
Evaluación espacial de los peligros naturales en el valle de Oiartzun (Gipuzkoa).

Spatial evaluation of natural hazards in the valley of Oiartzun (Gipuzkoa).

P. ETXEBERRIA ¹, J.M. EDESO ² & A. BRAZAOLA ³



RESUMEN

Se presentan y analizan los resultados obtenidos en la aplicación de una metodología de creación de mapas de peligro en la parte media-alta del valle de Oiartzun. La metodología ha sido diseñada para evaluar la susceptibilidad a los peligros naturales en Gipuzkoa, a escala comarcal. Se han estudiado los tres peligros naturales más habituales en este territorio: los movimientos de ladera, los incendios forestales y las inundaciones fluviales. El territorio ha sido asimismo zonificado en relación a la susceptibilidad a la combinación de los tres peligros mencionados.

- **PALABRAS CLAVE:** Peligros naturales, Cartografía de peligro, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Gipuzkoa, Oiartzun.

ABSTRACT

The results of the application, in the high-middle part of the Oiartzun valley, of a methodology for developing hazard-maps are presented and analyzed. The methodology has been designed in order to evaluate the susceptibility to natural hazards in Gipuzkoa on local scale. Three most frequent hazards in this territory (mass-movements, forest fires and river-floods) have been studied. The territory has also been zoned according to the susceptibility to the superposition of mentioned three hazards.

- **KEY WORDS:** Natural hazards, Hazard maps, Geographic Information Systems (GIS), Gipuzkoa, Oiartzun.

LABURPENA

Oiartzun ibarreko goi-erdialdean arrisku-mapak sortzeko metodologia bat aplikatzean lortu diren emaitzak aurkezten eta aztertzen dira lan honetan. Metodologia hau, Gipuzkoako

¹ U.P.V. - E.U.I.T. de Minas y de Obras Públicas. Dpto. de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería. Colina de Beurko, s/n. • 48902 Barakaldo.

² U.P.V. - Escuela Universitaria de Ingeniería. Dpto. de Ingeniería Minera y Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Nieves Cano, 12. • 01006 Vitoria / Gasteiz.

³ U.P.V. - Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Dpto. de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería. Alameda de Urquijo, s/n. • 48013 Bilbao.

natur arriskuekiko suszeptibilitatea eskualde eskalan neurtzeko diseinatu da. Lurralde hone-tako hiru natur arrisku sarrienak aztertu dira: hegal-mugimenduak, baso-suteak eta ibai-uholdeak. Halaber, aipatutako hiru arriskuen konbinazioarekiko suszeptibilitatearen arabe-ra, lurraldea eremutan banatu da.

• **PALABRAS CLAVE:** Natur arriskuak, Arriskuen kartografia, Geografia Informazio Sistemak (GIS), Gipuzkoa, Oiartzun.



INTRODUCCIÓN

Las situaciones de riesgo de origen natural más frecuentes en el territorio histórico de Gipuzkoa guardan una relación muy estrecha con fenómenos meteorológicos que se alejan de los valores medios o habituales: lluvia intensa y/o duradera, vientos fuertes, frío y nieve, calor, etc.

Las inundaciones constituyen el peligro natural más importante en este territorio. La frecuencia y la magnitud de este fenómeno son debidas al elevado régimen de lluvias (alcanzando los 2.000 mm/año en las cabeceras de algunas cuencas), a una topografía formada por pendientes considerables (tanto en las cabeceras como aguas abajo) y a una excesiva ocupación humana de las márgenes de los ríos.

Las inundaciones originadas por el desbordamiento de los ríos afectan de manera cíclica a la provincia de Gipuzkoa. Además, en ocasiones, aunque no llegan a desbordarse los ríos, se producen embalsamientos considerables, originados por lluvias torrenciales, que afectan a los núcleos urbanos. Los eventos más graves han ocasionado en el pasado pérdidas de decenas de millones de euros (agosto de 1983, julio de 1988, junio de 1997).

Los movimientos de ladera son también relativamente habituales en Gipuzkoa. La existencia de litologías blandas (margas y margocalizas) combinadas con rocas detríticas y calizas, y un relieve compuesto por laderas de pendiente suficiente, crean condiciones favorables para el desencadenamiento de estos fenómenos, que suelen tener lugar por las elevadas precipitaciones que sufre la provincia. Los movimientos de ladera se ven, además, favorecidos por diversas actividades humanas, principalmente por la construcción de infraestructuras lineales como carreteras y caminos.

Si bien estos fenómenos no suelen ser de grandes dimensiones, sí ocasionan problemas importantes en las vías de comunicación y en diversas infraestructuras (los costes de reparación de los daños ocasionados por los desprendimientos en las carreteras suelen alcanzar los siete millones de euros al año).

Los efectos negativos de estos movimientos pueden alcanzar, en ocasiones, magnitudes importantes. Es el caso del desprendimiento de diciembre de 1998 en la carretera entre Getaria y Zumaia que obligó a unas obras de reparación con un coste por encima del millón de euros.

Todos los años se producen docenas de incendios forestales en este territorio, que si bien no alcanzan grandes extensiones, sí afectan a extensiones totales de varios cientos de hectáreas, provocando pérdidas que alcanzan varios millones de euros anualmente. En la década de 1990 se apreció un ligero descenso en la superficie afectada, debido tanto a la prevención como a la eficacia de la extinción.

Destacan los incendios que tuvieron lugar durante 1989, sobre todo en diciembre, cuando se combinaron una larga sequía estival y otra invernal asociada a fuertes vientos del sur. Esta sucesión de sequías produjo unas pérdidas catastróficas.

El peligro de incendios forestales es, al contrario que en otras regiones (el área mediterránea principalmente), más elevado durante el invierno que durante el período estival. Los incendios suceden, en dicho período invernal, bajo condiciones de viento sur y son provocados por negligencias humanas o de manera intencionada. Los incendios suelen afectar tanto a los bosques como a zonas cubiertas por matorrales o pastos.

Otros fenómenos naturales ocasionan problemas en este territorio: la erosión hídrica (con tasas de pérdida de suelo que superan en algunas zonas las 100 toneladas por hectárea y año), los temporales de viento (que azotan la costa guipuzcoana prácticamente todos los inviernos), los temporales de frío y nieve (que afectan especialmente a las comarcas situadas en el interior de la provincia), la erosión costera, los ya mencionados períodos de sequía, etc.

Buena parte de los peligros naturales mencionados son previsibles, ya que es posible definir a priori cuáles son los lugares con un mayor riesgo. Para ello debe calcularse la probabilidad de que ocurra un fenómeno natural peligroso y la exposición y la vulnerabilidad del ser humano frente a dicho peligro.

En este sentido, resulta necesario conocer la distribución espacial del riesgo para gestionar de manera adecuada las posibles emergencias. Los mapas de riesgo permiten planificar, a diferentes escalas, las medidas de reducción del riesgo, tanto las estructurales (obras de ingeniería) como las no estructurales (ordenación del territorio, planificación urbanística, etc.).

MATERIAL Y MÉTODOS

En la metodología de evaluación espacial de los peligros naturales que se propone, se han incluido los peligros naturales más frecuentes y dañinos en el territorio guipuzcoano: los movimientos de ladera, los incendios forestales y las inundaciones producidas por desbordamiento de los cauces fluviales.

La evaluación del peligro se limita a la fase de análisis de la probabilidad o susceptibilidad de estos fenómenos naturales. Se generan así mapas de peligro, no mapas de riesgo. La escala de trabajo es de tipo comarcal (1:25.000); en el estudio del peligro de inundación se emplea una escala más detallada (1:5.000).

En la aplicación de gran parte de la metodología propuesta se han empleado Sistemas de Información Geográfica. El modo de trabajo ha sido fundamentalmente de tipo *raster*: se ha utilizado una malla con un tamaño de píxel de 20 x 20 m. De esta forma, los datos de tipo vectorial (puntual, lineal y poligonal) han sido revisados en un SIG vectorial y han sido convertidos a formato *raster*. Además, se han empleado otras herramientas informáticas: sistemas de gestión de bases de datos, herramientas CAD, modelos hidrológicos e hidráulicos y otros programas auxiliares.

La metodología se estructura en cuatro partes, una por cada mapa de peligro generado:

- 1.- Evaluación del peligro de movimientos de ladera
- 2.- Evaluación del peligro de incendios forestales.
- 3.- Evaluación del peligro de inundación.
- 4.- Evaluación del peligro natural múltiple, a partir de la superposición de los tres mapas de peligro.

Los modelos de peligro que se proponen son, en general, modelos ya conocidos y que han sido empleados en diferentes partes del mundo. Estos modelos han sido adaptados a las características del territorio guipuzcoano que tienen relación con los factores que condicionan y desencadenan los peligros analizados.

El peligro de movimientos de ladera ha sido evaluado con un método cualitativo (GONZÁLEZ LASTRA *et al.*, 1980) que ya ha sido empleado en diferentes trabajos realizados en los últimos años en Gipuzkoa para crear mapas de peligro. El método, simplificado, tiene en cuenta los siguientes factores (EDESO *et al.*, 1995): la litología (agrupada en función de su estabilidad), la pendiente topográfica (graduada en intervalos significativos), la cobertura vegetal (agrupada en relación a su aportación a la estabilidad de las laderas), las discontinuidades litológicas con una mayor fracturación (fallas y cabalgamientos) y la coincidencia de los estratos y la topografía.

El peligro de incendios forestales ha sido evaluado en tres fases. En primer lugar se ha generado un mapa de peligro de ignición de tipo local, asignando un índice de peligro de manera cuantitativa. Se han considerado únicamente factores que pueden considerarse constantes en el tiempo: la vegetación (clasificada en relación a su inflamabilidad), las acciones humanas negligentes o intencionadas (representadas por carreteras, caminos, áreas de trabajos forestales, áreas de quemas agrícolas y de pastos, áreas de recreo, ferrocarriles, etc.), la radiación solar (calculada, de manera simplificada, a partir de la orientación y de la pendiente) y la altitud topográfica. El método utilizado (SALAS y CHUVIECO, 1992) ha sido adaptado a las características de Gipuzkoa, tanto en lo que se refiere a los tipos de combustibles existentes, como a los datos estadísticos acerca de las causas de los incendios.

Una vez calculada la susceptibilidad al inicio del fuego, han sido creados diversos mapas que representan la velocidad de propagación del incendio de superficie siguiendo el modelo clásico de ROTHERMEL (1972 y 1983). Se ha tenido en cuenta la distribución de los combustibles, la topografía y el viento. Las situaciones de viento más peligrosas han

sido definidas tras analizar las condiciones habituales en el inicio y la propagación de los incendios: vientos de 10, 30 y 50 Km/h del S y del SO (viento Sur en invierno) y vientos de 10 Km/h del NE (brisas de verano). La velocidad de propagación del fuego se ha calculado en dos dimensiones, obteniéndose, así, la magnitud y la dirección de la velocidad de propagación máxima.

Finalmente, se ha realizado una simulación de los posibles incendios. Para ello han sido definidos focos de fuego aleatorios a partir del mapa de peligro de inicio, y, mediante técnicas de difusión anisotrópica, se ha modelado el alcance del fuego, obteniéndose así las áreas quemadas. Los mapas de velocidad del fuego calculados anteriormente, han sido utilizados, a modo de mapas de fricción, en la simulación. Tras realizar múltiples simulaciones (1.000 en concreto) con diferentes escenarios de peligro (focos de inicio) y situaciones de peligro (condiciones de viento), se ha obtenido la probabilidad que tiene cada área de resultar quemada.

Para determinar el peligro de inundaciones se ha desarrollado una metodología dividida en tres fases. En primer lugar, se ha llevado a cabo un modelado hidrometeorológico del área de trabajo. Este modelado incluye los siguientes pasos: 1) Generación de los mapas de cuencas hidrográficas y de la red de drenaje, a partir de mapas topográficos (cálculo de variables morfométricas de las cuencas y los cauces); 2) Diseño de las tormentas de cálculo para diferentes períodos de retorno (10, 100 y 500 años), a partir de los datos de precipitaciones máximas esperables en 24 horas en Gipuzkoa (IKAUR, 1999); 3) Cálculo de los caudales de escorrentía superficial aportados por cada subcuenca, a partir del método del SCS adaptado al territorio español (MOPU, 1987); 4) Determinación de las variables temporales para el modelado hidrológico del sistema de drenaje (tiempos de concentración de las cuencas, tiempos de viaje en los cauces); y 5) Cálculo de los caudales máximos instantáneos en puntos concretos de la red de drenaje, a partir de los caudales de escorrentía generados en el paso 3.

El segundo paso consiste en realizar, a escala local, un modelado hidráulico de la llanura de inundación para convertir los caudales de escorrentía en alturas que alcanzaría el agua, para cada período de retorno. Esta fase requiere dos tipos de datos: la geometría de secciones transversales de la llanura de inundación, incluyendo obstáculos (puentes, fundamentalmente) y los caudales que circulan por dichas secciones (los caudales máximos instantáneos aportados por el modelo hidrometeorológico, graduados a lo largo de cada tramo).

En el paso final, se han delineado los mapas de inundación para cada período de retorno, a partir de la diferencia entre el mapa que representa la altura de la lámina de agua (obtenido a partir de la interpolación lineal de la altura que alcanza el agua en las secciones) y un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la llanura de inundación (obtenido a partir de la cartografía topográfica). Los tres mapas (T = 10, 100 y 500 años) han sido sumados para obtener el mapa de peligro de inundación (a escala 1:5.000).

El peligro natural múltiple ha sido definido combinando de manera cualitativa los tres mapas de peligro individual generados previamente: movimientos de ladera, incendios

forestales e inundaciones. En la combinación cualitativa que se propone se da un mayor peso al peligro de inundación. Previamente a dicha combinación, ha sido necesario realizar una generalización de la escala del mapa de peligro de inundación (paso de escala local a escala comarcal) y una reclasificación de sus valores de peligro.

Todas las metodologías mencionadas se describen de manera pormenorizada en el trabajo de uno de los autores de este artículo (ETXEBERRIA, 2004).

Características de la zona

Con el fin de probar la metodología que se propone, ésta ha sido aplicada en una zona concreta del territorio histórico de Gipuzkoa. La zona elegida pertenece al valle de Oiartzun (Fig. 1): el estudio se ha limitado a las partes media y alta del valle, se ha excluido la concentración urbana de Rentería. Se ha elegido esta zona por su variedad en cuanto al relieve, la vegetación, la geología y la ocupación humana. Además constituye una zona en la que se han llevado a cabo pocos estudios relacionados con los peligros naturales.

El valle de Oiartzun se sitúa en el NE de Gipuzkoa y está formado por los territorios regados por el río principal que da nombre al valle y sus afluentes. El río Oiartzun nace en el macizo de Aiako Harria y desemboca en el Mar Cantábrico.

El valle de Oiartzun está situado en la principal zona climática del territorio de Gipuzkoa: la zona de clima oceánico. Sus inviernos son, por tanto, poco fríos y los veranos suaves. La precipitación está presente durante prácticamente todo el año, llegándose a superar los 2.000 mm/año en la cabecera del valle.

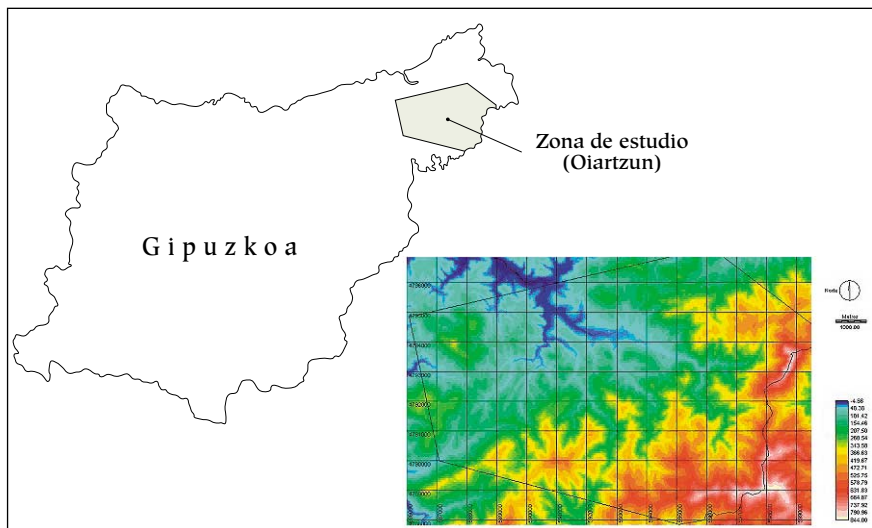


Figura 1.- Localización de la zona de estudio y Modelo Digital de Elevaciones.

Figure 1.- Location of the study zone and Digital Elevation Model.

La cabecera del río Oiartzun se desarrolla sobre los materiales graníticos de Aiako Harria, presentando unas pendientes elevadas y unos valles encajados en forma de uve. En el curso medio-bajo, el río discurre sobre materiales fundamentalmente detríticos del Cretácico, suavizándose las pendientes y creándose una llanura de inundación.

Desde el punto de vista litológico, en la zona de estudio pueden diferenciarse dos zonas principales: la parte alta del valle, formada por pizarras paleozoicas y materiales graníticos del macizo de Aiako Harria, y la parte baja, desarrollada sobre materiales de diferentes eras.

Las zonas altas del valle se encuentran cubiertas por robledales, hayedos, plantaciones de coníferas, matorrales (argoma, brezo y helecho) y pastos, mientras que los prados ocupan mayoritariamente el fondo del valle. La ocupación humana es relativamente importante en la parte baja del valle, bajo la forma de núcleos rurales (los diferentes barrios del municipio de Oiartzun) y polígonos industriales a lo largo del río Oiartzun y sus afluentes principales.

La zona de estudio no ha resultado especialmente afectada por fenómenos naturales catastróficos en el pasado. Su localización geográfica no favorece la existencia de fenómenos meteorológicos extremos. La precipitación es el único fenómeno que ha alcanzado una magnitud excesiva, habiendo ocasionado inundaciones importantes en el propio municipio de Oiartzun y, sobre todo, en el de Rentería (junio y octubre de 1933 y agosto de 1954, especialmente). La precipitación excesiva también ha provocado, en el pasado, deslizamientos de ladera de dimensiones reducidas. Debe mencionarse además el terremoto de intensidad V que tuvo lugar en el valle en 1854, sin producir víctimas ni daños significativos.

En la zona de estudio, han tenido lugar, en el pasado, diversos movimientos de ladera cuyas cicatrices de despegue se encuentran cartografiadas en el Mapa de Geomorfología incluido en el Estudio Geomorfológico y Edafológico de Guipúzcoa (COMPAÑÍA GENERAL DE SONDEOS, 1989). Estos movimientos (un total de quince) se localizan, en general, sobre arcillas, pizarras, areniscas, calizas impuras y calcarenitas, en laderas de pendiente de entre un 30 y un 70% (se han observado también deslizamientos en laderas de menor pendiente). Los movimientos ocurrieron mayoritariamente en laderas cubiertas por vegetación de porte arbustivo (brezal, etc.), herbáceo (lastonar, prados, etc.) y en áreas de repoblaciones forestales. En las laderas graníticas de Aiako Harria hay asimismo varios desprendimientos bastante antiguos.

El valle no ha resultado especialmente afectado por los incendios forestales, en comparación con áreas cercanas (como algunos de los montes próximos a San Sebastián: Jaizkibel e Igeldo, por ejemplo). Sin embargo, existen algunas zonas, como el collado de Uzpuru (término municipal de Oiartzun), y las áreas del fuerte de San Marcos y Txoritokieta (término municipal de Rentería), entre otras, que son castigadas cíclicamente por incendios.

Estos incendios son normalmente originados por acciones humanas negligentes o intencionadas, y se ven favorecidos por la presencia de combustibles como pinares de repo-

blación (y su sotobosque) y matorrales. Las áreas mencionadas incluyen carreteras y caminos visitados con frecuencia por excursionistas y vehículos (son, por tanto, áreas de inicio del fuego), y además se trata de zonas de pendiente apreciable y que se encuentran expuestas a los vientos (lo que favorece la propagación del fuego).

Las inundaciones fluviales provocadas por el desbordamiento del río Oiartzun constituyen el fenómeno de origen natural más frecuente y dañino que, históricamente, ha sufrido el valle. Las márgenes del río Oiartzun, desde Ergoien hasta su desembocadura, están catalogadas como zonas de riesgo histórico medio en los estudios de inundaciones realizados durante los últimos años (DEPARTAMENTO DE INTERIOR DEL GOBIERNO VASCO, 1999).

Los principales eventos de la primera mitad del siglo XX ocurrieron en junio de 1933 (con el resultado de un fallecido y cuatro millones de pesetas, de las de entonces, de pérdidas económicas) y en octubre de ese mismo año (pérdidas por un valor de cuatro millones de pesetas).

Las inundaciones de octubre de 1953 y agosto de 1954 hicieron que en 1954 se iniciara el encauzamiento de varios tramos del río; en 1956 se procedió al dragado del río. Desde entonces no se han producido eventos catastróficos; este hecho puede ser debido además a que no ha habido lluvias torrenciales en el valle.

Aplicación de la metodología

Para llevar a cabo la aplicación de la metodología descrita, se ha necesitado un número bastante elevado de datos. Al igual que en el resto de Gipuzkoa, muchos de estos datos están disponibles en formato vectorial a escala 1:25.000 (topografía, vegetación, geología, suelos, geomorfología, hidrografía, etc.) y a escala 1:5.000 (topografía). Se cuenta asimismo con el MDE de Guipúzcoa (tamaño de píxel de 20 x 20 m) y con diversos datos alfanuméricos procedentes de estudios e informes (recomendaciones acerca de precipitaciones de diseño, datos estadísticos acerca de la dirección y la velocidad del viento, etc.). Para completar la información de que se disponía, se ha llevado a cabo un trabajo de campo para definir geoméricamente el cauce y las márgenes del río Oiartzun.

La información vectorial ha sido sometida a un proceso de limpieza, se han generado topologías de tipo poligonal y se ha creado una base de datos asociada a dichos mapas. Para ello se ha empleado un SIG vectorial (AutoCAD Map) y todos los mapas han sido convertidos a formato *raster*.

La mayor parte de los cálculos han sido realizados en el seno de un SIG *raster* (Idrisi), empleándose para ello algoritmos diseñados específicamente con ese objetivo (pueden destacarse, entre otros, la simulación de la propagación de los incendios y el cálculo de la escorrentía superficial). Se ha empleado también un programa de CAD (AutoCAD) para extraer las secciones transversales de la llanura de inundación del río Oiartzun. El modelado hidrológico se ha llevado a cabo con el programa HEC-HMS y el hidráulico con HEC-

RAS. Se ha utilizado asimismo un programa de modelado de superficies para generar los mapas de la lámina de agua.

Se han aplicado las metodologías propuestas y se han obtenido los mapas que representan la susceptibilidad o la probabilidad de cada uno de los fenómenos naturales considerados y la combinación de los tres, además de numerosos mapas de interés.

RESULTADOS

Peligro de movimientos de ladera

El valle de Oiartzun no constituye una zona de elevado peligro de movimientos de ladera, en el marco del modelo de peligro empleado. Los datos existentes parecen confirmar esta afirmación, ya que en el área de estudio se localiza un número relativamente reducido de movimientos en masa (los quince ya mencionados en un apartado anterior), principalmente deslizamientos.

Los resultados ofrecidos por el modelo son coherentes con las características de dichos eventos históricos. La mayor parte de las cicatrices de despegue cartografiadas se localizan en áreas de peligro alto o muy alto (9 de 15 deslizamientos), dos deslizamientos se sitúan en zonas de peligro medio, cuatro en áreas de peligro bajo y ninguna en zonas de peligro muy bajo.

Los deslizamientos localizados en áreas de bajo peligro se corresponden con laderas de pequeña pendiente sobre litologías estables (calizas impuras y calcarenitas) y un uso del suelo de tipo agrícola, y con laderas de pendiente moderada sobre litologías de estabilidad alta (areniscas) o moderada (pizarras), cubiertas por robledales o matorrales (brezal-argomal-helechal).

El modelo empleado ha permitido localizar aquellas zonas que poseen una susceptibilidad alta de movimientos de ladera (Fig. 2). Puede apreciarse que las áreas con un peligro muy alto se distribuyen por todo el valle, sin llegar a afectar a grandes extensiones.

Cabe destacar varias zonas que tienen un peligro alto o muy alto: las situadas entre el barrio de Ergoien, Aiako Harria y Aritxulegi, que se asientan sobre areniscas, pizarras, arcillas y granito; varias laderas situadas entre los barrios de Altzibar, Ergoien y Karrika, sobre margas, pizarras, areniscas y arcillas; diversas áreas localizadas en el monte Bunaundi, Artxipi y Santiagomendi, sobre materiales calcáreos. En la parte meridional del valle existen varias zonas sobre pizarras y margas. Finalmente, pueden mencionarse varias laderas situadas hacia el municipio de Irún (norte del mapa) sobre arcillas y areniscas.

Las laderas mencionadas tienen, en su mayor parte, una pendiente apreciable (por encima del 30%) y se encuentran cubiertas por vegetación de porte herbáceo y repoblaciones de coníferas.

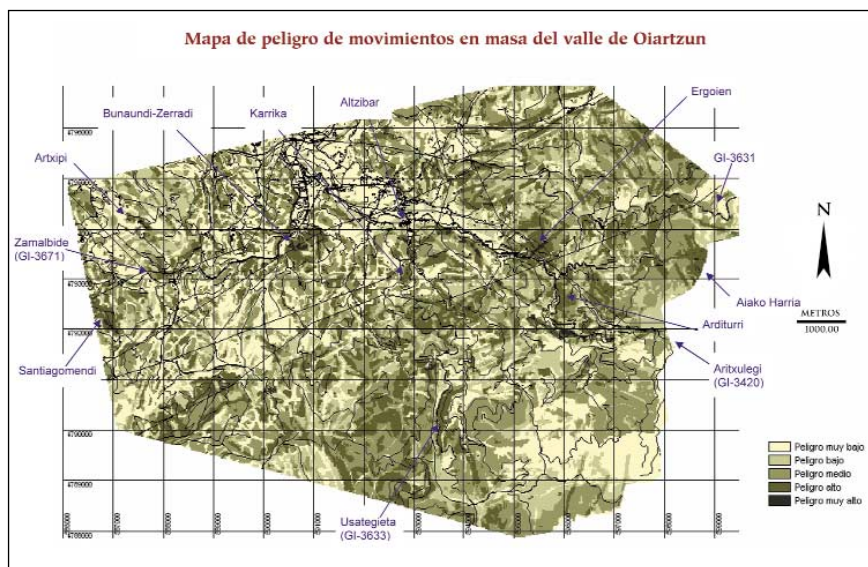


Figura 2.- Mapa de peligro de movimientos de ladera del valle de Oiartzun.

Figure 2.- Slope movement hazard map of the valley of Oiartzun.

Los posibles movimientos afectarían, directamente o por alcance, a diferentes carreteras comarcales: varios tramos de la GI-3631 (subida al Castillo del Inglés), buena parte de la GI-3420 (subida a Aritxulegi), la GI-3633 entre el barrio de Karrika y Usategieta, y la GI-3671 en Zamalvide. Además podría verse afectado el bidegorri, en el tramo entre el barrio de Ergoien y Arditurri. El polígono industrial Zerradi (barrio de Ugaldetxo) también podría verse afectado si ocurriera algún deslizamiento en el monte Bunaundi.

Peligro de incendios forestales

El territorio estudiado posee, en términos generales, un peligro de incendios forestales de moderado a alto, si se excluyen las zonas bajas del valle (Fig. 3). Las zonas peligrosas más extensas son las áreas de colinas y montañas del este y sur del valle, cubiertas por repoblaciones de coníferas, robledales y matorrales. Se trata además de zonas cruzadas por carreteras y caminos o cercanas a dichas vías de comunicación.

Los resultados obtenidos, una vez aplicada la metodología propuesta, son coherentes con la historia de los incendios en el valle. Estos han tenido lugar en las zonas medias y altas del valle, en zonas cubiertas por vegetación de considerable inflamabilidad y combustibilidad y de relativamente fácil acceso humano. Ya se han mencionado, anteriormente, el collado de Uzperu y el área del fuerte de San Marcos y Txoritokieta. En los tres casos el peligro predicho es alto o muy alto.

En lo que se refiere al inicio del fuego, las áreas más peligrosas son los márgenes de las carreteras comarcales GI-3631 (subida al Castillo del Inglés), GI-3420 (subida a Aritxulegi)

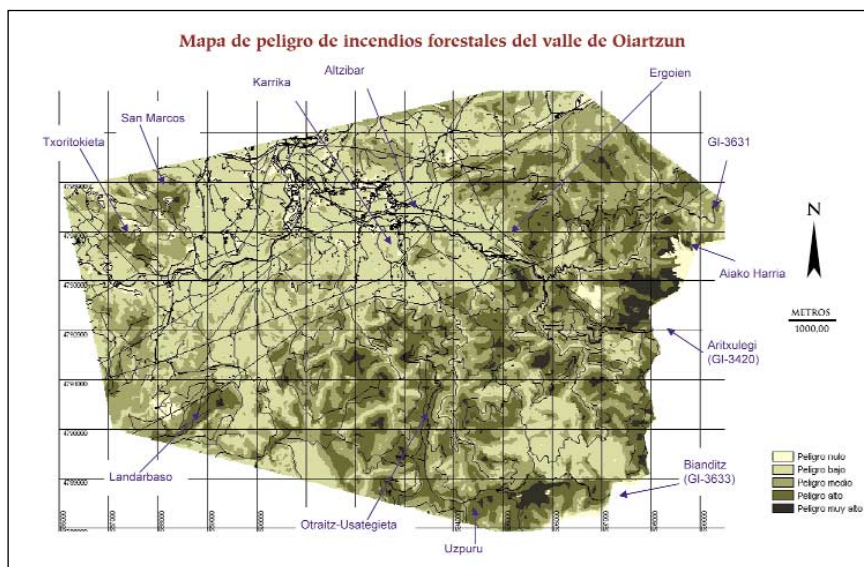


Figura 3.- Mapa de peligro de incendios forestales del valle de Oiartzun.

Figure 3.- Forest fire hazard map of the valley of Oiartzun.

y GI-3633 (Karrika-Bianditz), y las márgenes de varios caminos de la parte sur del valle, que atraviesan áreas de brezales, robledales y repoblaciones de coníferas.

En cuanto al peligro de resultar afectado por un incendio, el mayor peligro se localiza en la cabecera del valle. Se trata de áreas cubiertas por repoblaciones forestales, robledales y matorral situadas en laderas con una pendiente media o alta, y no muy alejadas de carreteras y caminos. Es decir, áreas cercanas a puntos probables de inicio del fuego y en las que éste puede propagarse fácilmente.

Cabe destacar, a este respecto, varias laderas cubiertas por repoblaciones de coníferas, situadas entre el barrio de Ergoien, Aritxulegi-Aiako Harria e Irún. Más al sur existen varias áreas situadas entre los collados de Aritxulegi y Bianditz, en las que existen robledales y plantaciones forestales. También destacan por su peligro, diferentes bosques de repoblaciones de coníferas (área de Otraitz-Usategieta) en la parte central-meridional del valle, y las laderas más meridionales del área de estudio, situadas entre Uzpuru y el collado de Bianditz, cubiertas por matorrales y repoblaciones de coníferas. Ya se han mencionado las áreas de San Marcos y Txoritokieta, en la parte occidental del valle, cubiertas por robledales, brezo-argoma y plantaciones de coníferas. Con el mismo tipo de vegetación puede destacarse, finalmente, el área de Landarbaso, en la esquina sur-oeste de la zona de trabajo.

Las áreas citadas pertenecen en su totalidad a la parte rural del valle, y, por tanto, su ocupación humana es muy reducida. De hecho, no existe ninguna concentración de edificios en áreas de peligro alto o muy alto; únicamente puede observarse algún caserío aislado en dichas áreas. Sí existen, sin embargo, varias carreteras y caminos que pueden verse

afectados por incendios: la carretera que sube al Castillo del Inglés (GI-3631), la GI-3420 en las cercanías de Aritxulegi, y la GI-3633 en el área de Otraitz-Usategieta y entre Uzpuru y Bianditz.

El daño que los incendios pueden ocasionar directamente sobre las infraestructuras es bastante reducido, sin embargo, el daño ambiental (flora, fauna, suelo, aire) y el económico (explotaciones forestales) pueden ser muy elevados. De hecho, según el estudio realizado, las áreas peligrosas de mayor extensión se encuentran dentro del Parque Natural de Aiako Harria.

Peligro de inundaciones fluviales

En lo que se refiere a las inundaciones, el valle se vería afectado, lógicamente, en sus zonas más bajas (Fig. 4). En algunos de estos lugares el peligro puede llegar a ser muy alto (período de retorno de 10 años o probabilidad del 10% en un año): las márgenes del río Oiartzun desde Ergoien hasta el paso bajo la autopista A-8 y las márgenes de algunos tramos de sus afluentes principales (Urdanitibar y Karrika).

No existen datos significativos acerca de la extensión que han alcanzado las inundaciones en el pasado, ya que el río, afortunadamente, no se ha desbordado en los últimos tiempos. Sí se han podido manejar datos acerca de los caudales máximos medidos en la estación de aforos situada aguas arriba del paso del río bajo la autopista A-8 (pocos metros aguas arriba del punto de drenaje utilizado en este trabajo). Estos caudales tienen su origen en tormentas con períodos de retorno por debajo de los 10 años.

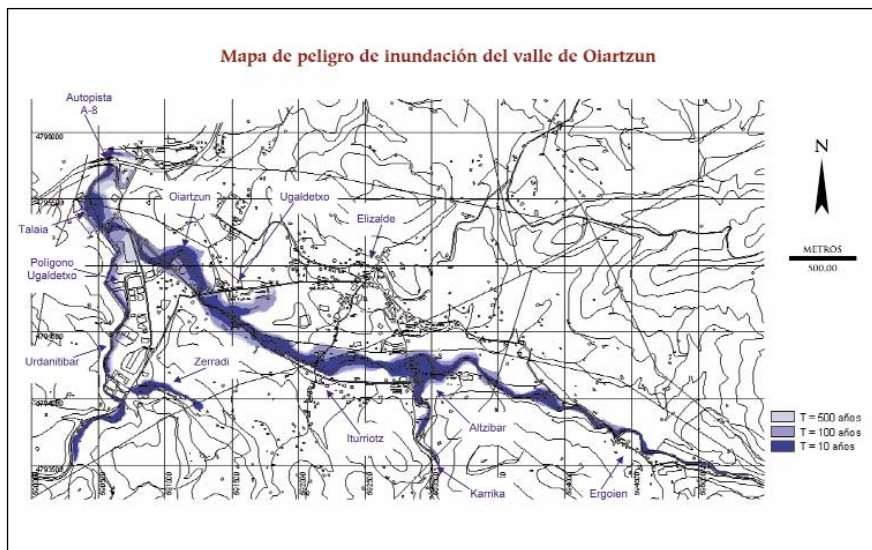


Figura 4.- Mapa de peligro de inundaciones del valle de Oiartzun.

Figure 4.- Flood hazard map of the valley of Oiartzun.

No se ha podido llevar a cabo una calibración completa debido a que las tormentas empleadas tienen una distribución temporal asimétrica, en las que se suceden picos de gran intensidad de lluvia (pocos minutos de duración) e intervalos de precipitación reducida. Estas tormentas producen de esta manera unos caudales máximos mayores que los que ofrece el modelo propuesto (grandes tormentas simétricas y con intervalos del orden de dos horas de lluvia uniforme).

Se han utilizado dos tormentas recientes que no llegaron a producir un desbordamiento del río: la tormenta de los días 4 y 5 de mayo de 2001 (con una precipitación de entre 80 y 110 mm en 24 horas, a lo largo del valle) y la de los días 25 y 26 de agosto de 2002 (entre 65 y 135 mm en 24 horas).

Se han introducido los datos de precipitación medidos en las estaciones meteorológicas situadas en el área de trabajo (cinco en total) y se ha ejecutado el modelo hidrológico (con una resolución temporal de una hora), obteniéndose unos caudales máximos que, una vez comparados con los medidos, aconsejan emplear unas condiciones de humedad alta (condición III) en la conversión precipitación-escorrentía del método del SCS. Los caudales máximos instantáneos utilizados en el punto en el que el río Oiartzun pasa bajo la autopista A-8 son (en m^3/s): 269,77 ($T = 10$ años), 482,85 ($T = 100$) y 642,98 ($T = 500$).

Tras aplicar la metodología propuesta (con períodos de retorno de 10, 100 y 500 años), en los mapas de peligro generados pueden observarse varias áreas que pueden resultar inundadas con diferentes probabilidades. Algunas de estas áreas corresponden a polígonos industrio-comerciales, y otras, a barrios residenciales del municipio de Oiartzun.

Cabe destacar el barrio de Alzibar, situado en la confluencia del arroyo Karrika y el río Oiartzun, que puede verse afectado por inundaciones producidas por tormentas con una probabilidad del 10% (período de retorno de 10 años).

Otras zonas de especial peligro son las partes bajas de los barrios de Iturriotz y Ugaldetxo, y varios polígonos industriales y comerciales: el de Talaia, en el barrio de Arragua, y los de Ugaldetxo y Zerradi (en el barrio de Ugaldetxo).

Peligro natural múltiple

Una vez calculados los tres mapas de peligro (movimientos de ladera, incendios forestales e inundaciones fluviales), el mapa de peligro de inundación ha sido sometido a un proceso de generalización y reclasificación. Tras superponer, a la misma escala (comarcal), los tres mapas de peligro individual se ha obtenido el mapa de peligro natural múltiple (Fig. 5).

En la zona estudiada no existe ninguna área en la que se dé un peligro “Alto” o “Muy alto” de los tres fenómenos naturales considerados. Este hecho es debido a dos factores interrelacionados: topográficos (pendiente) y de tipo de vegetación. La pendiente topográfica influye directamente (a mayor pendiente mayor peligro) en dos de los peligros (movimientos de ladera e incendios) y de manera inversa en el peligro de inundaciones

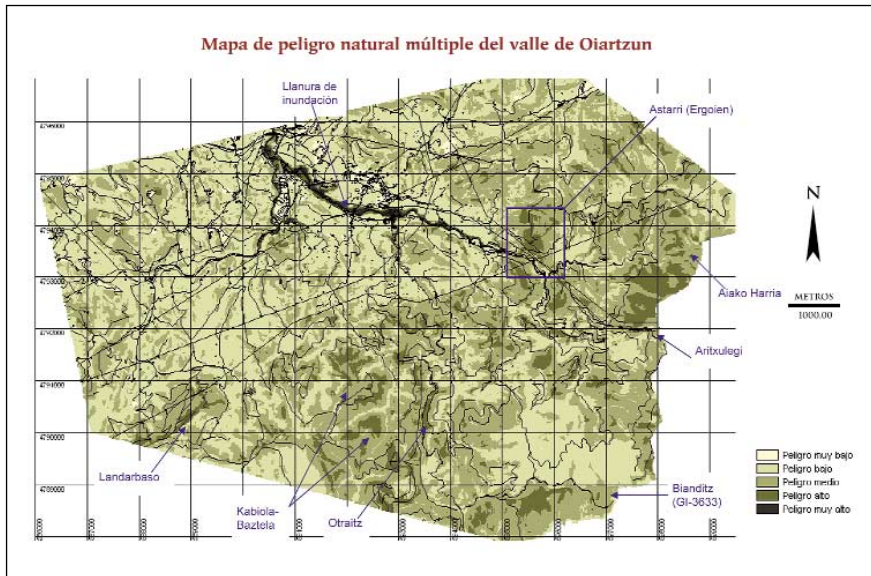


Figura 5.- Mapa de peligro natural múltiple del valle de Oiartzun.

Figure 5.- Natural multi-bazard map of the valley of Oiartzun.

(se inunda el fondo del valle, la zona de menor pendiente). La vegetación depende, entre otros factores, de diversas variables topográficas (altitud, pendiente y orientación) y de las acciones del ser humano (utilización de los fondos de los valles como áreas de cultivo y pasto, o para construcciones residenciales e industriales). De esta forma, los factores mencionados no influyen en el mismo sentido en todos los peligros: las zonas de alto peligro de inundación (fondo del valle) no tienen un peligro parejo de incendio (no existe apenas combustible) o movimientos de ladera (la pendiente es reducida).

En la zona de estudio sí coinciden grados “Muy alto” o “Alto” en dos peligros, concretamente el peligro de movimientos de ladera y el de incendios. Este hecho tiene lugar en laderas de pendiente media-alta ocupadas por repoblaciones forestales y matorrales, sobre litologías de estabilidad media o baja. Algunas de estas zonas son distintas áreas de Aiako Harria-Aritxulegi, algunas laderas del barrio Ergoien, varias áreas cruzadas por la carretera GI-3633 (Otraitz, Bianditz,...), área de Kabiola-Baztela, etc.

Cabe destacar, en este sentido, una ladera situada al NE del barrio de Ergoien (el área denominada Astari). En parte de dicha ladera se ha obtenido un peligro natural múltiple “Muy alto”, debido a la existencia de un peligro “Muy alto” tanto de movimientos de ladera como de incendios forestales. Esta ladera está cubierta por una repoblación de pinos y se asienta sobre areniscas, cuya disposición coincide con la topografía de la ladera (pendiente de 30°, ascendente hacia el NE); además una falla discurre a lo largo de ella, perpendicularmente a las curvas de nivel. La susceptibilidad al movimiento de ladera, es por tanto, muy alta.

En lo que se refiere a los incendios forestales, dada la orientación de la pendiente, el posible fuego se propagaría con rapidez ladera arriba, bajo condiciones de viento S o SW, debido a que el viento sería aproximadamente paralelo a la dirección de máxima pendiente, viéndose favorecido por la vegetación existente. Todos estos factores hacen que aproximadamente una hectárea perteneciente a la ladera posea un peligro muy alto de los dos fenómenos naturales mencionados.

Dado que la estabilidad de una ladera depende, entre otros factores, de la vegetación, si ocurriera un incendio en alguna de las áreas en las que el peligro de movimientos de ladera y de incendios es alto, dicho elemento resistente sería eliminado, y, en consecuencia, el peligro de deslizamiento de la ladera aumentaría considerablemente. Este hecho debe, por tanto, tenerse en cuenta en los posibles planes de prevención de los incendios forestales.

El mapa de peligro múltiple natural ha sido obtenido a partir de una ponderación favorable al peligro de inundaciones (éste constituye el fenómeno de mayor extensión por evento, y el que más daños ocasiona). En consecuencia, otras áreas de peligro natural múltiple "Muy alto" son las que se inundarían con una probabilidad anual del 10% (retorno de 10 años). Se encuentran en peligro "Alto" las áreas que tienen una probabilidad anual de inundación del 1% (retorno de 100 años), y las áreas, ya citadas, en las que coincide una alta susceptibilidad a los movimientos de ladera y a los incendios.

BIBLIOGRAFÍA

- COMPAÑÍA GENERAL DE SONDEOS 1989. *Estudio geomorfológico y edafológico de Guipúzcoa*. Estudio para la Diputación Foral de Gipuzkoa.
- DEPARTAMENTO DE INTERIOR DEL GOBIERNO VASCO 1999. *Plan Especial de Emergencias ante el Riesgo de Inundaciones de la Comunidad Autónoma del País Vasco (PERI)*. Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz.
- EDESO, J.M., P. MARAURI & A. MERINO. 1995. Aplicaciones de los sistemas de información geográfica en los estudios geomorfológicos y medioambientales: el mapa sintético de riesgos potenciales y el mapa de erosión. *Lurralde*, 18: 257-291.
- ETXEBERRIA, P. 2004. *Metodología para la creación de cartografía de peligros naturales en Gipuzkoa. Aplicación al valle de Oiartzun*. Tesis doctoral. Universidad del País Vasco. Barakaldo.
- GONZÁLEZ LASTRA, J.R., J.R. DÍAZ DE TERÁN & J. GONZÁLEZ LASTRA. 1980. Ensayo de un método de predicción y cartografía de riesgos geológicos. Aplicación a los deslizamientos superficiales. *Actas de la I Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, Santander.
- IKAUR 1999. *Estudio de análisis de precipitaciones intensas, tiempos de concentración y caudales de cálculo de las cuencas del territorio histórico de Gipuzkoa*. Informe Técnico para la Diputación Foral de Gipuzkoa.

- MOPU 1987. *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. MOPU. Madrid.
- ROTHERMEL, R. C. 1972. *A mathematical model for predicting fire spread in wild land fuels*. USDA Forest Service. Ogden, Utah (Estados Unidos).
- ROTHERMEL, R. C. 1983. *How to predict the spread and intensity of forest and range fires*. USDA Forest Service. Ogden, Utah (Estados Unidos).
- SALAS, J. & E. CHUVIECO. 1992. ¿Dónde arderá el bosque? Previsión de incendios forestales mediante un SIG. *Actas del I Congreso de los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión territorial*, Madrid: 430-446.



- Fecha de recepción/Date of reception: 08/07/2005
- Fecha de aceptación/Date of acceptance: 15/10/2006