHACÓN, J., IRIGARAY, C.y FERNÁNDEZ, T. (1993 b): Methodology for large scale landslide hazard mapping using G.I.S. in Novosad & Wagner eds. "Landslides". Proc.7th. ICFL.Bratislava. Balkema, pp. 77-82. Holland.
- CHACÓN, J., IRIGARAY, C.y FERNÁNDEZ, T. (1994): Large to middle scale landslide inventory, analysis and mapping with modelling and assessment of derived susceptibility, hazards and risks in a GIS. VII Congress of the I.A.E.G. Lisbon.
- CHACÓN, J., IRIGARAY, C; y FERNÁNDEZ, T. (1994): Large to middle scale landslide inventory, analysis and mapping with modelling and assessment of derived susceptibility, hazards and risks in a GIS. VII Congress of the I.A.E.G. Lisbon.
- CHACÓN, J., y ROSÚA, J.L. (Eds.) (1996): 1ª Conferencia Internacional Sierra Nevada Conservación y Desarrollo Sostenible. Vol I. Granada. pp 281-296
- CHACON, J.; IRIGARAY, C. y FERNÁNDEZ, T. (1996): Landslides. Proceedings of the VIIIth ICFL. Spain. Balkema, Rotterdam, 320 pp.
- CHACÓN, J.; IRIGARAY, C.; EL HAMDOUNI, R. y FERNÁNDEZ, T. (1996): Consideraciones sobre los riesgos derivados de los movimientos del terreno, su variada naturaleza y las dificultades de evaluación. V Reunión Nac. Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, vol. 1, pp. 407-418.
- CHACÓN J., SUÁREZ J.L., EL HAMDOUNI R., CIFUENTES, F.J., IRIGARAY C y FERNÁNDEZ T., (1996): Los movimientos de ladera y riesgos asociados en las cuencas del río Monachil y las inmediaciones del bajo río Genil (Sierra Nevada). In: CHACÓN J. AND ROSÚA J.L. (eds) 1ª Conferencia Internacional Sierra Nevada Conservación y Desarrollo Sostenible. Vol. I. Granada. pp 263-279.
- CHACÓN J. e IRIGARAY, C. (1999): Previsión espacial de movimientos de ladera y riesgos asociados mediante SIG. In L. LAÍN editor "Los Sistemas de Información Geográfica en los riesgos naturales y en el medio ambiente". Capítulo 7, pp. 113-126. ITGME. Madrid.
- CHACÓN, J.; EL HAMDOUNI, R.; ARROYO, J.M.; IRIGARAY, C., Y FERNÁNDEZ, T. (2001 b): Slope instability in the north-eastern sector of the Granada basin (Spain): events following recent rainfall (1995-1998): In SANZ DE GALDEANO, C.; PELÁEZ, A y LÓPEZ GARRIDO, A.C. La cuenca de Granada: Estructura, Tectónica Activa, Sismicidad, Geomorfología y dataciones existentes. pp 189-197 CSIC- Universidad de Granada.
- CHACÓN, J.; EL HAMDOUNI, R.; IRIGARAY, C.; DELGADO, A.; REYES, E.; FERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, A.F. ; SANZ DE GALDEANO, C., y KELLER, E.A. (2001 a): Valores de encajamiento de la red fluvial deduci-

- dos a partir del estudio de travertinos del valle de Lecrín y curso bajo del Guadalfeo (SO de Sierra Nevada, Granada). En SANZ DE GALDEANO, C.; PELÁEZ, A., y LÓPEZ GARRIDO, A.C. La cuenca de Granada: Estructura, Tectónica Activa, Sismicidad, Geomorfología y dataciones existentes. pp. 29-39 CSIC-Universidad de Granada.
- CHACÓN, J.; IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T., y EL HAMDOUNI, R. (2002): Susceptibilidad a los movimientos de ladera en el sector central de la Cordillera Bética. In "Ayala F.J. Editor, Mapas de Susceptibilidad en España in press".
- CLARK, A.; LEE, M. & MOORE, R., (1996): Landslide investigation and management in Great Britain: a guide for planners and developers. Department of Environment. HMSO. London, 120 pp.
- COLORADO NATURAL HAZARDS MITIGATION COUNCIL. (1992): Annual Report 1991-1992. Guide of Emergency Management, Golden, Colo., 55 pp.
- COMMITTEE ON GROUND FAILURE HAZARDS (1985): Reducing Losses from Landsliding in the United States. Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council, Washington, D.C., 41 pp.
- COMMITTEE ON METHODOLOGIES FOR PREDICTING MUDFLOW AREAS (1982): Predicting a Methodology for Delineating Mudslide Hazard areas for the National Flood Insurance Program. National Research Council, Washington, D.C., 35 pp.
- COROMINAS, J. y GARCÍA-YAGÜE, A. (1997): Terminología de los movimientos de ladera. In E. ALONSO y J. COROMINAS editores. IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Vol. 3, pp. 1051-1072. Granada. Barcelona.
- COTECCHIA, V. (1978): Systematic reconnaissance mapping and registration of slope movements. Int. Assoc. Engn. Geol. Bull., 17, 5-37.
- CROZIER, M.J. (1986): Landslides: causes, consequences & environment. Croom Helm, London, 245 pp.
- CRUDEN, D.M. y VARNES, D.J. (1996): Landslides types and Processes. In "TURNER, A.K. AND SCHUSTER, R.L". (1996). Landslides: investigation and mitigation. Special Report 247. USA Transportation Research Board. National Research Council. National Academic Press. 673 pp. Washington D. C. pp, 35-76.
- CRUDEN, D.M., y W.M. BROWN (1992): Progress Towards the World Landslide Inventory. In Landslides: Proc, Sixth International Symposium on Landslides (D.H. Bell, ed.), Christchurch, NewZealand, Feb. 10-14, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, Vol. 1, pp. 59-64.
- DeGRAFF, J.; BRABB, E. E. y KING, A.P. (1991): Landslide Hazard Assessment. In "OAS/DRDE, 1991. Primer on Natural Hazard Management in Integrated Regional Development Planning". Department of Regional Development and Environment. Executive Secretariat for Economic and Social Affairs. General Secretariat of the Organisation of American States. Chapter 10, 32 pp. Washington D.C.
- EINSTEIN, H.H. (1988): Special lecture: Landslide risk assessment procedure. Proc. V ISL. 2nd vol., pp. 1075-90. Lausanne. Balkema edts.
- EL HAMDOUNI, R.; IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T.; SANZ DE GALDEANO, C. y CHACÓN, J. (2000): Slope movements and active tectonics in the Izbor River basin (Granada). In: Bromhead, Dixon and Ibson, autores: "Landslide in Research, theory and practice", vol. 1. Proc. 8th ISL, Cardiff, Wales, Ed. Thomas Telford, pp. 501-506.
- EL HAMDOUNI, R. (2001): Estudio de movimientos de ladera en la cuenca del Río Ízbor mediante un SIG: contribución al conocimiento de la relación entre tectónica activa e inestabilidad de vertientes. Tesis Doctoral Universidad de Granada. 429 pp y 8 mapas.
- EVANS, N.C. y KING, J.P. (1998): The natural terrain landslide study: Debris avalanche susceptibility. Technical Note 1/98, Planning Division, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. P.R. China. 95 pp.
- EVANS, N.C.; HUANG, S.W. y KING, J.P. (1997): The natural terrain landslide study: Phases I and II. Special Project Report 5/97, Planning Division, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department. Hong Kong., 119 pp.
- FERNÁNDEZ, T. (2001): Cartografía,

- análisis y modelado de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en macizos rocosos mediante un SIG: aplicación a diversos sectores del Sur de la provincia de Granada. Tesis Doctoral Universidad de Granada. 648 pp. 6 anexos y 2 mapas.
- FERNÁNDEZ, T.; IRIGARAY, C. y CHACÓN, J. (1994): Large scale analysis and mapping of determinant factors of landsliding affecting rock massifs in the eastern Costa del Sol (Granada, Spain) in a G.I.S. VII Congress of the I.A.E.G. Lisbon. Portugal. pp. 4.649-4.658.
- FERNÁNDEZ, T.; IRIGARAY, C. y CHACÓN, J. (1996 a): Inventario de movimientos de ladera en la vertiente N de La Contraviesa mediante un S.I.G. In: CHACÓN J. and ROSÚA JL (eds) 1ª Conferencia Internacional Sierra Nevada Conservación y Desarrollo Sostenible. vol. 1, pp.419-441.
- FERNÁNDEZ, T.; IRIGARAY, C. y CHACÓN, J. (1996 b): Inventario de movimientos de ladera en el borde noreste de la Sierra de Los Guájares (Granada) mediante un S.I.G. V Reun. Nac. Geología Ambiental, vol. 1, pp. 297-315.
- FERNÁNDEZ, T.; IRIGARAY, C. y CHACÓN, J. (1996 c): Inventory and analysis of landslides determinant factors in Los Guajares Mountains (Granada, Southern Spain). 8th International Conference and Fieldtrip on Landslides, pp. 141-151.
- FERNÁNDEZ, T.; BRABB, E.; DELGADO SALAZAR, F. MARTÍN-ALGARRA, A.; IRIGARAY, C.; ESTÉVEZ RUBIO, A. Y CHACÓN, J. (1997): "Rasgos geológicos y movimientos de ladera en el sector de Izbor-Vélez de Benaudalla de la cuenca del río Guadalfeo (Granada)". E.ALONSO, J. COROMINAS, J. CHACON, J. PÉREZ Y C. OTEO, editores. IV Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables. Vol. III, pp. 795-808. Granada.
- GEOTECHNICAL CONTROL OFFICE, 1985: Description of the Geotechnical Control Office Engineering Development Department. Hong Kong, 8 pp.
- GIMÉNEZ, J.; SURINACH, E. AND GOULA, X. (2000): Quantification of vertical movements in the eastern Betics (Spain) by comparing levelling data. *Tectonophysics*, 317, pp. 237-258. Elsevier Science. Ámsterdam-Nueva York.
- HANSEN, A. (1989): Landslide Hazard Analysis. In "Slope Instability (S. Brunsden and D.B. Prior, eds.)". John Wiley & Sons, New York, pp. 523-595.
- HANSEN, W.R., E.B. ECKEL, W.E. SCHAEN, R.E. LYLE, W. GEORGE, and G. CHANCE (1966): The Alaska Earthquake of March 27, 1964—Investigations and Reconstruction Effort. U.S. Geological Survey Professional Paper 541, 111 pp.
- HARTLÉN, J. y VIBERG, L. (1984): General report: evaluation of landslide hazard. *proc. 5th. I.S.L. Lausanne*, 2, 1.037-1.057.
- HMSO, PPG 14, (1996): Planning policy guidance: Development on unstable land: landslides and planning. British Department of Environment. HMSO. London.
- HUFFMAN, J. (1986): *Government Liability and Disaster Mitigation—A Comparative Study*. University Press of America, Lanham, Md., 626 pp.
- HUMBERT, M. (1977): La cartographie zermos. modalités d'établissement des cartes des zones exposées à des risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol. *Bull. Bur. Rech. Geol. Min., sec. III*, 1-2, pp. 5-8.
- HUTCHINSON, J.N. (1988): Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *proc. VTH. I.S.L. Lausanne*, 1,3-35. Balkema Pub. Holland.
- IRIGARAY, C. (1990): Cartografía de riesgos geológicos asociados a movimientos de ladera en el sector de Colmenar (Málaga). Tesis de Lic. Univ. de Granada. Mem. inédita, 230 pp.
- IRIGARAY, C. (1995): "Movimientos de ladera: Inventario, análisis y cartografía de susceptibilidad mediante un G.I.S. Aplicación a las zonas de Colmenar (Málaga, España)." Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- IRIGARAY, C. Y CHACÓN, J. (1991): Los movimientos de ladera en el sector de Colmenar (Málaga). *Rev. Soc. Geol. España*, 4, pp. 203-214.
- IRIGARAY, C.; CHACÓN J. Y ROMERO CORDÓN, E. (1991): El deslizamiento de Riogordo (Málaga). *Geogaceta*, 10: 103-106.
- IRIGARAY, C., FERNÁNDEZ, T. AND CHACÓN, J. (1994b): GIS

- landslide inventory and analysis of determinant factors in the sector of Rute (Cordoba, Spain). VIIth Congress of the I.A.E.G. Lisbon.
- IRIGARAY, C., FERNÁNDEZ, T. y CHACÓN, J. (1996): Comparative analysis of methods for landslide susceptibility mapping. In: CHACÓN, J., IRIGARAY, C. y FERNÁNDEZ, T editores Landslides. Proceedings of the VIIIth ICFL, pp. 373-384. Editorial Balkema. Rotterdam.
- IRIGARAY, C., FERNÁNDEZ, T., EL HAMDOUNI, R. y CHACÓN, J. (1999): Verification of landslide susceptibility mapping: a case study. *Earth Surface Proc. & Landforms.*, 24: 537-544.
- IRIGARAY, C.; LAMAS, F; EL HAMDOUNI, R.; FERNÁNDEZ, T. y CHACÓN, J. (2000): The importance of the precipitation and the susceptibility for the triggering of landslides along the roads. *Natural Hazards*, 21: 65-81.
- JAHNS, R.H. (1969): Seventeen Years of Response by the City of Los Angeles to Geologic Hazards. In *Geologic Hazards and Public Problems* (R.A. Olson and M.M. Wallace, eds.), Conference Proceedings, May, Office of Emergency Preparedness, Washington, D.C., pp. 283-296.
- JOCHIM, C.L., W.P. ROGERS, J.O. TRUBY, R.L. WOLD, JR., G. WEBER, AND S.P. BROWN. (1988): Colorado Landslide Hazard Mitigation Plan. Colorado Geological Survey, Department of Natural Resources, Denver, 149 pp.
- JONES, D.K.C. & LEE, E.M. (1994): *Landsliding in Great Britain*. Department of the Environment. HMSO. London, 361 pp.
- KEEFER, D.K., R.C. WILSON, R.K. MARK, E.E BRABB, W.M. BROWN 111, S.D. ELLEN, E.L. HARP, G.F. WIECZOREK, C.S. ALGER, and R.S. ZATKIN. (1987): Real-Time Landslide Warning during Heavy Rainfall. *Science*, Vol. 238, pp. 921-925.
- KELLER E.A, SANZ DE GALDEANO C. y CHACÓN, J. (1996): Tectonic Geomorphology and earthquakes hazard of Sierra Nevada, southern Spain. En: CHACÓN J. AND ROSÚA J.L. (Eds.) 1ª Conferencia Internacional Sierra Nevada Conservación y Desarrollo Sostenible. Vol I. Granada. pp 201-218.
- KOCKELMAN, W.J. (1986). Some Techniques for Reducing Landslide Hazards. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, Vol. 23, No. 1, pp. 29-52.
- KOCKELMAN, W.J., y E.E. BRABB. (1979): Examples of Seismic Zonation in the San Francisco Bay Region. In *Progress on Seismic Zonation in the San Francisco Bay Region* (E.E. Brabb, ed.), U.S. Geological Survey Circular 807, pp. 73-84.
- LAMAS F. EL HAMDOUNI R. IRI-GARAY C. FERNÁNDEZ T. y CHACÓN, J. (1998): Influencia de las lluvias medidas entre noviembre de 1996 y marzo de 1997 en la generación de movimientos de ladera en Andalucía Suroriental. En: ALONSO E, COROMINAS J., CHACÓN J., OTEO C. y PÉREZ J. (Eds.) IV simposio nacional sobre taludes y laderas inestables. Vol I. Granada. pp 213-225.
- LATELTIN, O. (1997): Dangers naturels. Recommandations: Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire. Office Federal de l'aménagement du territoire (OFAT). Office Fédéral de l'économie des eaux (OFEE) et Office Fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEPF). 42 pp. Berne. Switzerland.
- MATEOS, R.M. y FERRER, M. (1994): Methodology for landslides hazard map 1:10.000 in the area of Monachil (Granada, Spain). 7th. I.C.I.A.E.G. Lisbon, III, pp. 2.059-2.064.
- MENEROUD, J.P. y OLIVIER, G. (1978): Eboulements et chutes de pierres sur les routes. Méthode de cartographie. Groupe d'Etudes des Falaises. Rapport de recherche LPC No 80. L.C.P.Ch. Ministère de l'Environnement et du cadre de vie. Ministère des Transport. 68 pp. Paris. France.
- OAS/DRDE (1991): Primer on Natural Hazard Management in Integrated Regional Development Planning. Department of Regional Development and Environment. Executive Secretariat for Economic and Social Affairs. General Secretariat of the Organisation of American States. 13 Chapters and 1 Annex. Washington D.C.
- OBERMEIER, S.F. (1979): Slope Stability Map of Fairfax County, Virginia. U.S. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-1072.

- OKRENT, D. (1980): Comment on societal risk. *Science* 208: 372-5.
- OLSHANSKY, R.B. (1990): Landslide Haward in the United States—Case Studies in Planning and Policy Development. Garland Publishing, Inc., New York, 176 pp.
- OLSHANSKY, R.B., y ROGERS, J.D. (1987): Unstable Ground: Landslide Policy in the United States *Ecology Law Quarterly*, Vol. 13, No. 4, pp. 939-1.006.
- PANIZZA, M. (1986): Geomorphological hazard assessment and the analysis of geomorphological risk. *Int. Geomorphology*. V.Gardiner ed. John Wiley & Sons, pp. 225-229.
- PETAK, W.J., AND ATKISSON A.A. (1982): Natural Hazard Risk Assessment and Public Policy—Anticipating the Unexpected. Springer-Verlag, New York, 489 pp.
- PITA, M.L. (Coord.) (1999): Riesgos Catastróficos y Ordenación del Territorio en Andalucía. Consejería de Obras Públicas. Junta de Andalucía.
- RAHN, P.H. (1986): Engineering geology: an environmental approach. Elsevier. 432 pp.
- RIB, H.T., y LIANG T. (1988): Recognition and Identification. In Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 33-80.
- RODRÍGUEZ ORTIZ, J.M.; PRIETO, C., e HINOJOSA, J.A. (1978): Regional studies on mass movements in Spain. III International Congress of the I.A.E.G. Asociación Española de Geología Aplicada a la Ingeniería. Sección I, vol. 1. Madrid., pp. 267-277.
- ROGERS, W.P., LADWIG L.R., HOMBAKER A.I., SCHWOCHOW S.D., HART S.S., SHELTON D.C., SROGGS D.L., y SOULE J.M., (1974): Appendix: Model Geologic Hazard Area Control Regulations. In *Guidelines and Criteria for Identification and Land-use Controls of Geologic Hazard and Mineral Resource Areas*, Colorado Geological Survey, Denver, pp. 13-146.
- ROSSI, P.H., WRIGHT J.D., y WEBER-BURDIN E., (1982): Natural Hazards and Public Choice—The State and Local Politics of Hazard Mitigation Academic Press, New York, 337 pp.
- SAN MATEO COUNTY BOARD OF SUPERVISORS. (1973): Adding a Resource-Management District and Regulations to the County Zoning Ordinance. Ordinanu No. 2229. Redwood City, Calif., 24 pp.
- SANTA CLARA COUNTY BOARD OF SUPERVISORS (1978): Geological Ordinance NS-1205.35: Santa Clara Code, Section C-12-600 ff San Jose, Calif.USA. Sanz de Galdeano *et al.*, 2001.
- SANZ DE GALDEANO, C.; PELÁEZ, A. y LÓPEZ GARRIDO, A.C. (2001): La cuenca de Granada: Estructura, Tectónica Activa, Sismicidad, Geomorfología y dataciones existentes. 218 pp. CSIC-Universidad de Granada
- SCHUSTER, R.L. (1996): Socioeconomic significance of landslides, pp. 2-35 In “Keith Turner and R.L. Schusters, editors, Landslides: investigation and mitigation”. Special report 247. Transportation Research Board. National Academic Press. 673 pp.
- SCHUSTER, R.L. y KOCKELMAN, W.J., (1996): Principles of Landslides Hazard Reduction, pp 91-105 In “Keith Turner and R.L. Schusters, editors, Landslides: investigation and mitigation”. Special report 247. Transportation Research Board. National Academic Press. 673 pp.
- SCHUSTER, R.L., y LEIGHTON F.B. (1988): Regulations in California, U.S.A. In *Landslides and Mudflows* (E.A. Kozlovskii, ed.), UNESCO/UNEP, Moscow, Vol. 2, pp. 112-122.
- SCHUSTER, R.L. y FLEMING. R.W. (1986): Economic Losses and Fatalities due to Landslides. Bulletin on the Association of Engineering Geologists, Vol. 23, No. 1, pp 11-28.
- SCULLIN, C.M. (1983): Excavation and Grading Code Administration, Inspection, and Enforcement. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 405 pp.
- SLOSSON, J.E., y KROHN, J.P. (1982): Southern California Landslides of 1978 and 1980. In *Storms, Floods, and Debris Flows in Southern California, 1978 and 1980*, Proceedings of a Symposium, National Research Council and Environmental Quality Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, 17-18 Sept. I 1980, National Academy Press, Washington, I.C., pp. 291-319.
- SLOSSON, J.E. y KROHN, P. (1979): AEG Building Code Review—Mudflow/Debris Flow Damage; February

- 1979 Storm—Los Angeles Area. (California Geology, Vol. 32, N°. 1, pp. 8-11.
- SLOSSON, J.E., (1969): The Role of Engineering Geology and Urban Planning In The Governor's Conference on Environmental Geology, Colorado Geological Service Special Publication 1, Denver, pp. 115.
- SMITH, K. (1992): Environmental hazards: assessing risks & reducing disaster. Routledge. London
- SUÁREZ, L. y REGUEIRO, M., (1997): Guía ciudadana de los Riesgos Geológicos. Colegio Oficial de Geólogos de España. The American Institute of Professional Geologist. Madrid, 196 pp.
- SWANSTON, D.N. y SCHUSTER, R.L. (1989): Long-Term Landslides Hazard Mitigation Programs: Structure and Experience from Other Countries. Bull. of the Association of Engineering Geologists, 01. 26, N°. 1, pp. 109-133.
- TANAKA, J.M.C. (1981): Letters to the editor. Geotimes, 26(12): 12.
- TERLIEN, M.T.J. (1996): Modelling spatial and temporal variations in rainfall-triggered landslides. ITC, pub. 32, 251 pp. Enschede. Holland.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY (1982): Goals and Tasks of the Landslide Part of a Ground-Failure Hazards Reduction Program. U.S. Geological Survey Circular. 10, 49 pp.
- VARNES, D.J. (1978): Slope movements types and processes. In SCHUSTER, R.L. y KIZEK, R.J. (Eds.) Landslides: analysis and control. National Research Council Transp. Research Board Special rep. 176, pp.11-33.
- VARNES, D.J. e INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY COMMISSION ON LANDSLIDES AND OTHER MASS MOVEMENTS ON SLOPES. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Int. Assoc. Eng. Geol., Unesco. Natural Hazards Series. N°. 3, 63 pp. París.
- WP/WLI. (1990): A Suggested Method for Reporting a Landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, N°. 41, pp. 5-12.
- WP/WLI. (1991): A Suggested Method for a Landslide Summary. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 43, pp. 101-110.
- WP/WLI. (1993a): A Suggested Method for Describing the Activity of a Landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, N°. 47, pp. 53-57.
- WP/WLI. (1993b): Multilingual Landslide Glossary. BiTech Publishers, Richmond, British Columbia, Canada, 59 pp.