

## **PREVENCIÓN DEL RIESGO DE ALUDES EN LA LÍNEA DEL CREMALLERA DE NÚRIA, PIRINEO ORIENTAL**

**P. Oller <sup>1</sup>, D. Paret <sup>2</sup>, C. García <sup>1</sup>, M. Janeras <sup>3</sup>, O. Costa <sup>1</sup>, G. Martí <sup>1</sup>, P. Martínez <sup>1</sup>.**

<sup>1</sup> Institut Geològic de Catalunya

<sup>2</sup> Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya

<sup>3</sup> GEOCAT Gestió de Projectes SA

### **RESUMEN**

*El complejo “Vall de Núria” es un importante centro turístico del Pirineo Oriental. El único medio de transporte con el cual se accede a él es el tren cremallera. En su tramo final, el trazado de la vía férrea se adentra en un valle cerrado de alta montaña expuesto, entre otros fenómenos, al peligro de aludes. Desde su inauguración, en 1931, y junto con el desarrollo de una estación de esquí, el número de visitantes y de trenes ha ido aumentando. Durante los más de 70 años de funcionamiento de este ferrocarril no ha ocurrido ningún accidente, a pesar de la afectación de la vía por aludes en distintas ocasiones quedando, más de una vez, el santuario incomunicado. La exposición al peligro ha ido aumentando desde entonces, razón por la cual a partir de los años 50 empiezan a realizarse las primeras actuaciones de protección frente a este fenómeno. Pero es sobre todo a partir del importante episodio avalanchoso de la temporada 1995/96 que se da un fuerte impulso en la realización de actuaciones de protección con el objetivo de minimizar el riesgo. Estas combinan la protección pasiva con las actuaciones temporales activas garantizando un elevado grado de seguridad. En este artículo se presentan los distintos trabajos preventivos que se han realizado para su protección frente a los aludes y se analiza la evolución del riesgo hasta la situación actual.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Juntamente con Montserrat, Núria es el santuario más popular de Cataluña. Antaño refugio de pastores y destino de peregrinos, hoy en día es un centro turístico de gran envergadura. Es una estación de montaña gestionada, desde 1982, por Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC) con una afluencia anual de 275000 visitantes. Consta de un complejo hotelero, un santuario, una estación de esquí, y una infraestructura ferroviaria. La inauguración del tren cremallera, el 22 de marzo de 1931, fue el inicio de la transformación del santuario en el centro turístico que es hoy día. Desde entonces, la afluencia de personas y público ha ido aumentando hasta situarse en 20 trenes y 700 personas de media diaria, y un total de 100000 personas durante la temporada invernal (de diciembre a abril). Este tren es el único medio de transporte por el cual se accede a Vall de Núria. Inicia el recorrido en Ribes de Freser (900 m s.n.m.), hasta llegar a Núria (1960 m s.n.m.), en un recorrido de 12,5 km y salvando más de 1000 m de desnivel. Pasada la estación de Queralbs (pk 6,470; 1182 m s.n.m.) el trazado entra en un escarpado valle glaciar de alta montaña expuesto, principalmente, a la inestabilidad del macizo rocoso, así como, en los últimos 5 kilómetros, al peligro de aludes.

Desde el inicio de su funcionamiento se han producido incidentes a causa de la dinámica típica del ambiente de alta montaña. Desprendimientos de rocas, avenidas torrenciales y aludes son los fenómenos que con más frecuencia han interferido la circulación normal del tren cremallera, sin que haya ocurrido ningún accidente afortunadamente. Por esta razón, y especialmente los últimos 15 años, se ha realizado un importante esfuerzo en la protección de la línea para reducir la peligrosidad geológica y, consecuentemente, el riesgo.

## 2. MARCO

El valle de Núria se encuentra en la vertiente meridional del Pirineo Oriental de Cataluña, dentro del término municipal de Queralbs (Gerona), constituye el extremo más elevado y montañoso del Valle de Ribes. Al santuario se accede por el valle del río Núria, de dirección norte-sur, excavado en gneises cambroordovícicos que le confieren un escarpado relieve, especialmente en la mitad sur, donde éstos son más potentes. El río de Núria recoge las aguas de los valles de Finestrelles-Embut, Eina y Noucreus-Noufonts, que cierran la cuenca, conocida como *l'Olla de Núria*. Las alturas máximas se encuentran entre los 2700 y los 2900 m s.n.m., siendo el Puigmal el pico más alto con 2910 m s.n.m. Estos valles están formados por materiales cambroordovícicos detríticos con intercalaciones de paquetes calizos afectados por metamorfismo de bajo grado, que dan como resultado un relieve de formas más suaves.

El clima tiene una marcada influencia mediterránea. Esta se manifiesta en nevadas puntualmente intensas, pero poco frecuentes, debido a la formación de depresiones centradas sobre el mar frente a las costas de Cataluña que impulsan masas de aire marítimas muy

húmedas con flujos del este. La variabilidad anual de las nevadas es alta, dando lugar a temporadas muy irregulares. La precipitación media en forma de nieve a 2000 m, de noviembre a abril, es del orden de 300 cm, aunque ha habido años en que se han superado los 500 cm y otros en que apenas se han rebasado los 100 cm. La temperatura media de los meses de invierno, incluyendo marzo, es de +0,3°C. Los vientos predominantes son de componente norte (Mistral, localmente conocido como Tramuntana) con rachas máximas que a veces superan los 200 km/h a 2200 m, debido a la formación de una persistente área de bajas presiones a sotavento de los Alpes sobre el golfo de León. La distribución del manto nivoso sobre el terreno es muy variable y las áreas expuestas al viento del norte habitualmente están muy erosionadas e incluso desprovistas de nieve por encima del nivel del bosque debido al viento persistente. En las laderas a sotavento predomina la formación de placas de nieve dura.

### 3. ANTECEDENTES

Desde la inauguración del cremallera, ha habido diversos episodios avalanchosos que han ocasionado el corte del servicio de trenes. Pero no es hasta principios de los años 90 del pasado siglo cuando se realiza un seguimiento sistemático de la actividad avalanchosa por parte de *Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya* (FGC) y del *Institut Geològic de Catalunya* (IGC). Existe, pues, un registro bastante sistemático desde entonces en la *Base de Dades d'Allaus de Catalunya* (BDAC; Oller et al, 2005). Anteriormente a esta fecha los datos registrados en la BDAC fueron obtenidos a partir de encuesta a la población de la zona y trabajadores del complejo turístico, bibliografía existente (Salmerón, 1987; Dalmau, 2006), y del análisis dendrocronológico (Muntán et al, 2004). A pesar de ello, el registro de aludes caídos en este período es incompleto. Uno de los motivos son los cierres del servicio de trenes, a causa de la nieve y los aludes, que ocasionaba la ocurrencia de temporales en invierno. Estos cierres podían durar varios días, como el del 16 de Enero de 1972, en que unas 500 personas quedaron aisladas en el santuario durante 10 días, que es el tiempo que se tardó en restablecer el servicio. Estos temporales podían llegar a ser un trastorno para la empresa gestora del complejo, pero los cierres garantizaban la seguridad del transporte de viajeros: durante el tiempo destinado en reabrir el servicio, el manto se estabilizaba y disminuía el peligro. Ello explica, en parte, que durante los aproximadamente 60 años en que no hubo un control específico de este fenómeno, no se registrara ningún incidente por impacto de un alud sobre el tren.

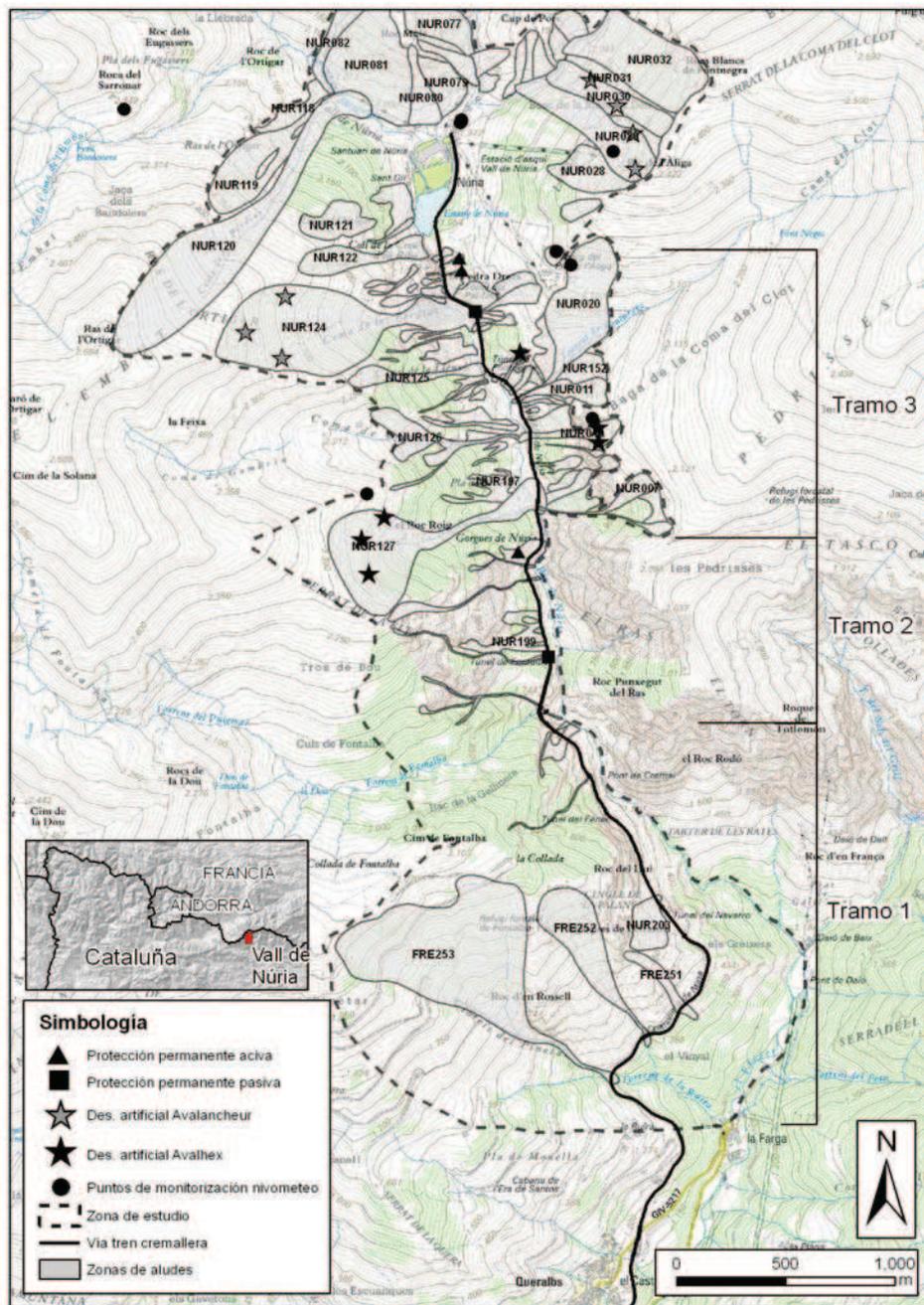


Figura 1. Trayecto de la línea del cremallera desde la estación de Queralbs hasta la estación de Núria, principales zonas de aludes que lo afectan, obras de defensa existentes y puntos de desencadenamiento preventivo. Los códigos de los aludes corresponden a la codificación de la BDAC.

Como episodio más importante de los últimos 30 años, destaca el ocurrido entre los días 6 a 8 de febrero de 1996. Con posterioridad al paso de una borrasca de componente noroeste con

vientos muy fuertes y temperaturas muy bajas (García et al., 2000), se produjo el mayor número de aludes documentado y, en conjunto, de mayores dimensiones, sobre la vía del cremallera. Se destacan el alud que llegó al Pla de Sallent (zona de aludes codificada en la BDAC como NUR127) que recorrió un desnivel de 600 metros hasta llegar a la vía produciendo numerosos daños a la infraestructura y superestructura y en la masa forestal, y el alud de la Coma de les Perdius (NUR124) que descendió un desnivel de 600 m hasta llegar al río de Núria, taponándolo y remontando en la vertiente opuesta hasta colmatar una galería salvaaludes provocando numerosos daños en la infraestructura y superestructura ferroviaria. El mes de marzo, después de una subida brusca de temperaturas, descendió por segunda vez el alud de Pla de Sallent (NUR127), afectando a la masa forestal y a la vía del cremallera.

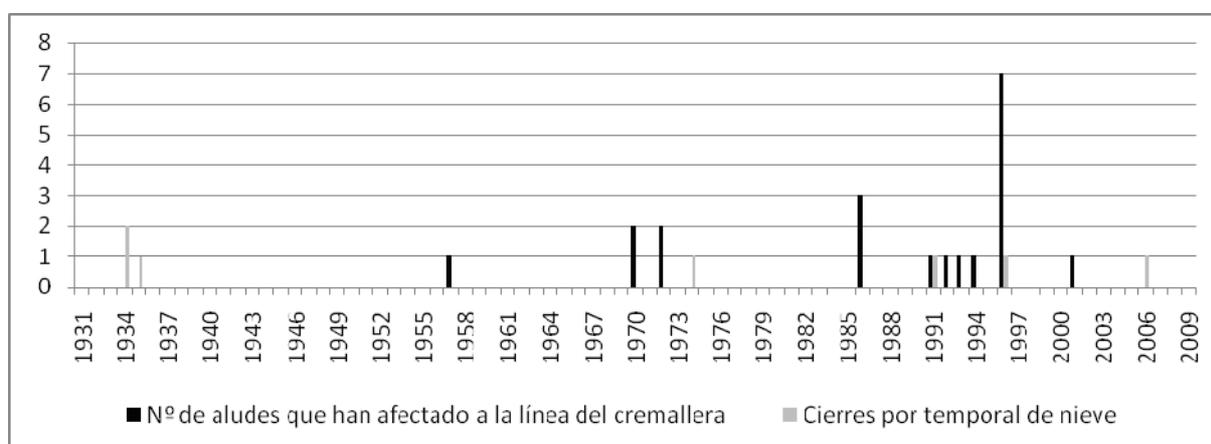


Figura 2. Número de aludes registrado por temporada y número de períodos de cierre por temporal. Cada período de cierre podía durar varios días. Con anterioridad a 1990 los datos son poco sistemáticos.

## 5. PELIGROSIDAD

Las primeras cartografías de zonas de aludes de la zona, a escala 1:25000, fueron realizadas por el *Servei Geològic de Catalunya* actualmente IGC, en 1995, por encargo de FGC, para el uso interno de la estación en la gestión del riesgo y publicadas posteriormente en el año 2000 en la hoja Núria-Freser (13) del *Mapa de Zones d'Allaus* (MZA). En paralelo, FGC elaboró en 2001 el *Pla d'actuació en situació de nevades*, un protocolo de actuación en situaciones de peligro por nevadas, que incluía el inventario de las zonas de aludes potencialmente peligrosas, y de los aludes ocurridos con afectación a las instalaciones. A partir del año 2001, se realizan los primeros estudios de peligrosidad a escala 1:5000, con el análisis de la frecuencia y de la intensidad del fenómeno.

Considerando que una presión de 8,5 kPa es suficiente para hacer descarrilar un tren (Rapin, 2002), y que para producir esta presión, un alud debe de tener un mínimo de 100 m de recorrido (McClung, 2006), se seleccionaron todas las zonas de aludes que reunían tales

características. En estas zonas, se consideró la presión como un valor constante en la determinación de la peligrosidad del fenómeno. De esta forma, la mayor o menor peligrosidad se determinó a partir de la frecuencia de llegada a la línea del cremallera. El resultado de este análisis permite diferenciar, de forma global, tres tramos en la línea, desde la estación de Queralbs hasta la de Núria (figura 1). Un primer tramo, desde Queralbs hasta el túnel pequeño del Fontalba, de 3,24 km, donde las zonas de aludes que pueden afectar la línea son escasas (afectan el 2,7% del tramo) y la probabilidad de llegada es extremadamente ocasional (inferior a  $10^{-2}$ ). Un segundo tramo, entre el túnel pequeño de Fontalba y el Pla de Sallent, de 0,97 km, con una afectación potencial del 4,1% del trayecto de forma ocasional (inferior a  $10^{-1}$ ), y un último tramo, desde el Pla de Sallent hasta el túnel de Núria, de 1,47 km, donde existe la mayor afectación (un 17,3%) y donde la actividad de aludes es frecuente (superior a  $10^0$ ). Los aludes más peligrosos se encuentran en este tramo, destacando las zonas NUR127 y NUR010.

#### 4. DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

Aunque existe algún dispositivo anterior, la mayoría de ellos se realizaron a partir de los años 90 del siglo XX. Como se ha dicho, anteriormente a esta fecha, las situaciones de peligro se solucionaban con la parada del servicio durante unos días. Pero con el paso del tiempo, la necesidad de ofrecer un servicio sin interrupciones, y a su vez, seguro, requirió mejorar los dispositivos de seguridad frente a este fenómeno.

Las primeras obras que se realizaron se plantearon de tipo permanente pasivo. En 1951 se realiza la galería del túnel de Fontalba, un falso túnel que, según la documentación encontrada, tenía como objetivo la protección contra aludes. De todas formas, se trata de una zona muy poco activa, donde en 20 años no se ha registrado actividad. No es hasta 1990 que se realiza, una galería en la zona conocida como el *Poste Tort*, para proteger una de las zonas de afectación más frecuentes de todo el trayecto del cremallera. Pero el gran impulso se produce a partir del episodio avalanchoso de 1996, cuando la reflexión sobre la necesidad de un acceso seguro, da un fuerte impulso a la realización de los proyectos y obras posteriores. El año 1997 se ejecuta una ampliación de la galería salvaaludes en la zona del *Pal Tort*, donde en el 10 de mayo de 1991 muere un trabajador de la estación que descendía de Núria esquiando, al estar cerrada la línea del cremallera por un fuerte temporal.

Con la adquisición de un sistema *Avalancheur* el año 1992, para cubrir principalmente la zona de pistas y las zonas más peligrosas en la línea del cremallera (NUR010, NUR127 y NUR124), hay un cambio de estrategia en el sistema de defensa contra aludes. El desencadenamiento artificial pasa a formar parte de la defensa activa del trazado del cremallera. Se trata de un cañón neumático de tiro parabólico que realiza purgas a distancia mediante proyectiles que impactan en el manto nivoso. Además, ya desde inicios de los años 90 se venía tirando cargas manuales en situaciones de peligro. Para ello, el año 1986 se

instaló de manera fija un minipolvorín. A pesar de ello, la actuación manual, así como del sistema *Avalancheur*, que debe ser trasladado del soporte de tiro de pistas al soporte de tiro del cremallera en cada actuación, es lenta y no siempre efectiva.

El año 2001 FGC firma un convenio con el Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) para el seguimiento geológico de la vía del cremallera, que incluye el riesgo de aludes. Fruto de este convenio se realiza una cartografía detallada de zonas de aludes a escala 1:5000, se realiza un estudio global de peligrosidad y se analizan los dispositivos de protección existentes. Se establecen unas prioridades de actuación en las zonas aún no protegidas que se desarrollan en diferentes etapas. Después del análisis de las distintas alternativas, se plantea una estrategia basada en un sistema de predicción local con el que gestionar los dispositivos de desencadenamiento artificial, y la protección de otras zonas con dispositivos permanentes pasivos.

El sistema de predicción local se basa en la adquisición de datos nivometeorológicos para elaborar una predicción local diaria. Para ello se realiza la toma de datos convencional consistente en datos nivometeorológicos manuales diarios y en la realización de sondeos y de perfiles estratigráficos y tests de estabilidad semanales. A su vez, se adquirieron dos estaciones *flowcapt* y una estación nivometeorológica automática para el registro continuo de estas variables y el envío de los datos vía GSM en tiempo real al centro de control. Los datos son incorporados diariamente al sistema *Nivolog*, un programa que permite, por un lado, almacenar los datos nivológicos, meteorológicos y avalanchosos, en una base de datos única, y por el otro, dar soporte a la predicción local a partir de la identificación de situaciones de peligro análogas. Disponer de una predicción local permite una mejor gestión del desencadenamiento preventivo, y de la gestión de aquellas situaciones de riesgo que sobrepasan las medidas de defensa adoptadas y de aquellas zonas de aludes donde no existe un dispositivo de prevención.

Para el desencadenamiento artificial Vall de Núria dispone de dos sistemas: el sistema *Avalhex* y el cañón *Avalancheur*, además de la utilización manual de explosivos en situaciones de grandes nevadas, con un minipolvorín fijo. El *Avalhex* es un dispositivo autónomo que efectúa detonaciones aéreas de una carga explosiva formada por una mezcla de hidrógeno y aire dentro de un globo de látex. Se acciona desde el centro de control a distancia vía radio, sin manipular explosivos y de forma rápida. Con este sistema se realizan purgas controladas en las zonas de riesgo de aludes que llegan hasta la vía del cremallera, y consideradas de prioridad 1, por su frecuencia y magnitud. Concretamente se instalaron tres en la zona de alud NUR127, dos en la zona de alud NUR010, y uno en la zona de alud NUR022. Este dispositivo, operativo desde la temporada 2004/05, ha sido utilizado 99 veces, generando purgas de pequeñas dimensiones que han evitado acumulaciones mayores que pudieran generar peligro para el paso del cremallera. Con el sistema *Avalancheur*, se realiza el purgado de la zona NUR124 (Coma de les Perdius), alud que debe ser de grandes dimensiones para alcanzar el trazado del cremallera, tal como ocurrió en 1996. Este

dispositivo, ubicado de forma permanente para purgar la zona avalanchosa de las pistas de Núria, ha resultado ser de gran eficacia en este sector, con una media de cinco aludes provocadas por temporada. Pero en cada actuación sobre la zona NUR124, el cañón debe ser trasladado al soporte instalado especialmente para disparar a esta zona, lo cual supone una actuación lenta. Dado que para que el alud alcance la vía, debe tener grandes dimensiones y tal situación ocurre de forma excepcional, no se ha dotado a esta zona, de momento, de un dispositivo de actuación rápida como en los casos anteriores.

Finalmente, en 2006 se actuó en las zonas NUR160 y NUR161, dos estrechas canales de fuerte pendiente próximas al túnel de Núria, que generaban numerosas incidencias en el servicio de trenes ya que los aludes que en ellas se generaban obstruían la vía y se tenía que interrumpir el servicio para limpiarla. En situaciones mayores podía también ser un peligro para la seguridad del servicio. El problema se solucionó con la instalación de barreras dinámicas en la zona de salida de los aludes a modo de retención del manto y evitar, de forma permanente, su ocurrencia.

#### **4.1. Balance**

Los sistemas de defensa permanente pasiva (galerías) han funcionado sin ninguna incidencia desde su construcción. Con estos sistemas la reducción de la peligrosidad es muy elevada. Solo en ocasiones de aludes mayores podrían ser sobrepasadas.

El sistema de defensa temporal activa *Avalhex*, en servicio desde el año 2004, ha funcionado correctamente purgando las zonas de actuación cuando ha sido necesario. El cañón *Avalancheur*, desde que se instaló la base de tiro en 1999, solo una vez se ha tenido que utilizar para purgar la zona de aludes NUR124. El resultado global es que en estas zonas, desde que se actúa de forma activa, no ha tenido lugar ningún alud que afectara a la vía de forma no controlada.

Por lo que respecta a los dispositivos de defensa permanente activa (barreras dinámicas) están funcionando correctamente, aunque el poco tiempo transcurrido desde su instalación, es poco representativo.

Finalmente, el dispositivo de predicción local viene a ser un elemento fundamental en la gestión de todo el sistema. No solo por la gestión del riesgo residual existente en todas las zonas donde se han realizado actuaciones, sino también en aquellas zonas, menos activas, sin protección.

## **6. RIESGO**

Para determinar la eficacia de los dispositivos que se han ido incorporando a la seguridad de

la línea del cremallera se ha realizado un estudio de riesgo. Para comparar su evolución, se ha calculado el riesgo desde la fecha de inicio del funcionamiento del cremallera, hasta la actualidad. Este estudio se ha realizado a partir de calcular el riesgo colectivo ( $R$ ) e individual ( $r$ ) en base al algoritmo de Wilhelm (1998), también adoptado por Janeras y Furdada (2002). La determinación del riesgo se ha basado en el cálculo de la probabilidad de muerte anual, según las siguientes expresiones:

$$R = \frac{F_z \cdot \beta}{24h} \sum_{i=1}^n \frac{g_i}{T_i \cdot v_i} \gamma_i \cdot \lambda_i \cdot \delta_i \quad [\text{fallecidos/año}]$$

$$r = \frac{z}{24h} \sum_{i=1}^n \frac{g_i}{T_i \cdot v_i} \gamma_i \cdot \lambda_i \quad [\text{fallecidos/año}]$$

$$\gamma = \frac{l_z}{g} + 1$$

$i= 1, 2, \dots, n$  zonas de aludes.

Dónde  $F_z$  es la frecuencia media de trenes diarios,  $\beta$  es la media de pasajeros diaria por tren,  $g$  es el tramo de vía afectado por una alud de período de retorno  $T$ ,  $l_z$  es la longitud del tren,  $v$  su velocidad media,  $\gamma$  el factor de longitud del tren,  $\lambda$  es la probabilidad de muerte por impacto de un alud y  $\delta$  es el factor de aversión. En el caso del riesgo individual,  $z$  es el número de viajes diarios de una persona que cada día realiza el trayecto, por ejemplo los maquinistas del tren. Para las simulaciones, se consideró el escenario de un alud que impacta sobre un tren y provoca el descarrilamiento del convoy. Se descartó el escenario en que el tren impacta sobre un depósito de alud previamente caído, dada la baja velocidad de circulación (20 km/h). Se consideró una letalidad por descarrilamiento ( $\lambda$ ) de 0,05 cuando el terreno subyacente a la línea era abrupto, y de 0,4 cuando el terreno era muy abrupto (Borter, 1999). Respecto al factor de aversión ( $\delta$ ), usado para ponderar la dimensión de los daños en comparación con otros riesgos naturales, no fue usado para el cálculo.

Los resultados obtenidos los podemos ver en la figura 3. El gráfico muestra la evolución del número total de pasajeros durante la temporada invernal en relación con la evolución del riesgo colectivo considerando 3 escenarios: en ausencia de dispositivos de protección, con dispositivos de protección estructurales sin considerar el cierre temporal preventivo y con dispositivos de protección estructurales, considerando el cierre temporal preventivo. El primer escenario muestra como la no realización de actuaciones de prevención comportaría un aumento del riesgo hasta valores significativamente altos ( $2,77 \times 10^{-2}$ ). Si consideramos los dispositivos instalados, sin tener en cuenta los cierres preventivos, vemos que, a pesar de que el número de pasajeros (y consecuentemente de trenes) ha ido aumentando (se ha

cuadruplicado) el riesgo se ha mantenido y ha disminuido notablemente a partir de 2004 a razón de la instalación de los últimos dispositivos de protección. La reducción del riesgo obtenida con el conjunto actual de dispositivos ha sido de un 80%. Considerando el cierre preventivo una medida más de prevención, el nivel de riesgo se mantiene notablemente más bajo, hasta llegar a niveles de muy alta seguridad, con una reducción del 98% del riesgo. Con el tiempo, los cierres preventivos han ido pasando de una medida obligada por las dificultades técnicas del momento (en los inicios), a reducirse al mínimo para garantizar un servicio sin interrupciones. Sin embargo, en la actualidad los valores de riesgo obtenidos, considerando solamente las medidas estructurales, se han ido acercando a los valores de riesgo obtenidos incluyendo el cierre preventivo. Ello significa que cada vez más, los cierres pueden ser más cortos ya que las actuaciones preventivas garantizan la seguridad con más rapidez. Si nos centramos en los valores absolutos, actualmente los niveles de riesgo colectivo se mantienen alrededor de  $3,95 \times 10^{-3}$ . No hay unanimidad sobre los valores de riesgo que deberían considerarse aceptables. Un criterio es el indicado por Margreth (2003), según el cual el riesgo aceptable debería ser inferior al de accidentes de tráfico ( $5,1 \times 10^{-2}$ , datos de Suiza) debido al bajo grado de control de la situación por parte del ocupante del vehículo, en nuestro caso, un tren. Podemos considerar, pues, que actualmente se ha logrado disminuir el riesgo por debajo de tales valores. Por lo que se refiere al riesgo individual, los valores obtenidos de  $2,55 \times 10^{-5}$  son notablemente inferiores al nivel aceptable ( $1 \times 10^{-4}$ ) indicado por este mismo autor para un profesional que conoce y puede tener cierto control sobre los riesgos.

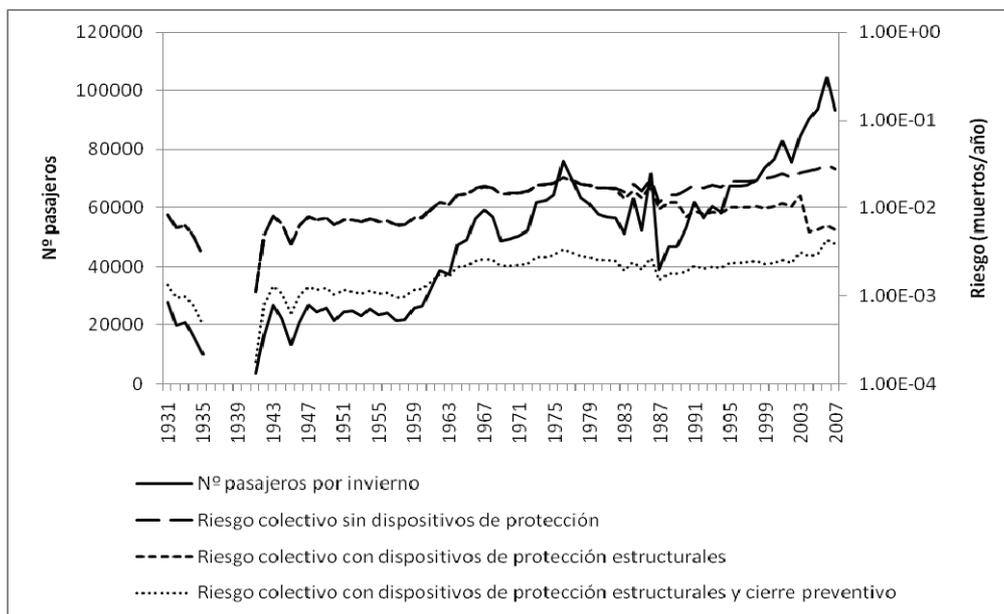


Figura 3. Evolución del riesgo colectivo en relación a la evolución del número de pasajeros. Riesgo colectivo sin dispositivos de protección: evolución del riesgo sin la existencia de dispositivos de protección. Riesgo colectivo con dispositivos de protección estructurales: evolución del riesgo considerando solamente la protección de los dispositivos estructurales. Riesgo colectivo con dispositivos de protección y cierre preventivo: evolución del riesgo considerando la protección de los dispositivos estructurales e incluyendo como medidas de protección el cierre preventivo.

## 6. CONCLUSIONES

Las actuaciones de prevención realizadas para proteger la línea del cremallera de Núria han contribuido a la disminución del riesgo hasta valores socialmente aceptables, a pesar del importante aumento del número de visitantes y de trenes durante la temporada invernal en la última década. A su vez, ello ha permitido reducir notablemente el número de cierres preventivos de seguridad y, por lo tanto, mejorar el servicio.

La base del dispositivo actual se basa en actuaciones activas de desencadenamiento artificial soportadas por un dispositivo de predicción local que permite la gestión de las situaciones de crisis. El conjunto actual de elementos de protección ha dado resultados satisfactorios desde que fueron instalados.

Así pues, el mantenimiento del servicio diario de trenes en época invernal, así como el incremento de visitantes que FGC prevé para los próximos años, requerirá el seguimiento y control de la evolución del riesgo y, en caso necesario, la realización de las actuaciones pertinentes para su minimización.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de Lukas Stoffel y Stefan Margreth del WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, de Suíza, y de Joan Riu, de Vall de Núria (FGC).

## REFERENCIAS

- Borter, P. (1999). Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren. Methode. *Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)*, Bern. 115 s.
- Dalmau, A. (2006). *El Cremallera de Núria*. Farell editors. 120 pp.
- García, C.; Gavaldà, J.; Martí, G.; Martínez, P.; Oller, P. (2000): *Butlletí Nivològic i d'Allaus. Hivern 1995/96*. Institut Cartogràfic de Catalunya. 125 pp.
- Janeras, M. & Furdada, G. (2002). Gestión del riesgo de aludes: metodología de análisis y planificación territorial y aplicación a L'Armiana de Canillo (Andorra). *En Estudios recientes (2000-2002) en Geomorfología. Patrimonio, montaña y dinámica territorial*. VII Reunión Nacional de Geomorfología (SEG), Valladolid. pp. 99-108.
- Margreth, E.; Stoffel, L.; Wilhelm, C. (2003). Winter opening of high alpine pass roads - analysis and case studies from the Swiss Alps. *Cold Regions Science and Technology* 37. P. 467-482.
- McClung, D.; Schaerer, P. (2006). *The Avalanche Handbook*. 3rd edition. The Mountaineers Books. Seattle, WA. 342 pp.
- Muntan, E.; Andreu, L.; Oller, P.; Gutiérrez, E.; Martínez, P. (2004). Dendrochronological study of the avalanche path Canal del Roc Roig. First results of the ALUDEX project in the Pyrenees. *Annals*

- of Glaciology*. V. 38. P. 173-179.
- Oller, P.; Marturià, J.; González, J.C.; Escriu, J.; Martínez, P (2005): El servidor de datos de aludes de Cataluña, una herramienta de ayuda a la planificación territorial. *Actas del VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Valencia, 21-24 de Junio de 2005. E. P. 905-916. Alonso, J. Corominas, L. Jordà, M. Romana, J.B. Serón (Eds.).
- Rapin, F (2002). A new scale for avalanche intensity. *Proceedings of the International Snow Science Workshop*. Penticton, B.C.
- Salmerón, C. (1987). *Història del cremallera de Núria*. C. Salmerón ed., Barcelona. 203 pp.
- Wilhelm C. (1998). Quantitative risk analysis for evaluation of avalanche protection projects. *Norwegian Geotechnical Institute Publications 203*: 288-293, Oslo.
- Wilhelm, C. (1999). *Praxishilfe: Kosten - Wirksamkeit von Lawinenschutzmassnahmen an Verkehrsachsen*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern. 110 s.