

INTRODUCCIÓN A LA RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

JUAN ÁNGEL MINTEGUI AGUIRRE¹,
JOSÉ CARLOS ROBREDO SÁNCHEZ¹, JUAN IGNACIO GARCÍA VIÑAS²
Y CÉSAR LÓPEZ LEIVA²

RESUMEN

El presente documento comienza justificando la corriente conservacionista que ha existido en todo momento en la Administración Forestal Española desde 1835, incluyendo en los momentos de mayor desarrollismo económico. Analiza a continuación la importante labor realizada por los Servicios Hidrológico-Forestales en la restauración de nuestros sistemas montañosos y en la corrección de sus torrentes, especialmente en la primera mitad del siglo XX. Pasa a posteriori a definir los conceptos de restauración hidrológico-forestal de cuencas hidrográficas y de la lucha contra la desertificación, que tuvieron su mayor desarrollo entre los años 1940-80 el primero y los años 1981-90 el segundo. Establece la importancia que han tenido los modelos hidrológicos en la reordenación de las metodologías, tanto de corrección de torrentes como de restauración hidrológico-forestal de cuencas hidrográficas, sin obviar que las mismas son sólo una ayuda para resolver los problemas; pues los conocimientos de selvicultura y de construcción son también imprescindibles. Finalmente se describe el concepto de ordenación agro-hidrológica de cuencas y los objetivos, metodología y actuaciones más significativas el un proyecto de restauración hidrológico-forestal de una cuenca hidrográfica.

En todo el recorrido expuesto, se ha seguido la filosofía tradicional de los Ingenieros de Montes, ligada durante más de ciento cincuenta años tanto con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid (de la UPM, apartir de su creación) como con la Administración Forestal del Estado. Actualmente, con la creación de nuevas Escuelas de Montes y las transformaciones experimentadas en la Administración Forestal, pueden surgir voces que no estén de acuerdo con parte o todo del contenido del presente texto; pero al menos se ha intentado que el mismo resulte claro, lógico y conceptualmente justificado.

El documento en cuestión fue presentado por el equipo de la Universidad Politécnica de Madrid en la primera reunión del Proyecto EPIC FORCE (Evidence-Based Policy for Integrated Control of Forested River Catchments in Extreme Rainfall and Snowmelt), incluido en el Sexto Programa Marco de Cooperación Internacional INCO, financiado por la Unión

¹ Unidad de Hidráulica e Hidrología. Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria, 28040 Madrid. E-mail: jua-angel.mintegui@upm.es.

² Unidad de Botánica. Departamento de Producción Vegetal y Botánica. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria, 28040 Madrid.

Europea y liderado por la Universidad de Newcastle (R. U.), que tuvo lugar en dicha localidad del noreste de Inglaterra entre el 28-02 y el 03-03 del 2005. En el mismo participan, además de las universidades mencionadas, la Universidad de Padua (Italia), la Universidad Nacional de Costa Rica, la Universidad de Cuenca (Ecuador), la Universidad Austral (Chile), la Universidad de La Plata (Argentina) y la Subsecretaría de Recursos Naturales (Dirección de Recursos Hídricos) de la Provincia de Tierra de Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur (Argentina).

Palabras clave: montaña, aprovechamientos, torrente, protección, modelos, repoblaciones, planificación.

SUMMARY

This paper starts trying to justify the conservationist trend that has existed every time within the Spanish Forest Administration since 1835, including moments of higher economical development. Afterwards, it analyses the important role undertaken by the Water & Forest Services (Servicios Hidrológico-Forestales) in the restoration of our mountain systems and in the torrent control, specially in the first half of the 20th. century. Next, several concepts are defined, like Water and Forest Restoration (with its higher development in 1940-80 period) and Prevention of Desertification (mainly, 1981-90). The paper set out the importance that have shown the hydrological models for reviewing methodologies of torrent control and water and forest restoration as well, taking into account that they are only auxiliary tools for solving problems, along with silvicultural and construction understandings and techniques. Finally, the concept of water and forest management is described and also main aims, methodology, and most significative actions within a W&F restoration project of a catchment.

Along this historical transect, we have followed the traditional understandings of the Forest Engineer Corps (Ingenieros de Montes), linked for more than 150 year with the Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Madrid (belonging to the Universidad Politécnica de Madrid, UPM, since its foundation) and the Spanish State Forest Administration. Nowadays, having blossomed new forest technical schools and having undergone changes in the forest administration, trends of disagreement with part or with the whole contents of this text may arise; however, this document aims to be clear, logical and conceptually justified.

This paper was presented by the UPM team at the first meeting of the EPIC FORCE Project (Evidence-Based Policy for Integrated Control of Forested River Catchments in Extreme Rainfall and Snowmelt) include in the Sixth Framework Programme of International Cooperation (INCO), financed by the European Union and led by the University of Newcastle (U.K.), held in this that town of North-eastern England from February 28th to March 3rd. 2005. Partners of this Project are, apart from the above mentioned universities, Università di Padova (Italy), Universidad Nacional de Costa Rica, Universidad de Cuenca (Ecuador), Universidad Austral (Chile), Universidad de La Plata (Argentina) and the Subsecretaría de Recursos Naturales (Dirección de Recursos Hídricos) of Tierra de Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur province (Argentina)

Key words: mountain, sustainable develop, torrent, protection, models, reforestation, planning.

INTRODUCCIÓN

Encuadre general de la cuestión

Si se pregunta por ¿cuál es la principal motivación de la gestión forestal en España?. La respuesta puede resultar difícil, pero se puede afirmar que desde la creación los Servicios Forestales civiles en la Administración del Estado (1835), siempre ha existido una corriente conservacionista en sus instituciones. En unas épocas con mayor intensidad que en otras, pero incluso en los periodos de mayor desarrollismo existió un movimiento conservador en paralelo con el que primaba de producción de madera como materia prima. Por otro lado, no se puede entender el sector forestal sin tomar un largo periodo de referencia, a continuación se expone uno extraordinariamente dilatado, pero el turno de la mayor parte de las especies forestales europeas, utilizadas en la restauración de las cuencas hidrográficas, es también muy largo y este aspecto debe ser asumido por todo ingeniero de montes que considere seriamente el principio de persistencia (aprovechamiento sostenible) de los bosques. Por supuesto, se está refiriendo a las estrategias, no a los métodos ni a las técnicas a emplear en cada situación. Estas últimas deben estar puestas al día. A continuación se muestra una retrospectiva de un pasado forestalmente hablando no muy lejano, en el que se plantaron una parte significativa de las superficies arboladas que contemplamos en el presente, para a posteriori profundizar en el significado de la restauración hidrológico-forestal de las cuencas hidrográficas.

En la etapa inicial (1835-1875) la principal preocupación de la gestión forestal se centró en la identificación, deslinde y conservación de las superficies forestales del país, así como en la adopción de sistemas de aprovechamiento racionales para los montes, con el ánimo de preservar las masas arboladas (los montes altos y los montes bajos). Es un periodo marcadamente conservacionista y coincide en el tiempo con la desaparición del viejo sistema de tenencia de la tierra y la aplicación del nuevo código civil de la propiedad.

En la etapa siguiente (1876-1936) la gestión forestal tiene dos motivaciones principales, que tuvieron un pleno desarrollo, a) el mantenimiento de las áreas forestales dentro de su uso natural, con un aprovechamiento que garantizase la persistencia de las masas y el abastecimiento en madera, como objetivo intrínsecamente forestal y b) la protección del suelo y la corrección de los torrentes de montaña y sus cuencas vertientes. En cualquier caso no se abandona el sentido conservacionista, sino que se trata de ser pragmático para seguir manteniéndola. Es una época en la que Administración Forestal va adquiriendo peso dentro de una estructura centralizada del Estado y se acometen obras y trabajos de gran importancia económica y social. En lo que afecta al ámbito hidrológico forestal se promulgan tres Reales Decretos que tienen una importancia decisiva en el desarrollo del sector. El R. D. de 11 de julio de 1877, que establece la repoblación forestal y mejora de los montes públicos, concebida para evitar la denudación de los suelos necesitados de protección. El R. D. de 3 de febrero de 1888 que se refiere a la organización de los trabajos de repoblación de las cabeceras de las cuencas hidrográficas de España y el R. D. de 7 de junio de 1901 que establece los Servicios Hidrológico-Forestales, orientados principalmente a la corrección de los torrentes de montaña. Estos Servicios tuvieron un carácter autónomo, hasta que en 1940 fueron incorporados en el Patrimonio Forestal del Estado.

En el periodo siguiente (1940-1980) se mantiene en lo esencial los objetivos del anterior, pero se interpretan de forma algo diferente. En la misma hay dos motivaciones principales: a) La producción de madera y b) La protección del suelo. Aunque ambas motivaciones se refuerzan con el calificativo de por interés nacional, éste queda más especificado en el caso de la segunda; al referirse, por ejemplo, a la corrección hidrológico forestal de las cuencas alimentadoras de los principales embalses de abastecimiento de agua; o a la corrección de los torrentes de montaña que afectan a núcleos habitados. La principal norma legal de este periodo es la Ley de Montes de 8 de junio de 1957 y su Reglamento de 22 de febrero de 1962. Dos documentos técnicamente muy sólidos

que han perdurado hasta la promulgación de la nueva Ley de Montes de 21 de noviembre de 2003. Es la etapa en la que se repueblan en España más de 20.000 Km².

La situación partir de 1980 se caracteriza por la descentralización de la Administración Forestal, cuyas competencias pasan a desempeñar las Comunidades Autónomas (CC AA), reservándose la Administración Central las funciones de coordinación entre ellas y la representación del país en el exterior. Es una etapa en la que el sector forestal, que llevaba más de 140 años encerrado en sí mismo, se debe abrir al exterior colaborando más abiertamente con otros sectores sociales (no olvidemos que no se puede entender el sector forestal sin considerar la ordenación del territorio y el régimen fiscal de los predios forestales, aspectos que afectan directamente a los ciudadanos). Ante este reto y posiblemente influenciado por las críticas vertidas hacia la gestión forestal del pasado por diversos colectivos sociales, entre ellos por la Universidad, la apertura se realiza sin mucho acierto; obviando algunos aspectos técnicos y logros del pasado, que sin duda los hubo, y regresando al espíritu conservacionista de los primeros tiempos con un sentimiento más científico-naturalista que de una verdadera gestión del territorio y de sus recursos. Al auge de esta nueva perspectiva contribuyeron tanto las corrientes intelectuales del momento como las nuevas generaciones de los años ochenta, siendo estas últimas las primeras que se encuentran con un país que ha dejado de ser agrícola y ganadero para convertirse en industrial y de servicios. Pero incluso en este contexto, fue posible establecer un convenio nacional en materia de Hidrología y Conservación de Suelos entre la Administración Central y las CC AA.

La preocupación del sector forestal español por los problemas de conservación de suelos y la lucha contra la erosión hídrica se mantiene muy vigente en la actualidad; ha perdido algo de implicación en lo referente a la corrección de torrentes y a la restauración de montañas que ha sido tan relevante en su pasado; aunque ocasionalmente, cuando los eventos torrenciales extraordinarios se han encargado de recordarlo, se ha actuado con rapidez y eficacia. En los

periodos entre eventos torrenciales la mayor preocupación se dedica a los aspectos agronómicos (tales como pérdidas de suelo por erosión) y geomorfológicos y de identificación de distintas formas de fenómenos erosivos, dentro de un marco más amplio de reconocimiento e identificación del estado físico del territorio.

En general, el ciudadano español empieza a considerar los bosques como suyos, es consciente que protegen al suelo, regulan el régimen hídrico y mejoran el ambiente. Incluso se preocupa para que no se le quemen, utilizando para ello una amplia campaña prevención y extinción de incendios forestales. Quizá de lo que no sea totalmente consciente es que, si no se les cuida terminarían por degradarse. Los bosques son seres vivos y se comportan como tales; por tanto, en la medida que les solicitemos su usufructo, aunque sólo se trate del paisaje, debemos cuidar de su capital.

A continuación se centrará en explicar, aunque sea sucintamente, el significado del término restauración hidrológico-forestal de cuencas hidrográficas; cuales fueron sus orígenes o, dicho de otro modo, cómo se llegó a concebirla; en que principios se asienta y cuales son las metodologías y técnicas habituales empleadas para su elaboración y ejecución. Podría ser conveniente comenzar recordando que la forma de entender la protección de las cuencas hidrográficas en nuestro país, concebida como una forma de abordar el aprovechamiento y no específicamente la explotación de sus recursos agua y suelo, tiene muchos puntos de coincidencia con la de los restantes países europeos de nuestro entorno inmediato, aunque también ofrezca sus aspectos particulares y algunas carencias. Pero tanto en el área mediterránea como en la anglosajona, aparentemente tan dispares, el verdadero sentido a la referencia *water and forest management strategy*, se concibe en el contexto de la ordenación y restauración de las cuencas hidrográficas.

Los inicios

Aún admitiendo plenamente que los trabajos de identificación, deslinde y conservación de

las superficies forestales del país fueron decisivos en el posterior desarrollo de la filosofía del sector forestal español; hay que reconocer que el germen de la restauración hidrológico-forestal de cuencas en España surge como consecuencia de los trabajos de corrección de los torrentes de montaña y sus cuencas vertientes.

A finales del siglo XIX la deforestación había alcanzado en España situaciones alarmantes y en algunas zonas de montaña, sobre todo en el Pirineo, el invierno se hacía intransitable y peligroso por los aludes. Con la primavera llegaban los deshielos, que cuando desbordan los torrentes causaban desolación donde materializan sus efectos (aunque los torrentes del Pirineo también presentan manifestaciones catastróficas con algunas tormentas de verano, como la tristemente conocida del 7-08-1996). Las regiones mediterráneas tampoco presentan un panorama mejor; las lluvias torrenciales, ligadas en su mayoría al fenómeno conocido como gota fría, ocasionan inundaciones con los consiguientes aterramientos y efectos indeseables en todo el recorrido natural de las aguas de avenida.

Estas calamidades fueron las que motivan la promulgación de los dos R. D. de 1888 y 1901; para restaurar las montañas desarboladas y degradadas, donde las precipitaciones son normalmente más abundantes y en las que, en cualquier caso, por su posición estratégica ante cualquier perturbación que tenga algo que ver con el agua o el hielo, extienden sus efectos ladera abajo a lo largo y ancho de todo el valle de inundación. Con esta filosofía se entendió la corrección de los torrentes (MINTEGUI, 1999).

Es posible que uno de los textos más significativos y de mayor influencia entre los ingenieros restauradores de torrentes en la Europa más meridional sea el de THIERY, *Restauration des montagnes, Corrections des torrents et Reboisement*, publicado en París (1891) y reeditado en París y Lieja (1914). El mismo dedica una parte importante de su contenido al análisis del torrente como un elemento significativo dentro del ámbito de la dinámica del agua en cauces abiertos, sintetizando

con gran maestría la necesidad de conjugar las obras hidráulicas de corrección en los cauces torrenciales, con la restauración de sus cuencas alimentadoras; para lo segundo propone la repoblación forestal de éstas. De este modo hace suya la célebre sentencia entre los ingenieros pioneros en la restauración de montañas: No se puede corregir un torrente, si conjuntamente, o mejor previamente, no se ha restaurado su cuenca alimentadora. Algo que cualquier planificador actual en recursos hídricos o de cuencas hidrográficas (que tuviera en cuenta además los fenómenos geotorrenciales que causan las crecidas de los torrentes) no tendría inconveniente en asumir.

En España el texto de THIERY tiene una gran repercusión, se estudia en la Escuela Especial de Ingenieros de Montes y el catedrático de la misma en el periodo 1949-70 GARCÍA NÁJERA, profundo conocedor del mismo, contribuyó a implementar algunos de sus contenidos. En este contexto desarrolló su ecuación de una corriente con arrastres, (como una forma sui generis de entender el flujo monofásico) y pensada como un procedimiento para determinar la pendiente de compensación (equilibrio) de un torrente, parámetro importante a la hora de plantearse su corrección, y para describir el hipotético desarrollo geométrico de la formación de un cono de sedimentación. Todos estos conceptos los publica en su libro titulado *Principios de Hidráulica torrencial y su aplicación a la corrección de torrentes* (1943). La Figura 1 muestra esquemáticamente el procedimiento de cálculo de la pendiente de compensación de un torrente establecido por GARCÍA NÁJERA, con ligeras modificaciones; ya que se ha sustituido la ecuación de BAZIN por la de MANNING y la ecuación del inicio del movimiento de los materiales del lecho de SCHOKLITSCH (1934) por la de MEYER-PETER (1948) para facilitar los cálculos (MINTEGUI & ROBREDO, 1993).

En el esquema expuesto de la corrección de una cuenca hidrográfica de montaña, la vegetación especialmente el bosque de montaña resulta imprescindible; por todo lo que representa de elemento estabilizador de la cuenca ante los mecanismos torrenciales; pues contri-

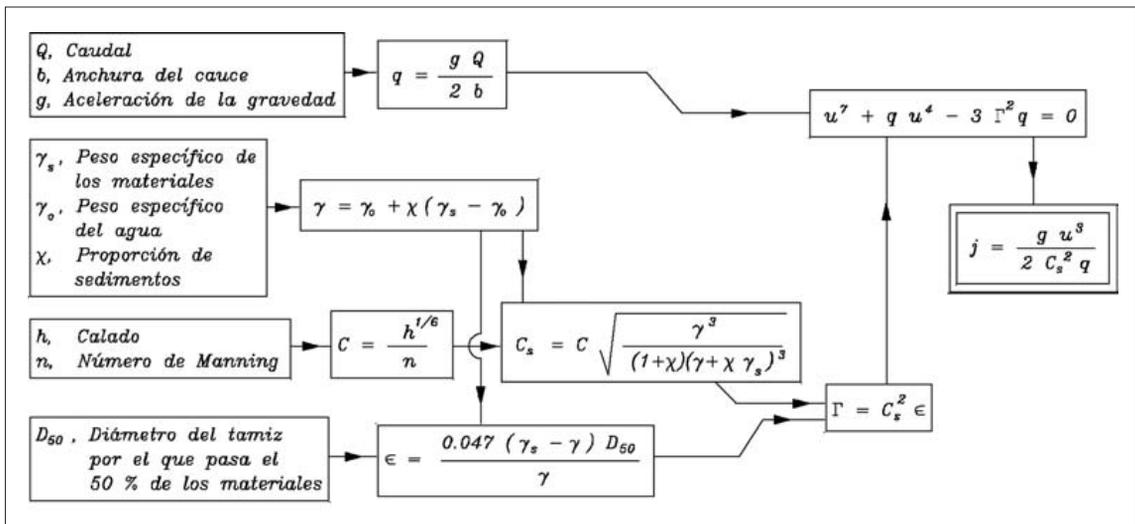


Figura 1. Esquema de GARCÍA NÁJERA para el cálculo de la pendiente de compensación (equilibrio) de un torrente. 1943

Figure 1. GARCÍA NÁJERA's outline for calculation of compensation (equilibrium) slope of a torrent.1943.

buye tanto a incrementar la infiltración, como a disminuir la velocidad de la lámina de escurrido superficial y, además, favorece el flujo sub-superficial del agua en los períodos de precipitaciones abundantes. En síntesis, es el regulador natural por excelencia de los recursos hídricos. A estos aspectos hay que añadir su gran capacidad para defender al suelo contra los fenómenos erosivos; tanto del impacto de las gotas de lluvia sobre el terreno, como de los derivados del arrastre de las partículas de suelo disgregadas por los flujos de escorrentía.

Aproximadamente hasta 1940 se utilizaba normalmente el término corrección de torrentes para referirse a la corrección de las cuencas de montaña, asumiéndose que, para que las obras hidráulicas de corrección consiguieran la eficacia deseada en el tiempo, se requería de la repoblación forestal de sus cuencas vertientes. Normalmente se trataba de cuencas más bien pequeñas, en las que predominaban terrenos públicos, por lo que salvo en casos concretos no se generaban graves problemas para la adquisición de los terrenos; aunque éste fuera un aspecto socialmente delicado de estas actuaciones. A partir de la citada fecha se difunde el uso del término restauración hidrológico-forestal, que viene asociada a una serie de acontecimientos que tienen lugar en dicho periodo.

La política hidráulica desarrollada por el Gobierno, sobre todo entre 1940-60, centró su interés en la regulación de nuestros principales cursos fluviales, de características marcadamente estacionales, mediante un amplio programa de construcción de embalses. Por este motivo y con el objetivo de garantizar y prolongar la vida útil de los vasos de almacenamiento de dichos embalses, se planteó un programa de restauración hidrológico-forestal de sus cuencas alimentadoras, adaptando para ello las técnicas que ya habían sido experimentadas con buenos resultados en la corrección de los torrentes de montaña.

En las áreas de montaña o de cabecera de dichas cuencas de embalses que existían problemas que requerían las clásicas medidas de corrección de torrentes, resultaba lógico que éstas se aplicaran como tales. Pero amplias superficies de estas cuencas eran eminentemente agrícolas y otras, que por sus pendientes no debieran serlo, estaban en aquellas fechas cultivadas, en la mayoría de los casos sin ninguna medida de conservación de suelos. Era evidente que el uso al que se les dedicaba a estos últimos terrenos no era el adecuado y que los mismos debían ser transformados en cubiertas vegetales permanentes, si se quería garantizar la viabilidad temporal de las nuevas infraestructuras hidráulicas. Por esta

razón, en algunos de estos terrenos (los de pendientes más elevadas, superiores al 30 %) y en otros cubiertos de matorral escaso de iguales pendientes, se proyectaron repoblaciones forestales, al amparo de los proyectos de restauración hidrológico-forestal.

Pero para poder llevar a cabo estas repoblaciones forestales en unos terrenos con cultivos ocasionales (en aquella España anterior a 1960) había que expropiarlos, lo que obligaba justificarlo, aunque resultara evidente a simple vista que los mismos estaban sometidos a una erosión acelerada. Para aquellas fechas estaban publicadas las primeras clasificaciones agrológicas de tierras en Estados Unidos (BENNET, 1939), que delimitaban los terrenos destinados al cultivo de los que se debían reservar a cubiertas permanentes; pero con la aplicación de dichas clasificaciones en la España del momento, se hubieran reducido las superficies de cultivo más de lo que socialmente era recomendable, sin convencer a nadie de la utilidad de dicha medida. Con este escenario de fondo GARCÍA NÁJERA estableció y publicó su ecuación de la pendiente máxima admisible en cultivos (1954) y pastizales (1955), a fin de demarcar las zonas que debían ser destinadas a vegetación permanente, preferentemente arbolada, para que quedaran de este modo defendidas de la erosión hídrica acelerada, protegiendo al mismo tiempo todas las áreas situadas aguas abajo. El desarrollo posterior de estas ecuaciones permitió a LÓPEZ CADENAS DE LLANO y BLANCO CRIADO (1968) la publicación de un texto en el que establecieron los índices de protección del suelo por la vegetación, cuyo contenido implícito se interpretó durante mucho tiempo como el criterio para establecer las zonas prioritarias para la repoblación forestal en cuencas vertientes necesitadas de restauración hidrológico-forestal.

Lo que se acaba de exponer permite constatar el peso que comenzó a adquirir el uso del suelo en la restauración hidrológico-forestal de una cuenca vertiente, que se incrementa conforme aumenta la superficie de la cuenca, hasta llegar a representar uno de los aspectos más determinantes a la restauración. Ello ha

derivado en que en muchas ocasiones se ha llegado a desvirtuar el concepto original e integrador de la restauración de las cuencas de montaña (o de las cuencas hidrográficas en general), hasta reducirlo a un aspecto particular de la defensa del suelo contra la erosión, es decir, a tratarlo como una práctica más de conservación de suelos; como si aparentemente el problema se redujera a una clasificación de los suelos en aptos o no aptos para el cultivo dependiendo de su naturaleza y del gradiente que presenta el terreno. Esta es una idea que ha creado mucha confusión y que incluso hoy proporciona dificultades para definir el auténtico problema; cuando la agricultura europea tiene excedentes y no es rentable cultivar los terrenos en pendiente.

Sin embargo, hay que mencionar que la repoblación de los terrenos de fuertes pendientes, no sólo contribuye a reducir la erosión hídrica en los mismos, sino que mejora también sus condiciones hidrológicas. Además, la restauración hidrológico-forestal bien entendida transciende de las medidas convencionales de conservación de suelos, que evidentemente son necesarias en los terrenos cultivados que se ubican dentro de la cuenca. Se podría decir que la misión de la restauración hidrológico-forestal es tratar de poner hidrológicamente a punto la cuenca, para de este modo controlar el ciclo del agua y defender al suelo de la erosión.

Los siguientes pasos

Parece evidente que, desde un punto de vista conceptual, lo que ha sido válido en los siglos pasados, también podría serlo para el presente; sobre todo admitiendo los años que deben transcurrir en el sector forestal para que se confirmen las experiencias. Dicho esto, hay que considerar igualmente que en el presente hay que justificar las cosas de manera distinta y los medios para realizar los trabajos son también diferentes. Por otro lado, generalmente cuando se plantea restaurar una cuenca hidrográfica, ésta suele tener una gran superficie. No se suele tratar de la corrección de un torrente de montaña con sus afluentes, sino más bien de un curso torrencial importante y

sus tributarios; por ello se plantea como operación previa a cualquier actuación en la cuenca su ordenación agro-hidrológica; algo equivalente a lo que se recogía en el Reglamento de la Ley de Montes de 1957 con el nombre de reconocimientos previos (art. 348), pero con una estructura más elaborada.

Manteniendo esencialmente los objetivos anteriores, en la pasada década de los setenta tuvo lugar la introducción y extensión en España del modelo paramétrico USLE. (se trata de las siglas en inglés de Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo), desarrollada en el transcurso de un largo periodo por el U. S. D. A. SOIL CONSERVATION SERVICE (WISCHMEIER & SMITH, 1959, 1960, 1965, 1972, 1974 y 1978). En la labor de difusión de este modelo la cátedra de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la UPM, dirigida por LÓPEZ CADENAS DE LLANO entre 1970-85, hizo un gran esfuerzo. El modelo en cuestión establece la erosión potencial del suelo en cada unidad homogénea de la cuenca determinada a través de la aplicación del mismo; es decir, define para cada una las diferentes zonas de la cuenca un valor de su erosión hídrica superficial expresado en $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$; por tanto, se mantiene el mismo esquema conceptual que los índices de protección del suelo por la vegetación; pero mientras estos últimos aportan un valor cualitativo, el modelo USLE aporta un valor cuantitativo. Es un buen instrumento para planificar el uso agronómico del territorio, pero no está pensado para mostrar de forma particularizada los efectos de los eventos torrenciales individuales en la cuenca, al menos en las versiones comentadas de WISCHMEIER & SMITH.

El parámetro clima del modelo USLE es el que le aporta la universalidad al modelo y al mismo tiempo el más complejo de establecer, por ello son loables algunos trabajos realizados en el marco del Proyecto LUCDEME (Lucha contra la Desertificación en la vertiente Mediterránea) aprobado por Orden de 5 de octubre de 1981, como la Determinación del factor lluvia, coeficiente R ó índice de erosión pluvial de la USLE, en la vertiente mediterrá-

nea española (ICONA, 1980), aplicable a 182.000 Km² de nuestra península, o su extensión a todo el territorio nacional con el título Agresividad de la lluvia en España (ICONA-INTECSA, 1988). Continuando con esta línea y apoyándose en éstos y otros estudios, el ICONA elaboró y publicó los Mapas de Estados Erosivos a partir de 1987 bajo la dirección de LÓPEZ CADENAS DE LLANO, que tomando como base el citado modelo, reflejan la erosión potencial en las diferentes áreas de España.

En el 2001 el Ministerio de Medio Ambiente a través de la Dirección General de la Conservación de la Naturaleza puso en marcha el Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES); que posteriormente, a partir del 2004, ha continuado como un programa de la Dirección General de la Biodiversidad. El INES, que se puede considerar la continuación técnica de los Mapas de Estados Erosivos, tiene como objetivo detectar, cuantificar y reflejar cartográficamente, en soporte digital y gráfico, los principales procesos de erosión de suelos en toda España, así como su evolución previsible en el tiempo. Su gestión y coordinación técnica se lleva a cabo desde el Área de Hidrología de la mencionada Dirección General, cuya jefatura lo desempeña el ingeniero de montes DEL PALACIO. Su realización está planificada de forma continua y cíclica con la periodicidad prevista de 10 años, a ritmo de 5 provincias por año y con la precisión equivalente a una escala de 1:50.000.

Tanto el Proyecto LUCDEME como el Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES) han supuesto aportaciones innegables, dado que han incorporado nuevos elementos para la identificación del estado físico de las cuencas vertientes objeto de ordenación, utilizando para ello las metodologías más recientes. Sin embargo, no han contribuido a clarificar el contenido del término restauración hidrológico-forestal; precisamente porque la complejidad de las cuencas, en las que se pretende llevar a cabo dichas actuaciones hidrológico-forestales, plantea con mucha frecuencia el uso de herramientas que superan las del ámbito de corrección de las cuencas de monta-

ña. Pero si por ingeniería hidrológico-forestal se entiende una tecnología capaz de resolver los problemas existentes en las cuencas hidrográficas, hasta conseguir que éstas se encuentren en sus mejores condiciones para conservar sus principales recursos: el agua y el suelo; puede que sea preciso identificar cuales son las técnicas esenciales demandadas por la restauración hidrológico-forestal y cuales resultan complementarias, aún cuando estas últimas puedan ser imprescindibles para determinadas situaciones planteadas en cuencas vertientes concretas. En este campo los modelos hidrológicos han desempeñado una importante función clarificadora, al resaltar los aspectos hidráulicos en los cauces y del uso del suelo en la cuenca vertiente, en especial la importancia de las superficies dedicadas a la vegetación arbolada permanente.

La aplicación de modelos hidrológicos integrados a cuencas torrenciales objeto de restauración hidrológico-forestal se inicia en la cátedra de Hidráulica e Hidrología de la E. T. S. I. de Montes de la UPM en la década de los ochenta, con ellos se regresa al estudio del curso torrencial como motor de la dinámica geo-torrencial y el análisis de su cuenca vertiente se plantea plenamente integrado al mismo. La citada cátedra estableció una metodología integrada para la determinación de los sedimentos emitidos por una cuenca (LÓPEZ CADENAS DE LLANO; MINTEGUI; PÉREZ-SOBA, 1985), apoyándose en modelos ya existentes. Dicha metodología fue revisándose en años sucesivos y entre 1990-93 se le dotó de un programa informático para su aplicación llamado CAUDAL 3 y realizado por ROBREDO. Su esquema se representa en la Figura 2 en la

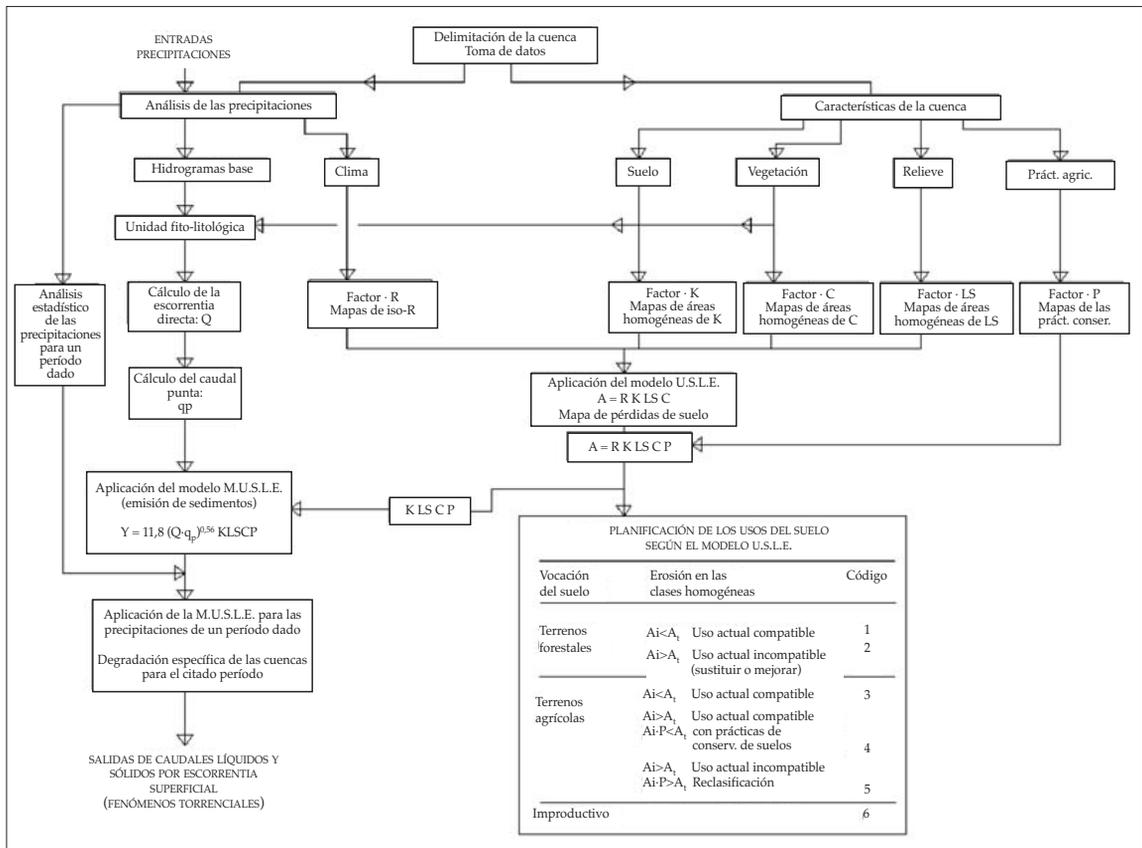


Figura 2. Esquema de la metodología integrada para la determinación de los sedimentos emitidos por una cuenca MINTEGUI y ROBREDO 1994.

Figure 2. Scheme of integrated methodology for the assessment of sediment yield from a catchment. MINTEGUI & ROBREDO, 1994

versión final de 1994. En síntesis, la metodología en cuestión conjuga un sencillo modelo hidrológico integrado (inicialmente se inspiró en el HYMO, 1973; que es un modelo parecido a una de las aplicaciones del programa HEC1, 1981, aunque más sencillo) con el modelo de erosión del suelo en la cuenca (USLE) y el de emisión de sedimentos por ésta en cada aguacero (MUSLE, WILLIAMS, 1975), aunque posteriormente la metodología se generalizó para un periodo interanual. De una forma sencilla los alumnos de cuarto curso de carrera aplican dicha metodología a una cuenca con medios limitados, lo que ratifica su utilidad para realizar un análisis rápido de su estado. Simula cómo se comporta la cuenca ante un aguacero torrencial concreto (real o simulado) y la metodología como tal aporta también un valor interanual de emisión de sedimentos por la cuenca para el conjunto de los aguaceros que tienen lugar en ella durante un periodo deter-

minado. Este último aspecto resulta útil para simular cómo puede evolucionar una cuenca tras su corrección.

Los modelos integrados se utilizan habitualmente en los proyectos corrección de torrentes en los últimos años, sobre todo cuando las avenidas son fundamentalmente de régimen pluviual, como ocurre en la mayor parte de España, y el flujo se puede tratar como bifásico, que es la situación más habitual (Figura 3). Lógicamente no contemplan todo el fenómeno torrencial, pero sí los elementos esenciales. Sin embargo, lo que estos modelos no contemplan, debido a su propia naturaleza, es la capacidad de la cuenca para recuperarse una vez que en ella se han realizado las medidas correctoras, especialmente las repoblaciones. La razón es obvia, no es su cometido. Aquí se entra de lleno en el ámbito de la Selvicultura.

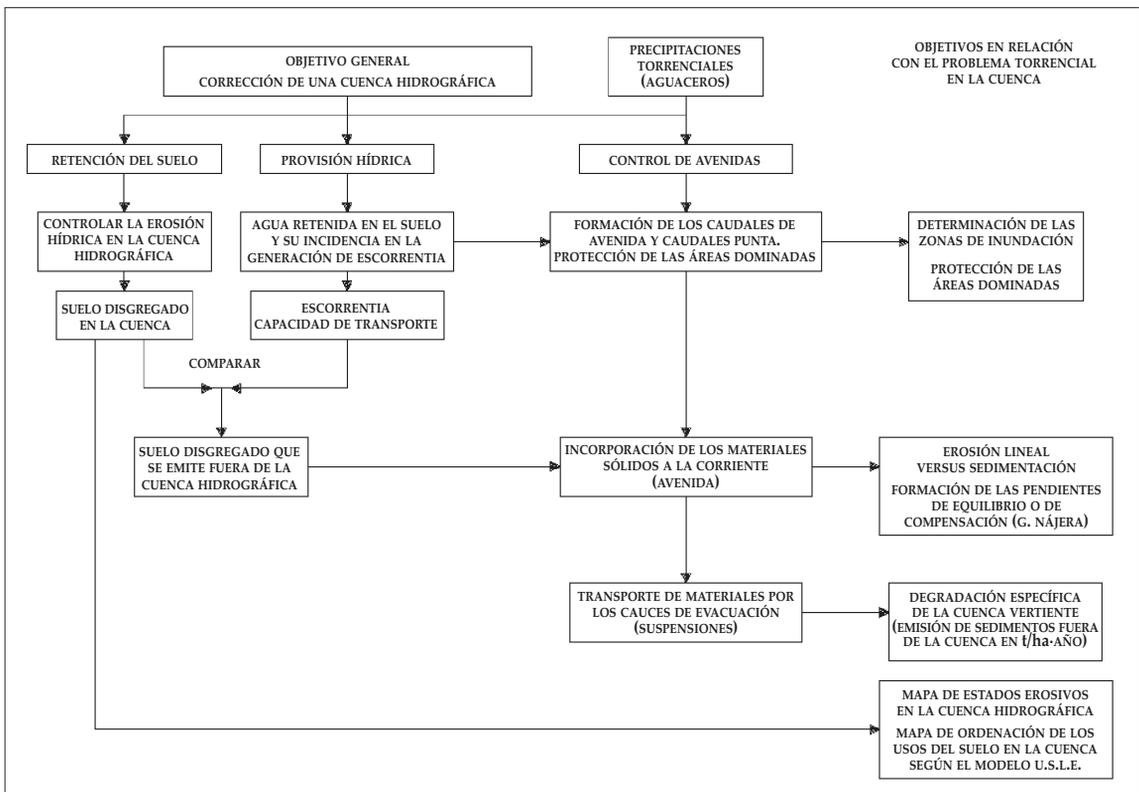


Figura 3. Modo de abordar la corrección de una cuenca ante a los fenómenos geo-torrentiales a partir de modelos integrados. MINTEGUI & ROBREDO, 1994.

Figure 3. Procedure for undertaking the catchment correction against geo-torrential events, based on integrated models MINTEGUI & ROBREDO, 1994.

Para prever la capacidad regeneradora de la vegetación en los lugares donde se proyecta implantarla o reinstalarla, lo tradicional ha sido apoyarse en los índices fito-climáticos o en los de producción vegetativa; que combinan criterios climáticos y dasocráticos y que resultan eficientes cuando para su elaboración se ha dispuesto de una gran cantidad de información de partida y ésta ha sido suficientemente comprobada. Durante mucho tiempo han sido insustituibles y, cuando las repoblaciones se hacían directamente por la Administración, se complementaban con la experiencia del ingeniero encargado de la comarca en la que se realizaba la repoblación. Pero no dejan de ser modelos de caja negra por la forma que establecen la relación causa-efecto, con todo lo que supone de riesgo cuando se aplica por personal poco experimentado en el campo. Aún con todo, merecen ser citados por su contribución en este área del conocimiento en nuestro país, con el ánimo de definir las estaciones forestales aptas para las diferentes especies arbóreas, los esfuerzos de NICOLÁS & GANDULLO (1964, 1966, 1967 y 1969); GANDULLO & SÁNCHEZ-PALOMARES (1970, 1994); GANDULLO & SERRADA (1977); ALLÚE (1966, 1990) o MONTERO DE BURGOS & GONZÁLEZ REBOLLAR (1974).

Conceptualmente el desarrollo de los modelos hidrológicos distribuidos podría mejorar las previsiones del comportamiento de la vegetación, a introducir en las diferentes zonas de la cuenca a través de las medidas de restauración hidrológico-forestal; ya que dichos modelos establecen las condiciones físicas de humedad y temperatura en las diferentes zonas de la cuenca. Pero aunque estos factores sean muy importantes, no son suficientes; pues los mismos hay que conjugarlos con las condiciones culturales que establecen el temperamento (auto-ecología) de las especies que se pretenden introducir en la cuenca con la restauración. Esto último no es Hidrología, pero como

se verá más adelante (al comentar las labores de preparación del suelo para las repoblaciones), la Hidrología no es ajena a las repoblaciones forestales y menos aún en las zonas semiáridas como en gran parte de nuestro país.

Últimos intentos

La posibilidad de obtener con un solo modelo la mayor parte de la información necesaria para abordar la restauración de la cuenca, podría conducir a adoptar modelos distribuidos.

Nuestra unidad de Hidráulica e Hidrología trató de abordar esta línea, cuando ROBREDO planteó como investigación de su tesis doctoral el Diseño de un modelo distribuido elemental para el análisis del comportamiento hidrológico de una cuenca vertiente (1994). No se esperaba, como resultado de la tesis, un modelo que respondiera a todas las cuestiones que se plantean en la restauración de una cuenca hidrográfica, de hecho el modelo en cuestión resulta poco amigable para hacerle muchas preguntas, sino tratar de enfocar los problemas de manera distribuida, es decir, pensar en distribuido, intentando que el ciclo del agua en la cuenca sea el principal factor que condicione los demás, en lugar de reducir el estudio al fenómeno torrencial en la cuenca ante eventos torrenciales; aunque, por supuesto, siempre incluyendo en el esquema a los últimos y a la corrección de sus efectos; pues continúan siendo los más graves y en consecuencia los que aportan una mayor justificación para seguir realizando la restauración hidrológico-forestal de las cuencas vertientes. En su conjunto el modelo en cuestión responde al esquema de la Figura 4 y particularizando para el ciclo del agua y para el ciclo de los sedimentos responde a las Figuras 5 y 6. Éstas últimas son las que realmente corresponden al desarrollo del modelo.

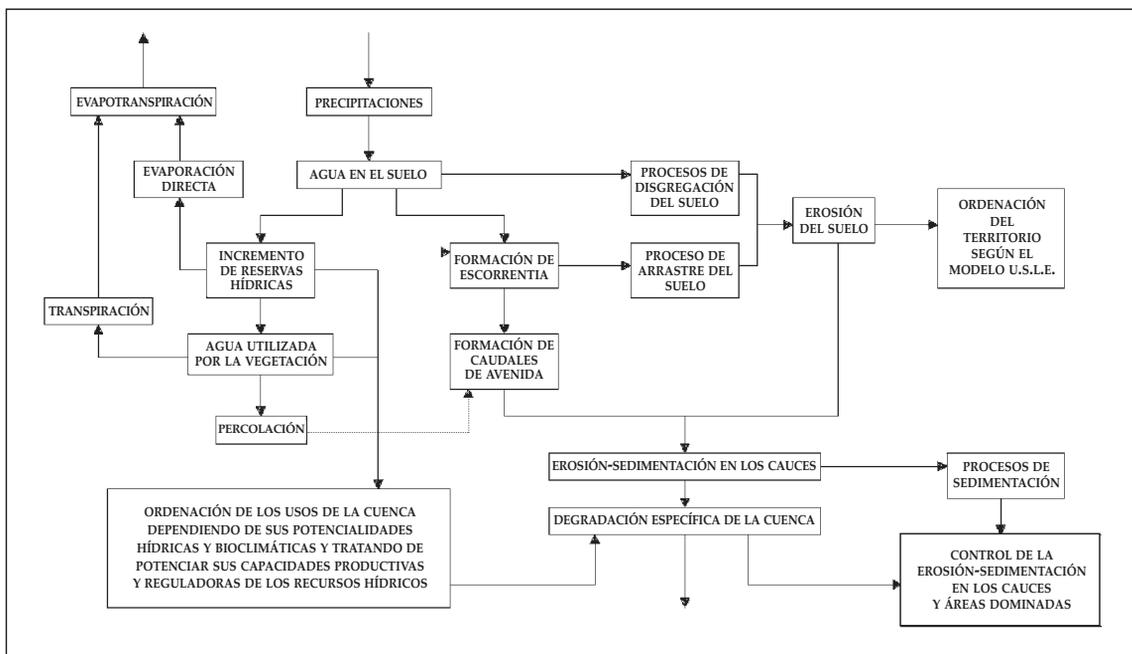


Figura 4. Modo de diagnosticar la corrección de una cuenca hidrográfica a partir de modelos distribuidos. MINTEGUI & ROBREDO, 1994.

Figure 4. Procedure for remarking the catchment correction based on a distributed model. MINTEGUI & ROBREDO, 1994.

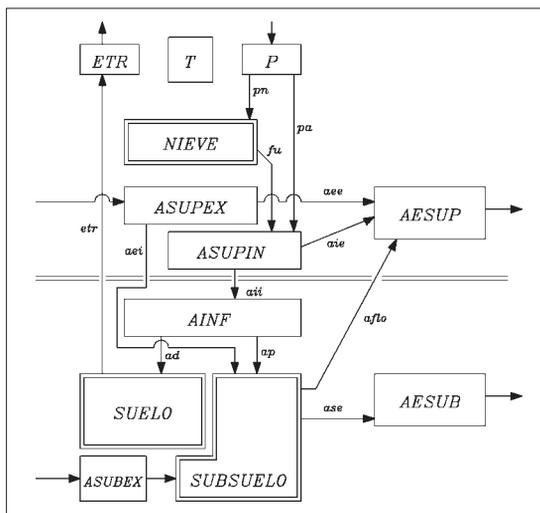


Figura 5. El ciclo del agua en el modelo distribuido elemental propuesto por ROBREDO. Tesis Doctoral. E. T. S. Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. 1994.

Figure 5. Water cycle within the elemental distributed model of ROBREDO. PhD. E. T. S. Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. 1994.

Símbolos	
ETR: Evapotranspiración real.	afo: Afloramientos
T: Temperatura	ETR: Actual evapotranspiration
P: Precipitación (Pn, nival; Pa, pluvial)	T: Temperature
ASUPEX: Agua superficial en la celda proveniente de las celdas de aguas arriba	P: Rainfall ss. lt. (Pn, snowfall; Pa, rainfall)
ASUPIN: Agua superficial en la celda proveniente de la precipitación y fusión	ASUPEX: Surface water of the cell from upstream
AESUP: Agua que discurre superficialmente hacia aguas abajo	ASUPIN: Surface water of the cell from rainfall and snowmelt
AINF: Agua infiltrada	AESUP: Surface downstream-running water
ASUBEX: Entrada de agua subterránea procedente de cotas superiores	AINF: Infiltrated water
AESUB: Salida de agua subterránea hacia cotas inferiores.	ASUBEX: Input of groundwater from uphill
aei: Infiltración open channel water	AESUB: Output of groundwater towards downhill
aii: Infiltración water from rainfall and snowmelt	aei: Infiltration open channel water
aee: Open channel flow towards downhill	aii: Infiltration water from rainfall and snowmelt
fu: Snowmelt	aee: Open channel flow towards downhill
ap: Gravitational infiltration towards lower layers	fu: Snowmelt
ad: Infiltration remaining in soil	ap: Gravitational infiltration towards lower layers
ase: Groundwater flow downstream cells	ad: Infiltration remaining in soil
afo: Exsurgences	ase: Groundwater flow downstream cells
	afo: Exsurgences

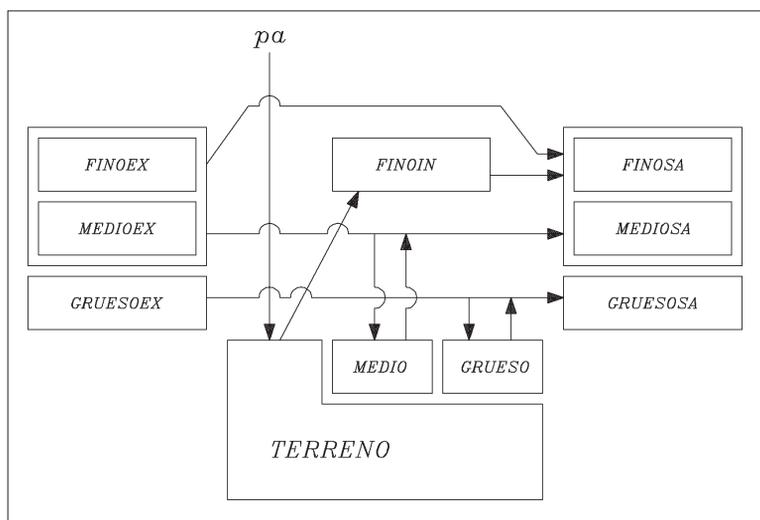


Figura 6. El ciclo de los sedimentos en el modelo distribuido elemental propuesto por ROBREDO. Tesis Doctoral. E. T. S. Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. 1994.

Figure 6. Sediments cycle within the elemental distributed model of ROBREDO. PhD. E. T. S. Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. 1994

Símbolos	
FINOEX: Carga de sedimentos finos que llega de las cotas superiores	FINOEX: Fine sediments load from uphill
MEDIOEX: Carga de sedimentos medios que llega de las cotas superiores	MEDIOEX: Medium-sized sediments load from uphill
GRUESOEX: Carga de sedimentos gruesos que llega de las cotas superiores	GRUESOEX: Thick sediments form uphill
FINOIN: Sedimentos finos producidos por erosión hídrica en la celda	FINOIN: Fine sediments from water erosion in the cell
Pa: Precipitación pluvial	Pa: Rainfall
MEDIO: Variación de la carga de sedimentos medios que afecta al lecho en la celda	MEDIO: Medium-sized sediments load variation in the watercourse bed within the cell.
GRUESO: Variación de la carga de sedimentos gruesos que afecta al lecho en la celda	GRUESO: Thick sediments load variation in the watercourse bed within the cell.
FINOSA: Carga de sedimentos finos transportados hacia cotas inferiores	FINOSA: Fine sediments load yielded downhill
MEDIOSA: Carga de sedimentos medios transportados hacia cotas inferiores	MEDIOSA: Medium-sized sediments load yielded downhill
GRUESOSA: Carga de sedimentos gruesos transportados hacia cotas inferiores	GRUESOSA: Thick sediments load yielded downhill

OBJETIVOS EN LA RESTAURACIÓN DE UNA CUENCA HIDROGRAFICA

Habitualmente se han definido como objetivos de la restauración hidrológico-forestal de una cuenca hidrográfica los siguientes:

1. La retención del suelo mediante el control de la erosión, tratando al mismo tiempo de aprovechar este recurso.
2. La regulación de las avenidas y del transporte de los materiales provocado por las mismas, así como de la sedimentación de estos últimos en las áreas dominadas.
3. La provisión hídrica.

Como consecuencia de todos ellos, la planificación dinámica de la cuenca hidrográfica.

Estos objetivos se pueden dividir en dos grandes grupos:

1. La resolución de los problemas generados por los eventos torrenciales acaecidos en la cuenca.
2. La utilización agrícola y forestal de la cuenca aprovechando racionalmente sus recursos hídricos, potenciando la agricultura en los lugares idóneos y concretando las potencialidades vegetativas en las diferentes zonas de misma; de modo que la vegetación permanente no se imponga sólo como protección integral de la cuenca,

sino que se instale ajustada a la realidad física del territorio y su clima, en función del comportamiento del ciclo del agua en la zona.

Los objetivos del primer grupo tratan ante todo de proteger la cuenca de los problemas que le puedan surgir como consecuencia de aparición en la misma de eventos torrenciales, que desencadenen en ella todo el proceso del geo-dinamismo torrencial (erosión en la cuenca, transporte de los materiales erosionados por las avenidas y depósito de los mismos en las áreas dominadas). Como estos problemas se inician fundamentalmente en las áreas dominantes, para distribuirse a continuación por toda la cuenca hasta llegar a los valles o áreas dominadas; el esquema restaurador pasa por corregir los torrentes de montaña y la consolidación en el tiempo de esas correcciones protegiendo sus cuencas. Cuando el suelo y el clima lo permiten; el proyecto culmina con el asentamiento de un monte arbolado de montaña; que constituye una infraestructura básica de protección para los valles o áreas dominadas; pero para ello pueden transcurrir entre cincuenta y cien años y, pasados estos últimos, existe la posibilidad de problemas con el estado de la masa a causa de su edad.

En la práctica viene siendo habitual apoyarse en los modelos integrados para demarcar los objetivos de este primer grupo; ya que permiten simular la generación de los caudales de avenida y el consiguiente desarrollo de los mecanismos del fenómeno geo-torrencial. La Figura 3 recoge de forma esquemática el diagnóstico básico de una cuenca hidrográfica antes de abordar su corrección, centrándose en los siguientes puntos:

1. El mapa de estados erosivos de la cuenca hidrográfica y el mapa de ordenación de los usos del suelo en la misma, según el modelo USLE.
2. La degradación específica de la cuenca vertiente (es decir, la emisión de sedimentos fuera de la cuenca por unidad de superficie para un año medio), en $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$

3. La formación de las pendientes de compensación (ó de equilibrio) en los cursos torrenciales.
4. La delimitación de las zonas de inundación en las áreas dominadas y el consiguiente esquema de protección de las mismas.

Para el mismo análisis se pueden utilizar modelos distribuidos, sin perder efectividad e incluso mejorando su nivel de estudio; sobre todo en lo relativo a la definición de las disponibilidades hídricas y a la utilización agrícola y forestal de la cuenca en función de sus recursos agua y suelo; pero ello requiere más y mejores datos de campo.

Con todo, no se debe olvidar que el diagnóstico final del estado de una cuenca previa a su corrección es una decisión de ingeniería, en la que es esencial conocer cual es el problema u objetivo principal, cuales los secundarios y, sobre todo, cuales los colaterales. No se puede abordar la corrección de una cuenca sin conocer bien su casuística.

En relación con el segundo aspecto, la utilización de la cuenca atendiendo en la misma el aprovechamiento racional del recurso agua; es evidente que se trata del objetivo final de toda planificación hidrológica. Desde una perspectiva práctica puede resultar una utopía; pero cada vez se puede estar más cerca de abordarla, al menos teóricamente.

En la Figura 4 se sintetizan los aspectos analizados con el modelo distribuido desarrollado en nuestra unidad de Hidráulica e Hidrología en su doble vertiente: por un lado, el fenómeno geo-torrencial; por otro, la ordenación de los usos de la cuenca dependiendo de sus potencialidades hídricas y bioclimáticas, tratando de potenciar sus capacidades productivas y reguladoras de los recursos hídricos. Uno de los objetivos principales de los modelos hidrológicos distribuidos es llegar al conocer con precisión las disponibilidades hídricas de la cuenca; pero cuando se estableció el modelo en cuestión (ROBREDO, 1994), no se pensó tanto en las disponibilidades hídricas en sí mismas, sino

en la demarcación de las zonas capaces de mantener unos recursos hídricos suficientes, para poder realizar en mismas las repoblaciones propuestas con los proyectos restauradores. Este planteamiento permite en cierto modo verificar la adaptabilidad de los índices fito-climáticos; aunque no se debe olvidar que estos índices tienen también otras interpretaciones y cometidos.

Por otra parte, al margen del modelado hidrológico y del correcto diagnóstico de la problemática de la cuenca, está la realización técnica de la propia actividad (la preparación del suelo y la plantación, tratándose de las repoblaciones; o el diseño de la obra hidráulica y su ejecución, refiriéndose a los diques de corrección de torrentes). No basta conocer, hay que actuar en el territorio y hacerlo correctamente. Existen en toda Europa y también en nuestro país, comarcas enteras de áreas de montaña con importantes superficies repobladas de cincuenta o más años, muchas de ellas resultado de llevar a cabo proyectos de restauración hidrológico-forestal o de corrección de montañas, que difícilmente serán superadas si nos atenemos al estado forestal de sus masas, por mucho que ahora se utilicen técnicas de repoblación más sofisticadas; porque el objetivo inmediato de éstas puede estar probablemente en conseguir reutilizarlos.

PLANIFICACIÓN DE LA RESTAURACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

Principios generales

Establecidos los objetivos de la restauración de una cuenca hidrográfica, éstos inciden de modo diferente dependiendo de su espacio geográfico; bien se trate de la propia cuenca o de sus cauces de evacuación; aunque ambos sean complementarios. La retención del suelo y la mejora de los aprovechamientos hídricos están íntimamente relacionados con el comportamiento de la propia cuenca vertiente objeto de restauración; pero la última repercute también en el control de las avenidas, al

incidir en la formación de sus caudales; que aunque sean fundamentalmente consecuencia directa de los aguaceros torrenciales, está condicionadas también por la respuesta de la cuenca vertiente a los mismos. En la Figura 7 se representa el esquema restaurador tipo de un proyecto hidrológico-forestal, donde se recoge lo comentado, al tiempo que se incide en los factores que se deben considerar para rehabilitar la cuenca hidrográfica.

Estos factores son básicamente los relativos al relieve, a la selvicultura a aplicar (incluida en ella las repoblaciones) y a los de carácter hidrológico (tanto los relacionados con la generación de los caudales de avenida asociados con las precipitaciones torrenciales, como los vinculados con las necesidades hídricas en las diferentes zonas de la cuenca).

La componente selvícola es la base central de la restauración de la cuenca y exige analizar los parámetros climáticos, edáficos y fisiológicos. Por otro lado, tanto en lo que se refiere a los objetivos como en la aplicación de las tecnologías operativas (maquinarias a utilizar en el terreno para la preparación de las repoblaciones), se debe contar con la morfología y el relieve de las diferentes zonas de la cuenca.

Asimismo, el conocimiento de las cubiertas vegetales presentes en la cuenca en el momento de efectuar la restauración, supone un estimador útil para interpretar las futuras previsiones de protección, que se esperan con la incorporación de las nuevas cubiertas vegetales permanentes a la cuenca; por ejemplo, con las repoblaciones forestales y su evolución. Estimaciones que afectan tanto a los caudales líquidos como a los sólidos.

En un esquema lógico, la operación previa a todo proyecto de restauración hidrológico-forestal de una cuenca vertiente es su ordenación agro-hidrológica. Con dicha ordenación se planifica el uso al que deben dedicarse los diferentes terrenos que constituyen la cuenca vertiente, para conseguir el mejor aprovechamiento hidrológico de la misma.

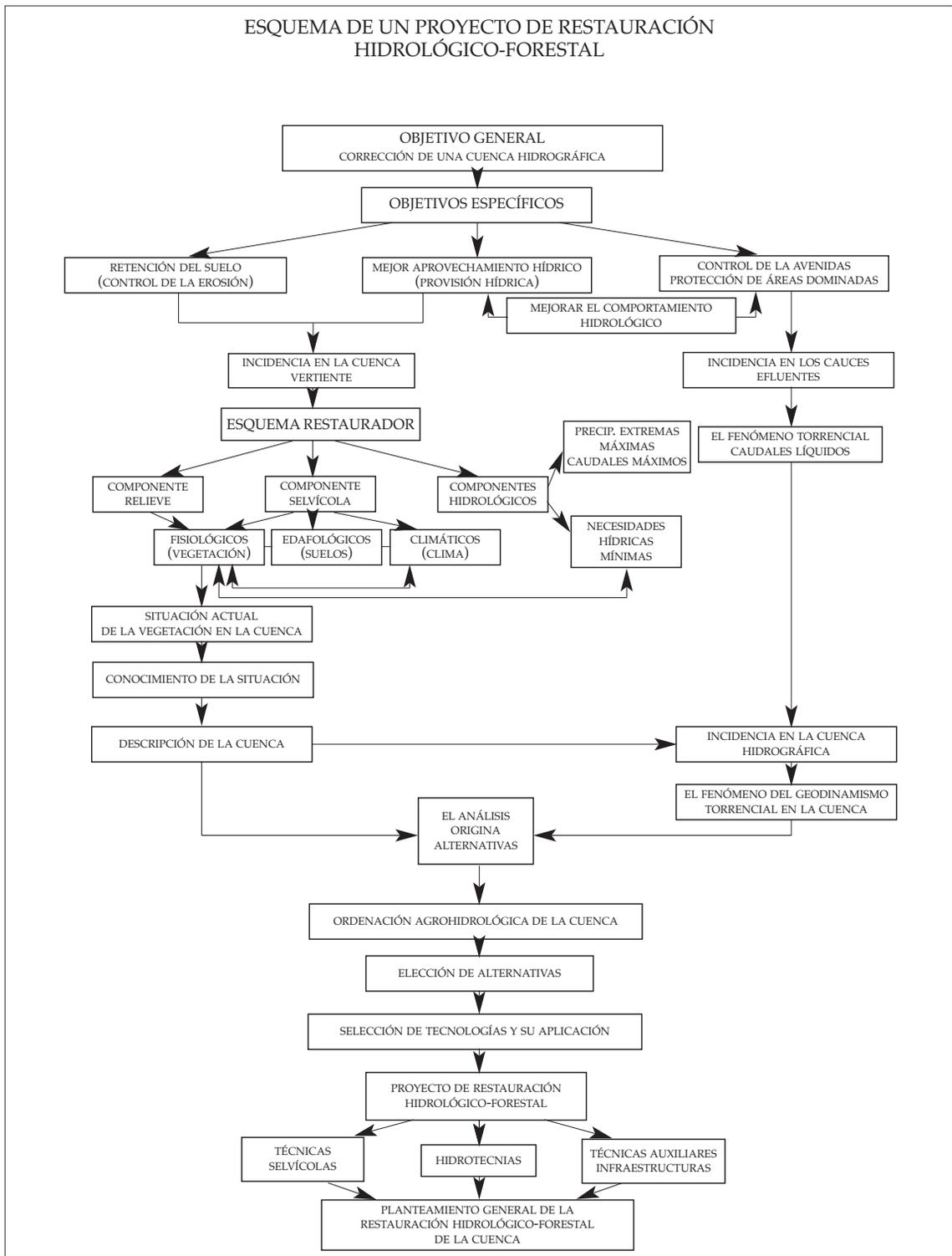


Figura 7. Esquema de la restauración hidrológico-forestal en una cuenca hidrográfica. MINTEGUI; DE SIMÓN; GARCÍA RODRÍGUEZ; ROBREDO, 1993.

Figure 7. Outline for Water & Forest Management in catchments. MINTEGUI, DE SIMÓN; GARCÍA RODRÍGUEZ & ROBREDO, 1993.

En función de los criterios establecidos con la ordenación agro-hidrológica de la cuenca y tras el estudio pertinente del geo-dinamismo de los cursos torrenciales que lo drenan, se plantean las tecnologías adecuadas para llevar a cabo la restauración de la cuenca. Estas se fundamentan en los trabajos de selvicultura, las obras hidráulicas de corrección de los cauces torrenciales y, finalmente, como un medio para poder realizar las actividades citadas, las medidas auxiliares, que constituyen la infraestructura del monte y lo forman básicamente los caminos forestales y los cortafuegos. Junto al documento del proyecto, se debe adjuntar una serie de recomendaciones a aplicar en las zonas agrícolas de la cuenca, para que la protección y uso sostenible de la misma se consiga plenamente.

El Proyecto

Formalmente la estructura del proyecto restaurador de una cuenca implica:

1. Estudiar la cuenca para conocerla; es decir, analizar en ella todos los factores que inciden en el problema geo-torrencial y en el aprovechamiento del agua y del suelo.
2. Conocer cómo se comporta la cuenca ante los diferentes eventos torrenciales, bien reales o simulados; para estimar o prever los efectos causados o que se puedan esperar de ellos.
3. Planificar una ordenación agro-hidrológica de la cuenca atendiendo sobre todo a sus posibilidades físicas y a los objetivos que se pretendan con el proyecto.
4. Describir, justificar y calcular las obras y trabajos proyectados para la restauración hidrológico-forestal de la cuenca. Además de establecer un programa o calendario de trabajo para la realización de las mencionadas obras y trabajos.
5. Evaluar los costes y elaborar los presupuestos necesarios para la ejecución de las obras y trabajos consignados en el proyecto.

Como es habitual en ingeniería, los documentos generados son la Memoria, el Pliego de Condiciones Técnicas Facultativas, los Presupuestos y la Cartografía; esta última comprende tanto los planos de las obras y trabajos, como los mapas temáticos y los de localización de las actuaciones previstas.

Sin embargo, el aspecto más significativo de estos proyectos es su sujeción a una evolución temporal debido a su propia naturaleza. Son actuaciones que se fundamentan en las repoblaciones forestales, cuyas masas arboladas evolucionan de acuerdo con el crecimiento de las especies introducidas; así como en obras de corrección de torrentes, que pueden requerir de una rectificación tras analizar su comportamiento después de los primeros aguaceros posteriores a su construcción. Las diferentes legislaciones establecen su revisión para diferentes períodos de tiempo. Por otro lado, estas actuaciones, como todas las obras de infraestructura, justifican la necesidad de unos servicios permanentes encargados de su vigilancia y conservación. No basta con pregonar el crecimiento sostenido, es preciso que éste se verifique. En el pasado esta labor era competencia exclusiva de la Administración, en la actualidad puede que se llegue a compartir con la actividad privada, pero en cualquier caso hay que tener presente que el principio de persistencia o conservación de los bosques tiene su lógico coste.

La ordenación agro-hidrológica de la cuenca

Se centra ante todo en la cuenca vertiente y pretende regular el uso agronómico del territorio en función de su comportamiento hidrológico. Normalmente en su confección se tienen en cuenta los modelos hidrológicos, de conservación de suelos y de utilización del territorio. Una ordenación agro-hidrológica debe fundamentarse al menos en los factores que se exponen en la Tabla 1, para a partir de ellos establecer una clasificación de las actuaciones que se precisan llevar a cabo en cada una de las distintas zonas de la cuenca objeto de restauración.

Altitudes según las zonas de la cuenca	Áreas dominantes (cabeceras) Áreas dominadas (valles)
Cubierta vegetal	Estado actual de la vegetación Procedencia Vocación (forestal, agrícola, otros usos)
Morfología de la cuenca	Pendientes (dependiendo de las zonas de la cuenca) Orientación (solana; umbría)
Geología	Áreas con erosiones superficiales Áreas con erosiones de fondo
Edafología	Tipos de suelo en las diferentes zonas de la cuenca
Modelos de protección del suelo	Índices de protección del suelo por la vegetación Aplicación de ecuaciones paramétricas (tipo USLE o RUSLE) Otros modelos de erosión
Índices fito-sociológicos	Índices bio-climáticos Índices de potencialidad de una estación
Actuaciones en el territorio	En la cuenca vertiente (alternativas posibles y selección de la opción de proyecto) En los cauces (alternativas posibles y selección de la opción de proyecto)
Clasificación del área de proyecto	Zonas con actuaciones Zonas de recomendaciones Zona sin actuaciones

Tabla 1. Factores a considerar en la ordenación agro-hidrológica de una cuenca hidrográfica.

Table 1. Factors to be considered for Water & Forest Management within a certain catchment.

Planificación de las actividades en la restauración hidrológico-forestal

Para conseguir los objetivos previstos con el proyecto de restauración hidrológico-forestal se plantean los siguientes tipos de actuaciones:

Actuaciones de creación, control y mejora de las coberturas vegetales permanentes

Constituye la restauración selvícola y su principal trabajo es la Repoblación Forestal. Estas implican:

1. Técnicas de preparación del suelo
2. Elección de especies
3. Polígonos de actuaciones y rodales
4. Mediciones de las actividades propuestas

De estos cuatro apartados, el primero debe garantizar unas condiciones del terreno aptas para permitir el desarrollo inicial de las plantas que se incorporan al suelo con la repoblación; tiene un contenido edáfico-hidráulico importante y sobre el mismo se comentará una investigación específica planteada y realizada conjuntamente entre nuestra unidad de Hidráulica e Hidrología y la unidad de Selvicultura de la E. U. I. T. Forestal, ambas de la UPM. El segundo debe atender al temperamento (auto-ecología) de las especies y a las garantías de la calidad de la planta; ambos encierran campos de investigación específicos e importantísimos, pero éstos no constituyen el contenido de la unidad que redacta este documento. Además ambos aspectos deben estar consignados específicamente en el Pliego de Condiciones Técnicas del proyecto. Por último, el tercero y cuarto responden básicamente al Pliego de Condiciones Técnicas del proyecto.

En relación con la investigación anteriormente aludida, se llevó a cabo entre 1990-94 y consistió en el desarrollo de una idea propuesta por SERRADA (1997, 1998), para poner de manifiesto los efectos que proporcionan los trabajos de preparación del terreno en las repoblaciones forestales, tanto en la retención del agua en el suelo, como en su puesta a disposición de la plantación. La investigación consistió esquemáticamente en las siguientes operaciones.

Se establecieron sobre dos laderas forestales, la primera situada en el término municipal de Puebla de Valles (Guadalajara) y la segunda en los montes vertientes a la ciudad de Málaga, 19 parcelas cada una de ellas de 80 m² y por duplicado, además de la parcela testigo (que en ambos lugares estaba constituido por matorral). Sobre ellas se aplicó una lluvia artificialmente hasta que, en el caso de la parcela testigo se empapara totalmente el suelo e iniciara la escorrentía superficial; en las restantes parcelas se operó igualmente, pero la lluvia se cesaba cuando: o bien aparecía la escorrentía incipiente sobre el terreno (en los casos de roza o decapado del matorral), o bien cuando se rompía la estructura hidráulica que suponía de preparación del suelo en la parcela o en su defecto ésta quedaba totalmente anegada.

La notación: $c = P_i / P_t$ que aparece en las columnas del 3 al 6 de la Tabla 2 representa el cociente entre la precipitación de ensayo incidente sobre cada una de las diferentes parcelas en las que se había realizado alguna preparación del suelo previa a la plantación P_i y la precipitación de ensayo incidente sobre la parcela testigo P_t .

Con los NC (Números de Curva) que aparecen entre las columnas 7 al 10 se operó de forma similar; la notación NC_i / NC_t representa el cociente entre el NC_i correspondiente a cada una de las diferentes parcelas en las que se realizó alguna preparación del suelo previa a la plantación y el NC_t que corresponde a la parcela testigo.

Conviene aclarar que lo habitual en la preparación del suelo para las repoblaciones forestales es realizar dos tipos de operaciones, ambas

aparecen en la Tabla 2. Por un lado, están las que despejan el terreno de la vegetación existente en el emplazamiento donde se introducen las nuevas plantas; entre ellas se incluyen la roza (que puede ser en puntos, en fajas o total) y los decapados (que pueden ser por fajas o total). Por otro, están todas las restantes operaciones referidas en la Tabla 2, que preparan el terreno propiamente dicho para facilitar que éste absorba la mayor parte del agua de las precipitaciones y lo ponga a disposición de la nueva plantación. Es fácil de observar que las relaciones de $c = P_i / P_t$ en las cinco primeras operaciones resultan inferiores a la unidad, porque las mismas empeoran las condiciones de infiltración del agua en el suelo; mientras que en los restantes casos lo mejoran, en ocasiones hasta niveles de duplicarlo. Por supuesto, siempre resultan situaciones anómalas (como el ahoyado manual mecanizado en Puebla de Valles y el subsolado cruzado y la roza en fajas con subsolado en los montes de Málaga, pero éstas entran dentro de lo esperable en los ensayos.

Tratándose del cociente NC_i / NC_t ocurre al contrario que con el coeficiente c ; en este caso cuando $NC_i / NC_t < 1,0$ se incrementa la capacidad de infiltración del suelo (lo que ocurre con casi todas las operaciones de la Tabla 2 menos con las relacionadas con la roza y el decapado; presentándose anomalías en el ahoyado manual mecanizado tanto en Puebla de Valles como en los montes de Málaga y además en estos últimos aparecen discrepancias con el subsolado cruzado y con la roza en fajas y subsolado)

En cualquier caso, la preparación final del terreno, incluidos ambos tipos de operaciones, resulta favorable para acoger a la planta en los dos primeros años de su existencia, salvo situaciones de sequías críticas y prolongadas. La Tabla 3 sintetiza en cuatro grupos todas las operaciones de preparación de suelos para las repoblaciones forestales, diferenciando aquellas que favorecen la infiltración y constituyen las auténticas operaciones que se encargan de suministrar humedad a las nuevas plantaciones, de aquellas otras cuya misión se centra en proteger a la nueva plantación de la competencia que le pueda pre-

Tipo de preparación del suelo		Parcelas de Puebla de Valles		Parcelas de los montes de Málaga		Parcelas de Puebla de Valles		Parcelas de los montes de Málaga	
Labor	Símbolo	Intervalo de variación de $c=P_i/P_i$	Valor medio de $c=P_i/P_i$	Intervalo de variación de $c=P_i/P_i$	Valor medio de $c=P_i/P_i$	Intervalo de variación NC_i/NC_i	Valor medio del NC_i/NC_i	Intervalo de variación NC_i/NC_i	Valor medio del NC_i/NC_i
Roza en puntos	RP	0,38-0,93	0,66	0,58-0,94	0,76	1,02-1,47	1,20	1,02-1,22	1,12
Roza en fajas	RF	0,74-1,06	0,90	0,77-0,97	0,87	0,97-1,08	1,03	1,01-1,11	1,05
Roza total	RT	0,73-0,78	0,76	0,56-0,75	0,66	1,09-1,13	1,10	1,12-1,24	1,16
Decapado en fajas	DF	0,33-0,72	0,53			1,17-1,27	1,23		
Decapado total	DT	0,19-0,73	0,46	0,41-0,61	0,51	1,37-1,72	1,50	1,16-1,34	1,26
Ahoyado manual	AM	0,74-1,89	1,32	1,07-1,51	1,29	0,75-1,08	0,92	0,85-0,97	0,90
Ahoyado manual mecanizado	AAM	0,72-1,14	0,93	0,86-1,17	1,02	0,95-1,17	1,03	0,94-1,06	1,02
Ahoyado con retroexcavadora	AR			1,64-2,70	2,17			0,60-0,78	0,67
Ahoyado con ripper	ARP			1,26-1,48	1,37			0,86-0,95	0,90
Subsolado lineal de 40 cm.	SL4	1,25-2,44	1,85			0,65-0,89	0,81		
Subsolado lineal de 60 cm.	SL6	1,32-2,00	1,66	2,27-3,28	2,78	0,66-0,90	0,81		
Subsolado cruzado en rombo	SC	0,94-1,90	1,42	0,87-1,09	0,98	0,75-1,03	0,88	0,96-1,06	1,00
Subsolado lineal	SL					0,78-0,89	0,84	0,56-0,65	0,60
Subsolado en máxima pendiente	SMP			2,10-2,65	2,38			0,59-0,68	0,64
Acaballonado con desfonde	ADF	1,41-2,46	1,94			0,58-0,88	0,70		
Acaballonado superficial	AS	0,71-1,44	1,08	1,39-1,68	1,54	0,82-1,12	0,99	0,78-0,85	0,83
Acaballonado con Tramet	AT	1,41-3,00	2,21			0,49-0,88	0,69		
Labor completa con Tramet	LT	1,25-1,85	1,55			0,78-0,89	0,84		
Aterrazado de 2 m con subsolado	AH2	0,87-3,47	2,17	2,74-3,41	3,08	0,44-1,04	0,70	0,54-0,57	0,55
Roza en fajas con subsolado	TTAE			0,60-1,22	0,91	0,61	0,61	0,93-1,21	1,05

Tabla 2. Trabajos de preparación del suelo para las repoblaciones forestales. Las operaciones en Puebla de Valles (Guadalajara) se realizaron en abril, junio y octubre de 1992. Las de los montes que vierten a la ciudad de Málaga se efectuaron en, octubre, noviembre y diciembre de 1994.

Table 2. Soil preparation actions in reafforestation. Actions in Puebla de Valles (Guadalajara) were carried out in April, May, June and October 1992. The ones in the mountains versant to Málaga town were done in October, November and December 1994.

Grupo	Preparaciones del suelo	Intervalos de los coeficientes	
		$c = P_i / P_t$	NC_i / NC_t
1.1	AH2; SMP; SL6; SL4; AT; AR; ADF	> 1,6	0,55 - 0,85
1.2	LT; AS; ARP; AM; SC; AMM	1,6 - 1,00	0,86 - 0,99
2.1	RF; RP; RT; DF	0,90 - 0,50	1,00 - 1,25
2.2	DT	< 0,50	1,25 - 1,50

Tabla 3. Tipos de preparaciones del terreno para las repoblaciones forestales.

Table 3. Soil preparation types for reafforestation.

sentar la vegetación anterior existente en la ladera o monte a repoblar.

Actuaciones en los cauces

Implican el diseño y la ejecución de las obras hidráulicas de corrección de los cauces torrenciales, lo que exige:

- Elección de las estructuras adecuadas
- Diseño y cálculo de las estructuras adoptadas
- Mediciones

Se comenta en relación con las obras hidráulicas de corrección de cauces torrenciales, que en nuestro país se han construido en los últimos tiempos abundantes diques con criterios de retención de sedimentos, pero son menos frecuentes las obras en las que se ha planteado considerar todo el proceso geo-torrencial del torrente y sus repercusiones tanto aguas abajo como aguas arriba de la estructura. En los países de nuestro entorno, Francia, Suiza e Italia el desarrollo ha sido mayor en este sentido, aunque posiblemente también han tenido mayor número de problemas al respecto. Resultaría conveniente revitalizar el verdadero sentido de la dinámica geo-torrencial y su repercusión en las obras de corrección de torrentes; así como asociar a éstas funcionalmente con su cuenca vertiente más allá del mero cálculo de los caudales líquidos y plantear los esquemas de restauración con sentido práctico. Hay muchos estudios científicos de calidad al respecto, pero normalmente presentan un carácter sectorial. En la corrección de torrentes la experiencia (propia y ajena) contri-

buye a entender sus casuísticas y desempeñan un papel de máximo rango. Es decir, se necesita tiempo para estudiarlos de verdad.

También puede ser interesante en determinadas situaciones tener en cuenta el siguiente principio: No es lo mismo actuar frente al fenómeno torrencial que tratar de esquivarlo. Es decir, en ocasiones se pueden utilizar métodos disuasorios, que si están bien planificados y son respetados, presentan ventajas ante el futuro; porque si resultan adecuados resuelven el problema con bajo coste y una seguridad aceptable y, en caso contrario, nos enseñan cómo se comporta el torrente antes de abordarlo directamente actuando sobre la causa que desencadena el problema. Ahora bien, es preciso tener una idea clara de cuando se pueden aplicar estos métodos disuasorios; en esto, de nuevo se incide en la casuística.

Actividades complementarias

Las más importantes son: la reparación de los caminos, la construcción de nuevas vías de acceso y los cortafuegos; aunque dependiendo del proyecto concreto, también pueden ser necesarias otras obras y trabajos para complementar tanto las medidas selvícolas como las hidrológicas propiamente dichas.

Otras actividades para conseguir una total ordenación agro-hidrológica de la cuenca

Desde una perspectiva lógica, las actuaciones que directa o indirectamente implican la restauración total de la cuenca no se limitan a los trabajos y obras hidrológico-forestales de la misma. Éstos son insustituibles, pero además

son también precisas otras consignadas en la Tabla 4, que se refieren a las buenas prácticas de cultivo en las áreas con vocación agrícola. En la tabla en cuestión se han considerado los siguientes aspectos:

- El área de actuación (cuenca vertiente o cauce torrencial).
- Las bases a considerar para las actuaciones:
 - Laboreo o agricultura racional, incluidas las buenas prácticas de cultivo (cultivo a nivel y fajas).
 - Uso de las cubiertas permanentes: arbolado (anterior o de repoblación), matorrales, pastizales.
 - Medidas para el control superficial del agua en la cuenca (terrazas, bancales, zanjas de desviación) o subterránea (drenajes), a fin de proteger al suelo de la erosión.
 - Obras de corrección de torrentes.
 - Se deben incluir también (aunque no aparezcan en la Tabla 4) la defensa del suelo contra la erosión eólica y las obras y trabajos para la defensa contra aludes.
- Principales factores que inciden en la posibilidad de realización de las actuaciones previstas (limitantes, condicionantes)
- Finalmente, atendiendo a todas las consideraciones anteriores, se concretan las medidas restauradoras y /o conservadoras a realizar.

CONSIDERACIONES FINALES: PERSPECTIVAS ACTUALES

La despoblación que en los últimos tiempos se ha producido en las áreas de montaña de nuestro país, ha relegado los trabajos de corrección de torrentes y de restauración hidrológico-forestal de sus cuencas alimentadoras, quizá porque la necesidad de preven-

ción de los posibles problemas geo-torrenciales causados por eventos meteorológicos extraordinarios resulta más lejana que antaño para la población, cuando ésta ocupaba las zonas de montaña. A pesar de todo, cuando los problemas se han presentado, se les ha prestado la debida atención. En realidad, casi siempre y en todas las partes, se ha actuado cuando un evento extraordinario ha despertado la necesidad de actuar, pocas veces se han adelantado las prevenciones, entre otras razones porque no son claras de prever y las inversiones que se requieren son importantes.

En la actualidad la mayor parte de los esfuerzos de los Servicios Forestales se dedican a conservar el patrimonio forestal existente. Dado que una gran parte del mismo procede de repoblaciones, no todas las críticas vertidas en el pasado resultan tan acertadas. Sin lugar a dudas, la principal preocupación que desde la Administración Forestal se transmite a los ciudadanos, es la necesidad de conservar nuestros bosques ante la amenaza de los incendios forestales; lo que está absolutamente justificado en un país tan seco como el nuestro.

Pero también son problemas, aunque ignorados, que muchas actuaciones de corrección de torrentes o de restauración hidrológico-forestal, efectuadas en el pasado, se encuentren en la actualidad, tras muchos años de abandono, en un estado de deterioro tal que podrían acarrear problemas serios, si ante las mismas se presentara de nuevo un evento torrencial importante, aunque no fuera extraordinario.

En el ambiente general predomina la idea de dejarse guiar o seducir por la madre naturaleza, cuando realmente es difícil de prever su comportamiento. Desde luego, ante cualquier error su respuesta puede tardar en llegar pero suele ser contundente; un viejo proverbio castellano dice: Dios perdona siempre, el hombre a veces y la naturaleza nunca. La menor presión social en las áreas rurales, debido al éxodo de estas poblaciones hacia las áreas metropolitanas en la década de los sesenta y setenta, ha podido propiciar la expansión de una idea idílica de la naturaleza.

Área de actuación	Bases de actuación	Principales factores		Medidas restauradoras y / o conservadoras		
		Limitantes	Condicionantes			
Cuenca de recepción o cuenca vertiente	Utilización de la agricultura y de las cubiertas vegetales permanentes	Clima (extrema aridez)	Sin problemas de humedad edáfica y ambiental	Pendiente $p < 12\%$	Limitación de productividad	No abandonar los cultivos sin instalación previa de alguna vegetación
				$12\% < p < 24\%$	Idem	
	Clima no extremado (permite la vegetación natural con más o menos facilidad)			$24\% < p < 30\%$	Idem	Creación y mantenimiento de pastizales Conservación del bosque/ Repoblación forestal
				$p > 30\%$	Idem	Conservación del bosque/ Repoblación forestal
	Medidas para el control del agua (superficial y /o subterránea)	Clima no extremado (permite la vegetación natural con más o menos facilidad)	Problemas de exceso de agua superficial; escorrentía excesiva (temporal o permanente)	$p < 20\%$	Perfil edáfico suficiente	Terrazas de desagüe o de canal
				$p > 20\%$		Banquetas con canales de desagüe Bancales con desagüe asegurado
			Problemas de exceso de agua edáfica y superficial	$p > 30\%$	Perfil edáfico insuficiente	Albarradas (pequeños diques de mampostería en seco)
				Con problemas de falta de humedad $p < 15\%$		Drenajes en profundidad y /o zanjas superficiales
Cauces torrenciales	Utilización de obras hidráulicas de corrección de torrentes.	Áreas de garganta del curso de agua o torrente	Zonas intermedias del cauce (entre la garganta y el cono de deyección)	En el cono de deyección		Terrazas de absorción
						Diques transversales: de retenida y /o de consolidación
						Diques transversales: de retenida y /o de consolidación Diques longitudinales: malecones espigones
						Canales escalonados de tramos erosionables Creación de plazuelas de depósito Estimación de riberas Drenajes en profundidad

Tabla 4. Cuadro resumen de las actividades de ordenación agro-hidrográfica en una cuenca hidrográfica. MINTEGUI AGUIRRE & LÓPEZ UNZU, 1990
Table 4. Summary chart of agro-hydrological actions in a catchment. MINTEGUI AGUIRRE & LÓPEZ UNZU, 1990

Pero esta visión puede variar condicionado por el propio desarrollo. La mejora de la calidad de vida de la población, con su lógico deseo de una segunda residencia en el campo; los deportes de invierno, que sitúan sus estaciones en la propia montaña; algunas importantes infraestructuras agrícolas ubicadas en áreas marginales por su elevada pendiente, que en ocasiones resultan muy productivas por las extraordinarias condiciones climáticas

en las que se sitúan, etc., son actividades y circunstancias que requieren de una planificación y vigilancia, pues debido a su ubicación pueden requerir medidas de protección, para evitar riesgos futuros por causa de los eventos torrenciales, especialmente de los extraordinarios. No se trata en ningún caso de frenar el desarrollo de las áreas rurales o de montaña, sino simplemente de hacerlo compatible con el medio y procurando su seguridad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLÚE ANDRADE J. L. 1966. Mapa de subregiones fitoclimáticas de España. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid.
- ALLÚE ANDRADE J. L. 1990. Atlas fitoclimático de España. Taxonomías. MAPA. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid. 211 pp.
- BENNET H. H. 1939. Soil Conservation. Mac Graw-Hill Co. New York. 993 pp.
- DIRECCIÓN GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE. 1985. Metodología para la evaluación de la erosión hídrica. MOPU. Serie Documentación. Madrid. 150 pp.
- GANDULLO J. M.; SERRADA R. 1977. Mapa de productividad potencial forestal. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid. Colección Monografías núm. 16. 23 pp.
- GANDULLO J. M.; SÁNCHEZ PALOMARES O. 1994. Estaciones ecológicas de los pinares españoles. MAPA ICONA. Madrid Colección Técnica. 188 pp.
- GARCÍA NÁJERA J. M. 1943, 1962. Principios de Hidráulica Torrencial y sus aplicaciones a la corrección de torrentes. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 297 pp.
- GARCÍA NÁJERA J. M. 1954. Pendientes máximas admisibles en las tierras de cultivo y cálculo de las terrazas intermitentes con desagüe para la conservación del suelo (banquetas de infiltración). Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 29 pp.
- GARCÍA NÁJERA J. M. 1955. El bosque, el agua y la conservación del suelo, pendiente máxima admisible en los pastizales. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 7 pp.
- ICONA; INTECSA. 1988. Agresividad de la lluvia en España, Valores del factor R de la USLE. MAPA. ICONA. Madrid. 39 pp. y mapas.
- LÓPEZ CADENAS DE LLANO F.; BLANCO CRIADO M. 1968 Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica y del transporte y depósito de materiales. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 187 pp.
- LÓPEZ CADENAS DE LLANO F.; MINTEGUI AGUIRRE J. A.; PÉREZ-SOBA BARÓ A. 1985. Metodología integrada para la determinación de los sedimentos aportados por una cuenca. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. núm. 156, pp 143-161.
- LÓPEZ CADENAS DE LLANO F. 1988 Corrección de torrentes y estabilización de cauces, Colección FAO. Fomento de tierras y aguas. Roma. 182 pp.
- MINTEGUI AGUIRRE J. A.; LÓPEZ UNZU F. 1990. La ordenación agro-hidrológica en la planificación. Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria. 306 pp.
- MINTEGUI AGUIRRE J. A.; DE SIMÓN NAVARRETE E.; GARCÍA RODRÍGUEZ J. L.; ROBREDO SÁNCHEZ J.C. 1993 La restauración hidrológico-forestal de las cuencas hidrográficas de la vertiente mediterránea, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla. 325 pp.
- MINTEGUI AGUIRRE J. A.; ROBREDO SÁNCHEZ J. C. 1993. Métodos para la estimación de los efectos torrenciales en una cuenca hidrográfica. Manual para un programa básico. Fundación Conde del Valle de Salazar. E. T. S. Ingenieros de Montes. Madrid. 83 pp.

- MINTEGUI AGUIRRE J. A.; ROBREDO SÁNCHEZ J.C. 1994 Caracterización de las cuencas hidrográficas, objeto de restauración hidrológico-forestal, mediante modelos hidrológicos. *Revista Ingeniería del Agua*. Vol. 1 núm. 2. pp. 69-82.
- MINTEGUI AGUIRRE J. A. 1999 La restauración hidrológico-forestal de las cuencas hidrográficas. In. Madrigal Collazo A. (coordinador) *Ciencias y Técnicas Forestales: 150 años de aportaciones de los Ingenieros de Montes*. Fundación Conde del Valle de Salazar. E. T. S. Ingenieros de Montes. Madrid. pp. 179-189.
- MINTEGUI J. A. 2005. Introduce approach to water and forest management strategy: First meeting of the INCO Project (Evidence-based Policy for Integrated Control of Forested River Catchments in Extreme Rainfall and Snowmelt). Newcastle University. 24 pp.
- MONTERO DE BURGOS J. L.; GONZÁLEZ REBOLLAR J. L. 1974. *Diagramas Bioclimáticos*. MAPA. ICONA. Madrid. 379 pp.
- NICOLÁS A.; GANDULLO J. M. 1964. Contribución al estudio de las estaciones forestales. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 52 pp.
- NICOLÁS A.; GANDULLO J. M. 1966. Los estudios ecológico-selvícolas y los trabajos de repoblación forestal. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 107 pp.
- NICOLÁS A.; GANDULLO J. M. 1967. Ecología de los pinares españoles. *Pinus pinaster* Ait. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 310 pp.
- NICOLÁS A.; GANDULLO J. M. 1969. Ecología de los pinares españoles. *Pinus sylvestris* L. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 302 pp.
- SERRADA R.; MINTEGUI J. A.; ROBREDO J.C.; GARCÍA J. L.; GÓMEZ V.; ZAZO J.; NAVARRO R. 1997. Formación de escorrentías con lluvias torrenciales simuladas, en parcelas con diferentes cubiertas vegetales y distintas preparaciones del suelo para las repoblaciones forestales. Libro de Actas del I Congreso Forestal Hispano Luso y II Congreso Forestal Español. Pamplona. Tomo II. pp. 605-610.
- SERRADA R.; MINTEGUI J. A.; GARCÍA J. L.; GÓMEZ V.; ROBREDO J.C.; ZAZO J. 1998. A method for simulating torrential rainfall in experimental plots, for the analysis of the hydrological behaviour of different types of plant cover and the systematic preparation of soil for reforestation. The soil as a strategic resource: Degradation processes and Conservation Measures. Geofoma Ediciones. Logroño. pp. 165-176.
- ROBREDO SÁNCHEZ J.C.; MINTEGUI AGUIRRE J. A. 1994 Diseño de un modelo distribuido elemental para el análisis del comportamiento hidrológico de una cuenca vertiente. *Revista Ingeniería del Agua*. Vol. 1 núm. 4. pp. 79-100.
- THIERY E. 1891, 1914. *Restauration des montagnes, correction des torrents et reboisement*, Librairie Polytechnique Ch. Beranger. Paris et Liege. 480 pp.
- U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. 1981. HEC-1, Flood hydrograph package: Users manual. Water Resources Support Centre. Hydrologic Engineering Centre. 723x612010.
- VARIOS AUTORES (LÓPEZ CADENAS DE LLANO F., director). 1987-97. *Mapas de Estados Erosivos* (adaptados a las superficies de las Confederaciones Hidrográficas de España). MAPA. ICONA. Madrid.
- VARIOS AUTORES. (LÓPEZ CADENAS DE LLANO F., director) 1994, 1998. *Restauración Hidrológico-Forestal de cuencas y Control de la erosión*. Ministerio de Medio Ambiente. Tragsa y Tragsatec. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 929 pp.
- VARIOS AUTORES (DE PALACIO E. director). A partir del 2001. *Inventario Nacional de Erosión de Suelos INES* (adaptados a las provincias españolas). Dirección General de la Biodiversidad. Madrid. (Publicadas las provincias de: Asturias, Baleares, Cantabria, Coruña, Gerona, La Rioja, Lugo, Madrid, Murcia, Navarra, Orense, Pontevedra, Tarragona).
- WILLIAMS J. R.; HANN R. W. 1973. HYMO: Problem oriented computer language for hydrologic modelling: Users Manual. U. S. Department of Agriculture. Agricultural Research Service and Texas University. 76 pp.

- WILLIAMS J. R. 1975. Sediment-yield prediction with Universal Equation using run-off energy factor. Agricultural Research Service (A.R.S.) num. 40, pp. 244-252.
- WILLIAMS J. R. 1975. Sediment routing for agricultural watersheds. Water Resources Bulletin. Vol. 11 num. 5. pp. 965-974.
- WISCHMEIER W. H. 1959. A rainfall erosion index for a Universal Soil Loss Equation. Proceeding Soil Scientific Society of America 23. Madison. Wisconsin. pp. 246-249.
- WISCHMEIER W. H. 1960. Cropping-management factor evaluation of a Universal Soil Loss Equation. Proceeding Soil Scientific Society of America 24. Madison. Wisconsin. pp 322-326.
- WISCHMEIER W. H.; SMITH D. D. 1972. Soil-loss estimation as a tool in soil and water management planning. Int. Assoc. Sci. Hydrology (I.A.S.H.), num. 59, Belgrado pp 148-159.
- WISCHMEIER W. H. 1974. New developments in estimating water erosion. 29^{end} Annual Meeting of the Soil Conservation Society of America. Ankeney. Iowa. pp 179-186.
- WISCHMEIER W. H.; SMITH D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. U. S. D. A. Agriculture Handbook num. 537. Washington D.C. 58 pp.