

# LOS DESPRENDIMIENTOS ROCOSOS, IMPACTO Y ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL RIESGO

**Jordi COROMINAS (1)**

(1) Catedrático emérito  
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental  
Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTech  
jordi.corominas@upc.edu

## RESUMEN

*Los desprendimientos rocosos son los procesos de inestabilidad de laderas que causan un mayor número de víctimas en España, así como importantes pérdidas económicas. En esta contribución se presenta la cuantificación del impacto de los desprendimientos rocosos obtenida a partir del vaciado documental, fundamentalmente prensa escrita. Se han recopilado 990 eventos ocurridos entre 1802 y 2021 que han causado víctimas (cerca de 1400 muertos y más de 2000 heridos). El análisis del inventario permite evaluar el impacto de los desprendimientos rocosos y su evolución en contextos muy diversos como las laderas edificadas, las excavaciones a cielo abierto, los ferrocarriles, las carreteras y en el entorno natural. Se constatan dos tendencias contrapuestas. Mientras que la peligrosidad y el riesgo disminuyen a medida que se acumulan las actuaciones estabilizadoras y preventivas en los entornos de las poblaciones y líneas de ferrocarril, el número de incidentes se incrementa por el aumento de la movilidad en carretera y la mayor frecuentación en el medio natural (mayor exposición). En otro apartado se realiza una primera estimación de las inversiones realizadas por distintas administraciones en la estabilización desmontes y laderas rocosas y para reducir el riesgo por desprendimientos. Finalmente, se presenta un ejemplo, detallado paso a paso, para mostrar el potencial de los inventarios de desprendimientos rocosos para evaluar de manera cuantitativa el riesgo directo e indirecto en carreteras.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los desprendimientos rocosos son procesos predominantes en las zonas montañosas. Este término se aplica a los bloques o masas rocosas que, tras su separación de una pared empinada, experimentan caída libre y posterior impacto contra el terreno, con el consiguiente rebote, posible rodadura y/o deslizamiento de los fragmentos (Cruden y Varnes, 1996; Corominas y García Yagüe, 1997).

La litología, la estructura del macizo rocoso y el relieve local condicionan la ocurrencia de los desprendimientos. Con frecuencia, las discontinuidades presentes en el macizo determinan el mecanismo de rotura, que puede ser evaluado mediante el análisis cinemático de la estabilidad (Hoek and Bray, 1981). También intervienen otros factores como la resistencia de la roca y, en especial, de la erosión diferencial que da lugar a la formación de salientes y abrigos cuya estabilidad requiere de procedimientos específicos (Budetta, 2004).

Los desencadenantes en los desprendimientos rocosos no siguen un patrón definido. Es conocido que

los desprendimientos son frecuentes coincidiendo o poco después de episodios lluviosos, o asociados a ciclos de hielo-deshielo (Corominas, 1980; Mateos, 2013). Sin embargo, el establecimiento de umbrales es complejo y da lugar a resultados insatisfactorios. Con frecuencia, se superan los umbrales establecidos sin que se produzcan los desprendimientos y viceversa. Hay que tener en cuenta que otros efectos como la expansión térmica de la roca, la acción de las raíces o el paso de animales son también generadores de desprendimientos.

El desencadenante de desprendimientos rocosos con mayor repercusión a escala regional es la actividad sísmica. Posiblemente, el desprendimiento más catastrófico conocido en España sea el de Alhama de Granada, inducido por terremoto de Andalucía de 25 de diciembre de 1884 ( $E_{MS98}=IX-X$ ;  $M_w=6,5-6,7$ ). Esta población se hallaba situada en la zona epicentral del sismo y en ella colapsaron numerosos edificios. El número de víctimas no llegó a conocerse con exactitud. El Defensor de Granada cifró los muertos en 436 y los heridos, en 473. Las Comisiones Españolas e Italianas constituidas para la ocasión estimaron el número de muertos entre 307 y 330, y el de heridos en 502 (Vidal Sánchez, 2011). El efecto de la sacudida sísmica, probablemente amplificada por la topografía local, combinado con la baja calidad de las construcciones facilitaron el colapso de las viviendas. No obstante, existen evidencias de que varias construcciones fueron arrastradas al vacío por el desplome del cantil rocoso en el que apoyaban (**Figura 1**). El número de fallecidos por 2017\_ desprendimiento no se puede saber. En el episodio sísmico de 1884 otras localidades también fueron afectadas por los desprendimientos rocosos, se trata entre otras, de Izbor, Albuñuelas, Villanueva del Trabuco, Alfarnaya y Ventas de Zafarraya, actualmente pedanía de Alhama (Vidal Sánchez, 2011). Ventas de Zafarraya se halla situada próxima a la ruptura superficial del terreno generada por el terremoto, de más de 20km de longitud. Desde los estribos de la sierra de Alhama cayeron grandes bloques, que alcanzaron el fondo del *polje* de Zafarraya (Recherter et al. 2003; Rodríguez-Pascua et al. 2017). En esta localidad se contabilizaron 74 muertos, 12 de ellos eran arrieros que se encontraban alojados en una venta (Um Quidam, 1885). En Albuñuelas se contabilizaron 102 muertos, 500 heridos y 463 edificaciones, siendo buena parte de los daños atribuidos a los desprendimientos y deslizamientos (El Hamdouni et al 1997) aunque el número no se puede precisar.

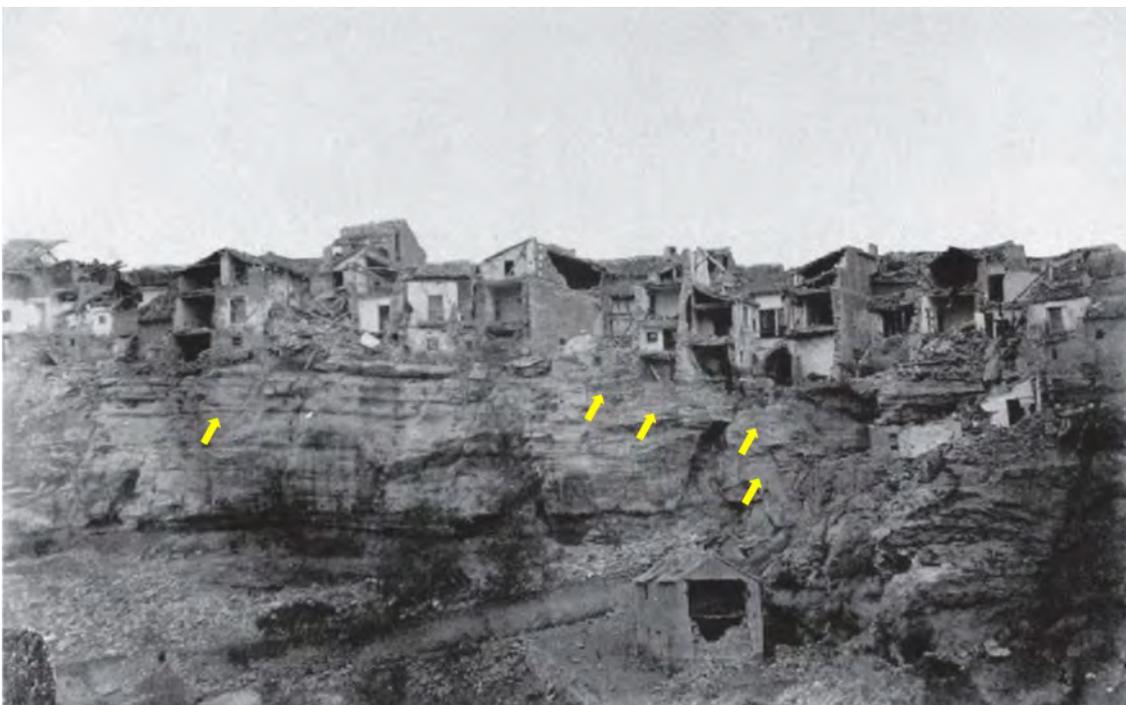


Figura 1. Imagen del tajo de Alhama de Granada poco después del terremoto de diciembre de 1884. Las flechas amarillas indican la presencia superficies recientes (juntas/diaclasas) que podrían haber sido expuestas como consecuencia del desprendimiento de bloques de arenisca (foto: IGN).

## 2. IMPACTO DE LOS DESPRENDIMIENTOS ROCOSOS

No hay disponible un inventario completo de los desprendimientos en España ni una estimación razonable de sus consecuencias. Los motivos son diversos. En primer lugar, se trata de fenómenos locales que, a diferencia de otros procesos naturales como los sismos o las inundaciones, afectan un ámbito territorial limitado, lo que complica su detección. Por otro lado, cuando el fenómeno principal son lluvias torrenciales que dan lugar a inundaciones o una sacudida sísmica, los desprendimientos y sus consecuencias suelen incluirse dentro del global de daños, sin distinción. A ello hay que añadir que los desprendimientos tienen lugar en laderas empinadas, frecuentes en áreas de montaña tradicionalmente poco pobladas y suelen pasar desapercibidos. Por todos estos motivos, su relevancia e impacto es difícil de cuantificar. Sin embargo, como veremos a continuación, desde el punto de vista del riesgo, son los procesos de inestabilidad de laderas que causan un mayor número de víctimas.

### 2.1 Daños Personales

Un análisis a nivel mundial de las catástrofes con más de 100 víctimas mortales realizado por Ayala (2002), concluyó que los movimientos de ladera (incluyendo deslizamientos, desprendimientos y corrientes de derrubios) eran el tercer riesgo natural de mayor impacto tras los terremotos y volcanes, si bien un orden de magnitud menor. Este mismo autor estimaba que, en la media, los movimientos de ladera producían unos 6 muertos al año (incluyendo los aludes de nieve). En España se han realizado inventarios regionales. Por ejemplo, en Asturias se han realizado inventarios exhaustivos que combinan el vaciado de la prensa local y la información recopilada de otras fuentes (Domínguez Cuesta et al. 1999) y que han sido recogidos a la Base de datos de Argayos del Principado de Asturias (BAPA), accesible en la dirección web: <http://geol.uniovi.es/BAPA>. Utilizando esta base de datos, Valenzuela et al. (2107) analizaron un total de 2063 roturas de ladera (deslizamientos, corrientes de derrubios, desprendimientos rocosos) del Principado, que cubre el periodo entre 1980 y 2015 (36 años), dando como resultado que sólo en 39 casos (1,9%) se produjeron víctimas (heridos y muertos). Es decir, algo más de una víctima anual.

En esta comunicación presentamos un primer intento de cuantificar los daños personales y el coste de las inversiones relacionados con desprendimientos rocosos en España. Este trabajo no pretende ser un inventario completo de los desprendimientos ocurridos, sino que ha tenido en cuenta únicamente los eventos que han causado víctimas (muertos y/o heridos). Se trata pues, de una muestra reducida de la actividad real de los desprendimientos, seguramente varios órdenes de magnitud menor. El procedimiento ha consistido en el vaciado de algunas hemerotecas. Fundamentalmente, las hemerotecas de prensa periódica generalista como La Vanguardia (desde 1 de febrero de 1881 hasta la actualidad) y el diario ABC (desde 1 de enero de 1903). También se han consultado recopilaciones como las de accidentes ferroviarios (<http://www.fcmaf.es>) obtenidas del vaciado específico de un abanico de medios comunicación. Los criterios de búsqueda se basaban en la utilización de palabras clave como “desprendimiento de tierra”, “desprendimiento de roca”, “caída de rocas”, “desplome de ladera” “desprendimiento + muerto”, “desprendimiento + sepultado”, “catástrofe+ desprendimiento”, entre otros. No se han incluido aquellos eventos con víctimas ocurridas en excavaciones para *cimentaciones, zanjas y pozos*, y tampoco las producidas en *galerías mineras y túneles*. Es necesario precisar que este inventario adolece de diversas limitaciones, empezando por la propia descripción del evento. Así, la prensa escrita a menudo denomina desprendimiento a eventos que en realidad podrían ser deslizamientos u otros mecanismos. Existe también imprecisión en la descripción de algunos accidentes relacionados con las excavaciones a cielo abierto, que sí han sido consideradas. Finalmente, existe confusión y disparidad en el número y calificación de los heridos. El nivel de gravedad en las descripciones es muy variable, cuando la hay. Por este motivo, hemos considerado “*heridos graves*” cuando así constan y “*heridos de diversa consideración*” los de carácter leve, pronóstico

reservado y los no especificados. Cuando se trata de personas sepultadas sin más información, han sido incluidas en el apartado de “*heridos diversos*”. Una dificultad añadida es que en los eventos catastróficos se suceden los telegramas y se producen repeticiones en el número y estado de las víctimas. El inventario se resume en una hoja *excel* accesible en formato abierto en la página web del proyecto Georisk (<https://georisk.upc.edu/es>) de los grupos de investigación EngGeoModels y EGeo de la Universitat Politècnica de Catalunya. La información contenida en la hoja *excel* incluye la fecha de ocurrencia, localidad, provincia, contexto (carretera, ferrocarril, excavación, vivienda en ladera, medio natural, elemento vulnerable, número de muertos, heridos y la fuente informativa. Las tablas y figuras que aquí se presentan se han elaborado a partir del tratamiento estadístico simple de los datos del citado inventario.

El inventario recopilado es incompleto. La razón es que en los primeros años de la prensa escrita, no se recogen todos los episodios desprendimiento con víctimas por ocurrir en zonas remotas y por la falta de medios de telecomunicación. Como se ha comentado en la introducción, en algunos episodios catastróficos como el terremoto de Andalucía de 1884, no ha sido posible determinar el número de víctimas mortales y heridos a consecuencia de los desprendimientos. En localidades como Alhama de Granada, Ventas de Zafarraya o Albuñuelas, las víctimas por desprendimientos pueden haber sido decenas o incluso cientos, pero se desconoce. Otra fuente de incertidumbre son las muertes accidentales en el monte a causa del impacto de bloques desprendidos, que a menudo derivan en caídas por barrancos o laderas empinadas. Incluso hoy en día, es difícil establecer si el origen del accidente es un desprendimiento. Lo mismo ocurre en los accidentes de tráfico provocados por los desprendimientos, especialmente si sólo se producen daños materiales o heridas leves. Los episodios con víctimas suelen ser recogidos en los medios de comunicación cuando se trata de obras y canteras pero en determinadas ocasiones, como en Seira, puede haber existido censura de las autoridades<sup>1</sup>. También es frecuente que la información del evento sea confusa o incompleta y sin seguimiento posterior. En numerosas ocasiones, el fallecimiento de los heridos no ha quedado registrado. Por todos estos motivos, la relación de víctimas que se presenta debe considerarse como un mínimo.

Entre 1803 y 2021, se han contabilizado en España más de 1700 muertes por inestabilidad de taludes y laderas, la mayoría causadas por desprendimientos rocosos. El inventario que presentamos en esta comunicación incluye 990 casos de desprendimientos rocosos responsables de más de 3400 víctimas, con el siguiente desglose: 1388 muertos, 519 heridos graves y 1521 heridos de diversa consideración. Estas cifras corresponden a una media anual de 6,3 muertos y 8,3 heridos. Si se considera el periodo de los últimos 150 años, en el que existe prensa escrita diaria (1872-2021) y es más completo, la media anual asciende a 8,9 muertos y 13,3 heridos. El desglose por contextos se muestra en la **Tabla 1**.

	Número de eventos	Muertos	Heridos graves	Heridos leves y sin especificar	Total víctimas
Viviendas en ladera	139	<b>529</b>	104	125	758
Excavaciones	<b>246</b>	370	106	84	560
Ferrocarriles	202	204	<b>185</b>	<b>1024</b>	<b>1413</b>
Carreteras	165	99	71	173	343
Medio Natural	209	144	46	106	296
Sin precisar	29	42	7	9	58
<b>Total</b>	<b>990</b>	<b>1388</b>	<b>519</b>	<b>1521</b>	<b>3428</b>

Tabla 1. Número de desprendimientos con víctimas recopilados y desglose de los mismos por la gravedad de los daños infligidos y el contexto.

<sup>1</sup> <http://lacoile-elblogdecampohuesca.blogspot.com>

Las cifras obtenidas son mayores que las recogidas en trabajos anteriores. El primer estudio comprensivo sobre el impacto de los riesgos geológicos en España (Ayala et al. 1987) presentó una estimación de pérdidas de vidas humanas, con muchas reservas al considerar que era de difícil predicción por las numerosas incertidumbres del cálculo. Analizaron dos escenarios: riesgo medio que corresponde al evento máximo conocido en los últimos 30 años con un periodo de retorno de 500 años, y riesgo máximo que corresponde al evento máximo conocido en los últimos 30 años y un periodo de retorno de 30 años. Para un periodo de 30 años, las víctimas mortales por movimientos del terreno (desprendimientos, pero también deslizamientos, corrientes de derrubios y hundimientos del terreno) se estimaban para la hipótesis de riesgo medio en 70 y en menos de 500 para la hipótesis de riesgo máximo. Es decir, 2,3 y <16,7 víctimas mortales al año para la hipótesis de riesgo medio y máximo, respectivamente. También Ayala (2002), calculaba 6 víctimas mortales al año por movimientos de ladera, incluyendo aludes. Hay que tener en cuenta que sólo los aludes de nieve han causado un promedio de 3,4 víctimas/año durante el periodo 1976-2017 (Leo y Cuchí, 2017). Si bien las cifras de víctimas obtenidas a partir de nuestro inventario son más elevadas, como se verá a continuación, la tendencia en varios de los contextos es claramente decreciente merced a las medidas de mitigación que se han ido adoptando.

A pesar del carácter local de los desprendimientos rocosos, cuando afectan núcleos de población levantados al abrigo de paredes rocosas, pueden ocurrir verdaderas catástrofes. En la Tabla 2, se recopilan los eventos con 10 o más víctimas en viviendas, documentados desde 1803. Aunque sólo representan el 14% de los eventos del inventario, son responsables de más del 38% de las muertes y del 20% de los heridos graves.

Localidad	Provincia	Fecha	Casas destruidas	Muertos	Heridos graves	Otros heridos
Alcalá de Júcar	Albacete	24/12/1803	30	26	27	
Chiclana de Segura	Jaén	xx/xx/1809		10		
Azagra	Navarra	30/06/1856		11		
Azagra	Navarra	21/07/1874	72	99		
Venta de Zafarraya	Granada	25/12/1884		12		
Albalate	Teruel	12/04/1892	1	8		
Els Espluvins	Lleida	21/05/1894	1	11		1
Viana do Bolo	Ourense	27/12/1909	varias	26		
Bunyol	Valencia	04/08/1911	25	9	16	
Ronda	Málaga	03/07/1917	3	15		
Cabila de Tensaman	Melilla	01/08/1930		16		3
Alcalá de Júcar	Albacete	13/12/1932	3	11	13	
Muela de Cortes	Valencia	19/02/1933	varias	11	1	7
Fuentes de Cesna	Granada	04/02/1940	11	19	4	
Alcalá de Júcar	Albacete	19/12/1945	20	16	2	40
Huelva	Huelva	12/09/1956		13	10	
Montjuïc- Barcelona	Barcelona	08/03/1963	15	9	3	
Tamarit de Llitera	Huesca	29/06/1974	3	4	4	2

Tabla 2. Desprendimientos rocosos que han causado 10 o más víctimas (muertos y heridos) en edificios, en el periodo comprendido entre 1803-2021

La localidad con el mayor número de víctimas conocidas por un solo evento es Azagra (Navarra) (Figura 2). La relación exhaustiva de los episodios ocurridos en la localidad se recoge en el enlace <http://azagra0.galeon.com/tragediasdeazagra.htm> y en <http://patximendiburu.blogspot.com>. Esta población ha sufrido varios episodios, siendo un primer aviso el del 30 de junio de 1856. En esta fecha que se desplomó una parte considerable de la peña llamada "El Castillo" arruinando seis casas y sepultando 11 personas, recuperándose una criatura ilesa en una de ellas. El 21 de julio de 1874, de madrugada, se desplomó una parte importante de la peña, sorprendiendo el sueño de una gran parte del vecindario. El resultado fue la destrucción de 77 edificios habitados con un total de 99 muertos. A raíz de este episodio empezaron algunos trabajos de desmonte y contención que no pudieron evitar

nuevas caídas el 20 de enero de 1903 y el 13 de mayo de 1946, causando dos víctimas cada uno de ellos. Posteriormente se han producido algunos derrumbes ocasionales sin consecuencias personales.



Figura 2. Cantil agrietado de areniscas y arcillitas que corona la localidad de Azagra, Navarra. Diciembre 1961 (foto: Diputación Foral de Navarra)

Otra localidad recurrentemente afectada es Alcalá de Júcar (Albacete) (Figura 3). La primera referencia conocida del 24 de diciembre de 1803, cuando se desprendió el cantil sobre el que se apoyaba parte del castillo. Un total de 30 casas fueron destruidas, con un balance de 26 muertos mientras que 27 personas fueron sepultadas y rescatadas con vida en los tres días siguientes. Su rescate fue posible por encontrarse resguardadas en los abrigos de las casas-cueva (Rodríguez de la Torre, 1997). La localidad es una historia de riesgo ya que se conocen nuevos sucesos en los siglos XIX y XX. El 12 de enero de 1880, se produjo un desplome de la ladera en el barrio del Cenajo, con un número de víctimas sin especificar y 50 familias desalojadas. El fenómeno se repitió en abril de 1881 en el Peñón Berrocal, recuperándose 7 cadáveres, aunque podrían ser más (López Sanz, 2104). Posteriormente, el 13 de diciembre de 1932, un nuevo desprendimiento de entre 9 y 50t al inicio de la carretera en dirección a Casas Ibáñez, destrozó tres viviendas, con un balance de 11 muertos y 13 heridos graves (López Sanz, 2014). El suceso se repite el 19 de diciembre de 1945, con 20 viviendas sepultadas, atrapando unas 60 personas. El balance fue de 16 muertos, 2 heridos graves y 40 heridos de diversa consideración. Más recientemente, han seguido ocurriendo los desprendimientos, afortunadamente sin daños personales.

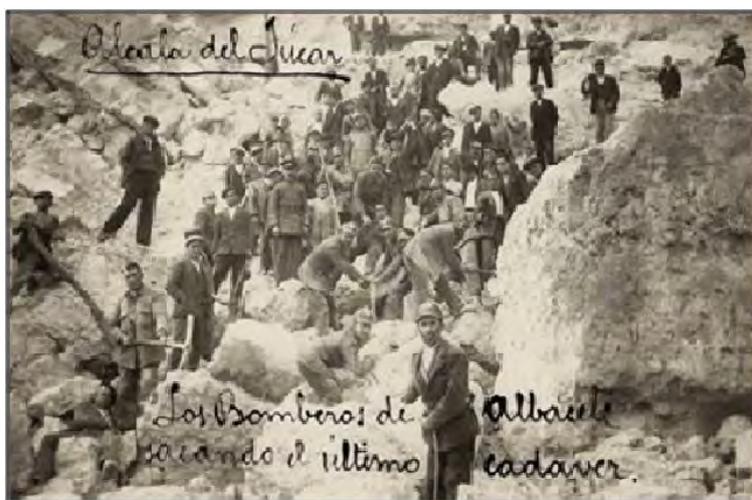


Figura 3. Bomberos desescombrando los bloques en el desprendimiento de 1932 en Alcalá de Júcar. Foto: Luís Escobar López

Un caso en el que se pone en evidencia la intervención humana es el de Bunyol, València. En esta localidad se desplomó una parte de la muralla y la torre fortificada que estaban cimentadas sobre la roca tobacea (Figura 4). El detonante fue la excavación de la roca desde las viviendas situadas a su pie, con objeto de ampliar cuadras y dependencias. El 4 de agosto de 1911, la pared rocosa se desplomó y con ella, la muralla y una calle superior. Un total de 20 casas se derrumbaron con un saldo de 9 muertos y 11 heridos. Se recuperaron varios ilesos y 90 familias quedaron sin morada. El mismo día del derrumbe, instantes antes, apareció una grieta en una de las casas sobre el cantil por lo que el alcalde ordenó el desalojo de las viviendas, pero en no todas se cumplió (<https://bunyul.com>).



Figura 4. Vista parcial de Bunyol antes y después del desprendimiento de 1911 (<https://bunyul.com>)

En la prensa catalana tuvo especial una repercusión el desprendimiento que destruyó el *hostal dels Espluvins*. El *hostal* se hallaba próximo a Coll de Nargó, Lleida, en la margen derecha del río Segre. Se trata de un tramo en el que el río discurre fuertemente encajado. Los restos del *hostal* están hoy en día sumergidos bajo las aguas del embalse de Oliana. El 31 de mayo del año 1894,

sobre las 8 de la mañana un gran bloque de caliza tobacea, con un volumen estimado de unos 10,000m<sup>3</sup>, se desprendió de la ladera desde una altura de unos 150m y se precipitó sobre el hostel. Los fragmentos resultantes se llevaron por delante el hostel, las cuadras, los arrieros y sus animales. El golpe de aire generado por el desprendimiento hizo que algunos restos fueran a parar a la otra margen del río. El balance de víctimas fue de 11 fallecidos, 1 herido, una persona que salvó la vida al caer al río Segre, que bajaba crecido, y pudo amarrarse a una higuera de donde fue rescatado, así como dos ilesos. Existe cierta confusión en el número definitivo de víctimas porque en la edición de la Vanguardia del día 6/09/1894 se cita lo siguiente: “*Las víctimas cuyos nombres se conocen ascienden a 13, suponiéndose que perecieron además seis segadores forasteros*”. También se perdieron 10 carros y 20 mulos. Las pérdidas materiales se estimaron en más de 200,000 pesetas de la época. El desencadenante se atribuye a las persistentes lluvias de los 15 días precedentes.

Los desprendimientos rocosos también han sido la causa del abandono de localidades. Un caso a destacar es el de Fuentes de Cesna, en Granada. Actualmente es una pedanía de Algarinejo, próximo al embalse de Iznájar. Su anterior emplazamiento es conocido como Fuentes Viejas. Según recoge el periódico la Vanguardia, el 4 de febrero de 1940, una masa de 600x500m de areniscas y conglomerados se desplomó del Tajo de las Cuevas sobre la localidad, dejando un manto de derrubios de 3m de grosor. El volumen se estimó en cerca de 1Mm<sup>3</sup>. En el suceso, 22 casas fueron destruidas con un balance de 19 muertos y 4 heridos graves. A pesar de la destrucción, se pudieron rescatar supervivientes. La causa del desprendimiento se atribuye a las intensas y persistentes lluvias. El 4 de abril de 1963, nuevas lluvias provocaron la desestabilización del terreno, agrietando viviendas y obligando a desplazar 200 moradores. En 1965, se empezó a levantar la nueva Fuentes de Cesna. Las grietas en los cantiles, el depósito de fragmentos de 1940 y los restos de los edificios son visibles todavía en la actualidad (**Figura 5**).



Figura 5. Vista del cantil de la Sierra del Alcornocal, con las grietas todavía visibles en el cantil donde se desprendió la masa rocosa que destruyó el antiguo emplazamiento de Fuentes de Cesna (Fuentes Viejas). Imagen GoogleEarth ®.

Con el tiempo, diversas localidades amenazadas han ejecutado trabajos de estabilización y/o protección, con lo que el número de accidentes con un elevado número de víctimas se ha reducido y se espera que se reduzca todavía más en un futuro. Aun así, siguen ocurriendo episodios de inestabilidad como en marzo de 2016 en Ondarroa, Bizkaia, donde la ladera Kamiñalde se derrumbó junto a unos bloques de viviendas, afortunadamente sin víctimas. El desprendimiento

obligó a desalojar en un primer momento a 176 familias, algunas de las cuales no pudieron regresar hasta diciembre de 2017. Los trabajos de reparación y contención supusieron la construcción de muros anclados, sistemas de drenaje y la retirada de cerca de 600.000 metros cúbicos de roca. El coste de la reparación ascendió a 17M euros.

La **Figura 6** muestra la distribución por decenios de los 139 casos inventariados de desprendimientos rocosos causantes de víctimas en viviendas. El periodo cubierto va desde 1803 hasta 2021 y constan 758 víctimas (529 muertos y 229 heridos). El registro contiene numerosas lagunas. Así, en la primera mitad del siglo XIX sólo consta el episodio del 24 de diciembre de 1803 en Alcalá de Júcar. El desarrollo de la prensa periódica en el último cuarto de siglo junto con la mejora de la transmisión que se adquirió con la telegrafía eléctrica, facilitó la llegada de noticias de poblaciones remotas, aunque no todas, y un mejor conocimiento de los sucesos. Por este motivo, puede considerarse que, a partir de 1880, el inventario recoge los principales episodios de carácter catastrófico en poblaciones, con algunas excepciones como la mencionada del terremoto de Andalucía de 25 de diciembre de 1884. Las cifras de muertos y heridos presentados en la **Figura 6** deben considerarse pues como un límite inferior.

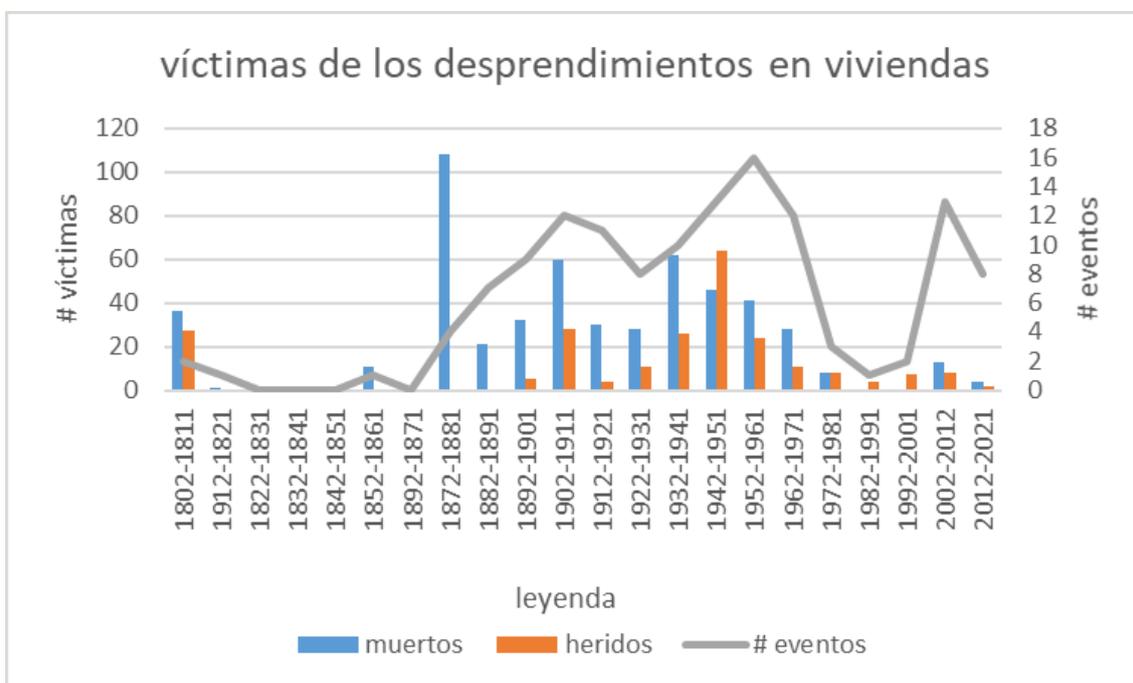


Figura 6. Evolución del número de víctimas causadas por los desprendimientos en viviendas, agrupadas por decenios.

En la **Figura 6** se observa una distribución irregular en el número de víctimas. Entre 1872 y 1971, el promedio de víctimas supera las 6 anuales (más de 60 por década). A partir de los años 1970s, el número decrece significativamente. Esto debe atribuirse a las inversiones en trabajos de contención y protección realizadas desde entonces y a la consideración de las cartografías de peligrosidad en la planificación urbanística.

Las excavaciones a cielo abierto, canteras, graveras y tejerías han sido una fuente permanente de accidentes. También lo han sido las excavaciones de obras de ingeniería civil como son las presas)<sup>2</sup>. El inventario recoge más de 240 eventos con víctimas con un total de 370 muertos y 190 heridos de diversa consideración (**Tabla 1**). Los accidentes se producen en situaciones muy dispares, desde obras que generan grandes alturas de desmonte y volúmenes de excavación, a canteras de dimensiones variables, y excavaciones menores realizadas de forma manual sin ningún tipo de diseño ni protección. Los principales accidentes con víctimas han tenido lugar en

<sup>2</sup> Los incidentes en excavaciones de desmontes de carretera y ferrocarril se comentan en otros apartados.

desmontes para presas y canales en las que intervienen un número elevado de operarios. El accidente con un mayor número de víctimas fue el ocurrido el 31 de julio de 1972 durante la excavación del estribo de la presa de Cedillo en Cáceres, en la cuenca del río Tajo. Se estima que aproximadamente 50 mil metros cúbicos de tierras se precipitaron desde una altura de unos 40m con el resultado de 11 muertos y un herido. El 10 de febrero de 1982 se produjo el desprendimiento de un tajo de 20m de longitud en las obras del canal Tajo-Segura, en Lorca, Murcia, con el resultado de 7 víctimas.

Un caso paradigmático es la montaña de Montjuïc, elevación emblemática de Barcelona. A pesar de sus modestas dimensiones (191m de altura y unas 360 ha de extensión), ha sido testigo de numerosos incidentes que se han ido reduciendo con el tiempo. El lado mar es escarpado por la presencia de una falla, siendo el *Morrot* (Morro) un cantil natural a cuyo pie discurrían la carretera al puerto, la vía de ferrocarril y del tranvía, interrumpidos recurrentemente por los desprendimientos. Éstos llegaron a afectar también el cementerio en diversas ocasiones. Eran frecuentes los llamamientos de los medios de comunicación solicitando a las autoridades militares a cargo de la montaña, que adoptaran medidas de prevención y protección. La composición litológica de Montjuïc es de areniscas miocenas de cemento silíceo, alternando con niveles arcillosos. Las areniscas son rocas muy duras de tonalidades blancas y violáceas y fueron objeto de intensa explotación para la construcción, entre otros edificios, de la Sagrada Familia, la Catedral, el Palacio de la Virreina y el Parlament (**Figura 7**). El 3 de julio de 1900 se crea el Fomento de Obras y construcciones para extraer roca de la montaña. Se llegaron a contabilizar 25 canteras, repartidas por el macizo, en las que periódicamente se producían accidentes hasta que finalmente se cierran en 1955, por orden del capitán general que las consideró un peligro. Diversas oleadas de inmigrantes se instalaron en sus faldas del macizo formando conjuntos de barracas, especialmente a partir de los trabajos de la exposición universal y su presencia se prolongó hasta los años 1970. En 1957 se calcula que existían más de 6.000 barracas en las que habitaban cerca de 30.000 personas. Estas moradas también sufrieron la caída de bloques. Uno de los eventos más dramáticos fue el desprendimiento el 8 de marzo de 1963 de varias rocas, algunas de más de 100t. Sepultó 4 barracas y dañó otras 11 con un balance de 9 muertos y 3 heridos. Otros eventos fueron de menores consecuencias. En la **Tabla 3** se presenta una relación de eventos ocurridos en la montaña.

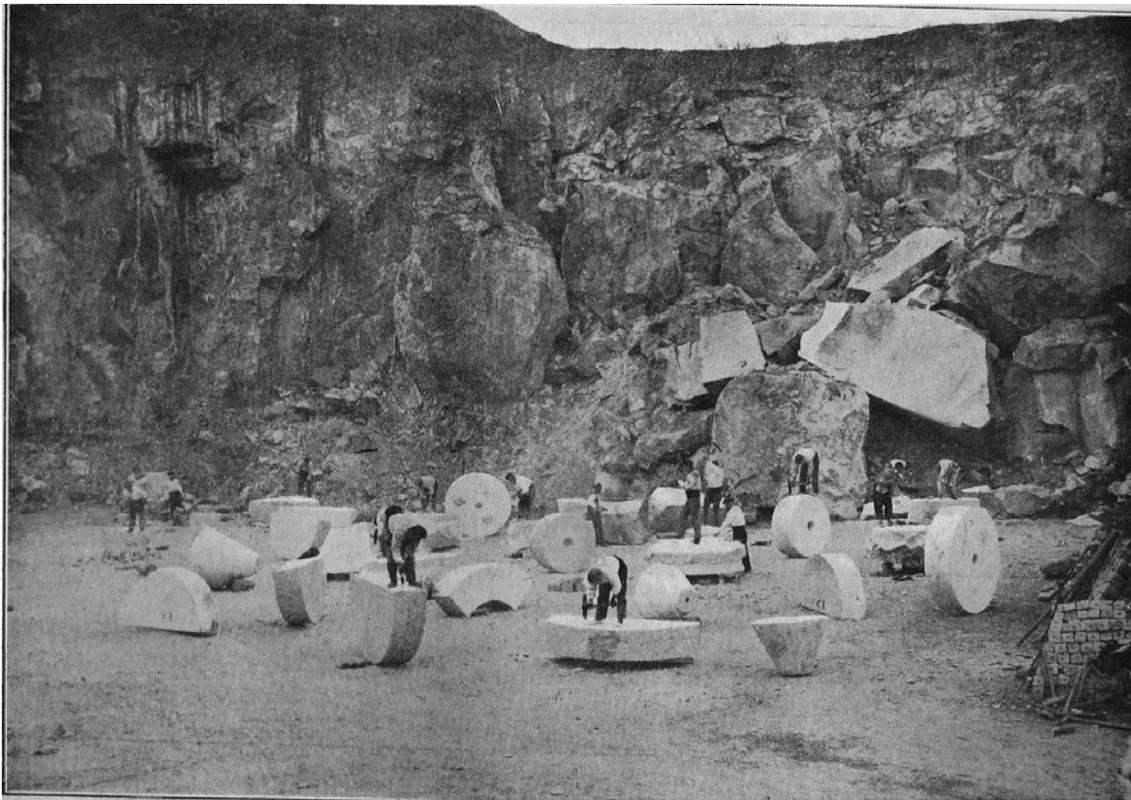


Figura 7 .Cantera de arenisca en la montaña Montjuïc, Barcelona (fuente: ICGC)

Fecha	contexto	Muertos	Heridos graves	Otros heridos
30/11/1881	Vía ferrea			
13/05/1882	Cantera Magallera	1		
21/06/1884	Cantera Montjuïc			
23/05/1889	Cantera Les Figueres			1
19/04/1893	Cantera la Bailarona			1
20/03/1899		1	2	1
12/08/1903	Cantera Safont		1	
17/08/1903	Cantera Safont		1	
26/07/1905	carretera		2	
6/01/1909	cantera	1		
27/09/1915	Cantera d'en Peret	1	1	
17/08/1918	cantera			1
06/09/1921		1		
10/12/1923	Llengua de Serp	1		
12/03/1925	cantera	1		
03/08/1926	Morrot - carretera		1	4
12/02/1930	Morrot - carretera	2		1
03/10/1947	vivienda	1	2	
10/03/1951	Vivienda – Casa Antúnez	3		
02/10/1951	Vivienda – Conde del Asalto	2		
3/10/1951	11 Viviendas – camí Esparver			
11/07/1952	Vivienda – Conde del Asalto	1		
08/03/1963	15 viviendas	9	3	
06/04/1969	30 Vivienda – Casa Antúnez			
06/12/1971	Calle Poeta Cabanyes	1		

Tabla 3. Recopilación desprendimientos ocurridos en la montaña de Montjuïc de Barcelona

La mecanización progresiva de las labores de excavación junto con la evolución del diseño de las cortas y las medidas de seguridad han permitido reducir el número de operarios expuestos en las excavaciones (**Figura 8**)

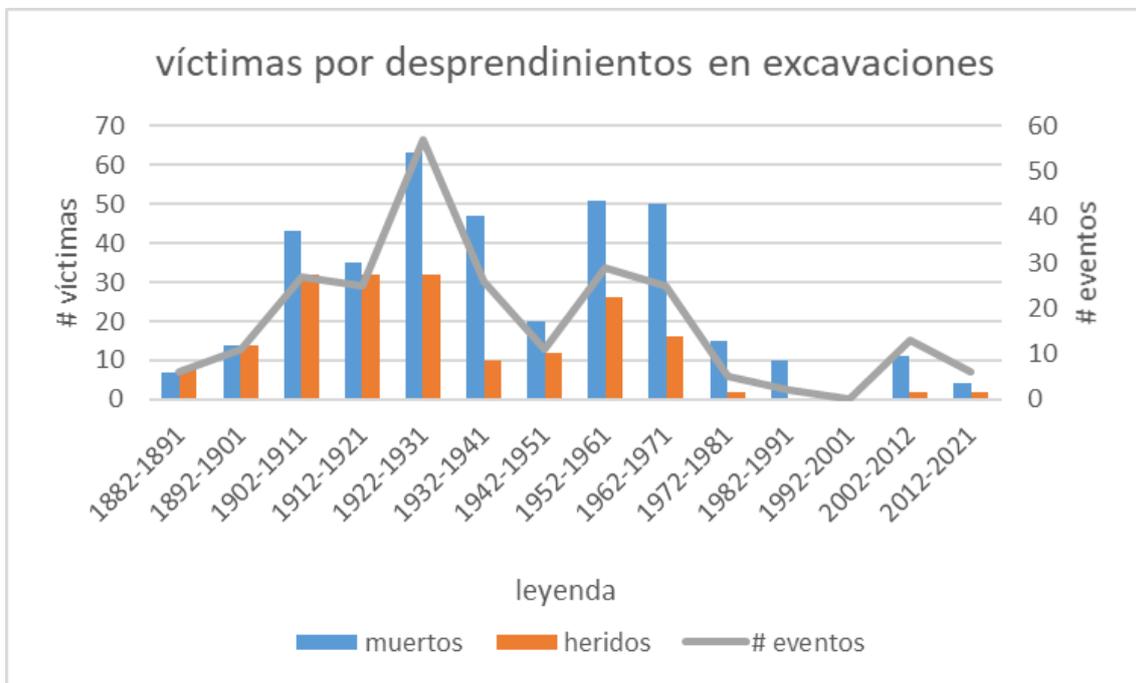


Figura 8. Evolución del número de víctimas causadas por los desprendimientos en excavaciones, agrupadas por decenios

Otra importante fuente de víctimas han sido los desprendimientos en tramos ferroviarios. En el inventario, el 20,4% de eventos recopilados (202 eventos) responden a esta casuística mientras que representan el 14,7% de las muertes y el 59% del total de los heridos (el 35,6% de los heridos graves). Las mayores catástrofes se asocian al descarrilamiento de los convoyes y/o al empotramiento de los vagones de pasajeros. Así, la mayor parte de víctimas mortales (56%) y un porcentaje significativo de los heridos (33%), se deben únicamente a los 14 eventos recogidos en la **Tabla 4**. Son innumerables los incidentes durante la fase de excavación de los desmontes en trinchera, sobre todo en los primeros años de explotación. Los desmontes que, en general, habían sido ejecutados con ángulos muy verticales y una pobre calidad de excavación, sufrían frecuentes desmoronamientos, normalmente coincidiendo con los episodios lluviosos. El papel del personal de las compañías de ferrocarril o de espontáneos, que mediante todo tipo de avisos y señales advertían a los maquinistas de las tierras desprendidas, fue providencial para evitar un mayor número de catástrofes. En la prensa de la época, especialmente a finales del siglo XIX y primeros del XX aparecían artículos y noticias sobre la necesidad de mejorar las condiciones de seguridad de la infraestructura y una mayor diligencia del personal de vigilancia. Hubo incluso manifestaciones de protesta.

En la edición del 16 de diciembre de 1899 del periódico *El Lucense* se indicaba lo siguiente: “A continuar así las cosas no habrá más remedio que renunciar a viajar en tren, o de lo contrario entrar bien confesados u bien preparaditos para sufrir el suplicio que nos impongan las compañías de ferrocarriles”. A raíz de la catástrofe de Filgueira-Frieira se produjeron debates en la prensa escrita entre usuarios, propietarios y trabajadores. Así, en la edición del 31 de marzo de 1915 del periódico *La Región*, se publicó un escrito de la Unión Ferroviaria Española en la que se afirmaba que “lo sorprendente era que en los 34 años de explotación no hubiera ocurrido lo que ocurrió el día 10.....La mayor parte de las trincheras de la línea de Orense a Vigo,...ofrecen indicios peligrosos como lo demuestra una simple inspección ocular y lo atestiguan los frecuentes desprendimientos que ocurren” y citan numerosos eventos ocurridos. El debate llegó a las Cortes y el Juicio tuvo un alto seguimiento.

Localidad	Provincia	Fecha	contexto	Muertos	Heridos graves	Heridos de diversa consideración
Cádiz	Cádiz	09/05/1879	explotación	5	1	7
Laxosa, O Corgo	Lugo	01/08/1882	construcción	11		
Olesa de Montserrat	Barcelona	28/03/1911	explotación	5	3	8
Baiona	Pontevedra	12/01/1915	explotación	5		10
Filgueira-Frieira	Pontevedra	10/03/1915	explotación	19	4	32
Villagonzalo	Badajoz	12/10/1921	explotación	12		76
Ametlla de Mar	Tarragona	01/09/1926	explotación	24	20	130
Alcaraz	Albacete	26/11/1930	construcción	6		
Espiel	Córdoba	27/12/1932	explotación	5	2	
Montabriz	Cantabria	24/01/1934	explotación	5	20	
Amurrio	Araba	20/03/1974	explotación	1	2	31
Garraf	Barcelona	11/04/1974	explotación	3		15
Garraf	Barcelona	20/10/1981	explotación	3	1	16
Pindueles	Asturias	03/08/1988	explotación	11	1	18

Tabla 4. Accidentes catastróficos ferroviarios con 5 o más víctimas mortales, causados por los desprendimientos de rocas y tierras

El evento con mayor número de víctimas y descrito con más profusión de detalles por la prensa es el de la Ametlla de Mar, Tarragona. Tuvo lugar en mitad de un temporal de lluvias la noche del 1 de setiembre de 1926. Fue una noche complicada para el transporte ferroviario de Catalunya, con otros desprendimientos en Molins de Rei, en Sant Cugat, el ferrocarril de Olot así como hundimientos de la vía en Terrassa. En la madrugada del día 1, el tren correo procedente de Barcelona descarriló entre los kilómetros 218 y 219 a consecuencia de un desprendimiento de tierras. El desprendimiento, con una extensión de 50m, tuvo lugar al paso de la locomotora, que acabó chocando contra el desmonte. Un muro de contención se precipitó sobre dos de los vagones. El elevado número de víctimas, 24 muertos y 20 heridos graves y 130 heridos de diversa consideración, se debió al empotramiento de los vagones.



Figura 9. Vista parcial del trazado del ferrocarril por la costa de Garraf, Barcelona (foto: ICGC)

En otras ocasiones la catástrofe pudo evitarse porque las rocas desprendidas rompieron la catenaria, con la consiguiente pérdida de suministro y la parada del convoy. Así ocurrió en los túneles de Garraf (Barcelona) el 1 de abril de 1982 en el momento que circulaba un tren con 500 viajeros, el descarrilamiento hubiera supuesto la caída del convoy al mar. El caso más reciente con víctimas ocurrió el 21 de noviembre de 2018 en Vacarisses, Barcelona. Un tren de cercanías impactó contra los derrubios acumulados en la vía con el resultado de una persona fallecida. 5 heridos graves y 44 heridos de diversa consideración. Este evento tuvo una importante repercusión mediática y un intenso debate sobre el estado del mantenimiento de la infraestructura.

Los descarrilamientos a causa de los desprendimientos han sido muy numerosos, la mayoría sin daños personales y otros con un número reducido de heridos. El número de víctimas mortales en accidentes ferroviarios causados por los desprendimientos rocosos ha ido reduciéndose con el tiempo, como era de esperar. En los primeros años de explotación las caídas eran frecuentes. Los comentarios sobre el estado de la infraestructura y las quejas de los viajeros en la prensa, ha sido una constante. Con el paso de los años se han reforzado y protegido los taludes y se han instalado dispositivos de alerta y/o frenado en el caso de rotura de la catenaria, lo que ha reducido el número de colisiones. Aun así, debido a la extensión de la red, siguen ocurriendo accidentes (**Figura 10**).



Figura 10. Evolución del número de víctimas causadas por accidentes de ferrocarril provocados por los desprendimientos, agrupadas por decenios

Las carreteras de montaña son especialmente vulnerables por un doble motivo: la ejecución de desmontes de grandes dimensiones y por discurrir bajo laderas naturales que alcanzan cientos de metros de elevación. Los tramos más críticos corresponden a las hoces o congostos, muy frecuentes en las principales cadenas montañosas, en las que el trazado discurre durante kilómetros expuesto a los desprendimientos cuyo origen se sitúa a gran altura. En el Pirineo son conocidos Terradets y Collegats en el río Noguera Pallaresa, Tres Ponts en el río Segre, el congosto de Ventamillo en el río Ésera, o el desfiladero de la Hermida el río Deva en Cantabria. Durante décadas, el tráfico por estas carreteras ha sido muy escaso por lo que el número de accidentes ha sido reducido. El número de víctimas también es bajo porque el número de vehículos implicados y de ocupantes también lo es. En los últimos años se ha experimentado un aumento substancial de visitantes y de tráfico en las carreteras de montaña, por lo que paralelamente, se ha incrementado el número de accidentes. A pesar del esfuerzo inversor, con nuevas variantes, y de los trabajos de estabilización y protección que han llevado a cabo las administraciones concernidas, el número de víctimas se ha ido incrementando. En la **Tabla 5** se presentan los accidentes recopilados con mayor número de víctimas y en la **Figura 11**, los accidentes registrados repartidos por decenios. Se trata de cifras claramente incompletas porque

la mayoría de percances (los que causan un menor daño) no se registran, como se verá en el ejemplo de cálculo de riesgo en la sección 3.1.

Localidad	fecha	Muertos	Heridos	comentario
Puente Pumar, Cantabria	27/06/1803	9		En construcción. Se desploman 24.000 m <sup>3</sup>
Gerri de la Sal, Lleida	09/09/1902	8	3	En construcción
Carretera de Valencia, Barcelona	12/12/1924	4		
Toro, Zamora	06/12/1965	4		Dos desprendimientos consecutivos
Desfiladero de la Hermida, Cantabria	18/09/1967	4	6	Tramo de 200m afectado, 3 vehículos
Ronda-San Pedro de Alcántara, Málaga	04/12/1978	4	16	Se despeña un autocar
Estrada-Silleda, Pontevedra N-640	25/06/1992	5	30	Autocar se despeña por barranco de 45m

Tabla 5. Accidentes con 4 víctimas o más provocados por desprendimientos rocosos en carreteras

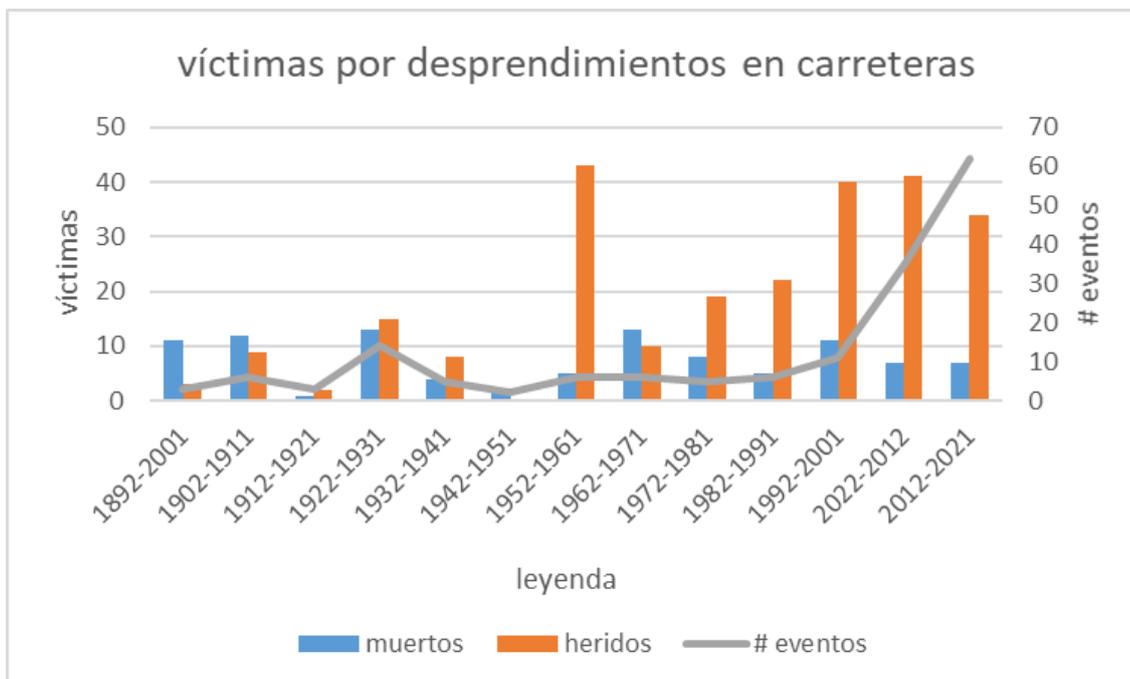


Figura 11. Evolución del número de víctimas causadas por accidentes de carretera provocados por los desprendimientos, agrupadas por decenios

El mayor número de víctimas (muertos y heridos) se debe a aquellos accidentes que implican a vehículos de transporte colectivo. En los accidentes ocurridos en la carretera de Ronda a San Pedro de Alcántara en 1978 y de Estrada a Silleda en 1992 (**Tabla 5**), el desprendimiento causó la salida de la vía de un autocar que se precipitó por un barranco. Aunque no aparecen en la tabla citada, vale la pena mencionar el accidente ocurrido el 11/09/1986 en la autopista A-2 a la altura de Cabra del Camp, Tarragona en el que un autocar se accidentó al intentar esquivar unas rocas desprendidas, causando dos muertos y 19 heridos y el de Zalla, Bizkaia con 35 heridos, dos de ellos graves, al precipitarse el autocar por un barranco. También son frecuentes los accidentes en la fase de construcción de la carretera y que se han reducido progresivamente con el tiempo, a medida que mejoraba el diseño de los taludes, las técnicas constructivas y la implementación de

protocolos para la reducción del riesgo laboral.

Del inventario que presentamos llama la atención la tendencia que, no por intuita, no había sido expresada en cifras hasta ahora. Nos referimos al riesgo asociado al tránsito por los espacios naturales en los que los desprendimientos rocosos son procesos muy frecuentes, como ocurre en la alta montaña. El aumento de aficionados al senderismo y alta montaña en los últimos años, ha incrementado sensiblemente la exposición, el riesgo individual y el número de víctimas. No se trata pues de un aumento de la actividad de los desprendimientos. Las estadísticas disponibles son incompletas porque, como se ha comentado, en las referencias a los accidentes de montaña y en particular las caídas, raramente consta la causa que los origina. Al tratarse de una actividad que se ejercita de forma individual o en pequeños grupos y en movimiento, el número de personas afectadas en cada accidente es muy reducido (**Tabla 6**). De forma similar, el aumento de visitantes en las playas y costas acantiladas, ha incrementado el número de accidentes.

Localidad	fecha	Muertos	Heridos graves	comentario
Monte				
Xixona, Alacant	27/02/1913	3		
Montbui, Barcelona	06/01/1930	3		
Ojos del Canal, Zaragoza	15/08/1953	3		
Sant Joan de Fàbregues, Barcelona	18/10/1940	3		
Peña Vieja, Asturias	19/05/1977	2		
Montserrat, Barcelona	07/11/1982	2		
Port de Comte, Lleida	10/10/1987	2	2	
Canal del Cristall, Serra del Cadí, Lleida	19/12/1993	3		Helicóptero de rescate alcanzado por una roca
Barranco de Guayonje, Tenerife	28/06/2008	2		
Montserrat, Barcelona	12/12/2008	2		Operarios que reforzaban la ladera
Torre de Olavarría, León	24/07/2012	2		
Pico el Jiso, Asturias	22/04/2017	2		
Las Cañadas del Teide, Tenerife	08/03/2021	2		
Playa/acantilado				
Playa fuente de la Salud, Torremolinos, Málaga	09/07/1961	4		
Playa Santa María del Mar, Cádiz	21/07/1985	4		
Cala Sa Nau, Felanitx, Mallorca	14/04/2021	2		

Tabla 6. Relación de accidentes en el medio natural con dos o más muertos provocados por desprendimientos rocosos. Arriba: monte (senderismo y otras actividades). Abajo: playas y costas acantiladas.

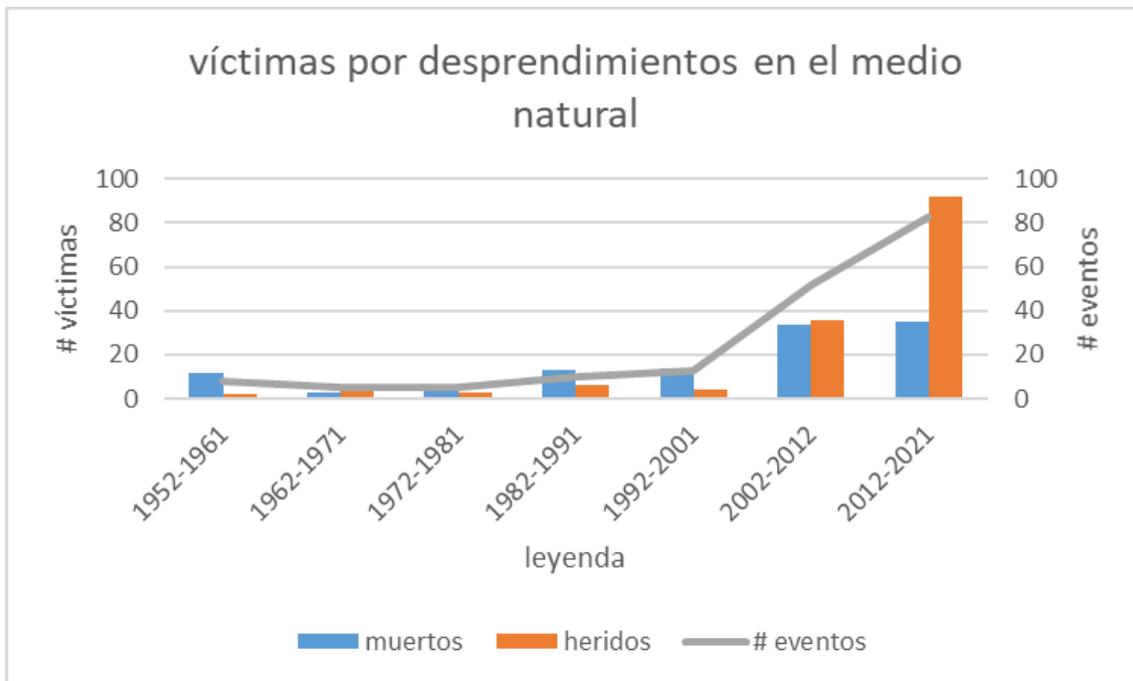


Figura 12. Evolución del número de víctimas causadas por los desprendimientos en el medio natural, agrupadas por decenios.

La distribución geográfica de desprendimientos en el medio natural es muy ilustrativa y difiere de la observada en el resto de contextos. Más del 40% de los accidentes ocurren en el Pirineo. Casi la mitad de ellos en el Pirineo de Huesca, que concentra el 18% del total. Otro foco de accidentes se concentra en la cordillera cantábrica, con un 18% de los mismos. Es interesante notar que un 5% del total ocurre en la parte leonesa de la cordillera, por la popularidad de senderos como la ruta del Cares. También destinos turísticos que son conocidos por sus playas, reúnen una notable actividad senderista que ha dado lugar a diversos accidentes. Así, entre Alacant, Illes Balears e Islas Canarias, acumulan el 14% de los accidentes con víctimas.

Si consideramos la evolución temporal de las víctimas producidas, por periodos de 50 años para todos los contextos lo primero que se constata es la influencia de la información disponible. Sólo en el periodo 2000-2021 (22 años) se han recogido más de 324 eventos con personas afectadas, es decir, más de 14 eventos/años. Esta cifra contrasta con el número de eventos del periodo 1950-1999 (50 años), que corresponde a un ritmo de 3 a 4 eventos/año, con víctimas, similar al del periodo 1900-1949 (50 años). Esto es el resultado de la disponibilidad de prensa digital a nivel comarcal, local y de las reseñas de particulares. Los datos del siglo XIX están sesgados por el hecho de que la prensa escrita se generaliza en el último cuarto del siglo y porque las noticias recibidas corresponden sobre todo a eventos que causaron un fuerte impacto en la sociedad. Esto se refleja en parte al comparar el número de víctimas mortales por evento. Éste se ha ido reduciendo desde las 12 del periodo 1800-1849 hasta las 0,4 del periodo 2000-2021. Decimos sólo en parte, porque al mismo tiempo este descenso se debe también a la reducción en el número de eventos de tipo catastrófico (10 o más víctimas mortales y heridos graves). No se ha registrado ninguno desde hace más de 30 años (el accidente de ferrocarril de Infiesto, Asturias, en 1988).

Una segunda constatación es la influencia de las intervenciones de estabilización y protección de las laderas naturales en las localidades amenazadas mediante tareas de saneo, sistemas de anclaje o protecciones con pantallas (o en algún caso, el abandono de las zonas amenazadas). Asimismo, los desmontes de ferrocarril han sido reforzadas. Por este motivo, los incidentes en estos contextos se han reducido.

Por el contrario, aparecen nuevos contextos conflictivos: los espacios naturales como las playas

y zonas de acantilado que, por su atractivo turístico, han experimentado un aumento significativo de la exposición. Los accidentes han sido recogidos ampliamente en los medios de comunicación lo que ha motivado un incremento de las inversiones de estabilización por parte del Ministerio de Fomento y los municipios costeros. Asimismo, se ha producido el aumento del número de víctimas en el monte también debido al aumento de la actividad senderista y de alta montaña. En este caso y, particularmente en entorno de alta montaña, la estabilización y protección no es una opción a considerar, excepto en las áreas habitadas.

## 2.2 Impacto económico de los daños personales

La cuantificación de daños personales y su coste está sujeto a diversas consideraciones. En el caso de reclamaciones patrimoniales a la administración el afectado debe acreditar el daño con inclusión del correspondiente atestado y demostrar la falta de cuidado de la propiedad de la infraestructura. Existe una abundante jurisprudencia con resoluciones estimatorias y desestimatorias de los recurrentes e indemnizaciones variables en función de cada caso. Existe, no obstante, un baremo básico de valoración por accidentes de tráfico que se publica anualmente en el BOE. En la **Tabla 7** se indican los baremos correspondientes al año 2021.

Indemnización por causa de muerte - Perjuicio Personal Básico	
Categoria 1- el cónyuge viudo	
Hasta 15 años de convivencia, víctima < 67 años	93.135,30€
Hasta 15 años de convivencia, víctima 67- 80 años	72.438,56€
Hasta 15 años de convivencia, víctima >80 años	51.741,83€
Por cada año adicional de convivencia o fracción, con independencia de la edad de la víctima	1.034,84€
Indemnizaciones por lesiones temporales	
Perjuicio Personal Básico	
Indemnización por día	31,05€
Perjuicio Personal Particular	
Por pérdida temporal de calidad de vida	€/día
Muy grave	103,48€
Grave	77,61€
Moderado	53,81€
Por cada intervención quirúrgica	413,93€ a 1.655,73€

Tabla 7. Extracto de indemnizaciones por accidentes de tráfico publicadas por el Ministerio de Economía y Hacienda (Mineco) en 2021.

Si consideramos el número de víctimas mortales producidas entre 1872 y 2021 (150 años), la cifra asciende a 1339. Asumiendo la indemnización de 93.135,30€ por deceso (**Tabla 7**), resulta un coste cercano a los 125M€(unos 830,000€anuales).

El impacto económico de los daños personales no se limita a los propios afectados. Los accidentes en el medio natural son un buen ejemplo para ilustrar la importancia de otros costes. Los seguros federativos de montaña cubren una cantidad entre 45,000 y 60,000€ en caso de fallecimiento. Estas cantidades son más bajas que las indemnizaciones en pleitos contra la administración porque se trata una actividad voluntaria. Existe un baremo para los gastos médicos y las secuelas por accidentes en el monte. A todo ello hay que añadir los gastos de rescate (**Tabla 8**). El rescate en la montaña requiere de especialistas. El despliegue de un helicóptero medicalizado suele movilizar uno o dos pilotos, uno o dos especialistas en montaña y un médico de urgencias. En función de las condiciones orográficas y meteorológicas, el rescate puede prolongarse un tiempo indeterminado y hay que tener en cuenta que coste-hora de helicóptero oscila entre los 2.000 y 3.000€

Concepto		mínimo	medio	máximo
Gastos médicos	Centros concertados	ilimitado		
	Centros no concertados	2,000		6,000
Muerte por accidente		20,000	45,000	60,000
Invalidez		25,000		35,000
Gastos rescate		9,000	12,000	18,000

Tabla 8. Cobertura de la licencia federativa de montaña en 2022.

Si atendemos a los rescates de personas accidentadas por desprendimientos en los últimos 20 años (2002-2021), en el inventario recopilado se han contabilizado únicamente 116 (como se ha indicado, se trata de un límite inferior). El balance de estos rescates ha sido de 58 muertos, 20 heridos graves y 81 heridos de diversa consideración. Si nos atenemos a los valores medios de indemnización por muerte y de gastos de rescate indicados en la **Tabla 8**, se obtiene un coste de 4M de euros, sin incluir los gastos médicos de recuperación. Es decir, 200.000 euros anuales.

### 2.3 Inversiones en estabilización y protección contra los desprendimientos

Los desprendimientos rocosos generan importantes daños materiales y pérdidas económicas. No existen estadísticas reales sobre las pérdidas ocasionadas por los desprendimientos ni por los movimientos en masa en general. Las estadísticas publicadas por el Consorcio de Compensación de Seguros, clasifican los peligros naturales entre tempestades ciclónicas, inundaciones, terremotos y volcanes, pero no aparecen los movimientos en masa, ni tampoco están incluidos en las estadísticas de riesgos extraordinarios. La primera cuantificación global del impacto económico de los *movimientos en masa* en España, para el periodo 1986- 2016, se estimó entre 4.600 y 5.385 M€ para la hipótesis de riesgo medio y riesgo máximo, respectivamente, definidos anteriormente (Ayala et al., 1987; González de Vallejo, 1988). El coste para el escenario de riesgo medio se estima en unos 150M€ anuales y el riesgo máximo en 179,5M€ anuales. Como se ha comentado anteriormente, los movimientos en masa del estudio de Ayala et al. (1987) incluyen los desprendimientos rocosos pero también otros procesos como los deslizamientos, las corrientes de derrubios y los hundimientos del terreno. Ayala (2002) estimó los daños directos de los movimientos de ladera, determinados por el coste de estabilización, en 36M€ anuales. Estas cifras son sensiblemente menores a las calculadas en el estudio de 1987.

El cálculo de los daños reales y costes asociados a los desprendimientos de tierras y rocas es de difícil estimación pues hay que tener en cuenta una variedad de costes. Así, a los costes de las tareas de rescate, de desescombro y limpieza, de consolidación del talud o ladera hay de añadir el coste del daño personal y el causado sobre el elemento impactado (vehículo, convoy, vivienda), la reposición de infraestructura (calzada, vía de ferrocarril), el de la pérdida de funcionalidad (desvíos, interrupción del servicio) que puede prolongarse días o semanas y el aislamiento. Estos costes pueden tener un impacto significativo, especialmente para las economías locales. A modo de ejemplo, el desprendimiento de rocas de Cortes de Pallas, València ocurrido el 6 de abril de 2015, supuso la interrupción de la carretera CV-428 de acceso a la población durante 8 meses. Los afectados debían utilizar una pista forestal que alargaba el tiempo de recorrido en más de 2 horas hasta que se habilitó un transporte fluvial para atravesar el río Júcar. Requirió de una inversión de 10M€ para estabilizar el talud y para facilitar el acceso.

Otra dificultad en la evaluación de los costes, es la disgregación de partidas y la mezcla de las inversiones. Así, en las infraestructuras de comunicación, raramente se puede separar los costes de ejecución inicial de los desmontes de los costes de reparación. Numerosas infraestructuras

viarias y ferroviarias han tenido que hacer frente a problemas de estabilidad durante la ejecución que han comportado gastos adicionales de refuerzo (sistemas de contención y anclaje), retaluzado y contención de los desmontes. Por otro lado, los costes de reparación por causa de roturas de taludes y desprendimientos están incluidos en los contratos de mantenimiento que incluyen además otras tareas como la reposición de elementos de seguridad, de asfaltado o señalización. Sólo los eventos de gran envergadura son objeto de contratos específicos.

Cuando las incidencias se repiten y levantas las quejas de los usuarios y autoridades locales, la administración regional y central plantean proyectos globales como son los nuevos trazados. Las inversiones de Renfe para el periodo 1983-1985 fueron de 30M€ anuales (Ayala et al. 1987). Algunas inversiones realizadas para resolver de manera global tramos de infraestructura amenazados por los desprendimientos alcanzan decenas de millones de euros. A modo de ejemplo, la construcción del Túnel del Roc del Dui del ferrocarril cremallera de acceso a Núria en Girona, con una longitud de 1.3 km, finalizó en 2008 con un coste de 23,5M€. El desfiladero de la Hermida en Cantabria ha sido objeto de diversas inversiones. En 2007 se llevaron a cabo obras de ampliación con un coste de 27M€, en 2017 los trabajos para reforzar la seguridad de los desmontes por valor de 9,3M€. Finalmente, en diciembre de 2021 se adjudicaron obras de mejora de un tramo de 17,2km con un coste de 73,4M€. En total, unas inversiones superiores a 110M€ en un periodo de 15 años que, aunque contienen otras actuaciones de seguridad vial e integración ambiental, la razón fundamental es la protección frente a los desprendimientos rocosos. Una actuación similar se está realizando entre El Run y Campo, Huesca para resolver los problemas de desprendimientos en el Congosto de Ventamillo, con un presupuesto de 35,7M€.

La información relativa a los daños materiales causados por los desprendimientos rocosos en hemerotecas y páginas web de las diversas administraciones, empresas públicas y organismos responsables de la gestión de infraestructuras es escasa o inexistente. Contrasta con la existente relativa a los eventos y víctimas. La única información normalmente consultable se refiere a las inversiones en contención y protección de los taludes y a proyectos para reducir o evitar el riesgo como las nuevas variantes de trazado. Algunas cifras, pocas, aparecen citadas en la prensa, pero en general hay que buscarlas en las páginas web corporativas. En este sentido y aunque la ley de transparencia pretende promover y facilitar el acceso a los datos, la transparencia y accesibilidad varía enormemente de comunidad a comunidad y de organismo a organismo. Ejemplos reseñables de transparencia son las web de la Diputación Foral de Navarra, los Cabildos Insulares Canarios, el Ministerio de Medio Ambiente- Dirección General de Costas, en las que se aporta información sobre la cuantía los contratos adjudicados para la consolidación o protección contra los desprendimientos. Otros organismos sólo proporcionan la información referente a unos pocos años como Bidegi (2010-2017) y Adif (2020-2021) o se halla dispersa e incompleta (Contratación del Estado, Contractació Pública de la Generalitat de Catalunya,...) o está en elaboración (Cantabria). Por este motivo, los datos recopilados son geográficamente incompletos.

En la **Tabla 9** se presentan los costes de las actuaciones realizadas para evitar o reducir el riesgo causado por desprendimientos rocosos en el periodo 2007-2021. Como referencia, se presenta también las pérdidas totales por deslizamientos estimadas en el estudio de Ayala et al. (1987). No son cifras directamente comparables por diversos motivos. En primer lugar, porque las cifras recogidas en el inventario (2007-2021) son inversiones de estabilización y protección mientras que las de Ayala et al. (1987) son estimaciones de daños. En segundo lugar, porque las cifras del estudio de 1987 incluyen además los deslizamientos, corrientes de derrubios, entre otros mecanismos. En este sentido, hay que tener en cuenta que el tratamiento y estabilización de los desprendimientos rocosos suelen tener un coste substancialmente menor que la estabilización de deslizamientos. Éstos requieren procedimientos especiales como la modificación de la geometría (retaluzado), la construcción de muros de contención y sistemas de anclaje profundo, el drenaje de ladera, entre otros.

Comunidades	Inventario hemeroteca 2007-2021			Ayala et al. 1987- Hipótesis riesgo medio		
	costes €	costes €/año	% costes	pérdidas € 1986-2016	pérdidas €/año	% pérdidas
Galicia	7.883.098	525.540	1,23	126.414.651	4.213.822	2,75
Asturias	2.751.773	183.452	0,43	207.057.445	6.901.915	4,50
Cantabria	140.445.581	9.363.039	21,91	148.685.268	4.956.176	3,23
Euskadi	84.276.548	5.618.437	13,15	129.736.876	4.324.563	2,82
Rioja	10.254.115	683.608	1,60	72.917.348	2.430.578	1,58
Navarra	2.593.438	172.896	0,40	220.585.575	7.352.853	4,79
Aragón	60.828.111	4.055.207	9,49	630.637.549	21.021.252	13,70
Catalunya	108.394.469	7.226.298	16,91	442.747.790	14.758.260	9,62
País Valencià	46.390.699	3.092.713	7,24	227.677.100	7.589.237	4,95
Murcia	12.682.910	845.527	1,98	123.571.200	4.119.040	2,69
Castilla-León	41.935.762	2.795.717	6,54	461.435.703	15.381.190	10,03
Extremadura	4.079.760	271.984	0,64	69.699.939	2.323.331	1,51
Andalucía	64.940.336	4.329.356	10,13	1.179.374.600	39.312.487	25,63
Canarias	37.517.242	2.501.149	5,85	32.558.757	1.085.292	0,71
Illes Balears	13.201.768	880.118	2,06	30.676.413	1.022.547	0,67
Madrid				25.138.469	837.949	0,55
Castilla- La Mancha	2.953.059	196.871	0,46	473.337.261	15.777.909	10,28
<b>TOTALES</b>	<b>641.128.666</b>	<b>42.741.911</b>		<b>4.602.251.945</b>	<b>153.408.398</b>	

Tabla 9. Costes económicos de los desprendimientos rocosos del inventario (2007-2021) y las pérdidas totales por deslizamientos según hipótesis de riesgo medio (Ayala et al. 1987).

De todos modos, hemos realizado el ejercicio de comparar el porcentaje de costes de las inversiones anuales entre 2007-2021 y de pérdidas anuales estimadas por Ayala et al. (1987), repartidos por comunidades autónomas. En una primera aproximación cabría suponer que aquellas comunidades con las mayores pérdidas por deslizamientos y desprendimientos son las que requieren de mayores inversiones de estabilización y protección, pero no es así. Las cifras de porcentaje de las inversiones por Comunidades Autónomas (**Tabla 9**) indican que las mayores inversiones se han realizado en Cantabria (21,95%), Catalunya (16,19%), Euskadi (13,15%), Andalucía (10,13%) y Aragón (9,49%). Estas cifras contrastan con el porcentaje de pérdidas esperadas en el periodo 1986-2016 para Andalucía (25,6%), Aragón (13,7%), Castilla-La Mancha (10,3%), Castilla-León (10%) y Catalunya (9,6%). Aunque la discrepancia puede explicarse parcialmente por la información disponible, parece evidente que las pérdidas en las dos comunidades castellanas estaban sobrevaloradas mientras que otras como las Islas Canarias e Illes Balears estaban infravaloradas, incluso en términos absolutos.

Es interesante notar que Ayala et al. (1987) calcularon la posible reducción de pérdidas por aplicación de medidas de mitigación. Para los movimientos de ladera, estos autores consideran que las medidas pueden ser muy efectivas y reducir en un 90% las consecuencias. En este sentido, la ejecución de las medidas de mitigación (valoradas entre 474 y 555M€) reducirían las pérdidas totales a 934 y 1093M€, para la hipótesis de riesgo medio y riesgo máximo, respectivamente. Es decir, a unos 31 y 36,4M€ anuales respectivamente. La relación beneficio/coste por la adopción de las medidas de mitigación es de 8,87 (Ayala et al. 1987).

### 3. LOS INVENTARIOS Y LA EVALUACIÓN DEL RIESGO

La Evaluación Cuantitativa de Riesgo (ECR) es un procedimiento que, en los últimos años, se está utilizando cada vez más. La ECR es una potente herramienta de gestión en la que las hipótesis e incertidumbres se manifiestan explícitamente (Fell et al. 2005). La ECR facilita la toma de decisiones objetiva, elimina el uso de términos ambiguos, los resultados son replicables de manera consistente y facilita el análisis coste-beneficio para distintos escenarios (Corominas y Mavrouli, 2011; Corominas et al. 2014). La ECR requiere determinar de la probabilidad de rotura (o la frecuencia) para un rango de volúmenes de la pared rocosa, la probabilidad de impacto contra los elementos expuestos y el daño. Los inventarios de desprendimientos suelen ser la base de partida para la ECR. Para ilustrarlo presentaremos la evaluación cuantitativa del riesgo directo e indirecto en tramo de carretera. Se evaluará tanto el riesgo personal (probabilidad anual de pérdida de vida) como el material (coste anual causado por los desprendimientos).

#### 3.1. Riesgo personal (probabilidad de impacto en vehículos)

Seguiremos el procedimiento descrito por Hungr et al. (1999) y Roberds (2005) en el que se considera la probabilidad de impacto sobre vehículos y la pérdida de vidas como una probabilidad condicional función de la probabilidad (o frecuencia) del evento, de la probabilidad que los bloques desprendidos alcancen la calzada y de la probabilidad espacio-temporal (exposición) del vehículo. Así, el riesgo anual de accidente fatal es el siguiente (Agliardi et al. 2009):

$$R(A) = \sum_{i=A}^F f_a \cdot P(X:R) \cdot P(T:X) \cdot V \quad [1]$$

Siendo:

R(A): Riesgo anual (probabilidad anual de accidente fatal)

$f_a$ : frecuencia anual de un desprendimiento de magnitud dada (entre A y F, no acumulada)

P(X:R): probabilidad de que los bloques desprendidos alcancen una distancia (X) (p.e. uno o los dos carriles de la carretera) una vez ocurrido el desprendimiento.

P(T:X): probabilidad que el vehículo esté en la trayectoria del desprendimiento en el instante (T) de su ocurrencia (exposición)

V: vulnerabilidad del ocupante del vehículo ante de un evento magnitud definida (A a F)

P(X:R) varía en función del tamaño del desprendimiento y puede determinarse utilizando programas de caídas de bloques pero también a partir de evidencias empíricas. Normalmente, los eventos de pequeñas dimensiones alcanzan en el arcén o el primer carril mientras que los de mayores dimensiones llegan a ocupar ambos carriles.

El procedimiento para cuantificar la exposición en corredores de transporte ha sido utilizado por diversos investigadores (Roberds, 2005; Janeras et al. 2009; Ferlisi et al. 2012; Macciotta et al. 2016; Mavrouli et al. 2021). La probabilidad de impacto sobre cualquier vehículo que se desplace a lo largo del tramo analizado en el instante del desprendimiento, es función del flujo de vehículos y del ancho del desprendimiento, que es variable para cada tamaño de rotura (Nicolet, et al. 2016):

$$P(T:X) = \frac{N_v + \frac{L_v + W_r}{1000}}{24 V_v} \quad [2]$$

Siendo:

$N_v$ : número de vehículos (IMD) (#/día). Se asume el tráfico distribuido de manera uniforme.

$L_v$ : longitud del vehículo (m)

$W_r$ : ancho del frente ocupado por los bloques desprendidos (m)

$V_v$ : velocidad del vehículo (km/h)

El número total de vehículos impactados (I) por año (para el conjunto de magnitudes de desprendimiento) se calcula mediante la ecuación [1], eliminando el término de vulnerabilidad. Así:

$$I = \sum_{i=A}^F f_a \cdot P(X: R) \cdot P(T: X) \quad [3]$$

El período de retorno (años) de los impactos por desprendimiento sobre vehículos se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$T_i = \frac{\sum i}{t} \quad [4]$$

Siendo

$T_i$ : el período de retorno de los impactos

$i$ : nº de impactos

$t$ : duración del periodo de observación (años)

Para ilustrar el desempeño de la ECR, se ha calculado el riesgo personal existente en la carretera de Zarautz-Getaria-Zumaia para los diversos escenarios descritos, utilizando las ecuaciones [1] a la [4]. La carretera de la costa tiene su origen en la unión de diversos caminos de conexión local que dieron lugar a las actuales N-634 y Gi-638. Se construyó al amparo del Plan de Igualada, aprobado en las Juntas Generales de Gipuzkoa el 9 de julio de 1850 que, en un primer momento, no la incluía. Su construcción se llevó a cabo por la iniciativa de varios alcaldes de la zona que en 1881 se dirigieron a la Diputación para que se llevara a cabo la conexión entre Zumaia y Getaria. El trazado de la carretera costera se configuró por la adición de tramos construidos por separado: Teresategi-Iraeta (1851-1854), Mutriku-Ondarroa (1855-1858), Muniasoro-Sasiola por Itziar y Deba (1856-1858), Zarautz-Getaria (1863-1865), Mutriku-Deba (1863-1867) y Getaria-Zumaia (1882-1886). Este último tramo se construyó en dos fases. En la primera, de poco más de 5km, se completó el 16 de julio de 1882. La segunda fase, un tramo de 790m, el 10 de febrero de 1884. Este segundo tramo incluía, además, la construcción de sendos puentes de hierro sobre el río Urola y la regata de Iribide. La recepción definitiva de ambas fases data del 25 de septiembre de 1885 y del 16 de agosto de 1886, respectivamente, y del 5 de mayo de 1887 la del puente sobre el río Urola.

Desde su construcción, la carretera ha sido muy conflictiva. Los materiales que componen los desmontes son alternancias de areniscas y arcillitas (facies flysch). Los desprendimientos y corrientes de derrubios han sido constantes como también la acción del oleaje que ha puesto al límite los muros de protección de la carretera. El periódico La Vanguardia, en su edición de 30 de agosto de 1884 indicaba lo siguiente: *“El Sr. Sagasta no tiene en Zarauz momento seguro. Después de haber escapado con grave riesgo d un naufragio al desembarcar en aquel puerto, ha estado a punto de ser víctima de un nuevo accidente. Un peñasco desprendido del monte Garatamendi cayó rodando hasta la carretera a poca distancia del coche en que iban el Sr. Sagasta y el Sr. Alonso Martínez, sin que afortunadamente causara daño alguno a los expedicionarios”*. El desprendimiento de mayores dimensiones tuvo lugar en el actual p.k. 24+200 a 24+400, el 29 de diciembre de 1960. La rotura tuvo lugar en la coronación del cantil de más de 70m de altura que bordea la carretera. El movimiento interesó más de 35.000m<sup>3</sup> de masa rocosa y una fracción importante de la misma (más de 20.000 m<sup>3</sup>), quedó retenida en la propia ladera (Macau, 1963). En 1956 hubo caídas en el mismo tramo sin que alcanzaran la calzada. Los trabajos de reparación se prolongaron durante casi 6 meses, reabriendo el 25 de junio de 1961. En la actualidad, en este punto hay construidas unas galerías de protección.



Figura 13. Rotura de diciembre de 1960 en el p.k. 24+400 de la carretera de Getaria a Zumaia (foto: Macau, 1963)

El 1 de diciembre de 1998, se desencadenó en el p.k. 23+900 un deslizamiento traslacional de grandes dimensiones que desplazó por completo un tramo de la plataforma de 115m de longitud. El volumen movilizado superó los 30.000 m<sup>3</sup>. Los trabajos de reconstrucción tuvieron una duración de 4 meses y un coste superior a 1,1 M€ de la época<sup>3</sup>. Durante estos meses el tráfico rodado estuvo interrumpido.

Para realizar la ECR hemos utilizado el inventario de desprendimientos rocosos facilitado por los servicios de mantenimiento de la Diputación Foral de Gipuzkoa, el registro de llamadas a SOS-Deiak y el vaciado de los incidentes recogidos por la prensa escrita (sobre todo procedentes de El Diario Vasco, Noticias de Gipuzkoa y La Vanguardia). El inventario incluye 864 registros para el periodo comprendido entre 1948 y 2019. La descripción de los eventos es en general, vaga. El inventario incluye corrientes de derrubios que se desarrollan en los sectores más ricos en niveles arcillosos del flysch, pero a partir de las reseñas no es posible separar estos eventos de los desprendimientos. En pocas ocasiones se indica el punto kilométrico con suficiente exactitud (en el mejor de los casos, la precisión es hectométrica) y apenas existen referencias del volumen de los desprendimientos. Las excepciones son unos pocos eventos que han tenido una notable repercusión para la vialidad.

Clase	Magnitud (m <sup>3</sup> )	Descriptor	Afección al tráfico
A	≤0,5	Corresponde a los descriptores “retirar piedras”, “piedras en la calzada”	Sin interrupción; corte <2h
B	0,5 a ≤5	“piedra grande”, “desprendimiento”, “obstaculiza circulación”	Sin interrupción; paso alternativo; corte 6-12h
C	5 a ≤50	“desprendimiento” “desprendimiento ocupando un carril”	Corte de 1-2 días de duración
D	50 a ≤500	“desprendimiento ocupando los dos carriles” (*)	Corte entre 7-15 días de duración
E	500 a ≤5.000	“desprendimiento ocupando los dos carriles”	Corte entre 30-45 días de duración
F	> 5.000	Gran rotura (casos de 1963 y 1998)	Corte de varios meses de duración

Tabla 10. Relación de descriptores y afecciones utilizados para estimar la magnitud de los desprendimientos. Estas reseñas aparecen en los partes de los equipos de mantenimiento y en las llamadas al servicio SOS-Deiak. (\*) las corrientes de derrubios están incluidas en el inventario porque no se realiza ninguna distinción. En este caso, los trabajos de limpieza y reposición requieren un tiempo menor.

<sup>3</sup> 182 MPta según El País de 2/01/1999

Para el cálculo del riesgo, se ha obtenido la frecuencia para cada rango de magnitud de desprendimiento, a partir de la interpretación de los partes de mantenimiento y llamadas a SOS-Deiak e, indirectamente, en función del tiempo requerido para dejar la calzada expedita. Este último se ha estimado por analogía con casos conocidos. Así, se han establecido un total de 6 clases de magnitud que se ajustan a una escala logarítmica (**Tabla 10**). La asignación de cada evento a una clase de magnitud en función de los descriptores de los partes, contiene errores. No obstante, el hecho de trabajar en escala logarítmica reduce las posibles malinterpretaciones. Además, varias descripciones han sido cotejadas con fotografías disponibles del mismo evento. Los volúmenes de eventos de dimensiones intermedias (entre 5 y 5.000 m<sup>3</sup>) probablemente son menos que los reales. En la mayoría de los casos, la asignación se ha realizado a partir de información indirecta como las referencias a la interrupción o cierre de la vía. En la prensa se suele informar del cierre de la circulación, pero pocas veces de su reapertura (especialmente en los eventos anteriores a 1990). En este caso, el criterio seguido es asignar a la categoría B todos aquellos eventos en los que se menciona la carretera cortada sin más indicaciones. Cuando la duración de corte se especifica o es deducible, se ha asignado la categoría en función del grado de afección del tráfico. Las frecuencias obtenidas para cada rango de volúmenes se indica en la **Tabla 11**.

Categoría	Magnitud (m <sup>3</sup> )	Nº eventos	Periodo (años)	años	Frecuencia f <sub>a</sub> (eventos/año)
A	<0,5	431	1994-2008	15	28,733
B	0,5-5	234	1994-2008	15	15,600
C	5-50	66	1948-2019	72	0,917
D	50-500	32	1948-2019	72	0,444
E	500-5.000	4	1948-2019	72	0,056
F	> 5.000	2	1885-2019	135	0,015

Tabla 11. Categorías de magnitud de desprendimientos y sus frecuencias respectivas en la carretera N-634 entre Zarautz y Getaria

El registro de eventos de pequeñas dimensiones (clases A y B) cubre un periodo de 15 años. Ha sido confeccionado a partir de los partes de las brigadas de mantenimiento y de avisos de incidentes. Por este motivo, se considera completo y representativo. La frecuencia se ha normalizado (eventos/años) y extrapolado al conjunto de la serie. Los desprendimientos de la categoría C, se han recopilado de los partes de mantenimiento y avisos (1994-2008) y también de la hemeroteca (1948-2019). El registro de eventos de las categorías D, E y F proviene mayoritariamente de la hemeroteca. Conviene precisar que se ha incluido en la categoría F el evento de 1998 que, en realidad, es un deslizamiento. Si se compara la frecuencia anual obtenida de los eventos de categoría C para el periodo 1948-1993 (0,30 eventos/año), con la de registros completos del periodo 1994-2008 (2,63 eventos/año) y con la de los más recientes obtenidos de la prensa local del periodo 2009-2019 (0,73 eventos/año), se concluye los eventos de categoría C seguramente están subestimados, como decíamos más arriba. Lo mismo ocurre con los eventos de categoría D. A pesar de estas limitaciones, este inventario es uno de los más completos que se dispone.

Para el cálculo de riesgo personal se han utilizado los datos de IMD de la red de aforos de la Diputación Foral de Gipuzkoa (DFG, 2020), que es de 5.437 vehículos diarios. De ellos, 2.666 circulan por el carril interior (lado ladera) y 2.771 por el carril exterior (lado mar). Se asume una velocidad media de 60km/h y una longitud media de los vehículos circulantes de 4,5m.

$M_i$ (m <sup>3</sup> )		P(T:X) lado talud	P(T:X) lado mar	Wr ancho frente (m)	V (personas)
$\leq 0,5$	A	0,50	0,05	1,5	0,02
0,5 a $\leq 5$	B	0,80	0,40	3,5	0,10
5 a $\leq 50$	C	1,00	0,85	10	0,30
50 a $\leq 500$	D	1,00	1,00	20	0,75
500 a $\leq 5.000$	E	1,00	1,00	50	0,90
$> 5.000$	F	1,00	1,00	100	1,00

Tabla 12. Parámetros utilizados para el cálculo del riesgo personal (ecuaciones [1] y [2]). La vulnerabilidad (V) se refiere a las personas dentro del vehículo

Los resultados se presentan en la **Tabla 13**.

	fa	P(X:R) <sub>i</sub>	P(T:X)	V	Riesgo R(A)	Vehículos impactados/año
A	28,7333	0,5	0,0111	0,02	0,0032	0,1596
B	15,6000	0,8	0,0148	0,10	0,0185	0,1848
C	0,9167	1,0	0,0268	0,30	0,0074	0,0246
D	0,4444	1,0	0,0454	0,75	0,0151	0,0202
E	0,0556	1,0	0,1009	0,90	0,0050	0,0056
F	0,0148	1,0	0,1935	1,00	0,0029	0,0029
<b>Total lado ladera</b>					0,0521	0,3977
A	28,7333	0,05	0,009	0,02	0,0003	0,0126
B	15,6000	0,40	0,009	0,10	0,0059	0,0588
C	0,9167	0,85	0,010	0,30	0,0024	0,0080
D	0,4444	1,00	0,011	0,75	0,0035	0,0047
E	0,0556	1,00	0,011	0,90	0,0005	0,0006
F	0,0148	1,00	0,011	1,00	0,0002	0,0002
<b>Total lado mar</b>					0,0128	0,0849

Tabla 13. Riesgo anual de pérdida de vida para los ocupantes de los vehículos y número de vehículos impactados por año, segregado por carriles (lado ladera y lado mar)

El número de impactos anuales considerando ambos carriles (**Tabla 13**) es de 0,48, es decir, un impacto cada 2,07 años. Resulta evidente que circular por el carril lado ladera comporta un riesgo mucho mayor que por el carril lado mar (cinco veces superior). El número de accidentes provocados por los desprendimientos registrados en la hemeroteca para el periodo de 72 años asciende a 22 accidentes, lo que corresponde a un periodo de retorno de 3,3 años (no todos los accidentes lo son por impacto directo, algunos son por colisión contra los bloques desparramados por la calzada). El mayor número de impactos calculado se debe a la categoría A ( $<0,5\text{m}^3$ ), la más frecuente, a la que corresponden 0,19 impactos/año. Es muy probable que los impactos de fragmentos rocosos de pequeñas dimensiones, que no causen daños relevantes en los vehículos y, por ese motivo, no constan en la parte del inventario confeccionado a partir de las hemerotecas. Una prueba de ello es que la mayoría de accidentes que aparecen en el registro de llamadas de SOS-Deiak del periodo 1994-2008 no constan en la prensa. Del total de 13 accidentes registrados, sólo 2 aparecen como noticia en la prensa diaria.

El riesgo anual de pérdida de vida considerando los dos carriles es de 0,065, es decir, un accidente mortal cada 15 años. De nuevo, el riesgo en el carril lado mar es sensiblemente menor que en el del lado talud. En el período comprendido entre 1948 y 2019 (72 años) constan tres víctimas mortales en sendos accidentes, es decir, un accidente mortal cada 25 años. A esta cifra hay que añadir, 3 heridos,

dos de ellos leves, así como otros accidentes en los que no se especifica el estado los accidentados. Se tiene constancia de otra víctima mortal en 1935, fuera del periodo considerado. El riesgo personal calculado, aunque algo mayor, es del mismo orden de magnitud que el observado, sin incluir los heridos. Entendemos que se trata de estimaciones razonablemente ajustadas.

### 3.2 Daños materiales y costes indirectos

Las consecuencias en términos de impacto o pérdida económica de los desprendimientos rocosos tienen dos componentes. Por un lado, están los costes directos que corresponde a los daños materiales en los vehículos circulantes y, sobre todo, a las labores de desescombro y limpieza junto con las de saneo y consolidación del talud y reposición del firme. No se incluyen las obras preventivas o de protección, como la construcción de galerías de protección (en 2004 se inauguraron dos galerías de protección en el kilómetro 24+200 de tramo Getaria-Zumaia, con un coste de 2,8M€), que deberían constar como inversiones. Por otro lado, en cada incidente se producen costes indirectos, más difíciles de establecer. Los más evidentes son los costes por desvío y la pérdida de horas laborables. Otros costes indirectos como la afcción a servicios y otras infraestructuras o el aislamiento de la población, no son abordados en esta comunicación.

El **coste total** pues, es la suma del coste directo y del indirecto. Es función de la severidad de los daños y el número y valor de elementos afectados. Por este motivo, no se establece un límite superior. El **riesgo total** (pérdidas anualizadas) se obtiene de la suma del producto de la **Pr** (o frecuencia anual) para cada magnitud dada y las consecuencias (coste asociado). Se expresa de la forma siguiente (Corominas et al. 2017):

$$R_T = \sum_{M=A}^F Pr \cdot C \quad [5]$$

Siendo,

$R_T$ , el Riesgo total anualizado (€/año)

$Pr$ , la probabilidad anual de ocurrencia (o frecuencia anual) de rotura de magnitud  $j$ . Probabilidad que una ladera o desmonte pueda dar lugar a un desprendimiento de determinadas dimensiones.

$C$ , las consecuencias (p.e. €) de la rotura de magnitud  $M$  (varía entre  $A$  y  $F$ ). Se incluyen los **costes directos** (desescombro, saneo, contención del talud, reposición calzada,...) como los **indirectos** debido al bloqueo de la vía (desvío del tráfico, exceso de recorrido y pérdida de hora laborales). Para el ejemplo de la carretera de la costa de Gipuzkoa, hemos establecido unos **costes directos** en función del tamaño del desprendimiento (Tabla 14).

Clase	Consecuencias					
	A	B	C	D	E	F
Volumen m <sup>3</sup>	<0,5	0,5<V≤5	5<V≤50	50<V≤500	500<V≤ 5.000	> 5.000
Interrupción vía	No, esporádicamente	No, sólo parcial	sí	sí	sí	sí
Acciones	limpieza	Paso alternativo + retirada	Interrupción vía + saneamiento talud	Interrupción vía + consolidación talud	Interrupción vía + consolidación talud	Interrupción vía + consolidación talud
Tiempo interrupción	0,5h	6h	2d	10d	45d	4m
Coste (€)	800	2,5k	60k	150k	500k	2M

**Tabla 14.** Coste estimado del daño causado por los desprendimientos rocosos en función del volumen y los trabajos de limpieza y consolidación. El tiempo de interrupción se ha considerado un valor intermedio de los indicados en la Tabla 10.

Estos costes se han estimado a partir de los criterios expuestos en un trabajo previo (Corominas et al. 2017), que ha sido actualizado con la información de costes de reparación de algunos desprendimientos de categoría C a F, comentados en la prensa tanto en esta como en otras carreteras. Se trata pues, de una estimación aproximada y que puede diferir de forma substancial en cada caso específico (por ejemplo, para un mismo volumen los costes de reparación de un desprendimiento rocoso pueden muy diferentes a los de una corriente de derrubios, también frecuentes en este trazado). En el ejemplo que se describe sólo pretendemos mostrar el potencial del procedimiento de ECR. Se ha tenido en cuenta que, aunque no se produzca el corte completo de la vía, los trabajos con paso alternativo generan retenciones y pérdidas de tiempo.

Los **costes indirectos** resultan de la suma de las pérdidas anuales por exceso de recorrido en los desvíos y el coste laboral de las horas perdidas en los desvíos. Se expresa en €/año.

El coste anual total, se calcula del siguiente modo:

$$C_a = \sum_{i=A}^F f_i \cdot [p + (t \cdot s + km \cdot c)] \quad [6]$$

Donde

$C_a$ : coste anual total (€/año)

$p$ : coste de dejar la vía expedita

$f_i$ : frecuencia anual de cada rango de tamaño de los desprendimientos (A,..F) (#/año)

$t$ : exceso de tiempo invertido en los desvíos, para cada tamaño de desprendimiento (h)

$s$ : coste hora de trabajo (€/h)

$km$ : exceso de kilómetros recorridos en el desvío

$c$ : coste de carburante (€/km) + peajes (€)

Presentamos a continuación una estimación de las pérdidas económicas anuales a causa de los desprendimientos del tramo de carretera de la costa de Gipuzkoa entre las localidades de Zumaia, Getaria y Zarautz. Para llevarlo a cabo se han utilizado los siguientes parámetros: (a) diferencias en km y tiempos de recorrido, calculadas mediante la aplicación ViaMichelin (km) y contrastadas con Google maps; (b) coste por kilómetro es el indicado en las dietas nacionales (0,29 €/km) y el de los vehículos pesados que calcula el Ministerio de Transporte (1€/km); (c) la intensidad media diaria (IMD) de los vehículos que circulan por la N634 así como la proporción entre vehículos ligeros (92%) y pesados (8%) se ha obtenido de la estación de aforos de Getaria de la red de aforos de la Diputación Foral de Gipuzkoa (DFG, 2020); (d) el coste de los peajes se ha obtenido de las tarifas vigentes en 2022 de la estación de peaje de Zarautz de la autopista A8; (e) El coste de hora de trabajo (28 €/h), se ha obtenido de las estadísticas del INE para Euskadi. Se ha considerado que, en promedio, viajan 1,5 personas por vehículo. Los rangos de volúmenes de desprendimiento y las frecuencias anuales son las indicadas en la **Tabla 11**.

Los costes, en realidad, son mayores porque al incrementarse la intensidad de circulación, las velocidades medias suelen reducirse. Además, un porcentaje de los vehículos desviados realizan un mayor recorrido. Son aquellos que se hallaban circulando en los instantes anteriores al desprendimiento. Al tropezarse con los derrubios en la calzada, tienen que dar media vuelta, deshacer el recorrido y tomar el desvío alternativo.

El cálculo de pérdidas indirectas se ha realizado considerando 2 escenarios. El escenario 1 supone que todo el tráfico de vehículos se dirige desde Zarautz a Zumaia y viceversa, 5.804 vehículos/día (no se considera el tráfico tenga origen o destino Getaria). En este escenario, cualquier interrupción de la vía, sea entre Zarautz y Getaria o entre Getaria y Zumaia implica un desvío por cualquier de las dos posibles alternativas: la carretera Gi-2633 por el alto de Meaga o por la autopista A-8 de peaje (ver **Figura 14**). El escenario 2 supone que un porcentaje del tráfico tiene origen y/o destino Getaria

(viajes de ida y vuelta). Por lo tanto, si el desprendimiento tiene lugar entre Zarautz y Getaria, sólo queda afectado el tráfico entre estas localidades y entre Zarautz y Zumaia pero no el tráfico entre Zumaia y Getaria. En el escenario 2 cuantifica las consecuencias de la interrupción de la vía teniendo en cuenta si ésta ocurre en el tramo Zarautz-Getaria (escenario 2A) o en el tramo Getaria-Zumaia (escenario 2B). En estos dos escenarios se asume que un porcentaje de vehículos se dirigen de Zarautz a Zumaia y viceversa (en el ejemplo, 3.000 vehículos diarios). Estos últimos, en caso de interrupción por desprendimiento, la mitad se desvían por el alto de Meaga y el 50% restante por la AP-8. El resto de vehículos se supone tienen el origen o destino en Getaria. Los costes de reparación se calculan en función la frecuencia anual y magnitud de los eventos producidos en cada uno de los subtramos (Zarautz-Getaria, 312 casos y Zumaia-Getaria, 554 casos).



Figura 14. Tramo de la N-634 entre Zarautz-Getaria-Zumaia por la costa, y en las diferentes alternativas por la autopista A-8, Zarautz-Getaria por Meaga (arriba) y Zumaia-Getaria por Meaga (abajo) (imagen de ViaMichelin)

En la **Tabla 15**, se presentan las alternativas de recorrido de los escenarios analizados

	<b>d (km)</b>	<b><math>\Delta d</math> (km)</b>	<b><math>v_m</math> (km/h)</b>	<b>t (h)</b>	<b><math>\Delta t</math> (h)</b>	<b>Escenario</b>
Zarautz-Getaria-Zumaia N-634 -Carretera Costa	11,1		60	0,19		1,2
Zarautz-Zumaia Gi-2633 por Meaga	12,7	1,6	50	0,25	0,07	1,2A,2B
Zarautz-Zumaia AP-8 autopista de peaje	18,5	7,4	60	0,31	0,12	1,2A,2B
Zarautz-Getaria (i/v)	10		60	0,17		2A
Zarautz-Getaria Gi-2633 por Meaga (i/v)	18	8		0,30	0,13	2A
Zumaia-Getaria (i/v)	12			0,20		2B
Zumaia-Getaria Gi-2633 por Meaga (i/v)	24	12		0,40	0,20	2B

Tabla 15. Variables de los escenarios considerados: i/v: ida y vuelta; d: distancia recorrida ;  $\Delta d$ : exceso de distancia recorrida;  $v_m$ : velocidad media del recorrido; t: tiempo de recorrido;  $\Delta t$ : exceso de tiempo de recorrido (Figura 14)

En la **Tabla 16** se presentan los costes directos (por limpieza y reparación de la vía y contención del talud) e indirectos (carburante y horas laborales perdidas) calculados para el escenario 1, considerando que el 50% del tráfico se desvía por la Gi-2633 y el alto de Meaga y el 50% lo hace por la autopista de peaje A8.

Clase	Magnitud (m <sup>3</sup> )	Costes directos (€año)	Costes indirectos (€año)		Total (€año)
			Gi-6233	AP-8	
A	V<0,5	21.552	5.701	15.383	42.636
B	0,5<V≤5	36.575	37.152	100.248	173.975
C	5<V≤50	55.020	18.629	50.268	123.917
D	50<V≤500	66.600	45.100	121.696	233.396
E	500<V≤5.000	28.000	25.598	69.070	122.668
F	5.000<V	30.000	18.284	49.336	97.620
	TOTAL	237.747	145.079	456.126	770.252

Tabla 16. Costes anualizados directos e indirectos correspondientes al Escenario 1

En el escenario 2A, la estación de aforos entre Zarautz y Getaria indica un tráfico 7240 vehículos cada día. En este escenario 2A se asume que cada día 3000 vehículos realizan todo el recorrido entre Zarautz y Zumaia (1500 por sentido) y 4240 vehículos entre Zarautz y Getaria (2120 viajes ida y vuelta). En el escenario 2B, la estación de aforos entre Getaria y Zumaia indica un tráfico 5440 vehículos cada día. En el escenario 2B se asume que cada día 3000 vehículos realizan todo el recorrido entre Zarautz y Zumaia (1500 por sentido) y 2440 vehículos entre Zumaia y Getaria (1220 viajes ida y vuelta).

En la **Tabla 16** se presentan los costes directos (por limpieza y reparación de la vía y contención del talud) e indirectos (carburante y horas laborales perdidas) de los escenarios 2A y 2B considerando que el 50% del tráfico se desvía por la Gi-2633 y el alto de Meaga y el 50% lo hace por la autopista de peaje A8.

Categoría	Interrupción localizada entre Zarautz y Getaria (2A)		Interrupción localizada entre Getaria y Zumaia (2B)		Total (€año)
	C.D. (€año)	C.I. (€año)	C.D. (€año)	C.I. (€año)	
A	7.626,40	7.401,93	15.573,60	14.124,81	44.726,74
B	13.332,50	49.689,89	26.667,50	92.876,81	182.566,70
C	25.020,00	31.082,97	30.000,00	34.827,71	120.930,68
D	33.300,00	82.738,84	33.300,00	77.317,53	226.656,37
E	7.000,00	23.479,94	21.000,00	65.824,38	117.304,32
F	0,00	0,00	30.000,00	62.689,89	92.689,89
TOTAL	86.278,90	194.393,56	156.541,10	347.661,12	784.874,68

Tabla 17. Costes de la interrupción por desprendimientos en el escenario 2. C.D.: costes directos; C.I.: Costes indirectos. Nota: el valor 0 de los costes para la categoría F del escenario 2A se debe a que los dos eventos históricos conocidos se produjeron en el tramo Getaria-Zumaia

Comparando los resultados de la **Tabla 16** y **Tabla 17** se concluye que los costes de los dos escenarios son muy parecidos. No obstante, el desglose de tramos del escenario 2 muestra que costes directos e indirectos son mayores en el subtramo entre Zumaia y Getaria, lo que puede ser un elemento a tener en cuenta en la programación de los trabajos de estabilización y protección y en las prioridades. Estas valoraciones son también un punto de partida para llevar a cabo análisis de coste-beneficio y evaluar la amortización de las inversiones.

#### **4. COMENTARIOS FINALES**

Los desprendimientos rocosos son procesos muy frecuentes en nuestra geografía y, según el inventario recopilado, el causante del mayor número de víctimas por inestabilidad de laderas. El coste directo anual asciende a, por lo menos, varias decenas de millones de euros y un coste indirecto desconocido pero que, a tenor el ejemplo de la carretera de la costa de Gipuzkoa, parece razonable añadir un coste indirecto del mismo orden de magnitud o mayor. Todo ello sin considerar otros escenarios como el generado por el aislamiento de poblaciones o el daño a otras infraestructuras.

El riesgo para las personas a causa de los desprendimientos rocosos se ha reducido de manera sensible en la poblaciones situadas bajo riscos y cantiles rocosos, fundamentalmente por los trabajos de estabilización y protección llevados a cabo en los últimos decenios. Se observa la misma tendencia en los tramos de ferrocarril gracias también a los trabajos de estabilización de los taludes y, especialmente, a los sistemas de seguridad que detectan incidentes en la catenaria en o las vías. No obstante, estas mejoras no alcanzan al conjunto de la extensa la red ferroviaria y los accidentes siguen ocurriendo, aunque con menores consecuencias. De manera similar se observa una disminución de los accidentes en excavaciones a cielo abierto (canteras y obras de ingeniería civil) asociado a la mejora de los sistemas de excavación y a las medidas de control de riesgos laborales implementadas en años recientes. Son cifras lo suficientemente elocuentes para justificar los esfuerzos inversores en prevención y protección que se están llevando a cabo por las distintas administraciones y empresas.

En lo que se refiere a la red de carreteras, el riesgo en valores absolutos no ha disminuido como en los contextos anteriores. La razón hay que encontrarla en dos causas: el incremento de la extensión de la red de carreteras, casi un 20% en los últimos 50 años pero, sobre todo, en el aumento de la circulación rodada, también en las carreteras de montaña. Finalmente, el riesgo ha aumentado sensiblemente en el entorno natural. La causa principal es el aumento de la frecuentación (la exposición) tanto en el monte como en la costa. El resultado es que, en los últimos 20 años, el medio natural aporta casi el 30% de los muertos y el 22% de los heridos producidos por los desprendimientos rocosos. Esta tendencia es previsible que se mantenga en el futuro por el incremento de la frecuentación y la dificultad de llevar a cabo actuaciones de mitigación, especialmente en la alta montaña. Por este motivo, la reducción del riesgo personal, en conjunto, no ha sido tan significativa como podría esperarse de las políticas de mitigación que se han llevado a cabo.

El efecto del cambio climático en los desprendimientos es todavía una incógnita. La ausencia del permafrost en las cordilleras más elevadas de la península sugiere que su desaparición no incidirá de manera significativa en la frecuencia de roturas. Sin embargo, el aumento de eventos de intensa precipitación será un factor que favorecerá una mayor incidencia.

#### **5. AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo se enmarca dentro de las actividades del proyecto GeoRisk con referencia PID2019-103974RB-I00 y que está financiado por MCIN/ AEI/10.13039/501100011033.

#### **REFERENCIAS**

- Agliardi F, Crosta GB, Frattini P (2009) Integrating rockfall riskassessment and countermeasure design by 3D modelling techniques. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 9:1059–1073
- Ayala, F.J., Elízaga, E., González de Vallejo, L.I., Durán, J.J., Beltrán de Heredia, F., Oliveros, M.A., Carbó, A., Guillamont, M.L., Capote, R., 1987. Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España. IGME, Madrid, 91pp. + apéndices

- Ayala, F.J. 2002. Análisis de Riesgos por movimientos de ladera. En: F.J. Ayala y J. Olcina Cantos (coordinadores). *Riegos Naturales*. Editorial Ariel, Barcelona. pp. 379-409
- Budetta, P. 2004. Assessment of rockfall risk along roads. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. European Geosciences Union. Vol 4: 71-81.
- Comisión del Mapa Geológico de España, 1885. Terremotos de Andalucía. Informe dando cuenta del estado de los trabajos. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico T. XII*. Madrid
- Corominas, J. 2000. Landslides and climate. 8th International Symposium on Landslides. Cardiff, Wales, UK. 33 pp. Keynote Lecturers, 2001.CD-Rom
- Corominas, J. y García Yagüe, Á., 1997. Terminología de los movimientos de ladera. In: E. Alonso, J. Corominas, J. Chacón, C. Oteo and J. Pérez (Editors), *IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, Granada, pp. 1051-1072.
- Corominas J. and Mavrouli O. 2011. Rockfall Quantitative Risk Assessment, Chapter 8. In: Lambert, S. and F. Nicot (Eds.): *Rockfall engineering*. ISTE Ltd & John Wiley and Sons, Inc. pp. 255-301
- Corominas, J., Mavrouli, O., Ibarbia, I. Jugo, J., Alonso, N., Ruiz, J., Luzuriaga, S., Navarro, J.A. 2017. Metodología integrada para la evaluación de riesgos en la red de carreteras de Gipuzkoa. In: E.Alonso, J. Corominas, M. Hürlimann (Eds). *IX Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. pp. 395-406
- Corominas, J; van Westen, C.; Frattini, P.; Cascini, L.; Malet, J.P.; Fotopoulou, S.; Catani, F.; Van Den Eeckhaut, M.; Mavrouli, O; Agliardi, F.; Pitilakis, K.; Winter, M.G.; Pastor, M.; Ferlisi, S.; Tofani, V.; Hervás, J. & Smith, J.T. 2014. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73: 209-263. DOI 10.1007/s10064-013-0538-8
- Cruden, D.M., Varnes, D.J. 1996. Landslide types and processes. In: Turner AT, Schuster RL (eds) *Landslides—investigation and mitigation*. Transportation Research Board Special Report no.247. National Academy Press, Washington, DC, pp 36–75
- DFG 2020. Información de aforos de las carreteras de Gipuzkoa. Diputación Foral de Gipuzkoa. 25 2pp.
- Domínguez-Cuesta, M.J., Jiménez-Sánchez, M., Rodríguez García, A. 1999. Press archives as temporal records of landslides in the North of Spain: relationships between rainfall and instability slope events. *Geomorphology* 30 (1–2), 125–132. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00049-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00049-5).
- El Hamdouni. R.; Irigaray, C.; Pérez, J. Fernández, T. y Chacón, J. 1997. Exposición a riesgos derivados de movimientos de ladera en el entorno de Albuñuelas (Granada). Incidencia de las lluvias de noviembre a enero de 1996/97. *IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Granada. Vol. 1: 15-26
- Fell R., Ho K.K.S., Lacasse, S., Leroi, E. 2005. A framework for landslide risk assessment and management. In: Hungr O, Fell R, Couture R, Eberhardt E (eds) *Landslide risk management*. Taylor and Francis, London, pp 3–26
- Ferlisi, S., Cascini, L., Corominas, J., Matano, F. 2012. Rockfall risk assessment to persons travelling in vehicles along a road: the case study of the Amalfi coastal road (southern Italy). *Nat Hazards* 62:691–721
- Hoek, E., Bray, J.W., 1981. *Rock Slope Engineering* Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Janeras, M., Buxó, P., Paret, D., Comellas, J., Palau, J. 2009. Valoración del riesgo como herramienta de análisis de alternativas de protección frente a desprendimientos de roca en el cremallera de Núria. *VII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Barcelona. Vol. 2: 865-877
- Leo, E., Cuchí, J.A. 2017. Los aludes en el Alto Aragón: tipología, zonas de peligro, daños y víctimas. *Lucas Mallada*, 19: 233-278
- López Sanz, G. 2014. *Alcalá del Júcar: Piedra, tierra y agua*. Instituto de Estudios Albacetences, 316 pp.
- Macau, F. 1963. Previsión de los movimientos del terreno. *Boletín de Informaciones y Estudios* nº 16. Servicio Geológico de Obras Públicas, Madrid.
- Macciotta, R., Martin, C.D., Morgenstern, N.R., Cruden D.M. 2016. Quantitative risk assessment of slope hazards along a section of railway in the Canadian Cordillera – a methodology considering the uncertainty in the results, *Landslides*, 13: 15-117 10.
- Mavrouli, O. Corominas, J. Ibarbia, I., Alonso, N., Jugo, I., Ruiz, J., Luzuriaga, S., Navarro, J.A. 2019. Integrated risk assessment due to slope instabilities in the roadway network of Gipuzkoa, Basque Country. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19: 399-419. DOI10.5194/nhess-19-399-2019
- Mateos, R.M. 2013. La Mallorca inestable. En: E.Alonso, J. Corominas, M. Hürlimann (Eds). *VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Palma de Mallorca pp. 23-34
- Nicolet, P., Jaboyedoff, M., Cloutier, C., Crosta, G., Lévy, S. 2016. Brief Communication: On direct impact probability of landslides on vehicles. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 995-1004
- Reicherter, K.R., Jabaloy, A., Galindo-Zaldívar, J., Ruano, P., Becker-Heidmann, P., Morales, J., Reiss, S., González-Lodeiro, F., 2003. Repeated palaeoseismic activity of the Ventas de Zafarraya fault (South Spain) and its relation with the 1884 Andalusian earthquake. *Int. Journal Earth Science* 92: 912-922.
- Roberds, W. 2005. Estimating temporal and spatial variability and vulnerability. In *Landslide Risk Management*. O Hungr, R Fell, R Couture & E Eberhardt (eds), Taylor and Francis, London, pp 129-158

- Rodríguez de la Torre, F. 1997. La catástrofe del día de Nochebuena del año 1803 en Alcalá del Júcar. *Revista de Estudios Albacetenses*, 41: 159-192 ISSN 0212-8632
- Rodríguez Pascua, M.A., Silva, P.G., Perucha, M.A., Giner Robles J.L., Elez, J., Roquero, E. 2017. El escenario sísmico del terremoto de Arenas del Rey de 1884 (España). IX Reuniao do Quaternario Ibérico, Faro, Portugal. pp. 49-52
- Um Quidam. 1885. Cartas desde los sitios azotados por los terremotos en Andalucía. Librería Nacional y Extranjera. Madrid. 142 pp.
- Valenzuela, P., Domínguez-Cuesta, M. J., García, M. A. M., Jiménez-Sánchez, M. 2017. A spatio-temporal landslide inventory for the NW of Spain: BAPA database, *Geomorphology*, 293, 11–23, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.05.010>, 2017.
- Vidal Sánchez, F. 2011. El terremoto de Alhama de Granada de 1884 y su impacto. *Anuari Verdaguer*, 19: 11-45