

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Facultad de Ciencias

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y  
FÍSICA DE LA MATERIA CONDENSADA

TESIS DOCTORAL

**Desarrollo, aplicación y validación de  
procedimientos y modelos para la evaluación  
de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a  
procesos geomorfológicos**

MEMORIA PRESENTADA POR

**Jaime Bonachea Pico**

PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR POR LA  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

SANTANDER, JULIO 2006



# **CAPÍTULO 4**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**



## **CAPÍTULO 4**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Tal como se ha mostrado en los apartados anteriores, los deslizamientos provocan anualmente la pérdida de miles de vidas y gran cantidad de daños económicos. Las estrategias encaminadas a la mitigación de los efectos señalados conllevan una serie de actuaciones, preventivas y correctivas, que abarcan medidas tanto estructurales como no estructurales. Como en otros ámbitos encaminados a la reducción de daños de cualquier tipo, las medidas de naturaleza preventiva y no estructural son en general las más adecuadas y menos costosas. Entre dichas medidas se encuentra la elaboración de modelos de susceptibilidad, amenaza y riesgo, -que constituyen herramientas básicas para una política de ordenación del territorio que incluya la mitigación de riesgos naturales- así como el desarrollo de una legislación encaminada a hacer frente a los peligros naturales, como la existente en algunos países.

En las últimas décadas se ha dedicado un gran esfuerzo al desarrollo de procedimientos para la evaluación de la susceptibilidad y peligrosidad por deslizamiento, incorporados en metodologías de carácter cualitativo. Sin embargo, se ha avanzado mucho menos en lo relativo al desarrollo de metodologías cuantitativas de evaluación de la peligrosidad y, todavía menos, del riesgo, entendiendo por tal las pérdidas humanas o económicas potenciales. Más escasos son aún los ejemplos de validación de ambos tipos de metodologías. Eso hace que, aunque la mayoría de ellas son razonables y proporcionan seguramente resultados adecuados, no hay datos o criterios objetivos para determinar la fiabilidad de las predicciones que incluyen.

A pesar de que en los últimos años se han producido importantes avances en la elaboración de modelos de susceptibilidad por deslizamientos mediante la utilización de diferentes técnicas estadísticas, tales como Análisis Discriminante (Baeza & Corominas, 2001; Carrara et al., 2003; Santacana et al., 2003; Guzzetti et al., 2005), Funciones de Favorabilidad (Chung & Fabbri, 1993; Chung & Fabbri, 1999, 2003b; Remondo et al., 2003a, b), Redes Neuronales Artificiales (Aleotti et al., 1996; Mayoraz et al., 1996; Ermini et al., 2005), etc., los métodos empleados hasta el momento todavía muestran ciertas limitaciones en cuanto a los resultados que proporcionan (Carrara et al., 1998; Aleotti & Chowdhury, 1999; Van Westen et al., 1999; Chung & Fabbri, 2003a), siendo conveniente profundizar en su desarrollo y aplicación, a fin de mejorar la precisión y fiabilidad de las predicciones.

Las Funciones de Favorabilidad (Chung & Fabbri, 1993), son uno de los métodos más prometedores a la hora de elaborar este tipo de modelos. Su aplicación en diversas zonas ha puesto de manifiesto su utilidad para elaborar modelos de susceptibilidad a la rotura (Zêzere, 2002; Remondo et al., 2003a, b). Sin embargo, todavía persisten algunos problemas por resolver o mejorar, como por ejemplo la incorporación a los análisis de peligrosidad de factores tales como la intensidad o magnitud y el alcance de las masas

deslizadas, que juegan un papel importante en la estimación de la peligrosidad. Lógicamente, la incertidumbre de los modelos de susceptibilidad afecta a la generación de modelos de peligrosidad y de riesgo que incluyan la vulnerabilidad y los elementos expuestos, y que expresen el riesgo de forma cuantitativa, como pérdidas económicas esperables para un periodo dado (Bonachea et al., 2004; Remondo et al., 2004; Remondo et al., 2005a).

La elaboración de modelos de peligrosidad presenta una dificultad importante debida a los problemas para incorporar la dimensión temporal en este tipo de análisis (imprescindible para obtener modelos que representen la peligrosidad como probabilidad de ocurrencia en cada punto o unidad del territorio analizado). Esto ocurre por los problemas que con frecuencia existen para obtener datos suficientes sobre la actividad del proceso en periodos del pasado reciente, que resulten significativos para las previsiones orientadas a la prevención de daños, o por la dificultad de establecer indirectamente correlaciones con los agentes desencadenantes. Dichas previsiones deben hacerse, típicamente, para unas cuantas décadas, por lo que el periodo pasado a analizar debería de ser equivalente. Por ello, es necesario mejorar y ampliar las series temporales de deslizamientos ya existentes, para intentar determinar con mayor exactitud la frecuencia del proceso.

También se debe mejorar la calidad de las variables causales utilizadas en la elaboración de modelos predictivos, por ejemplo, incorporando variables adicionales, mejorando la resolución de las ya existentes o representando con mayor precisión los límites entre unidades. La mejora de los modelos, a través de las líneas indicadas, debería proporcionar mejores predicciones en relación con la peligrosidad y la intensidad de los daños provocados.

La gran cantidad de datos que se necesitan sobre los elementos que pueden ser afectados por deslizamientos y los daños provocados, su escasez y el tiempo necesario para su recopilación, han sido los factores más importantes que han dificultado el desarrollo de métodos para elaborar modelos de riesgo con un sentido cuantitativo y, en cualquier caso, la estimación de las futuras consecuencias directas de los deslizamientos (destrucción de elementos materiales o pérdidas de vidas) siempre presenta una serie de incertidumbres. Pero todavía es mayor la incertidumbre en el caso de las pérdidas indirectas (todas aquellas que se producen sobre actividades económicas, etc.), lo que además representa una complicación adicional, pues las pérdidas derivadas de la interrupción en las actividades económicas no se restringen al área afectada por el evento, sino que pueden tener efectos a grandes distancias.

Una de las variables que prácticamente todos los modelos de riesgo consideran es la vulnerabilidad. La vulnerabilidad de los elementos depende fundamentalmente de sus propias características y de la energía del proceso, de forma que la información existente sobre una zona no puede ser, en general, aplicada a otras. La mayor parte de los trabajos que abordan este tema están de acuerdo en la expresión de la vulnerabilidad (de 0 a 1), pero los criterios mostrados para su evaluación son muy diversos y tienen cierta subjetividad, por lo que el significado de los mapas resultantes es incierto. Una forma de abordar el problema es expresar la vulnerabilidad como la relación entre el valor de un tipo de elementos y los daños producidos sobre el elemento cuando este es afectado por un proceso dado; esto, aunque debe ser aplicado con cautela, permite estimar la vulnerabilidad sobre bases objetivas y empíricas.

Esa relación se puede expresar por medio de la simulación de una serie de escenarios que expresen las pérdidas potenciales en un elemento que es afectado por un deslizamiento de una determinada magnitud, bajo distintos supuestos. Los escenarios se pueden generar a partir del análisis estadístico de los deslizamientos ocurridos en el pasado y de los daños que éstos han producido en los mismos.

Como consecuencia de todo lo anteriormente presentado, se pueden identificar algunas líneas de trabajo que probablemente contribuirán a mejorar los procedimientos de cartografía de riesgo existentes y, como resultado de ello, la calidad de las evaluaciones y predicciones realizadas por medio de los mismos.

En primer lugar, es preciso mejorar la precisión de los modelos de susceptibilidad y amenaza. En cuanto a la forma de perfeccionar los modelos de probabilidad espacial (susceptibilidad), existen varias alternativas que podrían mejorar los resultados en las predicciones, como:

- Realizar inventarios de deslizamientos lo más completos que sea posible, de forma que se pueda tener una cobertura completa del conjunto de los lugares afectados por deslizamientos en la zona de estudio.
- Considerar en el procedimiento todas aquellas variables que pueden influir en la aparición de los movimientos. Aunque, a veces, y a pesar de lo que pueda parecer en un primer momento, no todas las variables que se analizan influyen en la aparición de tales movimientos.
- Mejorar la calidad y precisión de las variables utilizadas; por ejemplo, la resolución de determinadas variables continuas como las derivadas de los modelos digitales del terreno; o bien, delimitar con mayor exactitud los límites de las variables categóricas.

Para mejorar los modelos de peligrosidad o de probabilidad espacio-temporal es importante:

- Validar de manera independiente los modelos de susceptibilidad para comprobar su capacidad de predicción; la falta de validación de los resultados es algo muy generalizado en la mayoría de los ejemplos presentados en la literatura.
- Determinar con mayor exactitud la frecuencia pasada de los deslizamientos en las zonas de estudio (mejores series temporales) con el fin de que las estimaciones de frecuencia futura sean lo más sólidas posibles. Para estimar la frecuencia futura, se podrían considerar las tendencias de evolución que muestran los procesos naturales del mismo tipo a niveles regional, nacional o global, o bien la frecuencia de los factores desencadenantes.
- Dado que la peligrosidad no sólo depende de la probabilidad de rotura, sino también de la distinta magnitud o intensidad de los movimientos, los escenarios que se formulen deberían considerar tanto la magnitud como el alcance de la masa desplazada, factores que influyen directamente en el efecto destructor de los deslizamientos.

También es importante mejorar la cartografía de los elementos expuestos, que debería incluir datos sobre los tipos de elementos, así como sus características y valor económico. Un problema importante se plantea en relación con la representación, tanto gráfica como

económica, de las personas, ya que éstas son uno de los elementos más afectados cuando se produce un proceso de deslizamiento o de cualquier otro tipo, y además son un elemento dinámico, no estático como sucede con carreteras, edificios, etc.

Otra línea que conviene abordar es el perfeccionamiento de los procedimientos de evaluación de la vulnerabilidad. Esto puede lograrse, por un lado, a través de mejoras en la obtención de datos sobre daños pasados (tipo de elementos afectados, daños experimentados por cada tipo de elemento, etc.) y, por otro lado, a través de una mejor caracterización de los elementos existentes, de su valor y de su probable comportamiento ante movimientos futuros.

Además, es necesario considerar las consecuencias indirectas producidas por los movimientos en masa, que pueden ser incluso superiores a las directas.

Si se producen avances a lo largo de las líneas indicadas, se podrían hacer mejores predicciones sobre las pérdidas, en términos monetarios, que cabe esperar en el futuro por este tipo de proceso. Los resultados obtenidos dependerán de las características de los modelos anteriores, y también de los distintos escenarios considerados. En todo caso, es indispensable llevar a cabo una validación sistemática de los resultados de la aplicación de los modelos, basada en datos independientes que permitan comparar la predicción obtenida a partir del modelo con una realidad no incorporada en la elaboración del mismo.

La generalización y estandarización de los métodos de evaluación del riesgo ayudarían a desarrollar medidas de prevención/mitigación, que permitirían reducir los daños debidos a este proceso, así como disponer de mejores herramientas para la ordenación del territorio. Ese tipo de procedimientos cartográficos tienen la ventaja de ser dinámicos y de permitir una continua actualización, a través de la incorporación de nuevos datos, o bien de futuras mejoras en los modelos.

Por otro lado, los conceptos, procedimientos y herramientas aplicables a la mejora de los modelos de susceptibilidad, peligrosidad y riesgo por deslizamientos, pueden resultar también útiles para el análisis de otros procesos geológicos potencialmente peligrosos, cuya distribución en el territorio esté condicionada por factores susceptibles de expresión espacial. Sería, por tanto, de interés explorar también la aplicabilidad de esos métodos a algunos de dichos procesos.