

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1 INTRODUCCIÓN A LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA

Como se ha podido observar en el Capítulo 1 de la presente memoria, se puede utilizar la tecnología SIG para realizar mapas de susceptibilidad a los deslizamientos. Las ventajas frente a las técnicas tradicionales son la rapidez y automatismo en la captura y análisis de los factores relacionados con la inestabilidad.

El trabajo inicial de recogida de información relacionada con la inestabilidad -factores del terreno que favorecen la inestabilidad- puede verse enormemente reducido con el uso de un SIG. Si se dispone de un Modelo Digital de Elevaciones de alta precisión y resolución adecuada para el tamaño de los deslizamientos a estudiar, se puede obtener algunos de los factores de forma automática mediante sencillos algoritmos. Estos factores, que constituirán nuevos modelos del terreno se pueden agrupar según distintas características de la ladera como la geometría, orientación e insolación, atributos de la cuenca vertiente, etc.

A partir de interpretación de imágenes de sensores remotos también es posible obtener de forma semi-automática parámetros como el uso del suelo, la vegetación, así como la identificación y delimitación de las litologías principales de una zona. En este caso, las tradicionales fotografías aéreas y el trabajo de interpretación de las mismas puede ser sustituido parcialmente o totalmente por técnicas de tratamiento de imágenes. La detección automática de deslizamientos utilizando MDE precisos e imágenes de sensores remotos es un campo todavía en desarrollo que puede simplificar o agilizar las técnicas tradicionales basadas en el trabajo en el campo y la fointerpretación de la fotografía aérea.

Por otro lado, los factores que condicionan la posibilidad de rotura y/o reactivación, varían en función del tipo de deslizamiento (Varnes, 1984; Hutchinson, 1988). Es por ello interesante determinar cuales son estos factores y establecer distintas aproximaciones para analizar cada tipo de fenómeno.

En el presente trabajo se pretende avanzar en los procedimientos para evaluar la susceptibilidad de las laderas a producir deslizamientos utilizando un SIG (ARC/INFO de Esri), abordando específicamente los siguientes aspectos:

- a) Captura automática o semi-automática de los parámetros que controlan la estabilidad de las laderas
- b) Tratamiento de los datos (estadístico, cuando sea posible) que permita una mejora en la identificación de las áreas susceptibles y de su fiabilidad

- c) Desarrollo de procedimientos específicos para dos tipos de roturas (deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos)
- d) Establecer procedimientos para la validación y/o estimación de la bondad de los resultados obtenidos
- e) Tener en cuenta los posibles errores cometidos en cada paso de los procedimientos utilizados para valorar los resultados finales

La presente memoria se organiza siguiendo los dos tipos de deslizamientos considerados (deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos). Los objetivos concretos para cada uno de ellos se discuten en los siguientes apartados.

2.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO

Deslizamientos superficiales

Se ha podido comprobar en el capítulo de antecedentes que existen multitud de procedimientos para abordar la susceptibilidad del terreno para producir deslizamientos superficiales y corrientes de derrubios. Nos proponemos trabajar con procedimientos basados en el tratamiento estadístico de datos (análisis multivariantes, análisis discriminante), que aunque no son tan precisos como los métodos determinísticos, es posible obtener buenos resultados en la medida que los factores utilizados tienen una relación demostrable en la estabilidad de la ladera. Para ello seguiremos la metodología propuesta por Baeza (1994).

Para el análisis regional de la susceptibilidad, la principal dificultad es la obtención de los datos. La confección de mapas de susceptibilidad a partir de fotointerpretación y reconocimiento sobre el terreno requiere muchas jornadas de trabajo y un elevado coste económico.

Los objetivos específicos para la evaluación y cartografía de la susceptibilidad del terreno frente a los deslizamientos superficiales son:

- Obtención y generación del mayor número posible de variables (factores) relacionadas con los deslizamientos de forma automática derivándolas de un MDE incorporado en un SIG.
- Selección y tratamiento de los factores mediante el análisis factorial y multivariante de tipo discriminante, utilizando el paquete estadístico SPSS.
- Creación del mapa de susceptibilidad a la rotura de deslizamientos superficiales mediante el SIG en base a los resultados obtenidos del análisis multivariante.
 - Análisis de la influencia de la presencia y carácter (cualitativo/cuantitativo) de determinadas variables (por ejemplo el grosor de la formación superficial).
 - Comparación de resultados utilizando MDE de distinta resolución (celdas de 15 * 15 m comparadas con celdas de 45 m).

- Establecimiento de un procedimiento de validación.
- Aplicación del procedimiento a otros contextos geológicos y morfoclimáticos distintos. Valoración de la aplicabilidad del procedimiento.
- Valoración del error inherente al método utilizado

Para realizar los análisis se han seleccionado tres zonas de estudio, dos en el Prepirineo catalán (provincia de Barcelona) y una en Guipúzcoa (ver apartado 3.3).

Análisis de un gran deslizamiento (de tipo traslacional)

Como se ha comentado, aunque existen experiencias muy interesantes de la aplicación en un SIG de los métodos de equilibrio límite para evaluar la estabilidad de las laderas, los escenarios resultantes no han podido ser validados. En nuestro caso hemos tenido la oportunidad de disponer de un gran deslizamiento instrumentado (deslizamiento de Vallcebre), con gran cantidad de información relativa tanto a su geometría, posición y variabilidad del agua subterránea, y sobre su comportamiento.

Los objetivos en este caso han consistido en:

- Analizar las posibilidades de los interpoladores de ARC/INFO para generar la geometría de la superficie de rotura y la posición del nivel de agua subterránea.
- Análisis de la estabilidad parcial y global del deslizamiento mediante el análisis basado en la estabilidad de un talud infinito.
- Validación de los resultados.
- Valoración de los posibles errores.

2.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología empleada para llevar a cabo los objetivos, ha seguido unas pautas ligeramente distintas según el tipo de deslizamiento estudiado (deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos), que se describirán por separado. A pesar de ello, se pueden definir unos pasos comunes a las distintas tipologías de deslizamientos y técnicas utilizadas para analizar la susceptibilidad de éstos. Estos pasos se pueden agrupar en 5 puntos (véase figura 2.1):

- Selección de las áreas de estudio
- Adquisición de los datos e información necesaria
- Análisis de los datos
- Creación del mapa de susceptibilidad
- Validación de los resultados (de la predicción)

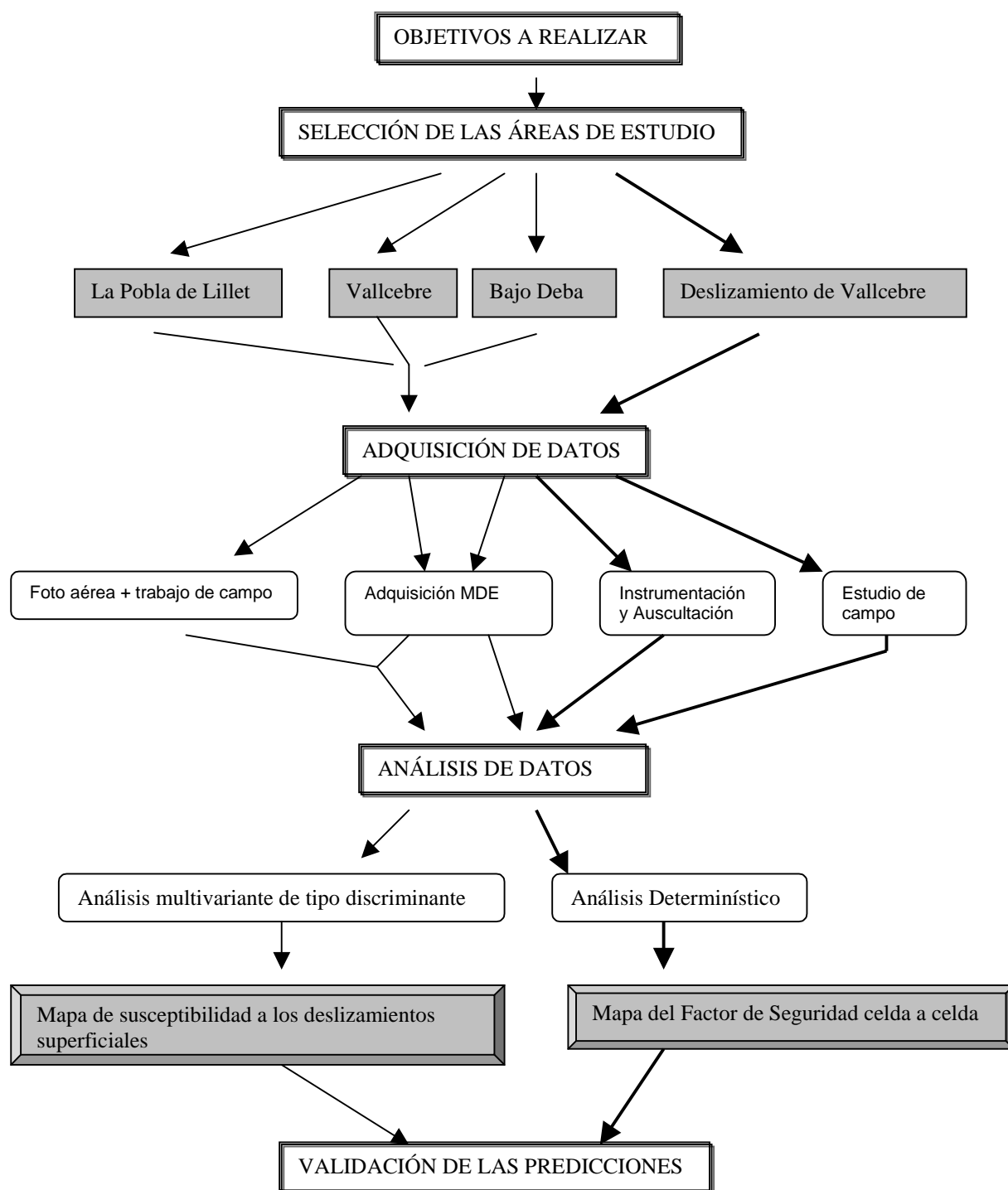


Figura 2.1. Diagrama de flujo de la metodología general utilizada.

2.3.1 Metodología utilizada para el análisis de susceptibilidad a la rotura por deslizamientos superficiales

Selección del área de estudio

El paso previo a cualquier estudio de susceptibilidad a deslizamientos es la selección de la zona o zonas de estudio. Aunque cae por propia lógica, cabe apuntar la necesidad de escoger una zona con deslizamientos presentes (activos, recientes o pasados) con los que

realizar el análisis y la posterior predicción (mapa de susceptibilidad). La disponibilidad de mapas o información digitalizada de la zona o, en su defecto, tener una fácil recogida de información relacionada con los mismos, inclinará la balanza a favor de un área por delante de otras.

En la presente memoria se han escogido tres zonas de estudio como parte de un proyecto de investigación (proyecto GISLYT, AMB97-1091-C06), debido a la disponibilidad de deslizamientos e información sobre éstos (fotografía aérea, experiencia previa en la zona, facilidad de recogida de datos de campo, etc.) y a la disponibilidad de los MDE correspondientes. Dos de las zonas pertenecen a un área del Prepirineo de la provincia de Barcelona, en la cuenca alta del río Llobregat conocidas como La Pobla de Lillet y Vallcebre, debido a las poblaciones que les dan el nombre. La tercera zona pertenece a la cuenca baja del río Deba en Guipúzcoa (conocida como Bajo Deba) en un contexto morfoclimático distinto.

Adquisición de los datos e información necesaria

La adquisición de los datos conlleva tanto la recogida de la información necesaria y disponible para el análisis como la previa definición de la misma. La definición de la información es un aspecto importante al cual hay que dedicarle un cierto tiempo si se quiere evitar problemas posteriores (redundancia, olvido de aspectos relevantes, etc.).

En el caso de los deslizamientos superficiales se han seleccionado un total de 16 variables que se considera pueden estar directamente relacionados con la aparición de roturas en las laderas y que se describirán en detalle en el apartado 3.1.3. Una parte de la información se ha recogido mediante estudio y fotointerpretación de fotografías aéreas (escala 1:22.000), acompañado de un mínimo trabajo de campo de comprobación. Posteriormente, estos datos han sido traspasados sobre poliéster, superpuestos a la ortofoto a escala 1:5.000, para su digitalización en AutoCad v.12 y traspasados al SIG. La información recogida para el análisis se basa en la experiencia previa en este tipo de movimientos en dos zonas del Prepirineo catalán (Baeza, 1994). La disponibilidad de un MDE ha permitido derivar la mayoría de variables relacionadas con los deslizamientos mediante algunos algoritmos simples dentro del SIG.

Análisis de los datos

Una vez se disponen de todos los datos considerados necesarios para abordar la susceptibilidad a los deslizamientos procedemos a su análisis. Se utilizarán las técnicas de estadística multivariante de tipo discriminante descritas en el Capítulo 1 de la presente memoria integradas en un SIG.

El análisis se realiza dentro y fuera del SIG, según la fase del proceso en la que nos encontremos. Los pasos son los siguientes: ajuste y categorización de variables, selección de la muestra a analizar, análisis descriptivo de la muestra, selección de las variables explicativas y análisis discriminante y selección de la función discriminante final. El procedimiento que se comentará en el Capítulo 3 se ha realizado aplicando el SIG ARC/INFO así como el programa estadístico SPSS.

En el análisis estadístico multivariante de tipo discriminante se han seguido los siguientes pasos (Baeza, 1994; Baeza y Corominas, 1996):

1. Comprobación del ajuste a una distribución normal de todas las variables cuantitativas mediante el Test de Kolmogorov-Smirnov a un nivel de confianza del 5%. Las variables que no presentan una distribución normal son transformadas a distribuciones lognormales.
2. Aplicación del Análisis Factorial de Componentes Principales para determinar dependencias entre las variables.
3. Aplicación de los tests T-test y One-Way (que analizan medias y varianzas) para determinar relaciones entre las variables y la inestabilidad.
4. Selección de las variables independientes con el nivel de significancia más alto para el análisis discriminante.
5. Aplicación del análisis discriminante por pasos (Agterberg, 1974) y selección de la función discriminante final.

Creación del mapa de susceptibilidad

El siguiente paso, una vez realizado el análisis, y cuando se dispone de la función seleccionada final, es la creación del mapa de susceptibilidad. Este paso se realiza en el SIG permitiendo crear salidas gráficas de los mapas de forma rápida.

En el análisis discriminante, la función discriminante obtenida permite asignar distintos valores a las celdas, que indican su mayor o menor susceptibilidad a producir roturas. Una vez obtenida la función, se utiliza ésta, con las variables que la componen y sus coeficientes, para crear una malla regular discriminante (dentro del SIG) que contiene los valores discriminantes para cada unidad de terreno. Posteriormente, se crea el mapa de susceptibilidad mediante la división de los valores discriminantes en un número determinado de clases equidistantes.

Validación de los resultados

El último paso es la validación de los resultados obtenidos, esto es, de los mapas de susceptibilidad o del factor de seguridad. Estos mapas intentan reflejar a escala regional la susceptibilidad a deslizamientos a partir de unos resultados obtenidos sobre una muestra seleccionada de la población total. La etapa de validación tiene mucha importancia dado que nos permite tener una idea de la utilidad de un mapa para predecir deslizamientos futuros.

La validación dependerá de la muestra escogida para realizar el análisis y obtener el mapa de susceptibilidad, así como de los deslizamientos utilizados para validar la predicción del mapa de susceptibilidad creado. En el procedimiento presentado en la presente memoria (ver Capítulo 3) la validación se ha realizado con el resto de población no utilizada para obtener la función discriminante (cuando se realiza esta validación en la misma zona de obtención de la función). En este caso, el procedimiento para la obtención de la muestra consiste en la selección al azar de la misma, considerando para ello todo el área de estudio.

La validación considerando deslizamientos de un evento distinto (posterior) al utilizado para obtener la función en la misma área, no la vamos a utilizar (no disponemos de datos de eventos de deslizamientos, posteriores a los utilizados para el análisis).

2.3.2 Metodología utilizada para la determinación del factor de seguridad celda a celda de grandes deslizamientos. Aplicación al deslizamiento de Vallcebre

Selección del área de estudio

Para el análisis del factor de seguridad de grandes deslizamientos se ha seleccionado el deslizamiento de Vallcebre debido a la gran cantidad de datos que se dispone de este deslizamiento instrumentado. Desde 1987 hasta 1996 el deslizamiento fue auscultado mediante fotogrametría y estudios convencionales (Gili y Corominas, 1992). En 1996 el deslizamiento se incluyó en un proyecto de investigación patrocinado por la Unión Europea (proyecto NEWTECH) en el cual se probó la actuación de un equipo de auscultación y se llevó a cabo la simulación del flujo de agua subterránea y análisis mecánicos (Corominas et al., 1999). Del conjunto del deslizamiento, se analizará solamente la unidad inferior del mismo.

Adquisición de los datos e información necesaria

Para el análisis del deslizamiento de Vallcebre se ha utilizado información procedente de la instrumentación y auscultación realizada desde el año 1996. La información utilizada proviene de los sondeos realizados (litología), así como de los piezómetros, inclinómetros y extensómetros instalados en los mismos. Se trata de una información puntual que ha sido digitalizada y entrada en el SIG. También se han utilizado resultados de ensayos de laboratorio (peso específico, ángulo de fricción interna, cohesión) (Corominas et al., 1998). Los datos sobre las condiciones de contorno (límites) del deslizamiento se han recogido a partir de trabajo de campo y fotointerpretación del área ya realizada y digitalizada (Gili Y Corominas, 1992; Ledesma et al., 1997; Corominas et al., 1998; Corominas et al., 1999; etc.). Estos datos se han introducido en el SIG para su posterior análisis.

Análisis de los datos

El deslizamiento de Vallcebre se ha analizado íntegramente en el SIG utilizando el método determinístico del talud infinito para el cálculo del factor de seguridad celda a celda y, posteriormente, se ha realizado una estimación del factor de seguridad del conjunto del deslizamiento. El análisis de los datos descrito en el Capítulo 4 de la presente memoria ha comportado 3 fases: interpolación de las superficies necesarias a partir de los datos iniciales, obtención de las variables necesarias y cálculo del factor de seguridad.

Creación del mapa de susceptibilidad

A partir del análisis del factor de seguridad celda a celda se clasifican los valores de las celdas de la malla regular del deslizamiento, para crear el mapa de susceptibilidad en base al factor de seguridad. Aunque como se verá en el Capítulo 4 este mapa no es de lectura directa.

Validación de los resultados

La validación del mapa del factor de seguridad se realiza:

- a) Por comparación con los resultados del análisis de estabilidad mediante el programa STABL

- b) De manera cualitativa con los datos recogidos de la auscultación de este movimiento que viene realizándose desde 1996.

Para llevar a cabo la validación se han creado unos perfiles siguiendo los sondeos realizados en el deslizamiento. En estos perfiles se calcula el exceso de fuerzas inestabilizadoras y el resultado se compara con resultados del mismo perfil obtenidos según el programa PC-STABL-5M, y con los datos de auscultación del deslizamiento.