

# **Evaluación de la protección conseguida en la cuenca de un torrente de montaña ante los daños causados por eventos torrenciales mediante su restauración hidrológico-forestal. Cuenca del torrente de Arratiecho en el Pirineo Aragonés, España**

## *Evaluation of the protection afforded by forest-hydrological restoration against torrential damages in a mountain basin: Basin of Arratiecho torrent. Aragonese Pyrenees, Spain.*

**Santiago Fábregas Reigosa<sup>(1)</sup>, Juan Ángel Mintegui Aguirre<sup>(2)</sup>, Rocío Hurtado Roa<sup>(3)</sup>, José Carlos Robredo Sánchez<sup>(2)</sup> & Pablo Huelin Rueda<sup>(2)</sup>,**

<sup>(1)</sup> Directeur GECT Espace Pourtalet / Director AECT Espacio Portalet, sfabregas@espalet.eu

<sup>(2)</sup> Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestales y Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid, 28040 Madrid.

<sup>(3)</sup> A LURTE. Centro Pirenaico de Referencia para la Gestión de Riesgos en Montaña. Canfranc-Estación, Huesca

### **SUMMARY**

*Due to the continuous and insistent demand for innovation, we lose perspective of analysis when processes require a long time to be resolved. This happens with forests located in basins that drain into mountain torrents and which came from forest-hydrological restoration. Such forests are a complement of hydraulic work made in the torrents, for correction of floods, erosion processes and silting that are triggered in different areas of the basin when heavy rainfalls or the sudden snow cover melting activate the water and sediments cycle.*

*The basin of Arratiecho is located in the township of Biescas, Aragón Pyrenees. It was restored and the torrent was corrected between 1903 and 1905 to prevent widespread erosion and desertification, to stop landslide from moraine soils, and to reduce the effects of flooding and aggradation the alluvial fan, where, the most fertile lands and the national road N-260 are placed. We discuss the works carried out and their results a century after the construction. The evolution of reforestation has had special attention following, the criteria of analysis protective forests.*

**Key words:** reforestation, torrent control, torrential events, restoration of basin; evolution of basin.

### **RESUMEN**

*La demanda continua e insistente de innovación en el ámbito cotidiano, nos hace perder la perspectiva de análisis cuando los procesos requieren un periodo prolongado para resolverse. Esto ocurre con los bosques ubicados en cuencas vertientes a torrentes de montaña, que tienen su origen en la restauración hidrológico-forestal llevada a cabo en las mismas, como complemento de los trabajos de corrección hidráulica efectuados en los torrentes, para controlar los procesos de erosión, inundaciones y aterramientos, desencadenados en diferentes zonas de la cuenca, cuando se dinamizan en ella los ciclos del agua y de los sedimentos a causa de los aguaceros o de la repentina fusión del manto de nieve.*

*La cuenca vertiente al torrente de Arratiecho, situada en el municipio de Biescas, Pirineo Aragonés, fue restaurada y el barranco corregido entre 1903-05; para evitar su desertificación ante la erosión generalizada que sufría la misma, frenar el deslizamiento de una ladera morrénica y reducir los efectos de las inundaciones y aterramientos en su cono de sedimentación, donde se ubican los terrenos más fértiles y le atraviesa la carretera nacional N-260. Se comentan los trabajos realizados y los resultados obtenidos un siglo después, atendiendo especialmente a la evolución de las reforestaciones, siguiendo los criterios utilizados en el análisis de los bosques protectores.*

**Palabras clave:** reforestaciones, corrección de torrentes, eventos torrenciales, restauración de la cuenca, evolución de la cuenca.

### **INTRODUCCIÓN**

La imagen actual de algunas cuencas de montaña del Pirineo Aragonés es muy diferente de la que presentaban al inicio del siglo pasado, cuando fueron objeto de trabajos de restauración rehabilitación, para asegurar la eficiencia de las obras hidráulicas de corrección realizadas en los torrentes receptores de sus escorrentías, a fin de controlar sus avenidas y evitar con ello las previsible inundaciones y aterramientos en sus conos de sedimentación, donde se asientan los terrenos más fértiles y son atravesados por carreteras que, además de poner en comunicación a los parajes que se comentan con el exterior, forman parte de las vías entre España y Francia.

Esta comunicación analiza la cuenca vertiente al torrente de Arratiecho, la primera del siglo pasado que fue objeto de restauración hidrológico-forestal en el Pirineo Aragonés. En la misma se sintetizan las obras y trabajos realizados entre 1903-05, se muestra su estado actual en la primavera de 2012 y se analizan los efectos protectores de la masa arbolada conseguida con la reforestación, proyectada y ejecutada hace más de un siglo.

### **OBJETIVOS**

Se pretenden los objetivos siguientes: a) Exponer y justificar las obras y trabajos realizados en el torrente de Arratiecho y en su

cuenca vertiente entre 1903-05 en el ámbito de su proyecto de restauración hidrológico-forestal; *b)* Mostrar sus resultados, después de 107 años de su ejecución, en el escenario del proyecto y *c)* Analizar con criterios científico-técnicos el grado de protección alcanzado por la cuenca con su restauración hidrológico-forestal ante los fenómenos geo-torrenciales y de, un modo especial, el alcanzado con la masa arbolada conseguida con la reforestación

La metodología utilizada se ha basado: *a)* en el cultura de los países montañosos de Europa que llevan años reestructurando el concepto de monte protector y la planificación selvícola ligada a su gestión y *b)* en la tradición y experiencia en el Pirineo Aragonés en la materia en cuestión, que se remonta a los trabajos de repoblación y obras de corrección de torrentes y defensa contra aludes iniciados por la Sexta División Hidrológico Forestal al inicio del siglo pasado (1903), su continuidad con el Patrimonio Forestal del Estado a partir de 1952, con el ICONA desde 1973 y con el Gobierno de Aragón desde 1986. En lo que respecta al objetivo *c)*, se hace referencia al proyecto piloto denominado *Creación de un centro de referencia de los riesgos naturales y de los montes protectores de alta montaña*, de forma abreviada A LURTE, auspiciado por el Programa de Subvenciones para los Proyectos Piloto en el marco de la Red Rural Nacional, según bases reguladoras de la Orden ARM/1288/2009, en la Convocatoria para el ejercicio 2011; por tratarse de un documento utilizado de base.

El estudio se ha estructurado de manera que sus resultados se puedan comparar con los obtenidos en proyectos similares realizados en otras áreas de montaña europeas y sus conclusiones presenten referencias comunes con ellos. El procedimiento adoptado se inicia con una breve descripción del escenario de estudio, para a continuación exponer los contenidos de este apartado en el mismo orden que el establecido para los objetivos.

### Descripción del escenario de estudio

La cuenca vertiente al torrente de Arratiecho está situada en el Pirineo oscense, término municipal de Biescas y próximo a su núcleo de población (Figura 1). Morfológicamente es una típica cuenca torrencial de montaña, en la que se diferencian el área vertiente o de recepción, la garganta y el cono de sedimentación. Tiene una superficie de 1,6 Km<sup>2</sup>; su cota máxima y mínima son 1667 msnm y 860 msnm y su pendiente media 52,81 %. El torrente es afluente del río Gállego por su margen izquierda; su longitud es de 2,74 Km y su pendiente media 0,30 m·m<sup>-1</sup>. Los suelos predominantes en la cuenca son flysch coluviales, pero en su vertiente noreste presenta un pequeño manto de depósitos morrénicos que ocupa unos 0,06 Km<sup>2</sup>. Actualmente toda su área vertiente está prácticamente cubierta por una masa forestal, compuesta básicamente por pino silvestre y monte de quejigo. Las avenidas torrenciales son el principal riesgo en esta cuenca y la carretera N-260, que atraviesa su cono de sedimentación, y los aprovechamientos agro-pastorales emplazados en dicho cono son los elementos más expuestos a ellas. En menor medida también afecta a algunas pistas forestales y/o agrícolas y senderos de montaña de la cuenca.

### Estado físico de la cuenca vertiente al torrente de Arratiecho y del propio torrente al inicio del siglo XX. Descripción y justificación de las obras y trabajos realizados en ambos durante su restauración hidrológico-forestal entre 1903-05

Al comienzo del siglo XX la cuenca estaba prácticamente deforestada y profundamente degradada; por lo que, cuando incidían sobre ella eventos torrenciales, se producía en la misma un proceso de erosión generalizado, incluyendo deslizamientos superficiales en su área de cabecera y en la ladera noreste, que incluye la morrena, provocando un paulatino deslizamiento hacia el torrente. El conjunto de la cuenca experimentaba una pérdida importante de suelo, apuntando síntomas de desertificación.



**Figura 1.** Cuenca vertiente al torrente de Arratiecho. Izquierda: límites de la cuenca destacando su proximidad al núcleo de población de Biescas y el paso por su área dominada de la carretera N-260. Derecha: vista de la cuenca en marzo de 2012 donde resalta la repoblación efectuada a comienzos del siglo pasado en la ladera noreste vertiente directa al torrente (verde oscuro) *Cuenca vertiente al torrente de Arratiecho*. Izquierda: límites de la cuenca destacando su proximidad al núcleo de población de Biescas y el paso por su área dominada de la carretera N-260. Derecha: vista de la cuenca en marzo de 2012 donde resalta la repoblación efectuada a comienzos del siglo pasado en la ladera noreste vertiente directa al torrente (verde oscuro)

En el propio torrente los aguaceros activaban un fuerte geodinamismo torrencial, causando: *a)* una fuerte erosión lineal en su cauce; *b)* el transporte por las crecidas del torrente de los sedimentos arrancados de su propio lecho, junto con los materiales acumulados en él procedentes de la denudación de la cuenca y su posterior arrastre por las escorrentías de ladera hasta el mismo y *c)* la expansión de la corriente en su desplazamiento aguas abajo por su cono de sedimentación.

La inestabilidad que originaba en la cuenca la dinámica torrencial, se activaba cada vez que tenían lugar en ella precipitaciones torrenciales, poniendo en riesgo el desplazamiento aguas abajo de volúmenes de tierra importantes y provocando repetidos cortes en la carretera N-260 que atraviesa su cono de sedimentación; aislando con ello a la población de Biescas de los núcleos de población vecinos, además de causar múltiples daños en los cultivos y pastizales de sus áreas dominadas (Figura 2).



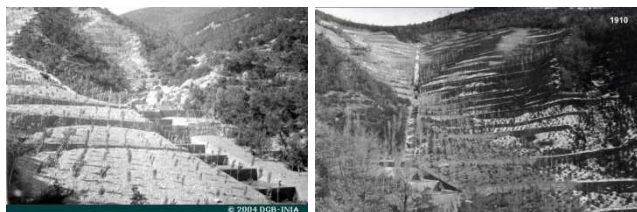
**Figura 2.** Cuenca vertiente al barranco de Arratiecho al inicio del siglo XX. Izquierda: erosión remontante en la cabecera de la cuenca hacia 1902 (Fotografía procedente del archivo del INIA, 2004). Derecha: Corte de la carretera N-260 por una crecida del barranco de Arratiecho hacia 1905 (Fotografía cedida por la familia Ayerbe). *Cuenca vertiente al barranco de Arratiecho al inicio del siglo XX*. Izquierda: erosión remontante en la cabecera de la cuenca hacia 1902 (Fotografía procedente del archivo del INIA, 2004). Derecha: Corte de la carretera N-260 por una crecida del barranco de Arratiecho hacia 1905 (Fotografía cedida por la familia Ayerbe).

Ante esta situación el Ingeniero de Montes D. Pedro Ayerbe de la Sexta División Hidrológico-Forestal ubicada operativamente en Huesca, redactó el proyecto de corrección del torrente de Arratiecho y, tras su aprobación, dirigió su ejecución entre 1903-05. El proyecto abordó: *a)* la estabilización de toda la ladera de la vertiente noreste (Figura 3); *b)* el control de la erosión remontante en el cauce principal del barranco de Arratiecho y barrancos secundarios, tanto en la cabecera (Figura 4) como sobre todo en la garganta (Figura 5); *c)* el control de la erosión superficial en todas las laderas vertientes al mismo mediante la reforestación (Figura 4) y *d)* la evacuación controlada y rápida de los caudales de avenida del torrente de Arratiecho en el tramo de su cono de sedimentación (Figura 6). Se realizaron, por tanto, obras y trabajos en las tres zonas de la cuenca: 1) área de recepción, 2) garganta y 3) cono de sedimentación.

a) Para la estabilización de la ladera noreste de la cuenca se ejecutó un abancalamiento de su perfil; lo que permitió regular las pendientes de los tramos resultantes de la ladera (que se reforestaron a continuación) y aprovechar las superficies niveladas, dotándoles de la pendiente precisa, para drenar las escorrentías que llegasen a ellas, dirigiéndolas al curso principal bien directamente o bien a través de barrancos intermedios afluentes al mismo; en conjunto el sistema de drenaje adoptó el esquema conocido como espina de pescado (Figuras 3 y 4, imagen derecha). Los muros del abancalamiento se levantaron con las mismas piedras más resistentes del *flysch* (las calizas) de la ladera. Con esta medida, a la vez que se conseguía una evacuación ordenada de los volúmenes de agua disponibles en la cuenca en momentos torrenciales y post-torrenciales, se evitaba también la erosión de sus suelos por acción de las escorrentías, que con anterioridad a la ejecución del proyecto circulaban descontroladas ladera abajo.



**Figura 3.** Cuenca vertiente al torrente de Arratiecho hacia 1904. Trabajos de estabilización de la ladera noreste por la Sexta División Hidrológico-Forestal. (Izquierda: fotografía cedida por la familia Ayerbe. Derecha: fotografía procedente del archivo INIA, 2004). *Cuenca vertiente al torrente de Arratiecho hacia 1904. Trabajos de estabilización de la ladera noreste por la Sexta División Hidrológico-Forestal. (Izquierda: fotografía cedida por la familia Ayerbe. Derecha: fotografía procedente del archivo INIA, 2004).*

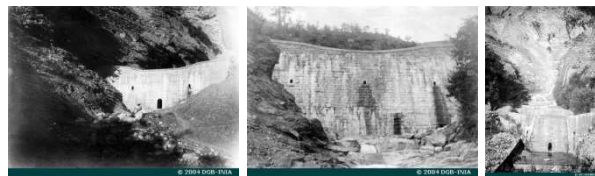


**Figura 4.** Cuenca vertiente al torrente de Arratiecho hacia 1910. Encauzamiento del cauce principal y obras y trabajos (reforestación) realizados en el área de recepción de la cuenca. (Fotografías procedentes del archivo del INIA, 2004) *Cuenca vertiente al torrente de Arratiecho hacia 1910. Encauzamiento del cauce principal y obras y trabajos (reforestación) realizados en el área de recepción de la cuenca. (Fotografías procedentes del archivo del INIA, 2004)*

b) Para el control de la erosión remontante en el cauce principal se actuó:  $b_1$ ) en su recorrido por el área de recepción, donde en una parte importante de mismo fue encauzado y escalonado con pequeños diques, definidos en el proyecto como diques de segundo orden (Figuras 4) y  $b_2$ ) en la garganta de la cuenca, donde se construyeron tres diques de mampostería hidráulica, de primer orden por su función estratégica y su mayor tamaño, en tres secciones concretas del cauce; para regular la corriente durante las avenidas y consolidar una cuña de sedimentos que frenase la erosión aguas arriba. (Figura 5). La regulación del flujo durante las avenidas exigió la adopción de un perfil de equilibrio en el tramo comprendido entre el primero y el último de los diques de primer orden, para el caudal generador establecido en el proyecto El último dique se planificó también como dique de cierre e inicio del canal escalonado de tramos erosionables que atraviesa el cono de sedimentación.

c) Para controlar de la erosión superficial en las laderas vertientes al barranco de Arratiecho se llevó a cabo su reforestación, que afectó aproximadamente a un 50 % de la cuenca, incluyendo la ladera noreste y todas aquellas superficies más directamente asociadas con las obras, por ser vertientes directas a ellas (dicha repoblación se destaca por el color verde en la imagen

de la derecha de la Figura 1). La especie principal utilizada fue el pino silvestre (*Pinus sylvestris*), pero en las zonas de cotas más bajas se empleó también el quejigo (*Quercus faginea*) y en las márgenes de los cursos de drenaje de la cuenca, especialmente del torrente de Arratiecho, y a los pies de la mayor parte de las obras hidráulicas se introdujeron plantones de aliso (*Alnus glutinosa*) para enriquecer y sujetar los suelos.



**Figura 5.** Diques de mampostería hidráulica en la garganta del torrente de Arratiecho en 1904. Izquierda: Dique de primer orden núm. 1; Centro: Dique de primer orden núm. 2; Derecha: Dique de primer orden núm. 3, ubicado al inicio del cono de sedimentación del torrente de Arratiecho. (Fotografías procedentes del archivo del INIA, 2004) *Diques de mampostería hidráulica en la garganta del torrente de Arratiecho en 1904. Izquierda: Dique de primer orden núm. 1; Centro: Dique de primer orden núm. 2; Derecha: Dique de primer orden núm. 3, ubicado al inicio del cono de sedimentación del torrente de Arratiecho. (Fotografías procedentes del archivo del INIA, 2004)*

La reforestación se planteó, como era habitual en los proyectos de la época, como una herramienta para consolidar a lo largo del tiempo la estabilización de las tierras situadas en el escenario de la restauración, donde se concentraban las obras hidráulicas de corrección; pero con la reforestación se protegían también las áreas dominadas de la cuenca, las de mayor valor agronómico, dedicadas a cultivos y pastizales.

d) Para la evacuación controlada y rápida de los caudales de avenida del torrente de Arratiecho a través de su cono de sedimentación, se construyó un canal escalonado de tramos erosionables atravesando el cono longitudinalmente (Figura 6). Dicho canal recogía los caudales de avenida de toda la cuenca para descargarlos al río Gállego a través del canal de Sía; evitando con ello su expansión y divagación por las áreas dominadas, es decir, por el cono de sedimentación, y garantizando el tránsito en la carretera N-260 a la salida de Biescas hacia las poblaciones de la comarca situados al este, así como la seguridad de las áreas dominadas. La superficie del cono de sedimentación más próxima al canal escalonado también fue objeto de repoblación.



**Figura 6.** Cono de sedimentación del torrente de Arratiecho hacia 1904. Izquierda: trabajos de encauzamiento en el primer tramo del cono de sedimentación del torrente, ejecutados para asegurar el servicio de la carretera N-260. Derecha: vista del segundo tramo de dicho encauzamiento (Fotografías procedentes del archivo del INIA, 2004). *Cono de sedimentación del torrente de Arratiecho hacia 1904. Izquierda: trabajos de encauzamiento en el primer tramo del cono de sedimentación del torrente, ejecutados para asegurar el servicio de la carretera N-260. Derecha: vista del segundo tramo de dicho encauzamiento (Fotografías procedentes del archivo del INIA, 2004).*

**Operaciones realizadas y criterios adoptados para evaluar la protección alcanzada en la cuenca del torrente de Arratiecho con su restauración hidrológico-forestal ante los riesgos por fenómenos geo-torrenciales**

Se diferencian entre: a) la protección alcanzada por la cuenca por el efecto de las masas arboladas actuales, cuyo origen se debe a

las reforestaciones realizadas en ella a inicio del siglo XX con la restauración hidrológico-forestal y b) la protección conseguida con las infraestructuras realizadas en la cuenca; desde obras hidráulicas en el cauce del torrente de Arratiecho para frenar la erosión remontante en el mismo y controlar a su corriente en momentos de crecidas; hasta los banales construidos en la ladera noreste para estabilizarla. Como consecuencia, se han establecido dos conceptos para centrar la investigación y poder definir la protección adquirida por la cuenca con el conjunto de las actuaciones de la restauración hidrológico-forestal; se trata de los siguientes: a) *Tipo de Unidad Protectora (TUP)* y b) *Esquema de Protección de las Cuencas de Montaña (EPCM)*.

Estos conceptos evalúan la restauración hidrológico-forestal a través de unos parámetros que estiman los resultados obtenidos con dicha restauración; p. e., en el caso del TUP, los que definen la estructura del arbolado conseguido con la reforestación y el nivel de protección que la misma supone para la cuenca. En el caso del EPCM los parámetros son dinámicos, por lo que, además de ser necesario conocerlos *per se*, se requiere saber su comportamiento ante eventos aleatorios que inciden en la cuenca (p. e., los eventos torrenciales) y sus efectos varían dependiendo de la localización en la cuenca (área de recepción, garganta o cono de sedimentación). La metodología empleada aprovecha cualquier evento, aunque sea aislado, siempre que tenga lugar en el escenario de la investigación y se adecúe a la lógica planteada en los objetivos.

#### **Operaciones previas para definir el Tipo de Unidad Protectora (TUP) y el Esquema de Protección de las Cuencas de Montaña (EPCM)**

Se planteó evaluar el nivel de protección que aporta a la cuenca un determinado tipo de monte arbolado, en función del grado alcanzado por el mismo en un baremo, que establece los grados de protección de las distintas estructuras arboladas (per se y ante diferentes tipos de riesgos naturales en la montaña) atendiendo a determinados parámetros que identifican a dichas estructuras. El baremo en cuestión procede de los resultados obtenidos en diversas experiencias, realizadas en diferentes masas forestales de distintos países montañosos del área alpina (INTERREG III Italia-Francia, 2006; CEMAGREF-ONF, 2006; SILVA-PROYEC-CH, 2011, entre otros), con el objetivo de determinar las características del monte protector eficaz y sus niveles previos hasta alcanzarlo.

De acuerdo con lo expuesto, para caracterizar los montes arbolados en función de los parámetros intrínsecos y del medio en que habitan, para a posteriori tipificar su nivel de protección ante los riesgos naturales, se desarrolló un trabajo previo incluyendo a un conjunto de operaciones, que para su mejor exposición se han dividido en cuatro apartados que implican fases sucesivas.

a) En la primera se estudiaron las características del previsible escenario de monte protector y de los elementos presentes en él, con los trabajos de gabinete siguientes:

a<sub>1</sub>) Estudio de la topografía, generación de un Modelo Digital del terreno (MDT) y delimitación de las zonas de estudio; a<sub>2</sub>) Generación de mapas de pendientes y orientaciones a partir de la topografía de trabajo. Se utilizó la escala 1: 5.000; a<sub>3</sub>) Realización de un mapa geológico a partir de la información geológica disponible en la Comunidad Autónoma de Aragón; a<sub>4</sub>) Trabajo con orto-imágenes para el análisis de la vegetación, especialmente de las masas forestales; así como también para inventariar las obras de ingeniería para el control de los riesgos naturales y los diferentes elementos expuestos a estos últimos; a<sub>5</sub>) Caracterización de los tipos de masas forestales mediante fotointerpretación, para establecer una primera división de los mismos; a<sub>6</sub>) La ubicación de las obras de protección contra riesgos naturales en la montaña por fotointerpretación, para establecer en una primera aproximación los objetivos que defienden y a<sub>7</sub>) La delimitación de las posibles zonas

de peligro mediante fotointerpretación ante los diferentes fenómenos expuestos.

b) En la fase siguiente se realizó un trabajo de campo, en el que se incluyeron las tareas: b<sub>1</sub>) Elaboración de un inventario forestal, atendiendo a los diferentes parámetros utilizados en su predefinición en gabinete de los diferentes tipos de masas forestales y llevando a cabo las rectificaciones que procediesen tras su comprobación in situ; b<sub>2</sub>) Un análisis y evaluación de las zonas de riesgo significativas para los diferentes tipos de fenómenos estudiados, resaltando aquellas zonas más relevantes para el estudio del riesgo, teniendo en cuenta su zona de salida, de recorrido y de anegación y depósito. Asimismo se observaron y anotaron las evidencias sobre el terreno, para corroborar la existencia de un peligro dado, su ubicación e intensidad y b<sub>3</sub>) La recopilación de manera cualitativa de la constancia histórica de los eventos relacionados con los riesgos naturales analizados, así como los elementos expuestos que hubieran sido o hubieran podido ser alcanzados. Dicha constancia histórica incluye la de tipo documental o escrita, oral y/o visual; pero la investigación se limitó a constatar la información histórica, sin extenderse en un estudio detallado de ella.

c) La tercera fase consistió en un trabajo de procesado de los datos de campo y la comparación con los datos previos obtenidos en gabinete, que implicó las operaciones: c<sub>1</sub>) La corrección y/o modificación de los errores de trabajo de caracterización de los escenarios en cuestión; c<sub>2</sub>) El replanteo de los puntos significativos localizados en el terreno; c<sub>3</sub>) La división de las masas forestales a partir de los datos previos de la fotointerpretación, corroborados con los datos del inventario de campo y de su reconocimiento en el terreno y c<sub>4</sub>) El establecimiento de una división en Tipos de Montes Protectores (TMP).

d) En la cuarta fase se elaboraron las cartografías temáticas de los parámetros que permiten ser cartografiados y definen el estado físico-biológico de los escenarios de trabajo y, consecuentemente, contribuyen a determinar el grado de protección ante los riesgos naturales de esos mismos escenarios.

#### **Concepto y contenido del Tipo de Unidad Protectora (TUP) y de Tipo de Monte Protector (TMP)**

A partir del estado del arte generado con las operaciones anteriores, se ha planteado el concepto y contenido del *Tipo de Unidad Protectora (TUP)*; definido como un espacio bien delimitado, natural o intervenido, que presenta un comportamiento prácticamente uniforme ante los riesgos derivados de los diferentes fenómenos naturales adversos. La uniformidad funcional del espacio definido por el TUP, guarda similitud con la que presenta el concepto de rodal utilizado en la Ordenación de Montes. En un principio el TUP se pensó como un instrumento para concretar el grado de homogeneidad que pudieran presentar las diferentes masas arboladas en su comportamiento ante los distintos riesgos naturales, atendiendo a su uniformidad en especie, edad y estructura; pero, al avanzar en el análisis, se consideró conveniente agrupar también con similares criterios de homogeneidad ante los riesgos naturales a todos los usos del territorio, aunque sin perder de referencia su conexión con el arbolado. Es muy frecuente en las áreas de montaña que las masas arboladas no sean homogéneas, sino que dentro de ellas existan diferentes Tipos de Unidades Protectoras (TUPs); la integración ponderada de éstas permite establecer los *Tipos de Montes Protectores (TMPs)* de dichas áreas, concepto que la metodología utiliza como base para definir la protección de las diversas masas forestales que pueblan las áreas de montaña, en consecuencia el TUP es un paso previo para definir la protección de los montes arbolados a través de las TMPs.

Siguiendo la metodología aplicada en los países del área alpina, que correlacionan la protección de los masas arbolados de montaña

ante los riesgos naturales con determinados factores intrínsecos de las mismas; en la metodología utilizada se han seleccionado, a modo de una primera aproximación, doce factores o parámetros en las masas forestales presentes en los escenarios objeto de análisis (en el caso concreto de esta comunicación, en la cuenca del torrente de Arratiecho). Dichos factores son: 1) Tipo de cubierta vegetal; 2) Fracción de Cobertura Cubierta: FCC (%); 3) Número pies/ha; 4) Diámetro medio de los árboles: D (cm.); 5) Altura media de los árboles: H (m.); 6) Relación Altura Diámetro: H/D; 7) Área Basimétrica ( $m^2 \cdot ha$ ); 8) Heterogeneidad de la masa forestal; 9) Irregularidad de la masa forestal; 10) Tipo de suelo; 11) Pendiente media del terreno (%) y 12) Vigor de la masa vegetal. Dichos factores se han ponderado en 10; 7,5 y 5 dependiendo de su incidencia en la capacidad protectora, de forma que el conjunto ponderado de todos los factores represente el 100 % de la protección de la masa en cuestión.

Posteriormente, atendiendo a la presencia de los distintos TUPs en cada cuenca o escenario, se le ha afectado de un coeficiente entre 1 y 5. Para la asignación de estos valores entre 1 y 5 también se han utilizado de referencia los criterios de protección adoptados en otras metodologías planteadas en el área alpina. Como la cuenca o escenario analizado tiene diferentes TUPs ocupando superficies diferentes; para establecer los TMPs se multiplica el valor correspondiente a cada TUP por el porcentaje de superficie que ocupa en la cuenca o escenario en cuestión. De acuerdo con lo expuesto, los hipotéticos valores de protección de los TMPs quedan establecidos entre un valor máximo de 500 y valores mínimos inferiores a 50, dependiendo de su protección ante los riesgos naturales. Finalmente la metodología establece cuatro niveles de protección frente a los riesgos naturales, considerando intrínseca y esencialmente las características de la masa arbolada (en delante, la constitución de la estructura arbolada) clasificados en función de los valores alcanzados con su aplicación: 1) Muy buena > 350; 2) 350 > Buena > 250; 3) 250 > Regular > 150 y 4) Deficiente < 150.

La metodología clasifica también los diferentes TMPs en función de sus capacidades específicas de protección ante los siguientes riesgos naturales concretos: a) las crecidas o avenidas torrenciales; b) los desprendimientos de aludes; c) los deslizamientos superficiales de tierras y d) las caídas de bloques. Dependiendo del riesgo analizado, los parámetros seleccionados para identificar las masas arboladas son diferentes, como se muestra a continuación.

a) Tratándose del riesgo por avenidas torrenciales, se tienen en cuenta: 1) Tipo de cubierta vegetal; 2) Fracción de Cobertura Cubierta FCC (%); 3) Número pies/ha; 4) Heterogeneidad de la masa forestal; 5) Irregularidad de la masa forestal; 6) Tipo de suelo y 7) Pendiente media del terreno (%). Dichos parámetros se ponderan en 25; 15 y 10 dependiendo de su incidencia en la capacidad protectora y el conjunto ponderado de todos los factores se le hace corresponder con el 100 % de la protección de la masa en cuestión.

b) En el caso de riesgo por desprendimientos de aludes, se consideran los parámetros: 1) Tipo de cubierta vegetal; 2) Fracción de Cobertura Cubierta FCC (%); 3) Número pies/ha; 4) Altura media de los árboles: H (m.); 5) Relación Altura Diámetro: H/D; 6) Área Basimétrica ( $m^2 \cdot ha$ ); 7) Heterogeneidad de la masa forestal; 8) Irregularidad de la masa forestal; 9) Pendiente media del terreno (%) y 10) Tipo de masa arbolada: Coníferas o frondosas. Dichos factores se ponderan en 15; 10 y 5 según su incidencia en la capacidad protectora y se continúa operando como en el riesgo anterior.

c) Para el riesgo deslizamientos superficiales de tierras, los parámetros a tener en cuenta son: 1) Tipo de cubierta vegetal; 2) Fracción de Cobertura Cubierta FCC (%); 3) Número pies/ha; 4) Heterogeneidad de la masa forestal; 5) Irregularidad de la masa forestal; 6) Tipo de suelo y 7) Pendiente media del terreno (%).

Dichos parámetros se ponderan en 30; 15 y 10 dependiendo de su incidencia en la capacidad protectora y se continúa operando como en los casos de los riesgos anteriores.

d) Para el riesgo caída de bloques los parámetros a considerar son: 1) Número pies/ha; 2) Diámetro medio de los árboles: D (cm.); 3) Relación Altura Diámetro: H/D; 4) Área Basimétrica ( $m^2 \cdot ha$ ) y 5) Resistencia de la especie principal. Los parámetros en cuestión se ponderan en 25; 20 y 150 dependiendo de su incidencia en la capacidad protectora y se continúa operando como en los casos de los riesgos anteriores.

Estos cuatro riesgos específicos son además los que han motivado la ejecución de los trabajos y obras de restauración hidrológico-forestal en el Pirineo Aragonés, para evitar o en su defecto a reducir su intensidad y/o su frecuencia; por tanto, también sirven de referencia para verificar la efectividad de dichos trabajos y obras. Lógicamente, no en todos los escenarios inciden los cuatro tipos de riesgos; p. e., en la cuenca vertiente al torrente de Arratiecho se evalúa la protección de los TMPs debida a la constitución de la estructura arbolada y a la protección específica ante el riesgo de crecidas torrenciales. La metodología establece también un tipo de protección multi-riesgos que agrupa a todos los riesgos de un mismo monte o escenario.

### **Concepto y contenido del Esquema de Protección de las Cuencas de Montaña (EPCM)**

La metodología contempla, junto al efecto protector de los TMPs, el de las obras civiles asociadas a las reforestaciones y en consecuencia a los propios TMPs, como son las obras hidráulicas de corrección de torrentes, las estructuras para evitar los desprendimientos de aludes, las obras y trabajos de sistematización del terreno para impedir los deslizamientos superficiales del terreno o caídas de bloques; así como las disposiciones adoptadas en el territorio para evitar o en su defecto controlar las consecuencias de los riesgos mencionados.

Los cuatro tipos de riesgos están condicionados físicamente por la gravedad; por lo tanto el esquema básico de protección de la cuenca debe contemplar: a) las áreas dominantes o de cabecera, donde se desencadenan los procesos y b) las áreas dominadas que son las receptoras principales de sus efectos. Por otro lado, los cuatro riesgos tienen como factor desencadenante de una u otra forma el agua: 1) en fase líquida, a modo de precipitaciones torrenciales, incidiendo directamente en las crecidas de los torrentes e indirectamente en los casos de deslizamientos de tierras y caídas de bloques y 2) en fase sólida, con la rotura del manto de nieve en los desprendimientos de aludes.

Por tanto, el esquema debe considerar: a) los eventos torrenciales, sobre todo los extraordinarios, tanto líquidos como sólidos y b) los espacios, encauzados o no, por los que circulan los flujos de crecida o los aludes; se desplazan los bloques en movimiento o son ocupados por los materiales deslizados. Todo ello complementa el esquema clásico de las cuencas vertientes de los torrentes de montaña: a) área de recepción; b) garganta; c) cono de sedimentación y d) canal de desagüe. Atendiendo a lo expuesto, apoyándose en la filosofía de la unidad funcional de peligrosidad del sistema francés de montes protectores REY *et al.* (2009) y en la síntesis planteada del recorrido de los ciclos del agua y de los sedimentos en eventos torrenciales por MINTEGUI & ROBREDO (2008), se ha definido el *Esquema de Protección de las cuencas de Montaña* (EPCM) para los cuatro tipos de riesgos naturales en la montaña estudiados en esta metodología (Figura 7)

La evaluación del comportamiento protector ante los riesgos naturales de las obras civiles asociadas a los TMPs es compleja y el periodo analizado 1905-2012 es demasiado amplio para entrar en detalles, que en la práctica no resultan significativos. Por ello la

metodología propone dos periodos: *a)* uno a largo plazo, que comprende desde la conclusión de los primeros trabajos de restauración hasta la fecha de evaluación, pero referido únicamente a eventos extraordinarios concretos, que han dejado huella en los escenarios analizados, tanto si son positivos, como si han causado desastres o catástrofes y *b)* otro a corto plazo, que analice el comportamiento de las actuaciones con mayor detalle únicamente en uno o dos años, de los últimos en los que han ocurrido eventos torrenciales extraordinarios en los escenarios objeto de estudio. Este segundo periodo es importante, porque evidencia los efectos de la restauración hidrológico-forestal en una fecha reciente e, implícitamente, también analiza los efectos de la restauración hidrológico-forestal en el conjunto de las situaciones que se han presentado en la cuenca desde que fue objeto de la misma.

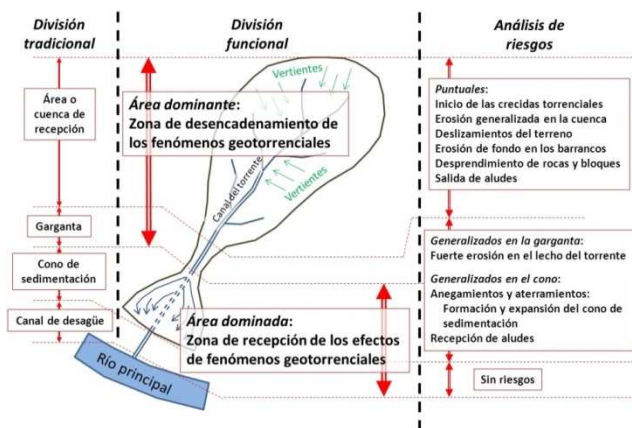


Figura 7. Esquema de Protección de las cuencas de Montaña (EPCM)  
*Esquema de Protección de las cuencas de Montaña (EPCM)*

## RESULTADOS

Para mostrar los primeros resultados de la corrección del torrente de Arratiecho y de la restauración de su cuenca vertiente realizados entre 1903-05, se utilizan las fotografías obtenidas en varios reconocimientos *in situ*, efectuadas al torrente y a su cuenca entre el final del invierno e inicio de la primavera de 2012. En los 107 años transcurridos entre ambas fechas (1905-2012) se limpió en varias ocasiones el encauzamiento del barranco a su paso por su cono de sedimentación y realizaron algunos trabajos selvícolas en la cuenca; pero las actuaciones fueron escasas y casi siempre obligadas por circunstancias más bien coyunturales.

### Aspecto físico general de la cuenca del torrente de Arratiecho en relación con su estabilidad ante el geo-dinamismo torrencial en febrero-marzo de 2012.

Utilizando imágenes fotográficas tomadas durante las citadas visitas de reconocimiento al torrente y a la cuenca, febrero-marzo de 2012, se comprueba *de visu* la situación que en dichas fechas presentaban los escenarios de las acciones emprendidas al inicio del siglo pasado: *a)* la estabilización de la ladera noreste vertiente directa al torrente de Arratiecho (Figura 8); *b)* el control de la erosión remontante en el cauce principal del barranco de Arratiecho en su recorrido por el área de recepción de la cuenca (Figura 9) y en su garganta (Figura 10); *c)* el control de la erosión superficial mediante la reforestación en todas las laderas vertientes al mismo (Figura 11) y *d)* la evacuación controlada y rápida de los caudales de avenida del barranco de Arratiecho en el tramo de su cono de sedimentación (Figura 12).

Al fondo de la imagen derecha de la Figura 11 se aprecia el área dominada de la cuenca del torrente de Arratiecho, actualmente dedicada a praderas. En ella se expandía en el pasado el cono de sedimentación del torrente (Figura 2, imagen derecha), antes

ejecutar el citado canal escalonado como parte integrante de la restauración hidrológico-forestal del torrente y su cuenca vertiente.



Figura 8. Detalles del estado en marzo de 2012 de los trabajos de nivelación del terreno realizados en la ladera noreste, vertiente directa al torrente de Arratiecho, entre 1903-04. *Detalles del estado en marzo de 2012 de los trabajos de nivelación del terreno realizados en la ladera noreste, vertiente directa al torrente de Arratiecho, entre 1903-04.*



Figura 9. Detalles de estado en febrero de 2012 de dos diques secundarios, construidos entre 1903-04 en el recorrido del torrente de Arratiecho por su área de recepción. *Detalles de estado en febrero de 2012 de dos diques secundarios, construidos entre 1903-04 en el recorrido del torrente de Arratiecho por su área de recepción*

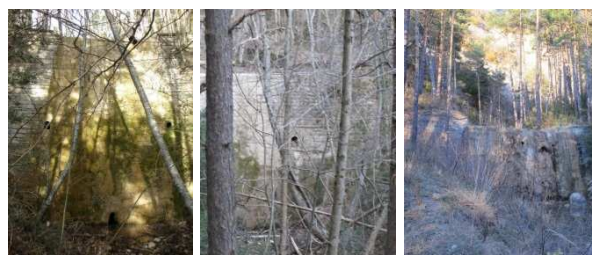


Figura 10. Estado en marzo de 2012 de los tres diques de mampostería hidráulica de primer orden, ubicados en la garganta del torrente de Arratiecho, (el orden de aparición de los diques es el mismo que el de la Figura 5). *Estado en marzo de 2012 de los tres diques de mampostería hidráulica de primer orden, ubicados en la garganta del torrente de Arratiecho, (el orden de aparición de los diques es el mismo que el de la Figura 5).*

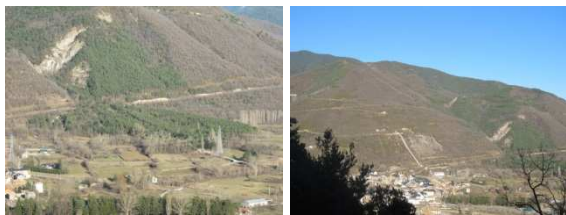


Figura 11. Detalles del arbolado resultante de la reforestación efectuada a las vertientes directas al torrente de Arratiecho entre 1903-05 en marzo de 2012. *Detalles del arbolado resultante de la reforestación efectuada a las vertientes directas al torrente de Arratiecho entre 1903-05 en marzo de 2012*

En la actualidad aparece controlado con el mencionado canal escalonado y con el arbolado situado a ambos lados del mismo, que procede de la reforestación efectuada durante la restauración hidrológico-forestal (Figura 13, imagen izquierda). En las fotografías inferiores de la Figura 12 se aprecian unas recientes labores de limpieza efectuadas en el canal escalonado de tramos erosionables que atraviesa el cono de sedimentación del torrente de Arratiecho; que abarcan solo desde el entorno de la carretera N-260 hacia aguas abajo.



**Figura 12.** Canal escalonado de tramos erosionable (1904) que atraviesa el cono de sedimentación del torrente de Arratiecho, en marzo de 2012. Imágenes superiores. Izquierda: dique de mampostería hidráulica de primer orden número 3, en el vértice del cono de sedimentación. Derecha: inicio del tramo encauzado del torrente aguas abajo del dique anterior. Imágenes inferiores. Izquierda: dique de mampostería hidráulica de segundo orden situado inmediatamente aguas arriba de la carretera N-260, al fondo el canal. Derecha: el canal inmediatamente aguas abajo de dicha carretera (las dos imágenes inferiores se corresponden con las fotografías de la Figura 6). Canal escalonado de tramos erosionable (1904) que atraviesa el cono de sedimentación del torrente de Arratiecho, en marzo de 2012. Imágenes superiores. Izquierda: dique de mampostería hidráulica de primer orden número 3, en el vértice del cono de sedimentación. Derecha: inicio del tramo encauzado del torrente aguas abajo del dique anterior. Imágenes inferiores. Izquierda: dique de mampostería hidráulica de segundo orden situado inmediatamente aguas arriba de la carretera N-260, al fondo el canal. Derecha: el canal inmediatamente aguas abajo de dicha carretera (las dos imágenes inferiores se corresponden con las fotografías de la Figura 6).



**Figura 13.** Panorámicas del torrente de Arratiecho en febrero de 2012. Izquierda: cono de sedimentación. Derecha: al fondo la ladera noreste, vertiente directa al torrente; en primer plano la población de Biescas. Panorámicas del torrente de Arratiecho en febrero de 2012. Izquierda: cono de sedimentación. Derecha: al fondo la ladera noreste, vertiente directa al torrente; en primer plano la población de Biescas

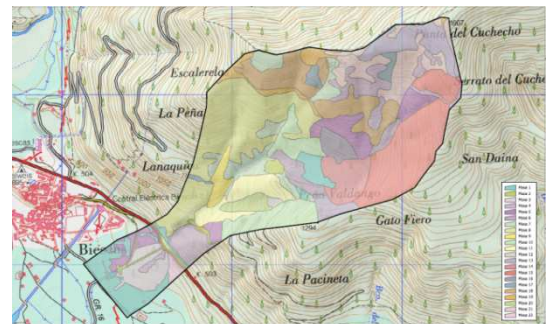
**Protección alcanzada por la cuenca del torrente de Arratiecho con los Tipos de Montes Protectores (TMPs) resultantes de su reforestación entre 1903-05**

Los trabajos realizados para definir los TMPs en la cuenca del torrente de Arratiecho, generaron en primer lugar 12 mapas temáticos, mostrando cada uno de ellos la distribución en la cuenca de cada uno de doce parámetros seleccionados para definir su estructura arbolada. La superposición de los 12 mapas mencionados dio como resultado la existencia 22 unidades (Figura 14), que tras identificarlos se definieron como 22 TUPs presentes en la cuenca. Posteriormente se establecieron para la cuenca del torrente de Arratiecho los TMPs (Tabla 1, columnas 3 y 4; Figura 15).

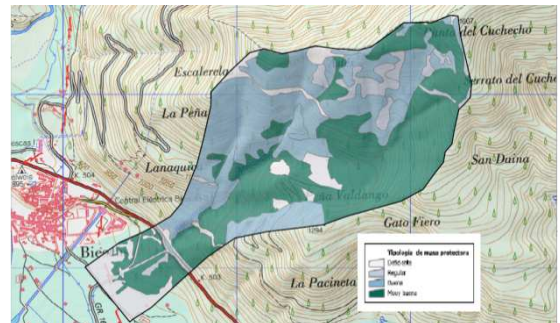
Continuando con la metodología, los TMPs de la cuenca del torrente de Arratiecho se clasifican en cuatro niveles de protección ante los riesgos naturales establecidos en la misma: a) muy buena; b) buena; c) regular y d) deficiente; atendiendo a la constitución de la estructura del arbolado de la cuenca. También se ha determinado la protección de la cuenca del torrente de Arratiecho ante los riesgos específicos debidos a crecidas torrenciales (Tabla 1, columnas 5 y 6; Figura 16).

**Tabla 1. Clasificación de los diferentes TMPs (Tipos de Montes Protectores) en la cuenca del Torrente de Arratiecho**  
*Clasificación de los diferentes TMPs (Tipos de Montes Protectores) en la cuenca del Torrente de Arratiecho*

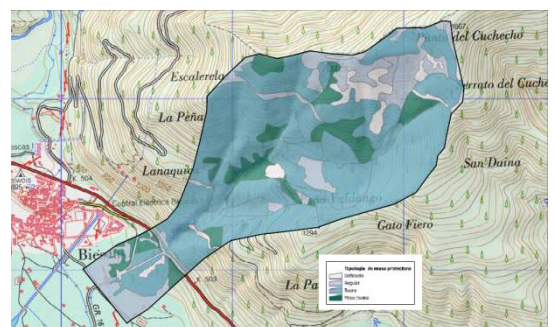
Clases de Tipos de Montes Protectores		Según se considere TUP			
		Estructura de las masas arboladas		Riesgos por avenidas torrenciales	
Clase	intervalo	Número	(%)	Número	(%)
Muy buena	>350	11	50,0	4	18,2
Buena	250-350	5	22,7	11	50,0
Regular	150-250	2	9,1	5	22,7
Deficiente	<150	4	18,2	2	9,1
Total		22	100,0	22	100,0



**Figura 14.** Diferentes TUP's en la cuenca vertiente al Torrente de Arratiecho, definidos con la metodología establecida (marzo, 2012) *Diferentes TUP's en la cuenca vertiente al Torrente de Arratiecho, definidos con la metodología establecida (marzo, 2012)*



**Figura 15.** Clases de TMPs en la cuenca vertiente al Torrente de Arratiecho y su nivel de protección atendiendo a la constitución de su estructura arbórea. Leyenda: 1) Deficiente; 2) Regular; 3) Bueno y 4) muy bueno. *Clases de TMPs en la cuenca vertiente al Torrente de Arratiecho y su nivel de protección atendiendo a la constitución de su estructura arbórea. Leyenda: 1) Deficiente; 2) Regular; 3) Bueno y 4) muy bueno.*



**Figura 16.** Clases de TMPs en la cuenca vertiente al Torrente de Arratiecho y su nivel de protección en relación con las avenidas torrenciales. Leyenda: 1) Deficiente; 2) Regular; 3) Bueno y 4) muy bueno. *Clases de TMPs en la cuenca vertiente al Torrente de Arratiecho y su nivel de protección en relación con las avenidas torrenciales. Leyenda: 1) Deficiente; 2) Regular; 3) Bueno y 4) muy bueno.*

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La principal aportación de la metodología, que se apoya en las experiencias realizadas en masas arboladas de la cordillera alpina, es que señala hacia donde se deben dirigir los distintos TMPs de la cuenca, para que ésta consiga su mayor protección ante los riesgos naturales, en el caso de la cuenca del torrente de Arratiecho ante el desencadenamiento en ella del geo-dinamismo torrencial.

En la actualidad la cuenca del torrente de Arratiecho presenta una buena protección; atendiendo a la constitución de su estructura arbórea, pues el 72,7 % de la misma corresponde a clases de TMPs entre muy buena y buena. Si este análisis se plantea desde la perspectiva de la defensa ante las avenidas torrenciales, el resultado sigue siendo una protección notable, 68,2 % de las clases se encuadra entre muy buena y buena.

Teóricamente es mejorable dirigiendo la masa arbolada existente hacia las características que le hagan más efectiva ante el riesgo que le afecta. La masa forestal de esta cuenca no ha sufrido alteraciones reseñables en los últimos treinta años, por tanto parece estabilizada y una mejora implicaría una actuación selvícola que fuera más allá del mantenimiento de su actual cobertura; intervención que se debe estudiar y planificar antes de ejecutarla. Aparentemente puede parecer innecesaria, porque la cubierta arbolada actual presenta una estructura que ofrece una protección adecuada; pero la realidad señala que un monte abandonado tiende a degradarse (no se debe olvidar que se trata de un ser vivo) y que la componente protectora de una parte importante del arbolado de la cuenca, la que le cubre su ladera noreste, procede de reforestación, por lo que no se puede entender su existencia sin las obras realizadas en la misma, con las que se interrelaciona. Por ello no se deben demorar son las medidas selvícolas tendentes a la conservación de la masa existente, para asegurar su persistencia y para que algunos de sus integrantes (p. e., raíces de algunos los árboles) no afecten seriamente a las estructuras de las obras coetáneas asociadas a la reforestación y alteren el buen funcionamiento de las mismas.

La limpieza que con cierta periodicidad se realiza en el tramo inferior del canal escalonado para mantener la viabilidad de la carretera N-260, es una buena medida; tanto para la conservación del canal, como para el arbolado de sus márgenes; pero sólo se lleva a cabo a partir del tramo próximo a la carretera y en sentido aguas abajo, convendría llevarlo a cabo también aguas arriba de la carretera, como se muestra en las imágenes de la Figura 12.

## CONCLUSIONES

El principal objetivo que motivó el proyecto de restauración hidrológico-forestal de la cuenca del torrente de Arratiecho entre 1903-05, fue proteger su área dominada y mantener en servicio permanente de la carretera N-260 que pasa por ella; para lo que era imprescindible acondicionar la cuenca de modo que, cuando en ella incidieran eventos torrenciales, las crecidas del torrente evacuaran hacia el río Gallego sin erosionar seriamente sus laderas y sus cauces, ni causar desbordamientos en su cono de sedimentación. Pero el propósito de la investigación comentada en esta comunicación ha sido verificar 107 años después, que realmente se cumplieron los objetivos establecidos en el proyecto. Esta verificación se ha planificado desde dos perspectivas: *a)* comprobando que en su estado actual las obras y trabajos realizados entre 1903-05 en el torrente de Arratiecho y su cuenca vertiente funcionan conforme a lo establecido en el proyecto; es decir facilitando el normal desarrollo del ciclo del agua y el de los sedimentos en la cuenca y *b)* probando que los resultados conseguidos con la restauración hidrológico-forestal (con la reforestación, con las obras hidráulicas efectuadas en los cauces y con la nivelación de las laderas) resultan eficientes utilizando para

ello una metodología científico-técnica.

El tiempo transcurrido desde la finalización de la restauración hidrológico-forestal de la cuenca del torrente de Arratiecho se ha constatado su efectividad; pues desde entonces la frecuencia e intensidad con la que se ha desencadenado el geo-dinamismo torrencial en la cuenca se ha reducido notablemente; encontrándose en la práctica controlado; aunque se recuerda que la rehabilitación de las cuencas no implica la desaparición total de los riesgos en ellas, sino un control de los mismos y su consiguiente reducción. Por tanto, es necesario realizar trabajos de mantenimiento de las obras ejecutadas y del arbolado conseguido con la reforestación, para que conserven las condiciones de protección diseñadas en el proyecto restaurador.

Aunque la metodología de seguimiento aborda dos aspectos: *a)* comprobar que el arbolado conseguido con la reforestación en la cuenca del torrente de Arratiecho cumple con las características de un auténtico bosque protector y *b)* probar que las obras hidráulicas construidas en los cauces y los trabajos de sistematización de las laderas contribuyen a controlar el geo-dinamismo torrencial que se puede desencadenar en la cuenca cuando sobre ella inciden aguaceros; la comunicación sólo aborda el primero y del mismo presenta sus resultados y el análisis de los mismos.

Con la restauración hidrológico-forestal de la cuenca del torrente de Arratiecho se ha conseguido el correcto funcionamiento hidrológico de la misma y su perfecta integración en el paisaje; pudiéndose considerar una de las restauraciones mejor conseguidas en España. Pero el paso del tiempo ha deteriorado algunas obras, por lo que es necesario analizar su estado y efectividad actual y realizar una labor de reconstrucción y mantenimiento de las mismas para: *a)* asegurar la función de protección sobre los bienes amenazados y *b)* preservar el incuestionable patrimonio que significan estas obras y el bosque asociado a las mismas.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la ayuda y colaboración del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España; del FEADER; del Excmo. Ayuntamiento de Biescas; del Centro A LURTE de Canfranc-Estación y del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón.

## REFERENCIAS

- Dell'Agnese, A.; Mazzorana, B.; Comiti, F.; Von Maravic, P. & D'Agostino, V. (2013) Assessing the physical vulnerability of check dam through an Empirical Damage Index, *Journal Agricultural Engineering*, vol XLIV, num. 2, pp. 9-16.
- Fábregas Reigosa, S.; Mintegui Aguirre, J. A.; Fábregas Reigosa, J. I.; Hurtado Roa, R.; Robredo Sánchez, J. C. & Huelin Rueda, P. (2013) Criterios cuantificadores para evaluar los efectos de las restauraciones efectuadas en las cuencas de montaña del Pirineo Aragonés en la primera mitad del siglo XX. *Actas del 6º Congreso Forestal Español*, Vitoria Gasteiz, 10-14 de junio, Sociedad Española de Ciencias Forestales, 6CFE01-271, 13 pp.
- Fábregas Reigosa, S.; Mintegui Aguirre, J. A.; J. I.; Hurtado Roa, R. & Robredo Sánchez, J. C. (2012) Los efectos del bosque en las cuencas de montaña ante la incidencia en ellas de eventos torrenciales. Su estudio en la cuenca vertiente al torrente de Arratiecho en el Pirineo Aragonés, *Revista Forestal Española*, núm. 50, pp.17-24.
- Ouvrage Collectif., coodonner X. Gauquelin & T. B. Courbaud (2006) *Guide des Sylvicultures de Montagne. Alpes du Nord Française*, 289 pp. CEMAGREF-ONF.
- Rey, F.; Ladier, J. & Hurand, A. (2009) Forêts de protection contre les aléas naturels: Diagnostics et Stratégies, 111 pp., Édition Quae. Siva
- <http://esmemoriaus.blogspot.com.es/>  
<http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001592/159245s.pdf>  
<http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren/01920/01964/index.html?lang=de>