

ÍNDICE

Prólogo	15
---------------	----

TEMA 1 INTRODUCCIÓN A LOS RIESGOS GEOLÓGICOS

Resumen	17
Objetivos de aprendizaje	17
1. Introducción	19
2. Riesgos y catástrofes naturales: conceptos básicos	20
3. ¿Cómo se estudia el riesgo de los procesos naturales?	21
4. La cartografía de riesgos: una herramienta para la planificación	22
5. ¿Cómo se mitigan los riesgos?: La gestión del riesgo	23
6. El coste de los riesgos geológicos	24
Bibliografía	28

TEMA 2 PELIGROS VOLCÁNICOS

Resumen	29
Objetivos de aprendizaje	30
1. Introducción	31
2. Marco geodinámico	31
3. Propiedades físico-químicas de los magmas	33
4. Mecanismos eruptivos	34
5. Productos de la actividad volcánica	38
6. Formas y estructuras de la actividad volcánica	41
7. Cartografía, vigilancia y predicción de los peligros volcánicos	44
8. Mitigación de los riesgos volcánicos	47
9. Beneficios de la actividad volcánica	49
10. Peligrosidad volcánica en Canarias	50
11. Incidencia en las Islas Canarias de algunas de sus erupciones históricas	53
11.1. La erupción de 1971 en La Palma	53
11.2. La erupción de Lanzarote de 1730-1736	53
11.3. La erupción de La Palma de 1949	53
11.4. La erupción submarina de El Hierro de 2011-2012	54
Bibliografía	55

TEMA 3
PELIGROSIDAD Y RIESGO SÍSMICO: LOS TERREMOTOS

Resumen	57
Objetivos de aprendizaje	58
1. Introducción	59
2. Geografía sísmica y distribución global de los terremotos	60
2.1. Geografía sísmica: límites de placa y tipos de fallas	60
2.2. Sismicidad asociada a los límites de placa	62
2.3. Sismicidad intraplaca e interiores continentales	63
3. Origen, elementos y parámetros focales de los terremotos	64
3.1. Origen y elementos de los terremotos	64
3.2. Parámetros focales de los terremotos y ondas sísmicas	68
4. El tamaño de los terremotos: Escalas de Magnitudes e Intensidades	72
4.1. Magnitud y escalas de magnitudes	72
4.2. La Escala Momento-Magnitud (M_w)	75
4.3. La fuerza destructiva de los terremotos: Escalas de Intensidades	77
5. El movimiento del terreno durante los terremotos	80
5.1. Distribución de intensidades	81
5.2. Mapas de intensidades y de peligrosidad sísmica	86
5.3. Aceleración del terreno y Normas Sísmoresistentes	89
6. Los efectos de los terremotos sobre las construcciones	90
7. Los efectos de los terremotos sobre el terreno	92
7.1. Desplazamientos superficiales cosísmicos (Dsc)	92
7.2. Fallas Activas y Fallas Capaces	94
7.3. Efectos geológicos secundarios de los terremotos (EEEs)	95
7.4. Valoración del movimiento del terreno en la Escala ESI-07	98
7.5. Otros efectos secundarios de los terremotos	100
8. Paleosismología y Arqueosismología	101
8.1. Paleosismología	101
8.2. Arqueosismología	106
9. Sismicidad inducida por la actividad humana	109
10. Predicción, prevención, mitigación y adaptación al riesgo sísmico	110
10.1. Predicción sísmica	110
10.2. Prevención y mitigación del riesgo sísmico	111
10.3. Adaptación y educación ante el riesgo sísmico	112
11. Sismicidad y Riesgo Sísmico en España	112
Bibliografía	117

TEMA 4
RIESGOS POR AVENIDAS E INUNDACIONES

Resumen	119
Objetivos de aprendizaje	120

1. Introducción a la problemática de las inundaciones	121
2. Tipología de inundaciones	123
3. Fundamentos de hidrología de superficie	125
3.1. Hidrología y parámetros hidrometeorológicos	125
3.1.1. Precipitación	125
3.1.2. Evapotranspiración	126
3.1.3. Escorrentía	126
3.2. Estudio de caudales de cuencas fluviales	127
4. Métodos de análisis de la peligrosidad	130
4.1. Métodos hidrológico-hidráulicos	131
4.1.1. Métodos hidrológicos	132
4.1.2. Métodos hidráulicos	134
4.2. Métodos histórico-documentales	136
4.3. Métodos geomorfológicos	138
4.4. Métodos paleohidrológicos	140
5. Evaluación del riesgo por inundaciones	143
6. Medidas de mitigación del riesgo por avenidas e inundaciones	144
6.1. La ordenación del territorio como medida preventiva del riesgo por inundaciones ..	144
6.2. La «limpieza de cauces» como medida preventiva de inundaciones	147
Bibliografía	152

TEMA 5

MOVIMIENTOS DE LADERA

Resumen	153
Objetivos de aprendizaje	154
1. Introducción	155
2. ¿Qué es un movimiento de ladera?	155
3. Mecánica de los movimientos de ladera	156
4. Factores condicionantes de movimientos de ladera	157
4.1. Relieve	157
4.2. Características litológicas y sedimentológicas	159
4.3. Estructura	159
4.4. Características hidrogeológicas	159
4.5. Vegetación	159
4.6. Geomorfología	160
4.7. Clima	160
5. Factores desencadenantes de los movimientos de ladera	160
5.1. Actividad sísmica	160
5.2. Vulcanismo	160
5.3. Precipitaciones	161
5.4. Actividad antrópica	161
5.5. Deformación tectónica	162

5.6. Procesos de meteorización, erosión, inundación y sedimentación	162
6. Clasificación de los movimientos de ladera	163
6.1. Criterios de clasificación	163
6.1.1. Tipos de mecanismos de los movimientos de ladera	163
6.1.2. Tipos de materiales involucrados en los movimientos de ladera	164
6.1.3. Velocidad de los movimientos de ladera	164
6.2. Tipos de movimientos de ladera	164
6.2.1. Desprendimientos (caídas, derrumbes, <i>falls</i>)	164
6.2.2. Vuelcos (<i>toppling, topples</i>)	164
6.2.3. Deslizamientos (<i>landslides, slides</i>)	168
6.2.4. Extensiones laterales (<i>spreading, lateral spreads</i>)	168
6.2.5. Flujos (<i>flows</i>)	170
6.2.6. Movimientos complejos (<i>complex movements</i>)	174
6.2.7. Movimientos sin rotura o previos a la rotura	176
7. Prevención y mitigación	177
7.1. Factores que contribuyen a la vulnerabilidad	178
7.2. Efectos Adversos	179
7.3. Medidas de reducción del riesgo	179
7.4. Medidas específicas de preparación	180
8. Cartografías de riesgos de movimientos de ladera	181
8.1. Tipos de cartografías	181
8.1.1. Escalas	182
8.2. Cartografía de susceptibilidad de movimientos de ladera	182
9. Aludes	186
9.1. Concepto y definición de alud	186
9.2. Clasificación de aludes	186
9.2.1. Aludes de nieve reciente	187
9.2.2. Aludes de placas de nieve	188
9.2.3. Aludes de nieve húmeda	189
9.2.4. Desprendimientos de cornisas	189
9.3. Prevención y mitigación	189
9.3.1. Peligrosidad temporal	190
9.3.2. Peligrosidad espacial	190
9.3.3. Medidas de mitigación	190
Bibliografía	192

TEMA 6
RIESGOS COSTEROS

Resumen	195
Objetivos de aprendizaje	196
1. Introducción	197

2. Riesgos costeros	198
3. Riesgo por erosión costera	199
3.1. Las playas como elemento protector del litoral	200
3.1.1. Zonación de la playa	200
3.1.2. Equilibrio estacional en las playas	200
3.2. Balance sedimentario en el litoral	202
3.2.1. Modificación antrópica del balance sedimentario	202
3.3. Caso de estudio: Golfo de Cádiz. Alternancia acreción/retroceso	204
3.4. Estrategias de defensa frente a la erosión costera	206
3.4.1. Soluciones duras o grises	206
3.4.2. Soluciones blandas o verdes	208
3.4.3. Planificación costera	209
4. Riesgo por inundación costera	210
4.1. Causas de los cambios del nivel del mar	211
4.1.1. Cambios en el volumen del agua	211
4.1.2. Cambios en el volumen de las cuencas oceánicas	213
4.1.3. Cambios en la superficie dinámica del mar	214
4.2. Registro de los cambios del nivel del mar	215
4.2.1. Registros instrumentales	215
4.2.2. Registros biológicos	215
4.2.3. Registros arqueológicos	216
4.2.4. Registros geológicos-geomorfológicos	216
4.3. Estimaciones futuras de los cambios del nivel del mar	219
4.4. Estrategias de defensa frente a una subida del nivel del mar	219
4.4.1. Estrategias de retroceso	219
4.4.2. Estrategias de acomodación	220
4.4.3. Estrategias de protección	220
5. Cartografía de Riesgos Costeros	220
5.1. Mapas de peligrosidad	221
5.1.1. Factores que influyen en la peligrosidad por erosión	221
5.1.2. Factores que influyen en la peligrosidad por inundación ligada a una subida del nivel del mar	221
5.2. Mapas de vulnerabilidad	221
5.3. Mapas de exposición	223
Bibliografía	225

TEMA 7

TSUNAMIS

Resumen	227
Objetivos de aprendizaje	227
1. Introducción	229
2. ¿Qué es un tsunami?	229

3. Causas de un tsunami y su propagación	231
3.1. Dimensiones de un tsunami	233
4. Caracterización de los tsunamis: Escalas de magnitud e intensidad	233
5. Medidas de prevención	235
5.1. Sistemas de control y vigilancia de tsunamis	235
5.1.1. El sistema de detección DART	237
5.1.2. Los sistemas de alerta en España	237
5.2. Planificación previa y medidas de protección	239
6. Registro geológico de tsunamis	239
7. El riesgo de tsunami en la Península Ibérica	241
Bibliografía	244

TEMA 8

RIESGO EN ZONAS KÁRSTICAS

Resumen	245
Objetivos de aprendizaje	245
1. Introducción	247
2. Las dolinas. Procesos genéticos y características	252
3. Factores de control e influencia de la actividad humana	259
4. Cartografía y caracterización de dolinas	263
5. Evaluaciones de peligrosidad y riesgo de dolinas	267
6. La mitigación del riesgo de dolinas	270
Bibliografía	274

TEMA 9

SUBSIDENCIA DEL TERRENO

Resumen	277
Objetivos de aprendizaje	278
1. Introducción	279
2. Tipos y mecanismo	279
3. Control y monitorización de la subsidencia del terreno	284
3.1. Métodos topográficos	284
3.2. Métodos geodésicos	285
3.3. Métodos de teledetección	285
3.3.1. Laser Scanner Aerotransportado (LIDAR)	285
3.3.2. Interferometría radar (InSAR).....	285
3.4. Métodos de instrumentales	286
3.4.1. Métodos de medida de apertura de grietas y fisuras	286
3.4.2. Métodos de medida de deformaciones en superficie y en profundidad	286

3.4.3. Estudio comparativo entre las diferentes técnicas de medida de deformaciones	290
4. Efectos de la subsidencia	290
4.1. Aumento de la inundabilidad y pérdida de zonas costeras	294
4.2. Aparición de grietas en el terreno	294
4.2.1. Cartografía de grietas.....	295
4.3. Daños en edificios e infraestructuras	296
5. Gestión del riesgo por subsidencia	298
Bibliografía	300
Glosario	303

1. INTRODUCCIÓN A LOS RIESGOS GEOLÓGICOS

Javier Lario

Facultad de Ciencias, UNED

Teresa Bardají

Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente, Universidad de Alcalá

Resumen

Los procesos geológicos que poco a poco han ido configurando la superficie de la Tierra, a menudo suponen peligros o amenazas para el ser humano, pudiendo llegar a causar importantes pérdidas económicas y de vidas, pasando a ser riesgos, desastres y/o catástrofes, en función de sus dimensiones. La evaluación de los riesgos geológicos debe realizarse, por tanto, en función de las características del fenómeno natural causante de daño (peligrosidad), la fragilidad del medio medida según la cantidad de daños esperable (vulnerabilidad) y de la cantidad de bienes materiales y humanos expuestos. La defensa frente a estos fenómenos incluye la predicción, previsión y prevención de fenómenos de riesgo. Dentro de estas últimas se consideran todas aquellas medidas modificadoras de alguno de los factores de riesgo (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad) que a su vez son función del tipo de riesgo al que nos enfrentemos. La cartografía de riesgos constituye una de las herramientas básicas para la correcta planificación del territorio como principal medida de defensa ante los riesgos geológicos y/o naturales. Todas las medidas que se apliquen para dicha defensa están encaminadas a reducir las pérdidas económicas causadas por estos fenómenos, que entre 1987 y 2013 han causado pérdidas económicas de más de 6.000 millones de euros.

Objetivos de aprendizaje

La Tierra es un sistema dinámico en el que actúan multitud de procesos ligados tanto a la geodinámica interna como a la externa. Estos procesos suponen una amenaza para el ser humano, pudiendo llegar a causar importantes pérdidas tanto económicas como de vidas, momento en el cual pasamos a considerarlos riesgos geológicos o naturales. A través de este tema de Introducción se pretende que el alumno sea capaz de:

- Entender qué es un riesgo natural y en concreto un riesgo geológico.
- Discernir entre peligro, riesgo, catástrofe y desastre.
- Comprender conceptos tales como peligrosidad, vulnerabilidad y exposición, aplicados al conocimiento de los riesgos geológicos.
- Conocer los fundamentos básicos sobre cartografía de riesgos.
- Diferenciar entre predicción, prevención y previsión de riesgos.
- Saber a grandes rasgos cuáles son las pérdidas económicas causadas por los riesgos naturales en España.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años hemos conocido en directo un conjunto de catástrofes naturales que han provocado miles de muertes en todo el planeta y daños, tanto en el medio ambiente como en bienes, por valor de billones de euros. Los desastres naturales han ocasionado en los últimos 20 años tres millones de víctimas mortales en el mundo, causando daños de alrededor de 800.000

millones de euros. Solo en España fallecen al año alrededor de 100 personas, principalmente a causa de temporales marítimos, seguidos por deslizamientos del terreno (Figura 1), aludes, inundaciones, incendios y rayos, causando pérdidas económicas anuales del orden de los 6.000 millones de euros (algo más del 0,2% de nuestro PIB).

En general las regiones más pobres del planeta son las más afectadas (tsunami de Indonesia de 2004, terremo-



Figura 1. Caída de rocas en los escarpes sobre el santuario de Nuestra Señora de La Fuencisla (Segovia), sobre la casa rectoral, en la noche del 7 de abril de 2005 (Foto: Andrés Díez).

to de Haití de 2010), dado que han desarrollado menos medios de defensa, sin bien las catástrofes ocurridas en zonas más desarrolladas (terremoto de L'Aquila de 2009, terremoto y tsunami de Japón de 2011), en países con fuertes inversiones en el control y mitigación de estas catástrofes, nos indican que los procesos naturales actúan en todo el planeta y que el control de los mismos sigue siendo un reto. En realidad, el número de desastres naturales no ha aumentado significativamente en los últimos años, pero debido al crecimiento y concentración de la población, el número de personas y bienes afectados ha aumentado progresivamente.

No es por tanto la ocurrencia de un proceso natural lo que provoca un desastre, sino la mayor o menor exposición de las poblaciones y bienes a ese proceso, o su mayor vulnerabilidad. Para valorar estos efectos hay que presentar algunos conceptos comunes en el estudio de los riesgos naturales, en el que los términos más usados son los de riesgo, peligro, desastre y catástrofe.

2. RIESGOS Y CATÁSTROFES NATURALES: CONCEPTOS BÁSICOS

Un peligro natural se podría definir como cualquier proceso natural que supone una amenaza para el ser humano. Por el contrario, un riesgo se puede definir como la materialización de dicho peligro, es decir, cualquier circunstancia de pérdida potencial de bienes materiales y/o servicios, así como de vidas humanas: indica algo que no ha ocurrido pero que si se produce tendrá consecuencias económicas y/o sociales (Regueiro, 2008). Una vez que ese riesgo tiene lugar es cuando se ocasiona un desastre o una catástrofe, según la gravedad (daños y pérdidas) del mismo, aunque no está claramente definido cuál es el grado de intensidad de daños que permite hablar de desastre o catástrofe, por lo que en nuestro caso lo usaremos indistintamente.

Por tanto, un riesgo geológico será cualquier circunstancia, proceso o efecto geológico que resulte dañino para las personas o bienes. Cuando esa situación de riesgo presenta un carácter extraordinario, obligando a la puesta en marcha de ayuda externa, decimos que se ha producido un desastre o una catástrofe, en función de la gravedad de las pérdidas que ha generado ese evento. Un desastre o catástrofe implica por tanto una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos (Olcina y Ayalá-Carcedo, 2002).

Se pueden realizar diversas clasificaciones de los tipos de riesgos geológicos, siendo lo más común agruparlos según su origen:

- *Riesgos geológicos internos o endógenos*, con origen en el interior de la Tierra: son los volcánicos y sísmicos.
- *Riesgos geológicos externos o exógenos*, con origen en la superficie terrestre o sus proximidades: movimientos de ladera, crecidas y avenidas, aludes de nieve, erosión de suelos, litorales y costeros, glaciares, periglaciares, etc.
- *Riesgos geológicos litológicos*, asociados no a un proceso geodinámico, sino a la existencia de un tipo de roca y/o mineral concreto que condiciona un comportamiento determinado: kársticos, expansividad de arcillas, radiactividad natural, radón o minerales asbestiformes, y halocinesis o diapirismo, entre otros.

También se puede hablar de riesgos geológicos inducidos, que son los riesgos geológicos que, aunque tienen origen natural, pueden ser desencadenados por la acción humana, como puede ser subsidencia, ignición de turbas, sufusión o algunos movimientos de ladera.

Al estar asociados a los procesos geológicos, esto implica que los riesgos son sucesos repetitivos y el estudio de su historia proporciona información muy necesaria para su reducción y/o mitigación. Se obtiene una mejor comprensión y una predicción más precisa de los procesos naturales combinando información histórica, arqueológica y geológica, condiciones actuales y sucesos anteriores recientes, incluyendo cambios en el uso del terreno. El impacto de un suceso peligroso es función su magnitud, es decir, de la cantidad de energía liberada, y de su frecuencia, que indica el intervalo temporal entre sucesos. En general, la frecuencia de un suceso está relacionada de manera inversa con la magnitud: los eventos pequeños son más comunes que los grandes. De este modo podemos definir el periodo de retorno como el tiempo que tarda en repetirse un proceso dado, de una magnitud determinada. Cuando su análisis se aproxima por métodos probabilísticos se denomina periodo de recurrencia.

De este modo, basándonos en la relación magnitud/frecuencia, se pueden clasificar los eventos geológicos en cuatro categorías:

- *Eventos normales*: Eventos de baja magnitud que poseen alta frecuencia, son por tanto observables a escalas temporales humanas ($< 10^2$ años). Mareas, oleaje, estiaje de los ríos, etc.
- *Eventos catastróficos*: Eventos de mayor intensidad poseen frecuencias menores, que sólo se registran en escalas temporales históricas (10^3 años) o geológicas muy recientes, como el Holoceno ($< 10^4$ años), catalogándolos como catástrofes. Grandes terremotos, grandes erupciones volcánicas, grandes inundaciones, tsunamis, etc.

- *Eventos anómalos*: Son aquellos que, saliéndose fuera del comportamiento normal de un sistema, no alcanzan la magnitud de una catástrofe. Poseerían magnitudes y frecuencias intermedias entre los eventos normales y los catastróficos. Pequeñas crecidas o inundaciones, terremotos de magnitud moderada, etc.
- *Eventos extremos*: Eventos de magnitudes extremas (muy energéticos) y de muy baja frecuencia, que constituyen los agentes desencadenantes de los cambios más importantes acaecidos sobre la superficie de la Tierra. Normalmente se registran a escala de tiempo geológico ($> 10^4$ años). Esto no implica que ninguno de estos eventos extremos haya ocurrido durante épocas históricas, periodos geológicos recientes, o que tengan lugar durante un futuro más o menos próximo.

3. ¿CÓMO SE ESTUDIA EL RIESGO DE LOS PROCESOS NATURALES?

Una vez que hemos visto que el riesgo geológico corresponde a cualquier circunstancia, proceso o efecto geológico que sea potencialmente dañino para las personas o bienes, hay que definir también otros conceptos básicos. La susceptibilidad podemos explicarla como la probabilidad de que se produzca un proceso geológico en una zona concreta, y está condicionada por las características del terreno (topografía, geología) y por su localización geográfica (meteorología, climatología). La peligrosidad vendría dada por la probabilidad de que se produzca, con consecuencias negativas, un determinado fenómeno natural de una cierta extensión, intensidad y duración. Es decir, indica la capacidad del proceso natural de causar daño, bien por su magnitud (intensidad o severidad), dimensión espacio-temporal (área afectada y durante cuánto tiempo), y/o por su frecuencia de ocurrencia (periodicidad). La vulnerabilidad estaría definida por el impacto del fenómeno sobre un determinado lugar y está relacionada con los daños que puede provocar un fenómeno en una zona en función de parámetros sociales tales como, densidad de población, diseño urbanístico, calidad y resistencia de las construcciones humanas, etc. Abarca desde el uso del territorio hasta la estructura de los edificios y construcciones, y depende estrechamente de la respuesta de la población frente al riesgo y refleja fragilidad intrínseca de los bienes o personas expuestos, esto es, en qué grado pueden verse afectados por el peligro; también puede ser social o económica, y se mide en escalas de 0 a 1, de pérdida nula a total respectivamente (Ayala-Carcedo, 2002).

La evaluación del riesgo implica el desarrollo de una metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo a través del análisis de posibles amenazas (peli-

grosidad) y la evaluación de las condiciones existentes de vulnerabilidad que conjuntamente podrían dañar potencialmente a la población, la propiedad, los servicios y los medios de sustento expuestos, al igual que el entorno del cual dependen.

De este modo, una forma usual de calcular el riesgo y de generar mapas de riesgo (análisis y evaluación del riesgo), es considerarlo como el producto de la peligrosidad por la vulnerabilidad.

Riesgo = [Peligrosidad x Vulnerabilidad] – capacidad de respuesta

Existe otro concepto que habría que añadir a esta ecuación de riesgo, es la exposición, que hace referencia a los bienes expuestos susceptibles de ser afectados por un riesgo, tales como personas, edificios, vehículos, etc. En algunos entornos científicos se incluye dentro de la vulnerabilidad y en otros es considerado como un tercer factor en el producto. La confección de mapas de riesgo requiere estimar cuantitativamente estos factores y establecer los indicadores más apropiados.

Una vez que se produce un desastre natural se pueden producir daños directos, que son los que afectan a las personas y sus bienes, y daños indirectos, que son los generados por la interrupción de obras y sistemas de producción.

De este modo, podemos concretar unas nociones fundamentales que sirven de base para el estudio de los diferentes riesgos geológicos (Keller, 2010):

- Los procesos naturales que dan lugar a fenómenos de elevada peligrosidad son predecibles a partir de su evaluación científica. Riesgos naturales como terremotos, erupciones volcánicas, desprendimientos de tierras e inundaciones son procesos naturales que pueden ser identificados y estudiados utilizando el método científico. La mayoría de los sucesos y procesos peligrosos pueden seguirse, trazarse y predecir su actividad futura basándose en la frecuencia de sucesos pasados, pautas de su incidencia y tipos de sucesos precursores.
- El análisis de los riesgos es un componente importante en la comprensión de los efectos de procesos naturales peligrosos. A los procesos naturales peligrosos se les puede aplicar un análisis de riesgos que evalúe la probabilidad de que tenga lugar un suceso y las consecuencias resultantes de ese suceso.
- Existen vínculos entre las diferentes categorías de riesgos geológicos, así como entre los riesgos, el medio físico y el uso del territorio. Los procesos naturales están interrelacionados entre ellos de muchas maneras: un terremoto puede provocar un deslizamiento y/o un tsunami; un huracán provoca con frecuencia inundaciones y erosión costera.
- Sucesos naturales peligrosos que antes producían desastres ahora producen catástrofes. La magnitud, o el tamaño, de un suceso peligroso, así como su frecuen-

cia, puede estar influenciada por la actividad humana. Como consecuencia del aumento de la población y un mal uso del terreno, sucesos que causaban desastres, o incluso no causaban ningún daño, están provocando con frecuencia catástrofes en la actualidad.

- Los efectos y consecuencias de los riesgos pueden ser mitigadas o minimizadas en base a una ordenación racional del territorio, establecida por estudios específicos. Reducir las consecuencias potencialmente adversas y los efectos de los riesgos naturales requiere un enfoque integrado que incluye conocimiento científico, planificación y regulación del uso del territorio, ingeniería y preparación previa al desastre.

4. LA CARTOGRAFÍA DE RIESGOS: UNA HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN

Como se ha indicado, una de las herramientas para el análisis de riesgos es la realización de mapas de riesgos naturales que se diferencian entre sí en el tipo de variables cuya distribución espacial representan. En general van a representar las pérdidas potenciales asociadas a un proceso naturales, tanto en coste económico como en daños personales, para un rango temporal dado. Por tanto, para la obtención de estos mapas hay que combinar los mapas de los distintos componentes del riesgo citados: peligrosidad, exposición y vulnerabilidad (Regueiro, 2008).

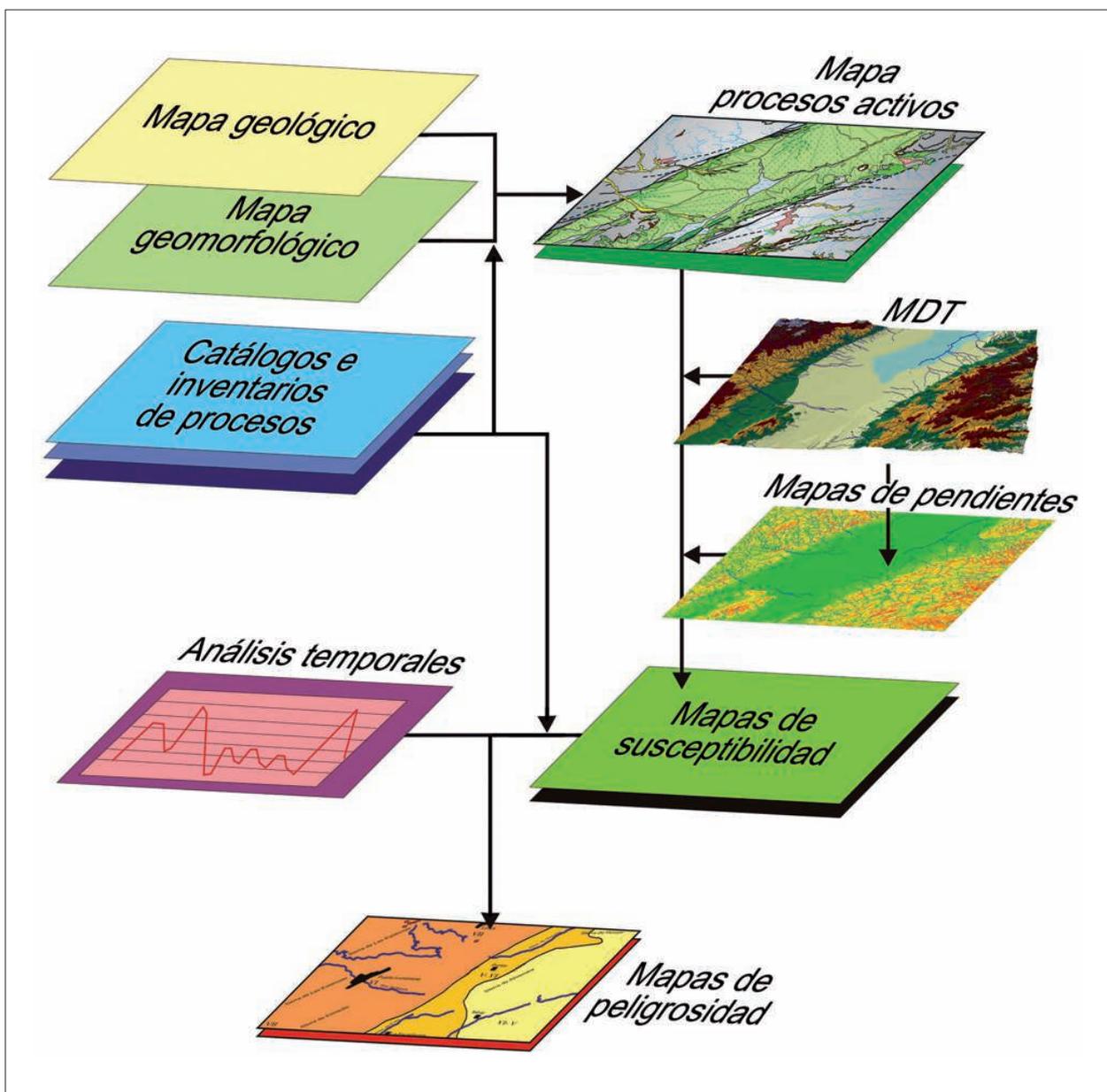


Figura 2. Metodología simplificada para la obtención de mapas de susceptibilidad y peligrosidad a partir de los mapas de procesos activos editados por el IGME. Estos se obtienen a partir de las bases geológicas y geomorfológicas en las que se implementan los datos procedentes de catálogos e inventarios de procesos naturales (elaboración: Pablo G. Silva).

Actualmente se implementan mapas de susceptibilidad, vulnerabilidad, peligrosidad y de exposición, multiparamétricos, en Sistemas de Información Geográficos (SIG), con el fin de obtener cartografías dinámicas de riesgos o escenarios probabilísticos de riesgos. Por lo general los métodos para fusionar las diferentes capas de información siguen regresiones convencionales multivariantes, regresiones logísticas o sistemas de redes neuronales (los más complejos). La zonificación de los riesgos, puede realizarse a diferentes escalas: macro, meso y micro. La macrozonación abarca por ejemplo todo un país o una comunidad autónoma. La mesozonación se realiza a escala autonómica o regional, y la microzonación normalmente a escala municipal o urbana. Para la microzonación en detalle de determinados tipos de riesgos en zonas muy urbanizadas o de topografía muy compleja han de realizarse modelos numéricos específicos. Las cartografías de riesgos son un componente básico en la ordenación y planificación territorial, especialmente de aquellas zonas situadas en ambiente potencialmente peligrosos, como pueden ser las islas o zonas volcánicas.

En España existen los mapas de procesos activos a escala 1:50.000 que edita el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) junto con la cartografía geológica y geomorfológica MAGNA. En éstos se da la distribución espacial y superficie (caso de zonas inundables) de los distintos tipos de procesos geológicos activos en un territorio. Estos mapas, que no son de peligrosidad puesto que no consideran parámetros temporales, clasifican las diferentes zonas en tres categorías de atención (baja, moderada y notable) en función de la edad o carácter histórico de las formaciones geológicas afectadas. Estos mapas sirven para elaborar mapas de susceptibilidad mediante la implementación de datos procedentes de catálogos e inventarios de procesos naturales (inundaciones, deslizamientos, terremotos, etc.). La posterior implementación de análisis temporales en los mapas de susceptibilidad genera los mapas de peligrosidad, los cuales son la base para la cartografía de riesgos (Figura 2).

En un mapa de peligrosidad se representan zonas con diferente capacidad de producir daños de un proceso natural. Para poder completar un mapa de riesgos habría que incorporar la exposición y la vulnerabilidad. Los mapas de exposición representan la distribución espacial de las personas, bienes y servicios expuestos al proceso natural. Los mapas de vulnerabilidad representan, sobre los elementos del mapa de exposición, el grado de fragilidad de cada elemento ante el proceso. Una mayor información sobre la distinta metodología para elaborar estas cartografías se puede encontrar en la *Guía metodológica para la elaboración de cartografías de riesgos naturales en España* (Regueiro, 2008) o en aplicaciones más concretas a la cartografía de riesgos por inundaciones (Díez Herrero

y Pujadas, 2002; Díez Herrero *et al.*, 2006, 2008), deslizamientos (Ayala y Corominas, 2003) o costas (Seisdedos *et al.*, 2012), entre otros.

5. ¿CÓMO SE MITIGAN LOS RIESGOS?: LA GESTIÓN DEL RIESGO

Uno de los principales intereses para la población es evitar que las situaciones potenciales de peligro se produzcan se basa en la denominada regla de las tres P: Predicción, Previsión y Prevención. La Predicción permite anunciar con fundamento científico antes de que suceda un proceso, su localización geográfica, el momento en el que se producirá y como se desarrollará el mismo. La Previsión indica la probabilidad (estadística) de producirse un proceso en sus distintos grados de intensidad. Permite anunciar los efectos que tendrá un determinado riesgo y las consecuencias frente a cada intensidad. La Prevención considera una serie de medidas que la población adoptara para disminuir al mínimo los daños, en respuesta a los dos puntos anteriores.

Basándonos en estas premisas, para evitar que las situaciones potenciales se consumen (el peligro se materialice en riesgo y éste a su vez se transforme en desastre o catástrofe), o para minimizar los efectos de los riesgos, clásicamente se han adoptado tres grandes grupos de técnicas o medidas:

- *Predictivas*, que buscan saber dónde y cuándo se va a desencadenar el desastre; serían, por ejemplo, las redes de alerta temprana con instrumental que detecta el inicio del fenómeno (radares meteorológicos, boyas oceanográficas, sismógrafos...).
- *Preventivas*, que buscan detectar dónde se suele producir, y actuar allí sobre las componentes del riesgo. Este tipo de medidas pueden estar dirigidas a modificar o mitigar la peligrosidad, la vulnerabilidad o la exposición, en función del riesgo o amenaza natural en concreto. Se suelen diferenciar entre medidas estructurales y no estructurales. Las *medidas estructurales* implican la construcción de infraestructuras físicas para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a las amenazas. Las *medidas no estructurales* incluyen cualquier medida que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor concientización pública, la capacitación, la educación o los sistemas de alarma temprana.
- *Correctoras o posdesastre*, que persiguen minimizar los efectos una vez que ha ocurrido el evento; comprenden

las actuaciones de protección civil en emergencias y los sistemas de indemnizaciones y ayudas (declaración de zonas catastróficas).

El desarrollo de una serie de medidas que permitan conocer y dimensionar todos los elementos relacionados con los riesgos para poder hacerles frente, hacerlos decrecer o, en el mejor de los casos, anularlos, es lo que implica la gestión del riesgo. Estas medidas están encaminadas a facilitar la convivencia con determinados procesos, naturales o antrópicos, cuyo desencadenamiento puede suponer una amenaza para el desarrollo normal», y «a salvo», de las actividades cotidianas de cualquier sociedad que vive en un entorno natural determinado.

La gestión del riesgo debe entenderse como una estrategia a medio y largo plazo que requiere el consenso de la sociedad, los técnicos y los políticos. Su implementación en el tiempo debe conducir de modo gradual hacia la disminución de los desastres de origen natural y, por consiguiente, a la mejora de la calidad de vida y del desarrollo socioeconómico (Puiguriger, 2009).

En el apartado 3, al indicar el cálculo del riesgo, se ha introducido el concepto de capacidad de respuesta, que implica una reducción del mismo. Esta capacidad de respuesta o de adaptación es lo que se conoce como resiliencia e indica la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad potencialmente expuestas a amenazas para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas. Se determina por el grado en el cual el sistema social es capaz de auto-organizarse para incrementar su capacidad de aprendizaje sobre desastres pasados con el fin de lograr una mejor protección futura y mejorar las medidas de reducción de riesgo de desastres (Naciones Unidas, 2012).

De este modo, la predicción y prevención constituyen las mejores medidas para mitigar, antes de que ocurran, los posibles riesgos. El análisis y la evaluación del riesgo son prerequisites fundamentales para una toma de decisión informada, para determinar los proyectos prioritarios, la planificación de medidas de reducción del riesgo de desastres y para la identificación de zonas de alto, medio y bajo riesgo, según su vulnerabilidad y la rentabilidad de las intervenciones potenciales. La evaluación del riesgo se cimienta en una base de datos bien actualizada de las pérdidas por desastres y en un Sistema de Información Geográfico que traza mapas de las amenazas, las vulnerabilidades, la exposición de la población, sus bienes y sus capacidades. Como ha indicado Naciones Unidas y la UNESCO: La reducción de los riesgos de desastre es necesaria, factible y rentable. La reducción del riesgo de desastres es una inversión, no un costo.

Con estas ideas, inmediatamente después del tsunami ocurrido en el Océano Índico en diciembre de 2004,

los gobiernos se reunieron en Kobe (Japón) en la segunda Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres Naturales. En ella aprobaron la que se conoce como Declaración de Hyogo (*Los cinco compromisos de Hyogo*), siendo conscientes de que la mejor protección para las comunidades ante los desastres naturales es conocerlos y anticiparse a ellos. Estos cinco compromisos son:

- Lograr que la reducción del riesgo de desastres sea una prioridad: Los gobiernos han de incorporar esta reducción a sus legislaciones, programas y planes y velar por la participación de las comunidades locales en la planificación.
- Conocer los riesgos y adoptar medidas: Los países han de definir y comprender los riesgos potenciales para poder elaborar sistemas de alerta temprana adaptados a las necesidades de cada comunidad.
- Fomentar la comprensión y la toma de conciencia: Los gobiernos han de facilitar información, incorporar la reducción de desastres a la educación formal e informal y velar por que el inestimable conocimiento local sobre riesgos de desastre se preserve y transmita.
- Reducir los riesgos: Los países han de poner en práctica códigos de seguridad para impedir que los terremotos arrasen escuelas, hospitales, viviendas y otros edificios; evitar el asentamiento de comunidades en zonas de riesgo, como las llanuras aluviales, y en bosques, humedales y arrecifes protegidos, que sirven de barreras naturales a las tormentas y las inundaciones.
- Estar preparados y listos para la acción: Los gobiernos y las autoridades regionales y locales han de realizar evaluaciones de riesgos; elaborar planes para situaciones imprevistas; comprobar el estado de preparación a través de actividades como los ejercicios de evacuación; y velar por la coordinación entre los servicios de urgencia, los organismos de intervención, los responsables de la formulación de políticas y las organizaciones de desarrollo.

6. EL COSTE DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS

Entre 1994 y 2013, EM-DAT (The International Disaster Database) ha registrado 6.873 desastres naturales en todo el mundo, que se cobraron 1,35 millones de vidas en total. Además, durante estos 20 años, un promedio de 218 millones de personas se ha visto afectadas por los desastres naturales (CRED, 2015).

Desde el punto de vista del análisis de desastres, se ha observado que el crecimiento de la población y los patrones de desarrollo económico son más importantes que el cambio climático o las variaciones cíclicas en el tiempo la hora de explicar la tendencia al alza de personas afectadas por los desastres naturales. La construcción en llanuras

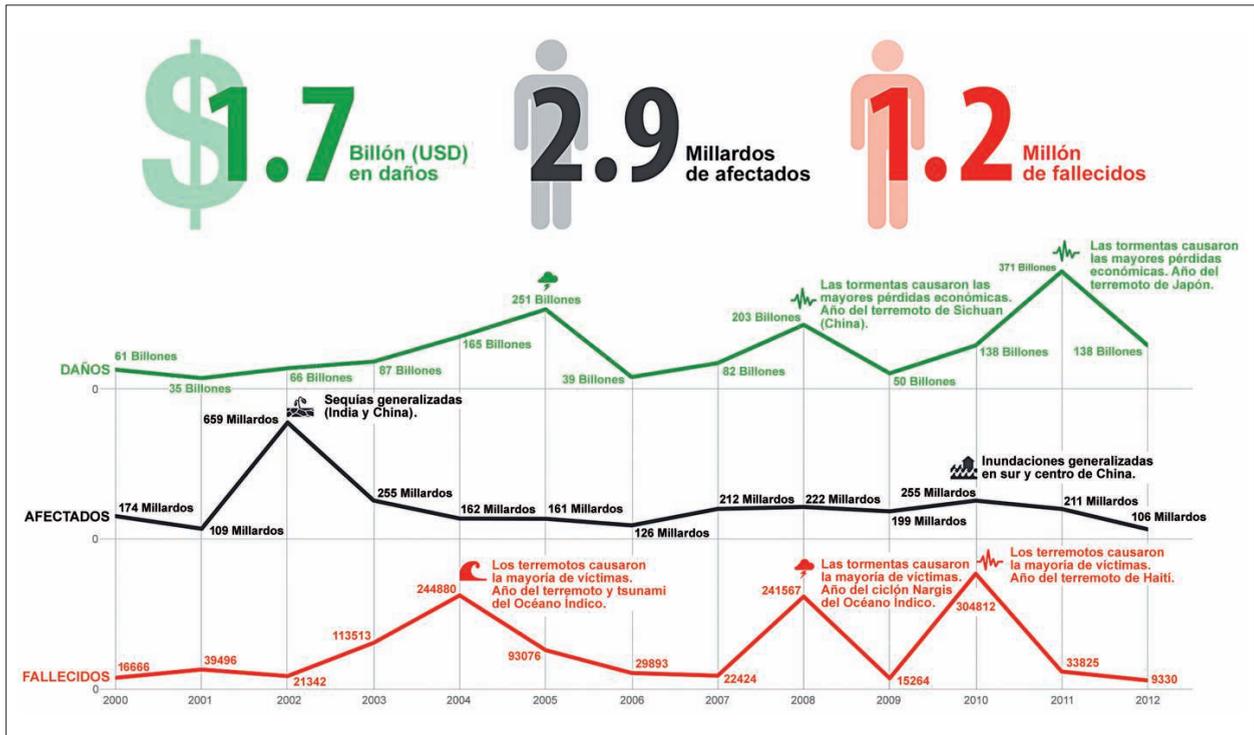


Figura 3. Impacto mundial de los desastres naturales en el periodo 2000-2013
(Fuente: UNISDR-Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres).

de inundación, fallas activas y otras zonas de alto riesgo ha aumentado la probabilidad de que un peligro natural rutinario se convierta en una gran catástrofe.

Los datos EM-DAT muestran que las inundaciones causaron la mayoría de los desastres entre 1994 y 2013, representado el 43% de todos los eventos registrados y afectando a casi 2,5 millones de personas. Los terremotos (incluidos los tsunamis) son los eventos que han producido más víctimas mortales (casi 750.000 fallecidos entre 1994 y 2013).

Los datos también indican cómo el nivel económico de un país influye en el número de víctimas tras un desastre. En general en los países más pobres fallecen tres veces más personas que en los países más ricos. Tomados en conjunto, en los países más ricos ocurrieron el 56% de los desastres, pero solo acumulan el 32% de fallecidos, mientras que en los países más pobres sucedieron un 44% de los desastres, pero acumularon el 68% de los fallecidos. Esto muestra que los niveles de desarrollo económico, en lugar de la exposición a riesgos per se, son los principales determinantes de la mortalidad.

Pero no solo hay que evaluar las víctimas mortales. Los costos económicos se han incrementado también en los últimos años. Datos actualizados de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres muestran que durante el periodo 2000-2012 se han producido más de 1,7 billones de dólares en daños, con 1,2 millones de fallecidos y más de 2.900 millones de personas

afectadas. Algunos de los países más afectados tardarán décadas en recuperarse de estos desastres.

Aunque España no es de los países más afectados por desastres naturales, no está libre de éstos y de hecho ha sido afectada en varias ocasiones por eventos catastróficos, produciéndose numerosas víctimas y con daños materiales extraordinarios. Si bien el riesgo potencial más grave es el sísmico (terremotos y tsunamis), las mayores pérdidas ocasionadas por catástrofes naturales en nuestro país, tanto en vidas como en daños materiales, se deben sobre todo a inundaciones (Figura 4). Los episodios catastróficos por esta causa, y de los que se conserva referencia histórica, se extienden prácticamente por todo el territorio nacional, con mayor o menor frecuencia e intensidad según las zonas. Hay que recordar que las inundaciones de Murcia de 1651 o las de Cataluña de 1962 causaron cada una más de 1.000 fallecidos; el terremoto de Arenas del Rey (Granada) de 1884 provocó 900 víctimas mortales; el tsunami asociado al terremoto de Lisboa de 1755 ocasionó en la costa española más de 1.000 fallecidos; y los deslizamientos de Azagra (Navarra) de 1874 causaron más de 100 muertos, cifras más que preocupantes.

Si nos atenemos a los daños materiales, y según datos del Consorcio de Compensación de Seguros (CCS), las inundaciones aúnan la mayor proporción de indemnizaciones pagadas por el conjunto de riesgos extraordinarios cubiertos por este organismo (el 68,93% en el periodo