

Aplicación Análisis Cuantitativo del Riesgo de desprendimientos rocosos fragmentarios: Lago del Espejo en el Monasterio de Piedra

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Universitat Politècnica de Catalunya – UPC

Noviembre 2017

Objetivo

Desprendimiento en febrero 2017



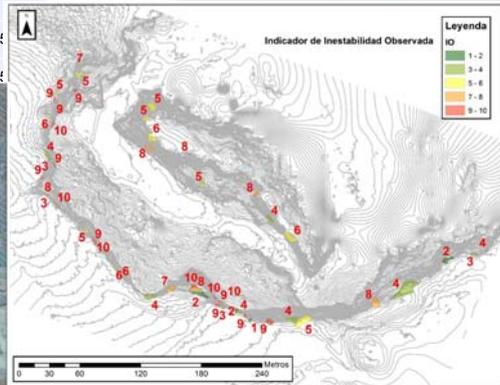
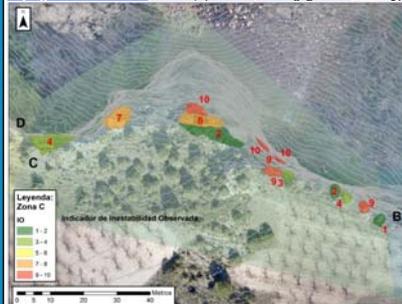
Estado actual de los cantiles rocosos



Estado actual de los cantiles rocosos

Indicador	Criterio de evaluación	Puntuación	Valoración máxima
Desarrollo grieta perimetral	<50%	0	2
	50%<x<75%	1	
	>75%	2	
Presencia de roturas en el pie	Ninguna	0	2
	Una	1	
	Más de una	2	
Presencia de roturas en el techo	Ninguna	0	2
	Una	1	
	Más de una	2	
Desplazamiento acumulado (grieta)	no	0	3
	si	3	
Criterio cinemático	No cumple	0	0.5
	cumple	0.5	
Antecedentes	No existen	0	0.5

Más de 50 puntos identificados mediante dron y fotografía digital
Observación de zonas de difícil accesibilidad



Evaluación Cuantitativa del Riesgo (ECR)

$$R = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I N_i \cdot P(S/D)_i \cdot P(T/S)_j \cdot V_{ij}$$

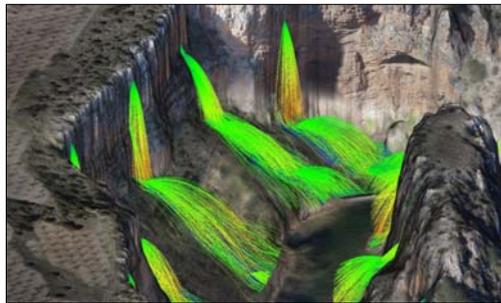
R : riesgo por ocurrencia de desprendimientos de volumen i sobre visitantes situados a una distancia S del punto de salida del desprendimiento.

N_i : frecuencia anual de los desprendimientos rocosos de clase de volumen i .

$P(S|D)_i$: probabilidad de que los bloques del desprendimiento tamaño i alcancen la ruta que bordea el Lago, situado a una distancia S del punto de salida

$P(T|S)$: probabilidad que un visitante o grupo de visitantes j se encuentre en la trayectoria del desprendimiento a la distancia S , en el momento de ocurrencia del desprendimiento

V_{ij} la vulnerabilidad de un visitante o grupo de visitantes j por impacto de bloque desprendido de magnitud i



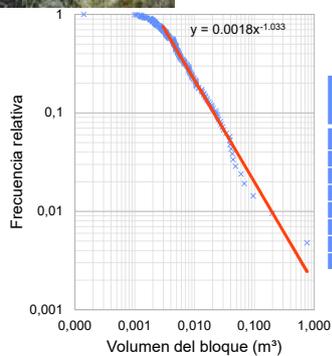
ECR: frecuencia de las roturas (N_i)



Inventario de bloques retenidos en las pantallas

Eventos históricos (1986, 2017)

Eventos de edad desconocida



volumen	frecuencia	Periodo de retorno (T)	Volumen anual	Volumen en 1000 años	Volumen acumulado 1000 años
m ³	Eventos/año	años	m ³	m ³	m ³
<0.005	45.1463	0.02	0.226	225.7	225.7
0.005 <v ≤ 0.05	5.9514	0.17	0.298	297.6	523.3
0.05 <v ≤ 0.5	0.7846	1.27	0.392	392.3	915.6
0.5 <v ≤ 5	0.1034	9.67	0.517	517.1	1432.7
5 <v ≤ 50	0.0136	73.35	0.682	681.7	2114.4
50 <v ≤ 500	0.0018	556.39	0.899	898.7	3013.0
500 <v ≤ 5000	0.0002	4220.64	1.185	1184.7	4197.7

Calibración del modelo RockGIS

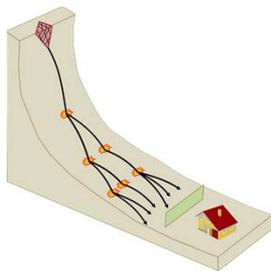
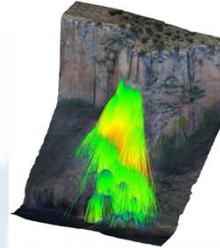
Inventario en pantallas dinámicas (Bloques < 0,5m³)



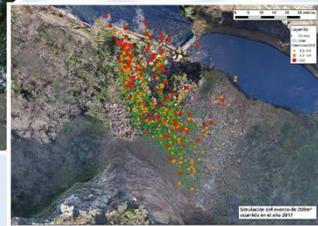
Bloques saneados (Bloques 0,5-5m³)



Evento febrero 2017 (Bloques > 5m³)

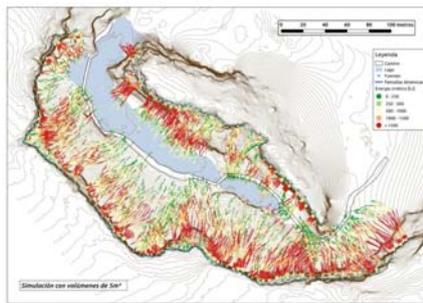


RockGIS
Trayectorias y alcances 3D
Energías de paso



Fragmentación

Calibración del modelo RockGIS



Efecto de la fragmentación



ECR: Probabilidad de impacto sobre visitantes $P(T | S)_j$

$$P(T/S) = \frac{f_p \cdot (W_d + l_p)}{24 \cdot 1000 \cdot v_p}$$

Tramo	Volumen de desprendimiento (m ³)					
	<0,05	0,05 < x <0,5	0,5 < x <5	5 < x <50	50 < x <500	>500
Tramo I	0.2	0.8	1.5	17	20	30
Tramo II	0.2	0.8	1.5	25	25	32
Tramo III	0.2	0.8	1.5	40	45	55
Tramo IV	0.2	0.8	1.5	17	20	30
Tramo V	0.2	0.8	1.5	30	30	35
Tramo VI	0.2	0.8	1.5	30	45	60

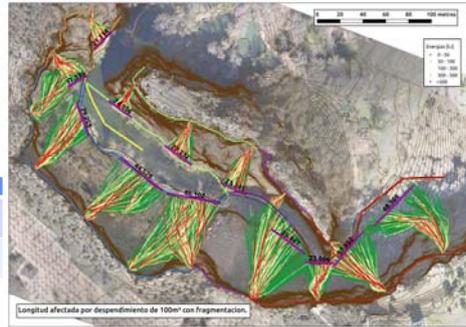
f_p : flujo de personas (personas/día) = 700 p/día
 W_d : ancho del frente del cono de fragmentos (m)
 l_p : espacio ocupado por las personas (m)
 v_p : velocidad media de las personas (km/h) = 2km/h

ancho del cono de fragmentos

f_p uniformemente distribuido

W_d

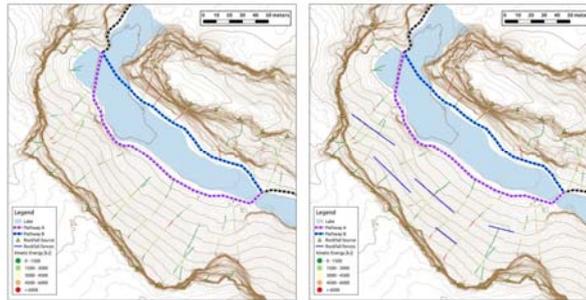
Volumen (m ³)	1	10	100
Bloque intacto	1	2.2	4.6
Cono de fragmentos	17.5	20	40



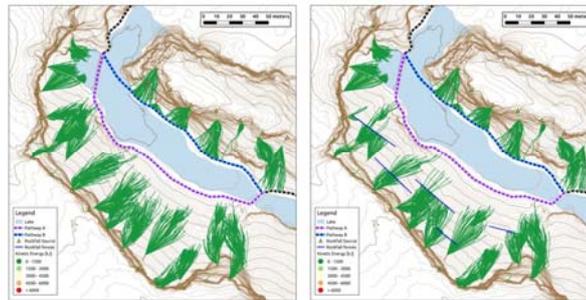
Efecto de la fragmentación

10m³

Sin fragmentación



Con fragmentación



Análisis Cuantitativo del Riesgo

Probabilidad anual de pérdida de vida para desprendimientos sin fragmentación

Pathway A (length 195m) –contributing Cliff (length 320m)					
Without protection barriers					
Class M_i (m ³)	Ni	P(S:D)	P(T:S)	V	Risk $R(A)$
1	0.0331	0.6176	0.0219	1,0	4.5×10^{-4}
10	0.0043	0.7619	0.0394	1,0	1.3×10^{-4}
100	0.00057	0.8254	0.0744	1,0	3.52×10^{-5}
With protection barriers (1500K.J)					
1	0.0331	0.1273	0.0219	1,0	9.19×10^{-5}
10	0.0043	0.7472	0.0394	1,0	1.28×10^{-4}
100	0.0006	0.8254	0.0744	1,0	3.53×10^{-5}

6.15×10^{-4}

2.55×10^{-4}

Probabilidad anual de pérdida de vida para desprendimientos fragmentarios

Pathway A (length 195m) –contributing Cliff (length 320m)					
Without protection barriers					
Class M_i (m ³)	Ni	P(S:D)	P(T:S)	V	Risk $R(A)$
1	0.0331	0.0322	0.0779	0,5	4.35×10^{-5}
10	0.0043	0.2035	0.1343	1,0	1.34×10^{-4}
100	0.00057	0.6240	0.2981	1,0	1.07×10^{-4}
With protection barriers (1500K.J)					
1	0.0331	0.0205	0.0973	0,5	3.29×10^{-5}
10	0.0043	0.1318	0.1461	1,0	8.36×10^{-5}
100	0.00057	0.5150	0.2973	1,0	8.80×10^{-5}

2.69×10^{-4}

2.05×10^{-4}

Corominas et al. 2018, submitted

Conclusiones

Los resultados muestran que para los desprendimientos de rocas de pequeño tamaño (<1m³), la fragmentación reduce el riesgo para los visitantes.

Para eventos de caída de rocas > 100 m³, la fragmentación aumenta el riesgo general debido a la generación de múltiples trayectorias divergentes y una mayor exposición de los elementos en riesgo.

Para eventos de caída de rocas de 10 m³, el menor alcance y la energía cinética más pequeña compensan el efecto de la exposición. Además, la fragmentación hace factible la implementación de medidas de protección.