

Conferencia Inaugural

LA RESTAURACIÓN DE CUENCAS TORRENCIALES

Filiberto López Cadenas de Llano

Profesor Emérito. Universidad Politécnica de MADRID

Agradezco al Presidente de la Sociedad Española de Ciencias Forestales y Catedrático de esta Escuela, D. José Alberto Pardos Carrión y al Dr. José Luis García Rodríguez, su invitación a participar en esta I Reunión del Grupo de Hidrología para exponer la conferencia inaugural, “La Restauración de Cuencas Torrenciales”.

Creo que esta temática de actualidad por las catástrofes que desgraciadamente originan esas avenidas torrenciales que constituyen preocupación de políticos, científicos y técnicos, como lo confirma las “Jornadas Parlamentarias” sobre “Prevención de riesgos ocasionados por las aguas” que se celebraron en el Senado (Noviembre, 1997) y el informe anual sobre “El estado de la Investigación, el Desarrollo y la Tecnología de la Comunidad Valenciana” (1999), donde se define como el área del mayor interés social y económico la del “Medio Ambiente y Recursos Hídricos”.

INTRODUCCIÓN

Mi primera reflexión trata de analizar el concepto de torrencialidad. En Hidráulica, se definen los flujos por el número de Froude, cuya expresión relacionada las fuerzas de inercia a las de volumen.

$$F = \frac{v}{\sqrt{gh}}$$

donde, F , es el número de Froude; v , es la velocidad del flujo; g , es la aceleración de la gravedad y h , es el calado de las aguas.

Según esto, se pueden clasificar los flujos en supracríticos ($F > 1$), críticos ($F = 1$) e infra-críticos ($F < 1$).

La cuenca hidrográfica es un gran colector que recibe las precipitaciones pluviales y nivales, y las transforma a través de los procesos del ciclo hidrológico, en escorrentías superficiales, hipodérmicas o subsuperficiales y subterráneas, que generan los caudales de avenida y de base.

Esa generación de caudales está condicionada por el clima fundamentalmente precipitación (intensidad, duración y frecuencia) y la temperatura (procesos de evapotranspiración) y el complejo físico-biótico de la cuenca, morfología (formas, pendientes, distribución de la red de drenaje, que influyen en los tiempos de concentración), hidrogeología, edafología (textura, estructura y materia orgánica), usos del suelo y acción antrópica.

Coloquialmente, cuenca torrencial es una cuenca con precipitaciones concentradas en aguaceros de gran intensidad, de relieve accidentado, deforestada parcial o totalmente, de suelos poco evolucionados, erosionados y erosionables, donde se originan avenidas súbitas y violentas de aguas cargadas de sedi-

mentos procedentes de la erosión de las vertientes y cauces.

Mi segunda reflexión, se centra en las adversidades de nuestra red hidrográfica, y no me refiero a ese desequilibrio hidrográfico que supone que el 75% de nuestros ríos viertan al Atlántico y sólo el 25% al Mediterráneo.

Me refiero a esas otras adversidades que Unamuno sintetizaba diciendo que “el problema de España era un problema de seiscientos”. Con este juego de palabras y números, aludía a dos rasgos fisiográficos básicos de nuestra geografía, invitando a imaginar el sueño imposible de una España con seiscientos milímetros más de precipitación y seiscientos metros menos de altitud.

Si estas adversidades, añadimos la desigual repartición de la precipitación anual, con tendencia generalizada a concentrarse en aguaceros de gran intensidad sobre cuencas parciales o totalmente deforestadas (sólo el 14% de nuestra entrañable geografía conserva una cubierta de bosque) no puede extrañar que Gómez de Pablo, Ingeniero de Caminos, canales y Puertos y Director de Obras Hidráulicas, dijese que “nuestros ríos se transforman en verdaderos torrentes con sus avenidas de aguas cargadas de sedimentos que asolan comarcas enteras”. Hoy esas avenidas torrenciales dentro de los riesgos “naturales” son consideradas como las de mayor impacto medioambiental, social y económico.

Mi tercera reflexión, se refiere a la *respuesta activa* del hombre al desafío de la torrencialidad de las cuencas, que se produjo en Suiza a mediados del siglo pasado para controlar la dinámica torrencial de las cuencas alpinas.

Francia fue el segundo país en incorporarse a esa trascendental tarea y el libro de Thiery, “Restauración de Montañas-forestación-Corrección de Torrentes” (1892), establece las bases científicas y técnicas del sistema corrector de una cuenca torrencial, conjunción armónica de las biotecnologías para la restauración de la cubierta vegetal, en las vertientes y en las riberas, y las hidrotecnias de corrección y defensa en los cauces.

En España, por el Real Decreto de 7 de Julio de 1901, se creaba el Servicio Hidrológico Forestal y las Divisiones Hidrológico Forestales (DHF). Y por Ley de 15 de Julio de 1950, pasó el Servicio Hidrológico Forestal al Patrimonio Forestal del Estado pero conservándose las DHF que continuaron con su labor de restaurar cuencas, corrección de torrentes y aludes, consolidación de suelos inestables, fijación de dunas y las que le atribuían la Ley de 19 de diciembre de 1951, de Forestación y Ordenación de Cultivos en las Cuencas Alimentadoras de Embalses. La Ley de Montes de 1957 y el Reglamento (1962) aún vigentes, desarrollaban la normativa en relación con el Servicio Hidrológico Forestal.

Esas competencias fueron asumidas por el ICONA, al crearse este nuevo Organismo, por decreto del Ministerio de Agricultura de 5 de noviembre de 1971, desapareciendo los Servicios periféricos de la Administración Forestal entre ellos, las Divisiones Hidrológico Forestales que eran las más técnicas y eficaces de esa Administración.

Todo lo expuesto evidencia el geodinamismo torrencial de nuestras cuencas consecuencia como ya hemos dicho, de las adversidades climáticas, del complejo físico y de la acción antrópica y la importancia de los espacios forestales que ocupan posiciones estratégicas en esas cuencas, por estar situados en las cabeceras y zonas medias, donde las precipitaciones son mayores y el relieve más accidentado y destaca el papel del ecosistema bosque, óptimo grado que puede alcanzar la vegetación para el control de la torrencialidad, siendo además esas masas arbóreas heterogéneas e irregulares, en las que conviven además los estratos arbustivo y herbáceo, las que mejor aprovechan la energía del medio y, consiguientemente, el logro de su permanencia.

EL PAPEL DEL BOSQUE EN LOS PROCESOS DEL CICLO HIDROLÓGICO

En la figura 1, se expresa una sinopsis del papel del ecosistema bosque en los procesos del ciclo hidrológico.

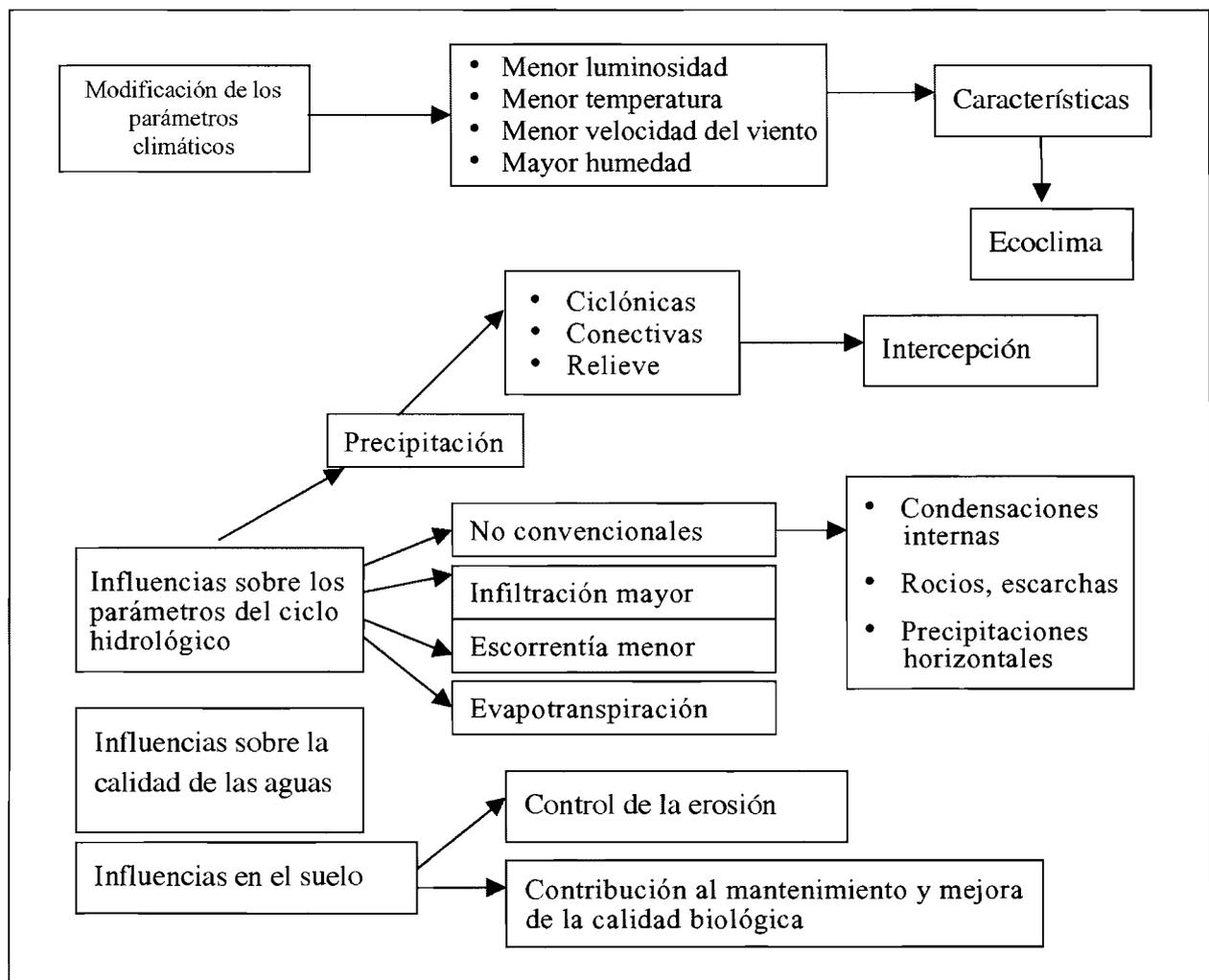


Figura 1

SISTEMA CORRECTOR DE UNA CUENCA TORRENCIAL

El sistema corrector de cuencas torrenciales que se viene utilizando, responde a la experiencia acumulada en siglo y medio de estudios, investigaciones y realizaciones.

Se integra en dicho sistema las biotecnias para la restauración de la cubierta forestal fundamentalmente el bosque, en las vertientes y en las riberas y las hidrotecnias de corrección y defensa en los cauces. Conviene resaltar en la restauración de las vertientes que no son los árboles que se introduzcan los que van a conseguir en exclusiva, la corrección del fenómeno torrencial, sino como ya hemos visto, el ecosistema que representa. La Forestación de cuencas torrenciales debe

considerarse como una ayuda a la Naturaleza, que invierte su proceso degradatorio y anticipa en varios estadios su evolución hacia el ecosistema bosque, óptimo grado que puede alcanzar para el control de esa torrencialidad. Recordad siempre lo que afirmaba Francis Bacon: "La Naturaleza para ser dominada ha de ser obedecida".

En relación con las hidrotecnias, los principios que establecen el diseño y uso de las obras de corrección y estabilización de cauces, están dirigidos a la regulación y control, total o parcial de los efectos que la dinámica de los caudales que circulan por los cauces, producen en el contorno en forma de erosión, transporte y sedimentación de los materiales que lo constituye.

| Sistema corrector de una cuenca torrencial. | | | |
|--|--|--|---|
| Acciones | | | |
| Localización | Características | Propósito | |
| En la cuenca | Acciones biológicas | Coberturas vegetales Forestación | Control de erosión laminar y en regueros Mejoras de la infiltración |
| | Prácticas mecánicas | Terrazas Drenajes | Control de escorrentías directas Control de erosión laminar y regueros Control de la humedad del suelo |
| | Pequeñas obras transv. | Albaradas, palizadas Fajinas | Control de los movimientos en masa Control de cárcavas Control de la erosión remontante |
| En el cauce (Régimen torrencial) | Area de erosión | Diques de consolidación | Perfil de equilibrio o compensación (control de erosión del lecho) Consolidación de laderas marginales |
| | | Diques de retenida | Retención de sedimentos (defensa de embalses, vegas, etc) Retención parcial de sedimentos Defensa de instalaciones hidroeléctricas, obras de infraestructuras |
| | Obras transversales | Umbrales de fondo | Control de la erosión del lecho |
| | | Cubiertas vegetales y revestimientos | Defensa contra erosiones laterales aumentando resistencia de las márgenes y/o controlando la velocidad del agua |
| | Obras longitudinales | Espigones Muros de defensa Soleras | Defensa contra erosiones laterales desviando las aguas Defensa de márgenes y rectificación del eje hidráulico Protección del lecho contra la erosión |
| Obras mixtas | Perfil escalonado con tramos erosionables (muros longitudinales, solera, rastrillos) | Concentración del agua en cauce fijo y estable | |
| Obras longitudinales | Revestimientos y espigones Malecones | Defensa de márgenes contra erosiones laterales Defensa contra inundaciones y rectificación del eje hidráulico | |

Cuadro 1

En el cuadro 1 se recogen las principales actuaciones en materia de corrección de cuencas torrenciales.

Toda la sistemática de la corrección está pues, orientada a controlar esos procesos en el lecho y márgenes evitando que se incorpore esos caudales sólidos a la corriente.

En los cauces de régimen torrencial, el sistema corrector está basado en el libro: "Principios de la Hidráulica Torrencial" (1962) del catedrático de la Escuela, José María García Nájera, posteriormente, libros que he publicado: "Diques para la corrección de cuencas torrenciales" (1963), "Corrección de torrentes y estabilización de cauces" (1989), han contribuido al conocimiento de las hidrotecnias correctoras y defensivas.

En los cauces de régimen fluvial, el libro de B. Quesnel, "Tratado de Hidráulica Fluvial Aplicada" (1964), ofrece diseños de la obra de defensa de márgenes además, de los ya conocidos espigones, escolleras, etc.

En general, en cuanto al objetivo básico del control del fenómeno torrencial, las obras longitudinales limitan su función a evitar la erosión y las inundaciones y las orillas y márgenes, cumpliendo la que impide la erosión del lecho y deslizamientos de las vertientes, las obras transversales. La protección de las obras longitudinales es más bien de salvaguarda pasiva del fenómeno torrencial, mientras que las obras transversales inciden activa y decisivamente sobre el propio fenómeno.

Aunque desde le punto de vista físico de la ribera se refiere as un espacio próximo al río, desde le punto de vista biológico, el elemento principal de la ribera es la vegetación. De forma general, puede afirmarse que esa vegetación constituye, "el bosque de galería", cuya restauración contribuye a la estabilización de las orillas, regular la entrada de luz y temperatura del agua, ofrecer un hábitat valioso para las especies acuáticas, favorecer la depuración de las aguas y retener sedimentos y nutrientes.

El sistema corrector que hemos considerado corresponde a cuencas torrenciales, de flujos newtonianos, aguas con sedimentos

originados por la erosión de las vertientes, carga de lavado, y la erosión en los cauces, carga de sedimentos del lecho. La carga de lavado en forma de suspensión y la carga de sedimentos del lecho, en suspensión y acarreo (rodadura, deslizamiento y saltación).

Estudios iniciados a finales de la década de los ochenta por Pierson, Costa, Bradley, Takahasi, etc, y sobretodo, por Meunier con su Hidráulica Torrencial (1991) recogiendo las investigaciones de Etudes Montagne, CEMAGREF (Grenoble), sobre el comportamiento reológico de los sedimentos aconsejan ciertas cautelas (Figura 2).

Situados en el polo "Agua", en le sentido del contenido creciente de sólidos, nos encontramos con el dominio de la Hidráulica Torrencial clásica, flujos newtonianos bifásicos, donde la carga de sedimentos no modifica la ley de comportamiento del fluido ni influye en su calado. En este dominio son de aplicación las fórmulas de la Hidráulica clásica, ya que no existen interacciones entre ambas fases, y el agua por sí sola, condiciona todo el flujo.

Umbral A: separa los flujos newtonianos de los hiperconcentrados, caracterizados por tener rigidez inicial, aunque mantienen un comportamiento líquido: Las fórmulas de la Hidráulica viene afectadas de coeficientes correctores.

Umbral B: corresponde a las lavas torrenciales o corrientes de barro. Tiene un comportamiento plástico, causado por las fuerzas electroquímicas de ligazón motivadas por la viscosidad (corrientes de barro viscosas) o por las fuerzas de fricción o de cohesión intergranulares (corrientes de barro inerciales).

Umbral C: movimientos en masa.

TRES EJEMPLOS HISTÓRICOS

Para aproximarnos a la torrencialidad de nuestras cuencas y a las catástrofes de sus avenidas, vamos a recordar las de los ríos Júcar y Guadalmedina y las del torrente Arás.

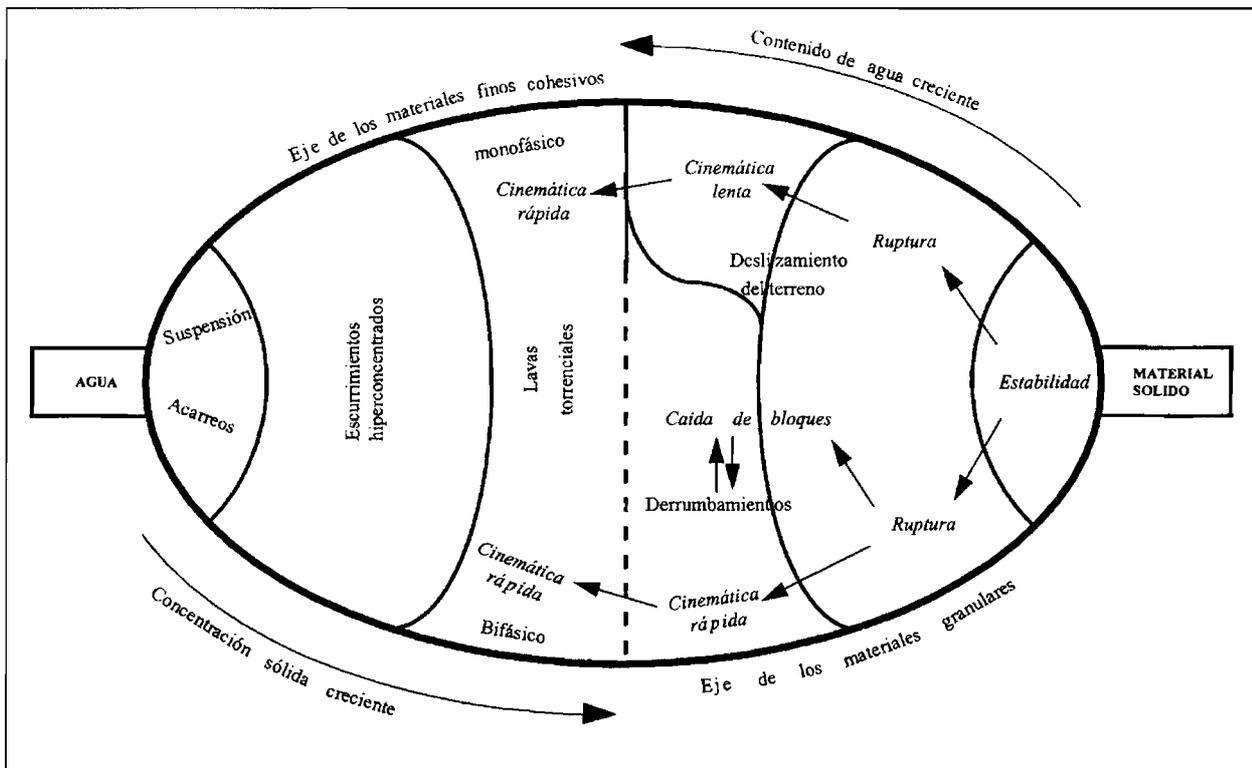


Figura 2. Fenómenos lentos y rápidos en la hidráulica y movimientos del terreno (según MEUNIER, 1991)

a) Río Júcar

En la descripción del río Júcar, se pueden considerar tres tramos en los 506 km desde su nacimiento a 1720 m de altura entre las capas del Jurásico en el paraje de Ojuelo de Valdeminguete, en la serranía de Tragacete, hasta su desembocadura en el Mediterráneo atravesando las provincias de Cuenca, Albacete y Valencia.

El primer tramo, la “cuenca alta” en la serranía con cotas superiores a los 1400 m, con un clima de alta montaña y precipitaciones que alcanzan los 1000 mm. El 60% de la serranía está ocupada por masas arbóreas en su mayor parte por formaciones de hoja acicular de tipo pino-juniperetea, y caracterizada por el *P. silvestre* con acompañamiento de enebros. En cotas más bajas, el *P. laricio*, que tiene como especies acompañantes, boj, berberis, quejigo, etc.

Después, la cuenca media en la parte más baja de la serranía, con precipitación anual de 700 mm a 800 mm, soporta sobre suelos silíceos

al *P. pinaster*. Estos suelos debieron estar ocupados por el roble del que quedan aún importantes reductos. Al sur de la sierra, haciendo frontera con La Mancha, pinares xerofíticos del *P. piñonero* sobre terrenos sueltos de *P. carrasco* sobre suelo caliza, en áreas que ocupó la encina.

El tercer tramo, el valle del Júcar, en la comarca de La Mancha conquense, en la que el río todavía se encaja y forma hoces en el terreno de naturaleza calcárea. Después, el valle se va ensanchando poco a poco, para terminar al sur de La Mancha, en una cubeta de no gran extensión. Sobre los depósitos aluviales se mantienen todavía pinares de *P. piñonero*, autóctonos y de reforestación con cortejo de retamas, genistas, jaras, tomillares, etc.

Salpicados en toda la región encontramos masas de encina en mayor o menor estado de degradación como consecuencia de la presión humana. Esta presión ha sido aún más fuerte en La Mancha albacetense, en donde prácticamente ha desaparecido. Sólo quedan

relictos en Munera y Ossa de Montiel. Masa boscosas de pino carrasco en el río Cabriel y también en las llamadas Muelas desde Alcalá de Júcar hasta la provincia de Valencia a la derecha del río y en los montes de Almansa. Finalmente la ribera Alta y después la ribera Baja hasta el Mediterráneo

No escapa la cuenca del Júcar en sus 21.578,5 km² a esas adversidades hidrológicas de nuestra geografía que ya hemos comentado: Podría resumirse diciendo que esas adversidades y la deforestación de la cuenca, sólo algo más del 20% está cubierta de bosques, hacen que el geodinamismo torrencial se presente de forma imprevisible y catastrófica.

La evaluación en cuanto a las pérdidas de suelo por erosión hídrica, laminar y en regueros, obtenidas por aplicación del modelo USLE, permiten establecer que la media en la cuenca del Júcar es de unas 35 t·ha⁻¹·año⁻¹. Por otra parte, hay que considerar otras formas de erosión hídrica en barrancos y cárcavas, presentes en toda la cuenca del Júcar que incrementan su caudal sólido.

En cuanto a las avenidas e inundaciones, el Júcar hace realidad su nombre de devastador asolando con sus riadas, sobre todo su cuenca baja y concretamente, la Ribera. En los archivos existentes, podemos encontrar relatos que se remontan a la inundación del 27 de septiembre de 1517. Sólo comentaré la más importante: 4 y 5 de octubre de 1779. El relato de esta riada existe en el Archivo parroquial de la Iglesia de Cárcer, donde se cita: "Muertes, viviendas destruidas y vegas asoladas en Cárcer, Carcagente, Alcira, Sueca, etc.

En Sueca rompió el Júcar por el mismo sitio en 1753, 1779, 1801 y 1805

El 4 y 5 de noviembre de 1864. Conocida como la riada de San Carlos. Afecto a toda la cuenca baja, Ayora, Millares, Tous, etc, y a la ribera Alta y Baja, Cárcer, Alberique, Alcira, etc.

El 20 y 21 de octubre de 1982, los hechos ocurrieron de forma similar a la riada de 1864, aunque la zona afectada fue mayor y mayores los daños ocasionados. Está en el

recuerdo de todos sus trágicas consecuencias, entre ellas, la rotura de la presa de Tous.

En la línea de información geoarqueológica, las investigaciones en Alcira nos ofrece una valiosísima panorámica sobre la historia del Júcar desde tiempos medievales.

Antes del siglo XI, el régimen hidrológico del Júcar parece haber sido diferente al de épocas posteriores. Los picos de las descargas de las crecidas eran más suaves y las riadas violentas eran casi inexistentes.

A mediados del siglo XI, tuvo lugar un cambio importante del régimen fluvial de forma que los picos de las crecidas aumentaron sistemáticamente a partir del último cuarto de siglo XI con carácter destructivo,

Las investigaciones de Butzer, Miralles y Mateu (1983) sitúan el problema de las inundaciones de la ribera del Júcar, en su perspectiva más completa. El paso a riadas más breves y violentas ocurrido en toda la zona, se debe tanto a anomalías climáticas como a la expansión general de asentamientos humanos y deforestación extensiva en la cuenca del Júcar.

Es evidente que con nuestros medios actuales, las actuaciones sobre el clima y la geomorfología, son muy limitadas, pero no así sobre la vegetación, ya que la restauración hidrológico-forestal, combinación armónica de acciones biológicas y obras de ingeniería hidráulica, ofrece amplias posibilidades.

Analizamos la influencia que en la cuantía y desarrollo de la avenida catastrófica registrada a partir del día 20 de octubre de 1982 en el curso inferior del río Júcar, que motivó la rotura de la presa de Tous, puede atribuirse a la destrucción, por incendios, de parte de las masas forestales existentes en las cuencas del Escalona y Jarafuel, vertientes directas al tramo inferior del río Júcar, con una superficie de 2.079 km². Dentro de la zona se encuentran 451 km² (21,7%) de terrenos que en los años 79 y 80 sufrieron modificaciones importantes en su cubierta vegetal a causa de incendios forestales.

El hidrograma del río Escalona, línea de trazo continua, responde a las condiciones de

la cuenca, en su mayor parte deforestada por los incendios y a los 425 mm de precipitación media en 24 horas, dato obtenido de la Central de Cofrentes.

En cuanto a las posibilidades de control de este tipo de fenómenos mediante la Restauración Hidrológico Forestal (R.H.F.), los resultados fueron los siguientes:

En el caso verdaderamente excepcional de intensidades de precipitación análogas a las registradas el día 20 de octubre de 1.982, el control de caudales y escorrentías con los trabajos de R.H.F. y conservación de suelos, afectando a un 65% de la zona considerada (los estudio y experiencias de Molchanov demuestran que a partir de un 65 % de superficie boscosa, el coeficiente de escorrentía es asintótico al 8%), aún cuando supondría una reducción de caudales punta del orden del 25% y 20%, en cuanto al volumen de escorrentía evacuado, no son suficientes por sí mismos para la defensa de vegas, poblados e infraestructuras dominadas, debiendo ser completados con obras complementarias para la regulación de caudales y la mejora del régimen de evacuación de las aguas en los cauces de la red hidrográfica

Que con precipitaciones medias de aguace-ro del orden de 300 mm, que son los valores históricos que originan avenidas e inundaciones de carácter catastrófico, el control de caudales derivados de la R.H.F. y conservación de suelos, alcanzaría niveles suficientemente significativos disminuyendo los caudales del orden del 33% en sus máximos para que los daños previsibles no llegasen a alcanzar carácter catastrófico, ni dentro de la zona ni en las dominadas.

Que con precipitaciones menores, pero suficientemente representativas del régimen habitual de las avenidas de unos 150 mm que se producen con recurrencia de 100 años, el control obtenido puede considerarse del orden del 50% en los caudales punta, lo que no sólo supondría la desaparición completa de los riesgos y daños habituales debido a este tipo de crecidas, sino una importante disminución de la torrencialidad de los cauces que facilitaría su estabilidad, con la consi-

guiente mejora de las condiciones de evacuación en el caso de avenidas de mayor volumen como las anteriormente contempladas, lo que influiría indudablemente en la disminución de los daños que en estos casos llegaron a producirse.

Por eso, ya en 1981, se había estudiado y aprobado el proyecto de Ordenación Agrohidrológica de la Comarca Ayora-Enguera, asolada por los incendios de los años 79-80 y, posteriormente, después de la avenida catastrófica de 1982, los proyectos de R.H.F., siguientes:

R.H.F. de la cuenca del río Grande y de la vertiente derecha del río Escalona desde la confluencia de ambos hasta el río Júcar (1983). R.H.F. de la vertiente izquierda del río Cabriel (1983). R.H.F. de la vertiente derecha del río Cautoban o Reconque desde la confluencia del Zorra hasta el Júcar (1983). R.H.F. de las cuencas parciales: margen derecha del Júcar desde la rambla de la Carrasca hasta el barranco de la Parra. Margen izquierda desde el límite de la provincia de Valencia-Albacete hasta la rambla de Star. Margen derecha del Cabriel desde el mismo límite hasta el embalse del Embarcadero. (1984). R.H.F. de la cuenca alimentadora del embalse de Contreras (1986). R.H.F. de la cuenca del río Escalona (1987)

R.H.F. de la vertiente izquierda del río Júcar entre los embalses de Embarcadero y Tous (1987). R.H.F. de la vertiente derecha del río Júcar entre la presa del Embarcadero y la divisoria del río Escalona (1987)

b) El Guadalmedina

El Guadalmedina, "río de la ciudad", atraviesa Málaga en una longitud canalizada de 5 km, dividiéndola en dos partes iguales aproximadamente.

Málaga se extiende al pie de un semicírculo de montañas que constituyen la zona llamada, la Axarquía, que atenaza la llanura que forma la Hoya de Málaga.

Esta situación y emplazamiento de la población, unida a la geología del terreno

cámbrico y triásico, fácilmente erosionable, así como a las fuertes pendientes de las laderas, a la desnudez y forma de cultivo de las mismas y a la intensidad de las precipitaciones, han hecho que la población, red de alcantarillado, vías de comunicación, etc, hayan experimentado gravísimos daños en épocas de fuertes lluvias por las aguas cargadas de sedimentos del río, de los torrentes que tienen su origen y vierten en la zona edificada.

De Oeste a Este, el arroyo del Cuarto, el Guadalmedina, torrentes del Calvario, San Cristobal, torrenteras de Gibralfaro, arroyo de la caleta, torrenteras comprendidas entre el Paseo de Miramar y el arroyo de jaboneros y los arroyos de jaboneros y de Galica.

Centrándonos en la cuenca del Guadalmedina, tres años después de la conquista de Málaga por los Reyes Católicos, el río conservaba sus aguas permanentes y de ellas se abastecía la población según se deduce del acuerdo de los primeros regidores de su Cabildo (1490), “ningún ganado enturbiará sus aguas, porque usando de ellas los vecinos, era justo que estuviesen puras”.

En los comienzos del siglo XVI, se transformó este río en un torrente devastador, al ser talados y descuajados los bosques que cubrían las vertientes de su cuenca, para implantar el cultivo de la vid, de alto rendimiento por la calidad de los mostos que de ellas se obtenían y que dieron fama universal a los vinos de Málaga.

Las primeras avenidas y consiguientes inundaciones se producen los años 1544, 1548, 1580, 1608, 1611 y 1614, pero de las que guarda un amargo recuerdo la historia de la ciudad fueron las de 1626 1628, casi consecutivas, y la de 1661, que motivo un informe al Rey Felipe IV que había pedido detalles del siniestro: En ese informe, se citan “pérdidas de vidas humanas 400. Entre mayores y menores, 2.318 casas derrumbadas, etc.”

Ya en el siglo XVIII, la riada del año 1765 en que se produjeron muertes de personas y daños de gran consideración, motivó estudios encaminados a paliar los efectos de las ria-

das. La realidad es que en 1787, en que se produjeron tres avenidas en primavera, aunque no de la gravedad de las anteriores, seguía sin tomarse ninguna medida. Se pidió nuevamente ayuda al Gobierno de Su Majestad, entonces el Rey Carlos III. La presencia entre sus ministros de José Gálvez, malagueño, motivó que se crease una Junta encargada de tan importante misión que consiguió que se “desarenase el río, descendiendo su nivel tres varas” y, se “construyeran los muros de la canalización y los grandes colectores de los pasillos”. A los pocos años, se pararon los trabajos, y el Guadalmedina, antes de terminar el siglo tuvo otras tres avenidas.

En el siglo XIX, continuaron las riadas, 1802, 1803, 1804, 1814 y 1816. El Ayuntamiento aceptó el proyecto de Diego Ramírez que aprobado por el Gobierno en 1849, permitió que en 1852, se inaugurase con gran solemnidad las obras realizadas. Nuevas obras y la avenida de 1881, hizo rebosar las aguas por encima de los muros causando daños y víctimas.

Hay que señalar que después de cada inundación ocurrida en el siglo XIX, invariablemente se llegaba a la acertada conclusión, por técnicos y científicos, de que el origen del problema era la deforestación de la cuenca del Guadalmedina.

En el siglo XX, continuaron las inundaciones, 1901, 1902, 1905, 1907, 1917, 1918 y 1919. Ante la elevación continua del lecho del encauzamiento proyectado por la Comisión de Ingenieros de Caminos, se ordenó por el Director General de Agricultura, José Estrada, redactar el “proyecto de corrección y repoblación forestal de la cuenca del río Guadalmedina”, que fue aprobado el 29 de abril de 1927 y declarados de Utilidad Pública, los trabajos a efectos de la expropiación forzosa de los terrenos necesarios para su ejecución.

La concienciación que ya existía en técnicos y científicos de que el origen del problema estaba en la deforestación de la cuenca, la campaña del diario “Ideal” de Málaga en ese sentido y la ruina de los cultivos de la vid por

la filoxera, habían propiciado al fin, la solución verdadera.

El 13 de septiembre de 1930, la 7ª División Hidrológico Forestal iniciaba los trabajos, que dirigió el Ingeniero de Montes, José Martínez-Falero. Se planificó la repoblación de 12.835 ha en los términos de Casasbermeja y Málaga, y los consiguientes diques de consolidación y retenida, así como las albarradas en las barranqueras para consolidar las laderas. Se fijó un plazo de 25 años para realizar los trabajos.

En 1964 en que me incorporé como Ingeniero de Montes a la 7ª División Hidrológico Forestal, Martínez-Falero, finalizaba un artículo sobre los trabajos hidrológico forestales para la defensa de Málaga contra las inundaciones y los daños producidos por los torrentes y las ramblas diciendo: “Málaga constituye hoy en día, la exposición de lo que supone y entraña la repoblación forestal: servir los intereses nacionales y beneficiar de un modo íntegro y absoluto a la sociedad que se desenvuelve y desarrolla en el medio geográfico que le ha tocado vivir”.

c) El Torrente Arás

La cuenca de este torrente se encuentra situada en la región pirenaica, próxima al límite con la zona subpirenaica. En el aspecto administrativo, pertenece al término municipal de Biescas (Huesca), incluyendo las pedanías de Aso, Yosa de Sobremonte y Betés.

El torrente Arás se forma por la confluencia, casi coincidente, de sus tres afluentes principales: los torrentes de Aso, Betés y la Selva. Tras esta confluencia el cauce se encajona en una angosta garganta que finaliza en un amplio cono de deyección antes de desembocar en el río Gállego.

La superficie total de la cuenca aportante por encima del cono de deyección, es de 1.856 ha con la siguiente distribución: torrente de Aso, 1.054 ha (57%); torrente Betés 422 ha. (23%); torrente de la Selva 272 ha. (14%); torrente de Arás 108 ha. (6%). Por su

parte, la superficie del cono de deyección abarca un total de 69 ha.

El punto más alto de la cuenca es el pico Valposata, con 2.177 m de altitud y el más bajo, la desembocadura en el río Gállego con 835 m.

Los parámetros que definen el complejo físico de la cuenca dan los siguientes valores: coeficiente de Gravelius 1,308; pendiente media 46,04%; altura media 613 m; coeficiente de masividad 33,03 m·Km.; coeficiente orográfico 20,02; densidad de drenaje 1,28 Km.

Del análisis de los parámetros citados se desprenden la siguiente caracterización de la cuenca: la forma óvalo-redonda junto a la geometría radial-convergente de la red principal de cauces y la relativamente alta densidad de la red de drenaje, implica un recorrido corto del escurrimiento laminar de las aguas superficiales y su inmediata llegada a la red de cauces, donde aquellas, por su mayor concentración y calado discurren a mayor velocidad. En suma, la cuenca tiene un tiempo de concentración corto y en los hidrogramas el tiempo al pico se alcanzará rápidamente.

Coherentemente, los valores de los parámetros de relieve que se han calculado confirman la diagnosis establecida anteriormente, además de indicar una alta potencialidad para erosionar los terrenos que constituyen la cuenca, especialmente cuando estos cauces se asientan y abren paso sobre depósitos inconsistentes de origen glaciar como es este caso.

En cuanto al clima, en las partes bajas de la cuenca es centroeuropeo, en el que no hay ningún periodo árido y tiene una estación fría larga, siendo de alta montaña el de las partes por encima de 1.500 m.

La configuración orográfica de esta zona, rodeada por auténticas paredes, hace que, si bien en ella tienen incidencia los vientos generales, sobre gran importancia los vientos locales. Esto hace que se favorezca la retención de las masas de aire, lo que constituye la génesis de perturbaciones atmosféricas. Pero

además, bajo determinadas condiciones de la dinámica atmosférica, estas perturbaciones pueden tener carácter convectivo, por lo que al tratarse de un clima húmedo, dan lugar a fenómenos tormentosos, intensos aguaceros que pueden llegar a ser verdaderamente torrenciales, que tienen lugar al final del verano cuando se alcanzan las mayores temperaturas.

En lo relativo a la geología, hay que reseñar que la cuenca de este torrente tiene como substrato básico una formación constituida por alternancias de estratos de areniscas y margas. Morfológicamente, este flysch evoluciona hacia colinas de cumbre redondeada y alargada.

Los valles de Aso y Betés tienen el carácter de llanos suspendidos. Las morrenas localizadas en el fondo del valle o colgadas de las laderas representan morfologías inestables en las actuales condiciones climáticas. El desmantelamiento de las mismas es un proceso natural, bien de una forma paulatina ó a grandes impulsos, coincidentes con importantes eventos meteorológicos.

En cuanto a la cubierta vegetal actual y su caracterización, extensión y distribución específica, puede decirse que se acerca mucho a lo que, como óptimo de estructura vegetal, se propone para la regulación natural de las escorrentías superficiales. Así, en síntesis, las partes altas están cubiertas íntegramente por pastizales de montaña, formando una orla alrededor de las zonas ocupadas por el arbolado. En el fondo de los valles y en el entorno de los tres pueblos ya citados, se sitúan los prados y cultivos, pequeñas parcelas rodeadas por vegetación arbórea ó arbustiva. El resto de la cuenca, se encuentra cubierta por bosques de roble pubescente en las laderas inferiores, pinares de pino silvestre por encima de los anteriores y formaciones ripícolas en las vaguadas.

De las anteriores descripciones, se desprende que la cuenca del torrente Arás presenta una elevada potencialidad torrencial.

En diversas publicaciones que abarcan el periodo 1909 a 1964, existen referencias de los trabajos de corrección de esa torrenciali-

dad del torrente Arás, pudiendo establecer dos periodos fundamentales en su ejecución: el primero, desde 1902 hasta los años 20; el segundo, a partir de los años 30 hasta la década de los 60. Desde entonces, se ejecutaron trabajos de reparación y limpieza de los diques y encauzamientos según se iban necesitando e incluso, se construyeron dos diques en la década de los 80.

También parece evidente que el encauzamiento se construyó sin haber finalizado las tareas de corrección del torrente. Este orden de ejecución, no muy ortodoxo, se explica por la necesidad perentoria de fijar el paso de la carretera de Sabiñánigo a Biescas por la parte baja del cono del torrente, donde las aguas divagaban en una zona de un kilómetro de anchura aproximadamente, según consta en la memoria del proyecto realizado por el Ingeniero de Montes, M. Borderas, en 1930.

En dicho proyecto, se adopta como caudal de avenida máxima el que se produjo en la crecida de 11 de junio de 1929 (la mayor conocida hasta la fecha) que según los cálculos que se realizaron fue de $125 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

El conjunto de las obras realizadas logró desactivar durante las últimas décadas, la torrencialidad del Arás. No obstante, debido a las tormentas que lógicamente, continuaron produciéndose periódicamente, había que efectuar reparaciones y limpiezas en el sistema corrector.

La tormenta que tuvo lugar en la zona de Biescas la tarde del 7 de Agosto del 96, descargó de forma irregular sobre la cuenca del torrente Arás, según testimonios de la gente del lugar, corroborados posteriormente por el registro del radar del Instituto Nacional de Meteorología, alcanzándose, según dicha fuente, una precipitación total máxima, en torno a los 240 mm por encima de la población de Betés, y mínima de 40 mm en la cabecera del torrente Aso.

Sobre la excepcionalidad de la intensidad de dicho aguacero poco se puede argumentar de modo objetivo, dada la ausencia de registros pluviográficos significativos en la zona.

Con objeto de estimar el caudal máximo instantáneo que semejante precipitación pudo provocar, se han realizado numerosos estudios e informes, redactados por diferentes organismos así como profesionales a título personal. Así, se han obtenido en valores que oscilan de los 100 a los 500 m³·s⁻¹

Prescindiendo de la cuantía del caudal máximo que pudo generarse y haciendo abstracción de la dolorosa tragedia humana que tuvo lugar, como consecuencia de la avenida se produjeron importantes daños materiales tanto en la cuenca como en infraestructuras, edificaciones y cultivos ubicados en ella.

En este sentido, es interesante señalar que la avenida apenas produjo erosiones importantes en las laderas de la cuenca, lo que confirma la bondad de la cubierta vegetal que la cubre, salvo en las vertientes del Betés. No ocurrió lo mismo en la red de drenaje, sobre la que provocó alteraciones importantes según los tramos. Así, en las subcuencas de Aso y de la Selva, la red de drenaje se vio poco afectada y por el contrario, el cauce del torrente Betés quedó completamente arrasado, sobre todo en su tramo inferior. En cuanto al cauce del torrente Arás, los efectos sufridos están íntimamente relacionados con los sufridos por el sistema corrector asentado en él. En todo caso, el desmantelamiento fue prácticamente generalizado produciéndose el vaciado de gran parte de los diques construidos.

La Diputación General de Aragón manifestó su deseo de conservar las obras que soportaron el paso de la avenida, especialmente el encauzamiento, tanto funcionalmente como en su aspecto exterior. Por último, el caudal de cálculo se fijó en 250 m³·s⁻¹.

El sistema corrector adoptado comprende actuaciones encaminadas al control de los fenómenos de erosión, transporte y sedimentación de los materiales a lo largo de la red de drenaje principal de la cuenca, bien de forma activa (obras transversales que propician una modificación de la topografía del cauce) ó pasiva (obras longitudinales que protegen los márgenes del cauce frente a la erosión y favorecen la conducción de los caudales de aveni-

da entre los vertederos de las obras transversales y a lo largo del cono de deyección, evitando la excesiva divagación de las aguas).

Salvo en el caso de los diques de barras metálicas, en general el material de construcción elegido, tanto para los diques como para los encauzamientos, ha sido el hormigón ciclópeo, con el paramento visto a base de mampostería careada en el caso de las obras más visibles. Los motivos que llevaron a esta elección fueron varios entre los que se puede citar como más importantes, la mayor facilidad y por tanto, mayor rapidez de ejecución y la disponibilidad de gran cantidad de acarros gruesos, que por otra parte, hubiera sido necesario despejar. No obstante, para los muros cajeros de los dispositivos de disipación, se ha elegido el hormigón armado, con objeto de evitar volúmenes excesivos de obra.

Finalmente, conviene hacer notar una vez más, que la situación de la cubierta vegetal en la cuenca respecto al control de la erosión superficial del suelo y regulación de las escorrentías superficiales, puede considerarse óptima, debido a lo cual no se plantean actuaciones encaminadas a su mejora, salvo las que quedan englobadas en el preceptivo apartado de rehabilitación ambiental.

REFLEXIÓN FINAL

El geodinamismo torrencial presente en toda nuestra geografía es, como ya he dicho, la resultante de adversidades climáticas, del complejo físico de la cuenca y de las acciones del hombre en ella, ó consecuencia de esas acciones. Y lo hemos comprobado:

El río Júcar, “el devastador”, por sus riadas desde principios del siglo XI, motivadas por la deforestación progresiva de su cuenca y actividades del hombre, azudes, acequias, que reducían el espacio natural inundable y obstruían el drenaje libre de los flujos convergentes.

El Guadalmedina, cuyas avenidas torrenciales comienzan en el siglo XVI, al ser talados los bosques que cubrían sus vertientes, para el cultivo de la vid. Durante siglos se

consideró, por técnicos y científicos, la necesidad de reforestar su cuenca. Esta solución se adoptaba en 1929, pero ya he señalado, que años antes la filoxera, había eliminado los cultivos de la vid que existían.

El torrente Arás, integrado por los afluentes Aso, Selva y Betés, tenía su cuenca restaurada y corregida salvo la del Betés, que se consideró siempre como un arroyo. Aso y Selva no tuvieron problemas graves en la avenida del 7 de Agosto (1996). La catástrofe, se produjo en la garganta del Arás al recibir del Betés las lavas ó lodos torrenciales que se habían producido por el desplome y el deslizamiento de sus laderas, a causa de la intensidad de la precipitación caída. La tragedia humana, en el área del lecho de deyección del Arás donde se había instalado el camping de Las Nieves.

Debemos recordar que la ocupación de cauces, riberas, zonas de servidumbre y zonas de policía de cauces, han dado lugar a tragedias no sólo en los ríos torrenciales y torrentes, sino también en esas ramblas que ya citamos, Mayor, Judío, Molvizar, Nogalte, Albuñol, Albóx, etc, y en los años 96 y 97, en Alicante y Badajoz.

En definitiva, la presencia de la acción antrópica es una constante en el desencadenamiento de estas catástrofes.

Creo que esta última reflexión debe centrarse en la deforestación de nuestra geografía, de la que sólo un 14% nos queda cubierta por bosques.

Hispania en los inicios de nuestra Era, en condiciones climáticas similares a las actuales, según Leherou, Hare y Tomaselli, fue descrita por Estrabón en su "Geografía", Columela en "De Re Rústica" y Mela en su "Corografía", como un territorio poco habitado, de relieve accidentado, desigualmente regado, cubierto de bosques, salvo el "spartarium pedium" en el Sureste. De esos bosques, que según Justiniano, historiador romano, fueron una de las causas de la llegada de los fenicios y cartagineses atraídos por su riqueza maderera, y de los que Julio César comentaba en "Guerra de las Galias" que se abastecían los astilleros romanos.

Y esa vegetación típica era leñosa: leñosa en los cultivos, olivo, almendro, vid, y frutales en general; leñosa en los montes, bosques esclerófilos de encina, alcornoque, quejigo y coníferas xerófilas. Y gozó del mayor esplendor durante la dominación árabe.

Se citan como causas históricas de la deforestación de nuestra geografía, el continuo guerrear de la Reconquista, las leyes de Mesta favoreciendo el desarrollo ganadero, el pacto de familia de los Borbones facilitando la corta de bosques para los astilleros, las leyes de Desamortización de Mendizabal, y en nuestro siglo el desarrollo demográfico, y en los últimos treinta años, los incendios forestales.

La intuición poética de A. Machado en "Campos de Castilla" describe de forma luminosa esa deforestación y consiguiente degradación de los recursos naturales agua y suelo. Las aguas de los ríos cargados de sedimentos, extensas áreas de "bad land", zonas yermas de agricultura marginal, altiplanicies con afloramientos rocosos generalizados y sobretodo, esas sierras desnudas, esqueléticas, de las que se lamentaba Unamuno diciendo " España era como un caballo que se está quedando en los huesos".

Es difícil una política seria de Restauración Hidrológica- Forestal de nuestras cuencas hidrográficas, no por esas adversidades que ya citamos, que la propia Naturaleza, la Ciencia y la Técnica ayudan a vencer, sino por la baja rentabilidad de esos bosques esclerófilos y de coníferas xerófilas y porque de su propiedad ó de las tierras necesitadas de reforestación sólo un 5% corresponden al Estado y Autonomías, cuando la media de esa propiedad estatal en los países de la Comunidad Económica Europea sobrepasa el 20%.

Además, ya lo he comentado, la Administración Forestal (Dirección General de Montes, Patrimonio Forestal del Estado, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Servicio Hidrológico Forestal y Divisiones Hidrológico- Forestales, etc) desapareció en la nueva estructuración del Ministerio de Agricultura del año 1971.

Creo que el Servicio Hidrológico Forestal, cuyas competencias se desarrollan en la Ley de Montes (1957) y correspondiente Reglamento (1962) aún vigentes, debían “renacer” administrativamente en el Ministerio de Medio Ambiente, con sus Divisiones Hidrológico-Forestales en las respectivas cuencas hidrográficas para abordar seriamente su restauración.

Porque los bosques, como hemos visto, crean un ecoclima menos xerófilo y por consiguiente más favorable para la vida cualitativa y cuantitativamente, para esa biodiversidad de la que tanto se habla ahora; mejoran la economía y calidad de las aguas, favorecen la

recarga de los acuíferos; controlan los procesos erosivos en las vertientes y en los cauces y consiguientemente, la carga de sedimentos que llevan las aguas; regulan las avenidas contribuyendo a la defensa de vías de comunicación, poblados y explotaciones agrícolas; defienden los embalses de los procesos de sedimentación y eutrofización; mejoran la capacidad biológica del suelo; además de proporcionar esos paisajes y ambientes óptimos para la vida, el estudio, recreo y descanso del hombre. Esos bosques que como sintetiza Unamuno “dan limpieza y transparencia a las aguas de nuestros ríos para que sean conciencia del paisaje”.