

Metodología para la ordenación de cuencas hidrográficas: un nuevo enfoque basado en criterios de sostenibilidad

Rosario Tejera-Gimeno

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, España

José Luis García-Rodríguez

Universidad Politécnica de Madrid, España

Se presenta una metodología de ordenación de cuencas hidrográficas basada en un modelo de planificación física a través del que se introducen los criterios de sostenibilidad, conforme a la capacidad del medio para acoger las actuaciones en la cuenca. Se ha aplicado al tramo medio del río Jarama (Guadalajara, España), ante la posibilidad de la construcción de un futuro embalse para la regulación del caudal del río Tajo al que vierte sus aguas. En este estudio se ha obtenido una distribución de actividades en la cuenca según los objetivos establecidos en la ordenación. Los resultados aportan un mayor grado de detalle en relación con los modelos tradicionales empleados en la ordenación de cuencas.

Palabras clave: sostenibilidad, ordenación de cuencas, metodología, planificación física, erosión y SIG.

Introducción

El agua y el suelo son dos recursos naturales básicos, cuya conservación constituye uno de los retos ecológicos más importantes en el mundo, sobre todo en regiones semiáridas y áridas. Los modelos que han venido utilizándose en España para la ordenación de cuencas han estado asociados al desarrollo de los proyectos de restauración hidrológico forestal (RHF), cuyos objetivos específicos son el control de la erosión hídrica, la mejor distribución del agua en la cuenca hidrográfica y la atenuación de los efectos de las crecidas.

Con el paso del tiempo, la evolución conceptual de los citados proyectos ha integrado nuevas perspectivas en el sistema que constituye la cuenca. En este marco geográfico no sólo se ha de contemplar las aplicaciones de la ingeniería civil de montaña, sino otras que incluyen actividades naturales, productivas, culturales y vitales. Actualmente, el enfoque de la sostenibilidad o del desarrollo sostenible, propugnado en el informe Brundtland (WCED, 1987) y consagrado en la Cumbre de la Tierra de Naciones Unidas en Río de Janeiro en 1992, plantea la consideración no sólo de los recursos agua y suelo, sino de todos aquellos que deban ser protegidos y ges-

tionados con una visión de conservación para generaciones futuras.

Se trata, pues, de incorporar a los objetivos de la ordenación de cuencas, la protección, conservación y potenciación de los ecosistemas y recursos naturales más valiosos de la cuenca, además de los fines productivos o, incluso, protectores de uno o varios recursos concretos. Se pretende asegurar que un determinado recurso o ecosistema de cualidades excelentes, aunque sólo sea localmente, no quede perjudicado al plantear la protección de otros recursos menos valiosos. Es decir, los usos del territorio deben ser adecuados a su capacidad para acogerlos.

Antecedentes

Los modelos tradicionalmente utilizados en España para la ordenación de cuencas se han basado especialmente en la erosión como parámetro fundamental asociado al territorio de una cuenca. Por eso la aplicación del modelo USLE (Wischmeier y Smith, 1965) ha sido una herramienta muy usada en grandes cuencas, y en numerosos proyectos y estudios; además de servir como guía para la selección de actuaciones en la conservación de suelos

forestales y agrícolas. Por otro lado, el valor que ha definido cuáles usos son o no compatibles ha sido el umbral tolerable de la pérdida de suelo. El contraste de este valor tolerable con el obtenido en cada unidad del mapa de pérdidas de suelo ha permitido definir seis tipos de actuaciones, como se puede observar en el cuadro 1.

Posteriormente, Mintegui (1990) plantea la ordenación agrohidrológica de la cuenca, intentando adaptar los usos actuales a los futuros, teniendo en cuenta la vocación del territorio e incorporando nuevos aspectos como la morfología, la vegetación y el tipo de suelo (cuadro 2). Sin embargo, el autor no tiene en cuenta aspectos zonales de la cuenca (áreas dominantes y áreas dominadas) ni menciona las potencialidades bioclimáticas del medio. Años más tarde, ambos aspectos se incorporan (Simón *et al.*, 1993), junto con otros indicadores que completarían aún más el esquema del cuadro anterior (García *et al.*, 1995).

Objetivo

El objetivo fundamental de este trabajo de investigación (Tejera, 2001) es proponer una metodología para la ordenación de cuencas hidrográficas que cumpla los siguientes requisitos:

- Considerar los aspectos hidrológicos, como el control de la erosión y la conservación de los recursos suelo y agua.
- Considerar el aprovechamiento socioeconómico de los recursos naturales de la cuenca.

- Incorporar la sostenibilidad en el proceso de toma de decisiones técnicas, incluyendo la protección del medio, sus recursos y la biodiversidad.
- Proponer actividades a realizar, según su adecuación al medio.

Metodología

Planteamiento general

Como se ha indicado anteriormente, uno de los conceptos clave en la aplicación de la sostenibilidad es la capacidad del medio para asumir determinadas actividades. Cada medio natural o seminatural determinado posee una aptitud diferente para acoger distintas actividades. Recíprocamente, para una actividad concreta, los ecosistemas, hábitats o medios diferentes presentan aptitudes distintas según sus características.

Así, se estarán tomando decisiones sostenibles al asignar actividades si el medio, en general, en el que deben realizarse posee capacidad para acogerlas y si el máximo cuantitativo de ellas no supera los límites a partir de los cuales queda dañado de forma irreparable. Este nuevo enfoque de la ordenación de cuencas hidrográficas con criterios de sostenibilidad parte de los elementos siguientes:

- Se aplica sobre un espacio físico, definido territorialmente por la cuenca vertiente.
- En la cuenca concurren recursos naturales, agua y suelo, que es preciso proteger.

Cuadro 1. Ordenación de usos del suelo según el modelo USLE.

Vocación del suelo	Nivel de tolerancia	Compatibilidad del uso	Código
Uso forestal	$A_i < A_t$	Uso actual del suelo compatible (conservar y mantener)	1
	$A_i > A_t$	Uso actual del suelo incompatible (sustituir o mejorar)	2
Uso agrícola	$A_i < A_t$	Uso actual del suelo compatible (conservar el uso)	3
	$A_i > A_t$ $A_i P_i < A_t$	Siendo P_i las prácticas de conservación de suelos. Uso compatible	4
	$A_i > A_t$ $A_i P_i > A_t$	Uso actual del suelo incompatible Cambio de usos del suelo	5
Improductivo	No se considera		6

P_i representa el tipo de prácticas de conservación de suelos agrícolas, A_t representa la tasa de erosión tolerable y A_i son las pérdidas de suelo en cada recinto del mapa de erosión.

Cuadro 2. Ordenación agrohidrológica (Mintegui, 1990).

Pendiente	Uso actual del suelo		Tipo de suelo	Vocación del territorio	Erosión (USLE)	Actuaciones en el territorio (Selección de alternativas)
	Estrato de la vegetación	Observaciones				
$i > 30$	Arbolado Matorral Pastizales Cultivos	Estado en que se encuentra la vegetación (denso, aclarado, no degradado, y afectado o no por razones sociales)	Según su vulnerabilidad a la erosión	Forestal	Según que: $A < A_t$ o $A > A_t$	- Dado que $i > 30\%$, se propone con carácter general mantener, restaurar o crear el monte alto arbolado. - No obstante, se analizan las situaciones singulares y se proponen soluciones concretas en general transitorias.
$12 < i < 30$	Arbolado Matorral Pastizales Cultivos	Estado en que se encuentra la vegetación (denso, aclarado, degradado, no degradado, con o sin prácticas de conservación de suelos, y afectado o no por razones sociales)	Según su vulnerabilidad a la erosión	Forestal Ocasionalmente agrícola	Según que: $A < A_t$ o $A > A_t$	- De existir arbolado se propone su continuidad y mejora. - Los matorrales y pastizales no degradados pueden permanecer; pero a los degradados se propone restaurarlos o transformarlos en monte alto arbolado. - De existir cultivos, siempre son necesarias prácticas de conservación. - Para situaciones singulares se ofrecen soluciones concretas en general transitorias.
$i < 12$	Arbolado Matorral Pastizales Cultivos	Estado en que se encuentra la vegetación (denso, aclarado, degradado y no degradado)	Según su vulnerabilidad a la erosión	Agrícola Ocasionalmente forestal	Según que $A < A_t$ o $A > A_t$	- No existen limitaciones. - Para el uso del suelo en función de la pendiente. - Para situaciones singulares se ofrecen soluciones concretas.

A , pérdidas de suelo y A_t pérdidas tolerables de suelo.

- Son múltiples las actividades socioeconómicas que sostienen a la población.
- Las actividades humanas deben asignarse según la capacidad del medio para acogerlas.

La planeación física ha desarrollado y aplicado modelos y metodologías de trabajo basados en la capacidad del territorio como soporte y escenario vivo, y no como un mero decorado inerte, incorporando, desde el principio, las decisiones tomadas en función de esas capacidades valoradas convenientemente (Ramos, 1979).

En estas metodologías, lo prioritario es que las actividades humanas ocasionen los mínimos impactos al sistema o que éstos resulten sostenibles. No se puede olvidar que el desarrollo sostenible ha sido definido también en términos de "capacidad de carga" de un ecosistema como el máximo impacto que puede soportar indefinidamente un determinado hábitat sin dañar de forma permanente la productividad del ecosistema del que depende esa población (Rees, 1988).

En consecuencia, se propone (Tejera, 2001) una metodología de planificación física, adaptada para incorporar los objetivos de la restauración hidrológico forestal, los de la ordenación de cuencas y los de la sostenibilidad. Para ello, es necesario utilizar los sistemas de información geográfica (SIG), poderosas herramientas que facilitan la entrada, procesamiento, visualización y salida de datos espacialmente georreferenciados. Los SIG facilitan la actualización de datos, su gestión y presentación de la manera más adecuada a los requerimientos concretos; además, permiten manejar e integrar grandes cantidades de información de distintos temas procedentes de diferentes fuentes (Burrough y McDonell, 1998).

Descripción de la metodología propuesta

A continuación se desarrollan de forma resumida las ocho etapas de que consta la metodología.

- Etapa 1. Estudio de la problemática de la cuenca. La cuenca debe conocerse, por lo que se realizará un

estudio descriptivo pormenorizado de la cuenca, en especial sobre clima, geología, vegetación y morfología.

• Etapa 2. Establecimiento de los objetivos. Los objetivos de la ordenación son en buena parte consecuencia de la etapa anterior, en la que se ha identificado la problemática de la cuenca, y básicamente serán de tres tipos:

- Objetivos de carácter hidrológico forestal.
- Objetivos de sostenibilidad.
- Objetivos socioeconómicos.

• Etapa 3. Definición de actividades para lograr los objetivos. Se establecerán actividades a realizar en la cuenca con el modelo que dependan y estén relacionadas con elementos del medio. Esta definición debe ser clara y exacta para evitar restricciones erróneas que alteren los resultados. Las actividades podrán ser de dos tipos: aquellas que ya se realizaban en la zona y que deben ser sólo reubicadas, o actividades que puedan desarrollarse en un futuro.

Las actividades que se propongan, a_i ($i = 1, 2, \dots, m$), serán analizadas, evaluadas y localizadas cartográficamente al desarrollar el modelo.

• Etapa 4. Inventario y análisis del medio: cartografía temática. Para definir y caracterizar la zona de estudio se seleccionan los elementos o caracteres más significativos del medio y que pueden influir en la capacidad de éste para acoger las actividades propuestas o en el grado de conveniencia de la realización de las mismas sobre el territorio. Todos los elementos, e_j ($j = 1, 2, 3, \dots, n$), serán cartografiados por separado en forma de recintos homogéneos y se dividirán en un número k de tipos que no tienen por qué ser el mismo para cada uno de los elementos. Las unidades territoriales homogéneas se obtendrán por superposición cartográfica de todos los elementos del medio mediante un sistema de información geográfica.

• Etapa 5. Estudio de la capacidad de acogida de las actividades. Las relaciones entre elementos del medio y actividades, desde el punto de vista de asignación de usos al suelo, se concretan en dos conceptos: capacidad y grado de conveniencia. Los elementos del medio tienen un significado distinto según las actividades a desarrollar: determinada precipitación definirá qué población es más apta para repoblar la zona, cierto tipo de suelo es más apto para resistir una estructura, una especie vegetal se adapta mejor que otra a una altitud, etcétera. Considerando todo el conjunto de elementos o caracteres, se puede hablar de capacidad del medio para desarrollar en él una actividad; es decir, "aptitud" del medio para acoger cada actividad.

A partir del total de elementos y procesos que definen el medio físico, sólo se considerarán aquellos que sean clave ante la actividad, esto es, lo que presenten aptitudes positivas, negativas o excluyentes para el desarrollo de la actividad. La evaluación de la capacidad se realiza en dos fases mediante dos relaciones:

a) Relación elementos del medio-actividades. Es preciso establecer las relaciones:

$$e_j R a_i$$

entre los elementos y las actividades, de forma que el resultado de esa relación signifique la capacidad de acogida del territorio para sostener cada una de las actividades propuestas.

La aptitud o capacidad de acogida para cada actividad, de cada uno de los tipos de cada elemento del medio seleccionado se evalúa por medio de una escala cuantitativa establecida por un grupo pluridisciplinario de expertos con amplia experiencia en estudio de planificación física. De esta manera se garantiza la objetividad de criterios en sus decisiones. Se denomina p_{jh}^i al valor asignado al tipo h del elemento j ante la actividad i . En consecuencia, la relación elementos del medio-actividades se expresará mediante una matriz de dimensión $m \times n$, donde m es el número de actividades y n es el número de elementos.

b) Relación conjunto del medio-actividades. A cada recinto del territorio le corresponde un tipo de cada elemento; es decir, un tipo de suelo, una precipitación, un tipo de litología, etcétera; por lo tanto, un vector columna por cada actividad (vector que representa los valores que adopta cada tipo de cada elemento ante la actividad que se considere). Se trata ahora de condensar los valores de ese vector en un escalar que represente la aptitud global del medio para acoger esa actividad.

Para ello se puede utilizar el procedimiento de la suma ponderada que consiste en asignar un "peso" w_j^i a cada elemento del medio j ante cada una de las actuaciones i . La ponderación de los elementos se realiza mediante ordenaciones efectuadas a partir de las opiniones de un grupo de expertos en las actividades propuestas y en los elementos ambientales seleccionados.

La capacidad del tipo j del elemento h ante la actividad i vendrá dada por el producto $w_j^i \times p_{jh}^i$, y la fórmula general para obtener la capacidad para una actividad en una unidad territorial homogénea será:

$$\sum_{j=1} w_j^i p_{jh}^i = C_i$$

donde C_i es el valor de la capacidad para la actividad i .

Se obtiene así el primer resultado del modelo: un listado en el que se asigna a cada unidad territorial homogénea m valores indicativos de su capacidad para las m actividades propuestas. A partir de aquí se hace necesario agrupar los valores de capacidad obtenidos en un número de clases manejable. Las clases definidas permiten obtener recintos equivalentes en cuanto a la capacidad de acogida de la actividad considerada. Estas superficies se cartografían para obtener como producto tantos mapas de capacidad como actividades que se han considerado en el análisis.

- Etapa 6. Estudio del grado de conveniencia del medio para la realización de dichas actividades: matriz del grado de conveniencia. Las unidades territoriales o sus elementos constituyentes se verán más o menos favorecidos por las actividades que se implanten de cara a conseguir los objetivos de la ordenación. Si es muy conveniente para los objetivos de la ordenación realizar una actividad, se tiene un grado de conveniencia alto para la llevarla a cabo. Existirá una gran conveniencia para hacer una actividad si se da cierta capacidad en el territorio para acoger la actividad propuesta y ésta es, a su vez, viable para el cumplimiento de los objetivos previstos. Por el contrario, no será conveniente emprender una actividad si no contribuye o contribuye en menor medida al logro de los objetivos previstos en la ordenación.

En cualquier caso, el grado de conveniencia debe vincularse con la sostenibilidad de la zona; esto es, con el hecho de promover y localizar actividades compatibles con un desarrollo sostenible. La evaluación del grado de conveniencia también se realiza en dos fases:

a) Relación elementos del medio-actividades. En esta fase se determina la conveniencia que cada actividad tiene sobre el territorio, en función de los distintos tipos en que se hayan dividido los elementos del medio seleccionados. Para ello se puede utilizar una escala cuantitativa definida por un panel de expertos, de manera que r_{jh}^i sea el valor asignado al tipo h del elemento j ante la actividad i .

Así pues, la relación elementos del medio-territorio se vuelve a expresar mediante otra matriz de dimensión $m \times n$, donde m es el número de actividades definidas y n es el número total de tipos del total de elementos considerados.

b) Relación conjunto del medio-actividades. Se pasa análogamente del vector que representa la relación de cada elemento del medio con una actividad a un escalar único que indique la relación del conjunto de todos ellos ante la actividad. Para ello se propone también el procedimiento de la suma ponderada, por lo que es necesario asignar un peso k_j^i a cada uno de los elementos del

medio j para cada una de las actividades i . Igualmente, la ponderación de los elementos se puede efectuar mediante ordenaciones a partir de la opinión de un grupo de expertos en las actividades propuestas y en los elementos ambientales seleccionados. Así, para una unidad territorial se tiene:

$$t_i = \sum_{j=1} k_j^i \cdot r_{jh}^i$$

donde t_i es el valor del grado de conveniencia para la actividad i .

Al llegar a esta fase se obtiene un listado de m valores indicativos de los m grados de conveniencia producidos por las actividades. Análogamente, será necesario clasificar estos valores de conveniencia obtenidos en un pequeño número de clases para facilitar el manejo de los datos y, cartografiadas, proporcionarán tantos mapas de clases de conveniencia como actividades se han considerado en el análisis.

- Etapa 7. Adecuación de actividades: capacidad $\times$ conveniencia. Una vez que se tiene para cada unidad territorial homogénea la capacidad y el grado de conveniencia para cada actividad, se engloban ambos conceptos en uno solo, que se refiere a la aceptación de la actividad y al efecto que produce: adecuación.

En el cuadro 3 se representa este concepto.

Con este cuadro y el SIG, se puede determinar la adecuación global del territorio para cada actuación y en cada unidad territorial homogénea, así como determinar superficies homogéneas de adecuación para cada actividad que, cartografiadas, proporcionan tantos mapas de adecuación como actividades consideradas.

- Etapa 8. Propuesta de actividades para optimizar los objetivos. En esta fase se tiene la adecuación de cada una de las actividades para cada unidad territorial homogénea. El siguiente paso consiste en superponer los mapas de adecuación, con la idea de localizar todas las actividades que puedan coexistir a la vez en el terreno. Para ello es necesario analizar la compatibilidad o incompatibilidad de actividades, enfrentándolas en una matriz dos a dos, y analizando la posibilidad de coexistir o no, geográficamente. Las actividades que sean compatibles en el medio se podrán promover a la vez, y las incompatibles deberán separarse en el territorio.

Una vez separadas las actividades en el territorio según este criterio, se obtiene, con ayuda del SIG, el mapa final de la ordenación, en donde se representan todas las combinaciones de actividades compatibles que se localizan en el medio.

Cuadro 3. Grado de adecuación para las actividades

Capacidad	Grado de conveniencia			
	Muy conveniente	Conveniente	Poco conveniente	No conveniente
Alta	Muy adecuado	Bastante adecuado	Medianamente adecuado	No adecuado
Media	Bastante adecuado	Medianamente adecuado	Poco adecuado	No adecuado
Baja	Medianamente adecuado	Poco adecuado	No adecuado	No adecuado
Nula	No adecuado	No adecuado	No adecuado	No adecuado

Aplicación a la cuenca del tramo medio del río Jarama

La metodología descrita se aplicó a la cuenca media del río Jarama, cuya superficie comprende 23,627 ha distribuidas en doce términos municipales, todos ellos de la provincia de Guadalajara, cercana a la Comunidad de Madrid (ilustración 1).

Las mayores altitudes de la cuenca se encuentran en la zona norte: 1,810 m en el pico de Centenera y 1,436 m en Cabeza de Almiruete; la altitud mínima es de 730 m; la pendiente media es del 23.85%. La cuenca está constituida por una serie de terrenos muy degradados, que presentan un elevado grado de erosión debido a las siguientes causas:

- El sustrato geológico es altamente vulnerable a la erosión, especialmente a lo largo de la margen izquierda del río Jarama, con conglomerados silíceos incoherentes a partir de arenas y arcillas rojas de granulometría variada y cuarcitas en forma de cantos rodados.
- La destrucción desde tiempos históricos de la cubierta vegetal natural, formada por *Quercus sp.*, debido a las talas abusivas y al pastoreo descontrolado e intenso que impide o dificulta en extremo la regeneración del bosque natural.
- Los cultivos agrícolas en ocasiones se encuentran en pendientes excesivas y sin las adecuadas prácticas de conservación de suelo.
- Los pastizales se encuentran en ocasiones invadidos de matorral y en situación muy precaria debido a la disminución de carga ganadera de la zona, así como a los suelos marginales en que se encuentran muchos de ellos.
- Existen todavía superficies de vegetación arbustiva en terrenos con pendientes muy elevadas (superiores al 30%), que lejos de proteger el suelo aportan un elevado caudal sólido al río Jarama.

Como consecuencia de esta problemática se plantean los siguientes objetivos y actividades:

Establecimiento de los objetivos y selección de actividades

La protección del suelo frente a la erosión laminar y en regueros se ha considerado objetivo fundamental de carácter hidrológico forestal, dada la gran erosionabilidad de estos terrenos. Además de controlar la erosión en laderas se tratará de evitar la erosión en cauces por medio de la construcción de hidrotecnias de corrección.

No obstante, la cuenca tiene una serie de hábitats y espacios de gran interés para su conservación propuestos para su inclusión en la Red Ecológica Europea, Natura 2000 (Directiva 92/43 CEE), de forma que se plantea

Ilustración 1. Localización del tramo medio del río Jarama.



la necesidad de establecer objetivos de conservación estricta del medio físico, así como aumento y conservación de su riqueza en biodiversidad. Éste es, pues, un segundo bloque de objetivos a cumplir con la ordenación.

Para el sostenimiento de la población se plantea como objetivo socioeconómico el mantenimiento de las actividades ganaderas y agrícolas de la zona, procurando un desarrollo sostenible. Las actividades seleccionadas para el logro de estos objetivos aparecen en el cuadro 4.

Selección de elementos que caracterizan la cuenca

Los elementos del medio seleccionados son los siguientes: pendiente, influencia hídrica, uso del suelo, litología, pérdidas de suelo, propiedad, protección y la espesura de la cubierta arbórea. En este proceso se utilizó el SIG, ARC-INFO 7.1, con el que se generó las coberturas necesarias.

Capacidad de acogida del medio para realizar las actividades: matriz de capacidad

La capacidad se ha cuantificado para cada tipo o clase de cada elemento, según la siguiente escala de valores:

p_{jh} (valor asignado al tipo h del elemento j ante la actividad i)

Excluyente	- ∞
Negativo	- 1
Indiferente	0
Positivo	+1
Muy positivo	+2

La relación elementos del medio-actividades se expresa mediante la siguiente matriz de dimensión $m \times n$, donde m corresponde a las nueve actividades propuestas en el cuadro 5 y n , a los ocho elementos del medio, con sus respectivos tipos, cuyas coberturas se han descrito anteriormente.

Mediante la suma ponderada se ha transformado el conjunto de valores de una columna de la matriz en un valor escalar único que representa la capacidad del conjunto del medio para una actividad i , si bien se ha decidido que todos los elementos tengan idéntico peso o importancia.

Así se obtiene una serie de valores representativos de la capacidad de acogida del territorio para cada actividad. A fin de hacer manejables estos resultados, se ha procedido a una estratificación de dichos valores en las siguientes clases:

Cuadro 4. Objetivos de la ordenación y actividades propuestas

Objetivos	Actividades
De carácter hidrológico forestal	
Protección del suelo	1. Repoblación forestal protectora. 2. Completar espesura en masas con espesura defectiva.
Lucha contra la erosión en cauces	3. Hidrotecnias de corrección en cauces.
De conservación de ecosistemas y aumento de biodiversidad	
Aumento de biodiversidad	4. Restauración de riberas.
Conservación y/o restauración de ecosistemas	5. Repoblaciones para aumentar la biodiversidad. 6. Conservación de enclaves de interés.
De carácter socioeconómico	
Ordenación ganadera	7. Acotación de áreas al pastoreo. 8. Mantenimiento y/o mejora de pastizales.
Mantenimiento del uso agrícola	9. Mantenimiento del uso agrícola.

- Capacidad baja: valores comprendidos hasta el percentil 25%.
- Capacidad media: valores entre el 25 y el 75%.
- Capacidad alta: valores superiores al 75%.
- Capacidad excluyente: no existe capacidad para la actividad.

Grado de conveniencia de dichas actividades para el medio: matriz de grado de conveniencia

El grado de conveniencia se ha cuantificado según los siguientes valores:

R_{jh} (grado de conveniencia asignado al tipo h del elemento j ante la actividad i)

2	Actividad muy conveniente
1	Actividad conveniente
0	Actividad indiferente
-1	Actividad poco conveniente
-2	Actividad muy poco conveniente
∞	Actividad no conveniente
-	El elemento j no influye en el desarrollo de la actividad i o no existe capacidad del territorio para la actividad, por lo que no se evalúa el grado de conveniencia.

Cuadro 5. Matriz de capacidad.

Elementos	Clase	Actividades								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pendiente	0-3	0	0	0	0	2	0	0	2	2
	3-12	0	0	0	0	2	0	0	2	1
	12-24	2	0	1	0	1	0	1	-00	-00
	24-30	2	0	2	0	-1	0	1	-00	-00
	30-40	2	0	2	0	-00	0	2	-00	-00
	>40	1	0	2	0	-00	0	2	-00	-00
Infr. hídrica	Sí	0	0	2	2	0	0	0	0	0
	No	0	0	-00	-00	0	0	0	0	0
Usos de suelo	Cauces	-00	-00	2	2	-00	0	-00	-00	-00
	Cárcavas	1	-00	2	-00	-00	0	2	-00	-00
	Imnproductivo	-00	-00	-00	-00	-00	-00	-00	-00	-00
	Olivar	1	-00	-00	-00	-00	0	0	-00	2
	Cereal	1	-00	-00	-00	-00	0	2	-00	2
	Frondosas	-00	2	-00	-00	2	1	0	-00	-00
	Pastizal	1	-00	-00	-00	-00	0	0	2	-00
	Pinar	-00	2	-00	-00	2	1	0	-00	-00
	Pinar quemado	2	-00	-00	-00	-00	0	2	-00	-00
	Repoblación	-00	-00	-00	-00	-00	0	2	-00	-00
	Matorral	2	-00	-00	-00	1	0	0	-00	-00
	Matorral/roca	1	-00	-00	-00	1	0	0	-00	-00
	Veg. ripícola	-00	-00	-00	2	2	1	2	-00	-00
	Mioceno y oligoc.	2	2	2	1	0	0	0	0	2
Litología	Cuaternario y plioceno	2	0	0	2	0	0	0	0	2
	Paleozoico	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cretácico y triásico	1	2	0	0	0	0	0	0	0
Pérdidas de suelo	Ninguna o ligera < 10	0	2	0	0	2	0	0	2	2
	Moderada 10-50	1	1	1	0	1	0	1	-1	-1
	Alta 50-100	1	1	2	0	-00	0	2	-00	-00
	Muy alta > 100	2	2	2	0	-00	0	2	-00	-00
Propiedad suelo	Monte público	2	2	2	2	2	0	0	0	0
	Particular	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Protección	Zona lic.	0	0	0	0	2	2	2	0	0
	Ninguna	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Espesura de la cub. arbórea	Completa > 80%	-00	-00	0	0	-00	0	0	-00	-00
	Defectiva 40-80%	1	2	0	0	1	0	0	0	0
	Ralo < 40%	2	1	0	0	2	0	0	0	0

La relación que se establece entre los elementos del medio y las actividades para evaluar el beneficio que producen las mismas se vuelve a expresar por medio de una matriz de dimensión $m \times n$, donde $m = 9$ actividades y $n = 8$ elementos (cuadro 6).

Análogamente, el procedimiento de la suma ponderada nos proporciona los valores escalares que representan el grado de conveniencia de cada actividad en el medio. Estos valores indicativos del grado de convenien-

cia de las actividades para el territorio se clasifican para lograr un manejo más fácil. Las clases escogidas para el grado de conveniencia han sido:

- Muy conveniente: valores superiores al 75% de los obtenidos.
- Conveniente: valores comprendidos entre el 25 y el 75% de los obtenidos.
- Poco conveniente: valores inferiores al 25%.

Cuadro 6. Matriz de conveniencia.

Elementos	Clase	Actividades								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pendiente	0-3	0	0	0	1	2	0	0	2	2
	3-12	0	0	0	1	2	0	0	2	1
	12-24	1	0	0	1	2	0	1	-	-
	24-30	2	1	1	2	2	0	1	-	-
	30-40	2	1	2	2	-	0	2	-	-
	>40	2	2	2	2	-	0	2	-	-
Infr. hídrica	Sí	0	0	0	2	0	0	0	1	0
	No	0	0	-	-	0	0	0	0	0
Usos de suelo	Cauces	-	-	2	2	-	0	-	-	-
	Cárcavas	2	-	2	-	-	0	2	-	-
	Imnproductivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Olivar	-1	-	-	-	-	0	0	-	2
	Cereal	-1	-	-	-	-	0	2	-	2
	Frondosas	-	2	-	-	2	2	0	-	-
	Pastizal	-1	-	-	-	-	0	0	2	-
	Pinar	-	2	-	-	2	2	0	-	-
	Pinar quemado	2	-	-	-	-	0	2	-	-
	Repoblación	-	-	-	-	-	0	2	-	-
	Matorral	2	-	-	-	2	0	0	-	-
	Matorral/roca	2	-	-	-	2	0	0	-	-
	Veg. ripícola	-	-	-	2	2	0	2	-	-
	Litología									
	Mioceno y oligoc.	2	2	0	2	2	0	0	0	2
	Cuaternario y plioceno	2	-1	0	2	2	0	0	0	2
	Paleozoico	1	-1	0	0	0	0	0	0	0
	Cretácico y triásico	1	2	0	0	0	0	0	0	0
Pérdidas de suelo	Ninguna o ligera < 10	0	0	0	1	1	0	0	2	2
	Moderada 10-50	1	1	1	1	1	0	1	-1	-1
	Alta 50-100	2	2	2	2	-	0	2	-	-
	Muy alta >100	2	2	2	2	-	0	2	-	-
Propiedad suelo	Monte público	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Particular	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Protección	Zona lic.	0	0	0	2	2	2	2	0	0
	Ninguna	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Espesura de la cub. arbórea	Completa > 80%	-	-	0	0	-	0	0	-	-
	Defectiva 40-80%	1	2	0	0	1	0	0	0	0
	Ralo < 40%	2	1	0	0	2	0	0	0	0

- No conveniente o inadmisible: actividad no conveniente.

Adecuación del medio para la realización de actividades: matriz de adecuación

Realizando la superposición de las coberturas de capacidad y grado de conveniencia, se ha determinado la adecuación global del territorio, expresada en cada unidad territorial homogénea para cada actividad. Sin

embargo, a fin de facilitar los resultados y hacerlos más manejables, se han reagrupado en tres clases de adecuación (cuadro 7).

Relaciones entre actividades

Algunas de las actividades propuestas se excluyen mutuamente porque son incompatibles o porque el desarrollo de una influye decisivamente en la otra. Esto

Cuadro 7. Clases de adecuación establecidas.

Clase	Adecuación
n.a.	No adecuado
	Poco adecuado
Media	Medianamente adecuado
Alta	Bastante adecuado
	Muy adecuado

ocurre, por ejemplo, con la repoblación forestal protectora y la conservación del uso agrícola. Por el contrario, hay actividades compatibles que se complementan y pueden hacerse al mismo tiempo en una misma zona, como por ejemplo, la repoblación forestal protectora y las hidrotecnias de corrección de cauces. Para estudiar la compatibilidad o incompatibilidad de las actividades propuestas se ha construido el cuadro 8.

Asignación de actividades

La asignación de actividades en la cuenca se ha establecido con base en el mayor grado de adecuación y teniendo en cuenta que las actividades que coincidan en el territorio y sean compatibles, se puedan realizar todas a la vez. No obstante, es posible que se den los siguientes casos:

1. Que en el mismo polígono coincidan varias actividades adecuadas compatibles, en cuyo caso se pueden realizar todas ellas.
2. Que en el mismo polígono coincidan actividades adecuadas, pero incompatibles, en cuyo caso se escogerá la de mayor grado de adecuación. Si sus grados de adecuación fuesen idénticos, sería necesario estable-

cer un criterio para decidir qué actividad se propone en tal polígono.

Para resolver esta última situación, se han tenido en cuenta:

- La pérdida de suelo potencial.
- La pérdida de suelo tolerable.
- El uso actual del suelo.

Así pues, en los polígonos con incompatibilidad de actividades se analiza la pérdida potencial de suelo que proporciona el modelo USLE y tras compararla con la pérdida de suelo admisible o tolerable –calculada en función de la velocidad de regeneración de los suelos (Gandullo, 1994)–, si aquella fuese mayor, se optará por la actividad que proponga un uso de suelo que ofrezca mayor grado de protección al suelo.

De la superposición de las coberturas de adecuación de las actividades se deduce que solamente las actividades uno (repoblación forestal protectora) y nueve (mantenimiento del uso agrícola) presentan idéntico grado de adecuación en los mismos polígonos (74). Al aplicar en ellos los criterios de pérdidas de suelo potencial (USLE) y tolerable (Gandullo, 1994), se observa que en la mayoría de los polígonos la pérdida de suelo potencial supera a la tolerable, de ahí que en ellos se proponga la actividad uno (repoblación forestal protectora). En los restantes se ha propuesto la actividad nueve (mantenimiento del uso agrícola).

Como resultado de la superposición de las coberturas de adecuación de las actividades se obtienen las combinaciones posibles, (sin considerar la actividad tres: hidrotecnias de corrección en cauces por carecer de significación superficial). Las superficies correspondientes a todas estas combinaciones son las que aparecen en la ilustración 4, que representa el mapa de orde-

Cuadro 8. Compatibilidad entre actividades.

Actividades	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Repoblación forestal protectora	-	I	C	C	I	C	C	I	I
2. Completar espesura en masas defectivas	I	-	C	C	C	C	C	I	I
3. Hidrotecnias de corrección de cauces	C	C	-	C	C	C	C	C	C
4. Restauración de riberas	C	C	C	-	C	C	C	I	I
5. Repoblaciones para aumentar la biodiversidad	I	C	C	C	-	C	C	I	I
6. Conservación de enclaves de interés	C	C	C	C	C	-	C	C	C
7. Acotación de áreas al pastoreo	C	C	C	C	C	C	-	I	C
8. Mejora de pastizales	I	I	C	I	I	C	I	-	I
9. Mantenimiento del uso agrícola	I	I	C	I	I	C	C	I	-

Donde C = compatible, I = incompatible.

Ilustración 2. Ordenación agrohidrológica basada en el modelo USLE.

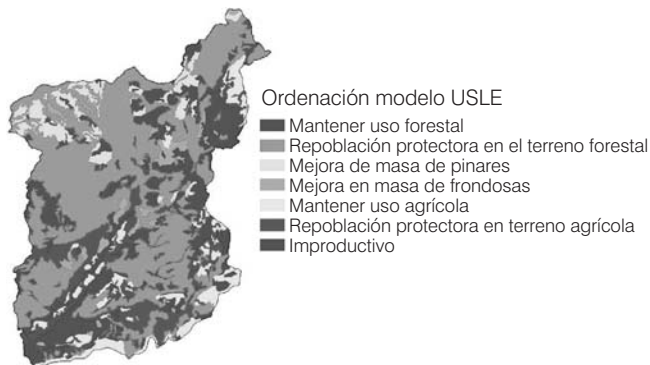


Ilustración 3. Ordenación agrohidrológica (Mintegui, 1990).

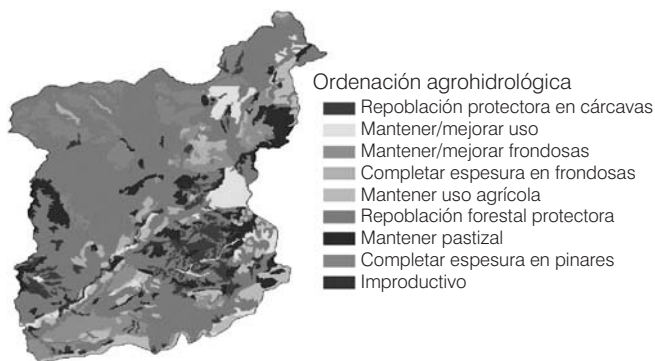
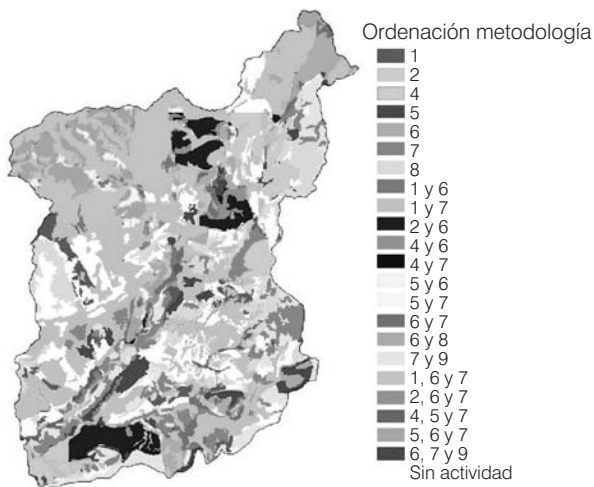


Ilustración 4. Ordenación según metodología propuesta.



nación obtenido con la aplicación de la metodología propuesta.

Discusión de resultados

Con el fin de validar los resultados obtenidos con la metodología propuesta, se ha realizado, para la cuenca seleccionada, la ordenación bajo las tres metodologías descritas. En primer lugar, se ha considerado la Ordenación Agrohidrológica basada en la aplicación del modelo USLE con una tasa de tolerancia de pérdidas de suelo determinada, para obtener, según los diferentes usos del suelo, una primera aproximación con seis posibles actuaciones muy generales, según los criterios establecidos en el cuadro 1. Como se ha explicado anteriormente, la segunda metodología es la ordenación agrohidrológica, a la que se añaden nuevos indicadores como los climáticos, geomorfológicos, de vegetación y de suelo, con base en los criterios recogidos en el cuadro 2. Los resultados de ambas aplicaciones son los mapas de distribución de usos que aparecen en las ilustraciones 2 y 3.

Ilustración 5. Ordenación agrohidrológica basada en el modelo USLE: zonas de actuación en la cuenca.



Finalmente, con la metodología propuesta se obtiene una serie de combinaciones de las actividades compatibles con grado alto de adecuación. Esto se refleja en ocho clases de actuaciones distribuidas en la cuenca, según las actividades propuestas (excepto la actividad tres: hidrotecnias de corrección de cauces, que no tiene representación superficial) y una serie de combinaciones de actividades que pueden ser compatibles a la vez sobre el terreno. Es decir, se obtienen hasta veintidós combinaciones posibles que se reflejan en la ilustración 4.

Por otra parte, para efectuar la comparación de los resultados obtenidos con los diferentes métodos de ordenación en la cuenca del tramo medio del río Jarama, se realizó un estudio de la coincidencia espacial de las actividades equivalentes en los tres métodos (Tejera, 2001), mediante la superposición de los mapas de distribución de actuaciones de cada método. Dichas superposiciones se expresan en forma matricial, lo que permite enfrentar la cobertura de actuaciones según la metodología propuesta con cada cobertura generada con los otros métodos. Los cuadros 9 y 10, donde las

Ilustración 6. Ordenación agrohidrológica basada en los criterios del profesor Mintegui (1990): zonas de actuación de la cuenca.

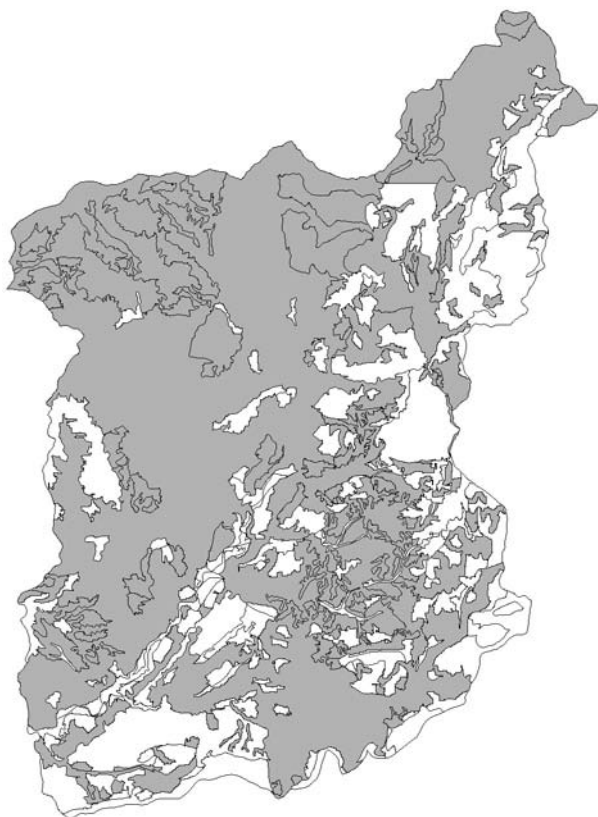
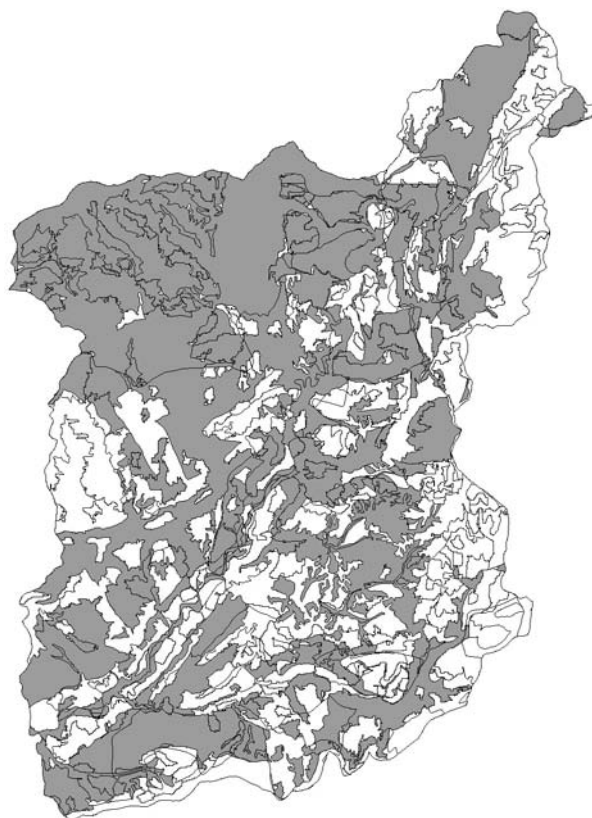


Ilustración 7. Ordenación según metodología propuesta: zonas de actuación en la cuenca.



superficies se expresan en hectáreas, son resultado de estas superposiciones.

De la aplicación del estadístico Kappa (κ) a cada una de las matrices, se obtuvo un grado de coincidencia muy bueno ($\kappa = 0.62$) entre la metodología propuesta y la ordenación agrohidrológica basada en criterios del profesor Mintegui, y bueno ($\kappa = 0.59$) entre la metodología propuesta y la ordenación agrohidrológica basada en el modelo USLE. El índice κ adopta valores tanto más próximos a la unidad cuanto mayor es la similitud entre dos criterios de clasificación. Las ilustraciones 5, 6 y 7 muestran las zonas de actuación que se obtienen con cada método, respectivamente. La mayor coincidencia se observa entre las ilustraciones 6 y 7, que representan las zonas de actuación obtenidas con la ordenación agrohidrológica según criterios del profesor Mintegui y las zonas de actuación obtenidas con la metodología propuesta, respectivamente.

Estos resultados permiten integrar en la ordenación de una cuenca no sólo, como en métodos anteriores, indicadores ambientales como: erosión, geomorfología, vegetación, suelo, etcétera, sino nuevos indicadores de

Cuadro 9. Superposición metodología propuesta y ordenación agrohidrológica según modelo USLE.

Superposición metodología propuesta y modelo USLE						
USLE Metodología	1. Mantener uso forestal	2. Rep. terreno. forestal	3. Mejora de masa en pinar	4. Mejora de masa en frondosas	5. Mantener uso agrícola	6. Repoblación en terreno agrícola
1	0.71	488.372				115.676
16	0.115	128.403				25.178
17	1.373	3,564.51	0.445			782.91
167	0.943	3,792.77	2.360	0.579		127.841
1. Repoblación protectora	3.141	7,974.054	2.805	0.579		1,051.605
2	909.573	0.886	158.122	55.064		0.138
26	967.434	0.943	1.432	23.434	0.246	0.42
267	0.067	0.1	75.168	137.759		
2. Completar espesura	1,877.074	1.929	234.722	216.257	0.246	0.558
4	0.322	0.327				1.113
46	0.715	0.202		0.295	0.123	
457	109.946					
4,567	0.952	0.329				0.125
4. Restauración de riberas	111.935	0.329		0.295	0.123	1.238
5	346.449	0.097		169.342		1.057
56	353.989	0.415	10.978	6.987	0.055	0.092
57	39.569					
567	15.955	1.973	886.730	202.833		0.17
5. Repoblaciones para aumentar la biodiversidad	755.962	1.973	897.708	379.162	0.055	1.319
6	189.078	569.653	0.153	3.188	0.036	0.027
67	0.415	69.474		71.762	0.445	256.743
6. Conservación de enclaves	189.493	639.127	0.153	74.950	0.481	256.770
7. Acotación al pastoreo	191.394	108.501	0.120		0.418	1,381.510
8	1,804.366	1.825	0.084		0.295	0.053
86	213.391	0.07	0.033			0.010
8. Mejora de pastizales	2,017.757	1,825	0.117		0,295	0,063
9					0.059	
97	1.139	0.530			1,339.679	0.723
967	0.248	0.036		0.150	276.930	0.056
9. Mantenimiento uso agrícola	1.387	0.566		0.150	1,616.668	0.779

conservación de biodiversidad y enclaves de interés necesarios para el desarrollo sostenible del espacio al que se aplica.

Conclusiones

La metodología propuesta continúa considerando la erosión hídrica como uno de los indicadores fundamentales en la ordenación de cuencas y en la conservación de agua y suelo, pero además incorpora los modelos de planificación física con los que se pueden considerar

otros aspectos medioambientales que, en la actualidad, condicionan al gestor forestal en la priorización de sus actuaciones en el territorio. Formula un conjunto de actividades a realizar teniendo en cuenta la capacidad del medio para acogerlas y asegurando con ello la protección de los recursos naturales (además de suelo y agua), así como el mantenimiento sostenido de las actividades productivas. En consecuencia, el criterio de sostenibilidad queda incorporado a la toma de decisiones de actuación a través de la adecuación de las actividades al medio en que se van a desarrollar.

Cuadro 10. Superposición metodología propuesta y ordenación agrohidrológica (Mintegui 1990).

Mintegui Metodología	1. Repobl. en cárcavas	2. Mantener uso y mejorar	3. Mantener frondosas y mejorar	4. Completar espesura en frondosas	5. Mantener uso agrícola	6. Repoblación protectora	7. Mantener pastizal	8. Completar espes. en pinar
1		0.027				604.06	0.002	0.668
16						153.58	0.115	
17	1,135.553	0.760	0.500			3,211.866		0.558
167	107.310	0.011	0.136	0.579		3,813.3	0.139	3.016
1. Repoblación protectora	1,242.863	0.798	0.636	0.579		7,782.806	0.256	4.242
2		506.421	559.412	55.063		1.024		1.862
26		12.978	635.775	23.434	0.246	1.363	0.002	320.111
267				137.758		0.100		75.235
2. Completar espesura		519.399	1,195.187	216.255	0.246	2.487	0.002	397.208
4		0.027				1.440	0.054	
46		0.296	0.419	0.294	0.123	0.221		
457		109.946				0.454		
4,567		0.952						
4. Restauración de riberas		111.221	0.419	0.294	0.123	2.115	0.054	
5			346.438	169.342		1.154	0.011	
56			116.106	6.987	0.055	0.507		248.862
57		39.569						
567		15.191	0.199	202.832		2.144		887.295
5. Repoblaciones para aumentar la biodiversidad		54.76	462.743	379.161	0.055	3.805	0.011	1,136.157
6		59.815	127.293	3.188	0.036	569.677		2.121
67			0.292	71.762	0.445	326.209	0.123	
6. Conservación de enclaves		59.815	127.585	74.95	0.481	895.886	0.123	2.121
7. Acotación al pastoreo		246.006	0.409		0.418	1,435.079	0.013	0.015
8					0.296	1.878	1,804.360	0.084
86			0.008			0.079	213.381	0.034
8. Mejora de pastizales			0.008		0.296	1.957	2,017.741	0.118
9					0.058			
97		0.095	0.804		1,339.675	1.253	0.240	
967			0.248	0.149	276.928	0.092		
9. Manten. uso agrícola		0.095	1.052	0.149	1,616.661	1.345	0.240	

El mapa resultante de la aplicación de la metodología propuesta en la que se aborda el territorio con una visión holística proporciona una distribución detallada de actuaciones en el medio que garantizan la conservación y protección de todos sus recursos. Esta metodología y la presentación de los resultados mediante un programa SIG mejora la visualización geográfica y estratégica para la gestión de las actuaciones como prolongación del proceso de toma de decisiones del gestor. Las nuevas situaciones alertan al gestor y a los técnicos especialistas de las diferentes actuaciones en la cuenca teniendo en cuenta nuevas situaciones que redundarán en la sostenibilidad de los recursos de la cuenca.

En cuanto a la ventaja que supone esta metodología respecto de las hasta ahora utilizadas en cuencas españolas, hay que destacar que permite establecer perímetros superficiales de reservas de biodiversidad, con las que hay que contar a la hora de establecer la planificación de actuaciones. Las metodologías anteriores, aunque sufrieron una evolución añadiendo y enriqueciendo los parámetros con los que definir las ulteriores actuaciones, sólo estaban basadas en la definición de acciones para el control, mejora y fomento de la cobertura vegetal, los cuidados culturales en las masas y ciertas actuaciones de drenaje en laderas, así como en la realización de obras hidráulicas, con el objetivo de reten-

er materiales y consolidar laderas inestables. Era el esquema denominado "Sistema protector de una cuenca". Actualmente, con la nueva Directiva Marco Europea, la cuenca hay que entenderla como un sistema vivo, en el que entran en juego una serie de aspectos medioambientales, cuya consideración sería impensable hace dos décadas, cuando la ordenación de cuencas en España estaba preparada para dar solución a problemas hidráulicos puntuales, control de avenidas, control de la erosión y protección de márgenes.

Esta propuesta metodológica permite garantizar la sostenibilidad de otros recursos valiosos distintos del suelo y el agua, y es un instrumento para enriquecer la biodiversidad del espacio al que se aplica; en este caso, una cuenca hidrográfica.

Recibido: 02/08/2004
Aprobado: 25/02/2005

Referencias

- BURROUGH, C., y McDONELL, R. *Principles of Geographical Information Systems*. New York: Oxford University Press. 1998.
- GANDULLO, J.M. *La pérdida tolerable de suelo*. Trabajo inédito. Madrid: ETSI Montes. 1994.
- GARCÍA, J.L. *et al.* El papel del bosque en la gestión de cuencas hidrográficas. *Revista Chile Forestal*. Santiago de Chile. 1995, 11 pp.
- LÓPEZ-CADENAS DE LLANO, F. *et al.* *Restauración hidrológico-forestal de cuencas y control de la erosión*. Madrid: Grupo Tragsa, Tragsatec, MIMAM y Mundiprensa, 1998, 945 pp.
- LÓPEZ-CADENAS DE LLANO, F. *et al.* *Restauración hidrológico-forestal de cuencas y control de la erosión*. Madrid: Grupo Tragsa, Tragsatec y Mundi-Prensa. 1994, 902 pp.
- MINTEGUI, J.A. y LOPEZ UNZU, F. *La ordenación agrohidrológica en la planificación*. Vitoria: Gobierno Vasco. Departamento de Agricultura y Pesca. 1990, 306 pp.
- RAMOS, A. *Planificación física y ecológica*. Madrid: EMESA. 1979. 216 pp.
- REES, W.E. *A role for environmental assessment in achieving sustainable development*. An Environmental Impact Assessment Review. Núm. 8. 1988.
- SIMÓN, E. de, MINTEGUI, J.A., ROBREDO, J.C. y GARCÍA, J.L. *La restauración hidrológica forestal en las cuencas hidrográficas de la vertiente mediterránea*. Informaciones Técnicas 22/93. Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía. 1993, 325 pp.
- TEJERA, R. *Metodología para la ordenación de cuencas hidrográficas con criterios de sostenibilidad*. Tesis doctoral inédita. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. 2001, 180 pp.
- TEJERA, R. *et al.* *La ingeniería en los procesos de desertificación*. Madrid: Grupo Tragsa y Mundiprensa. 2002. 1045 pp.
- TEJERA, R. y GARCÍA, J.L. El paradigma de la sostenibilidad. *Montes, Revista de Ámbito Forestal*. 2º trimestre, núm. 72, 2003. pp 81-86.
- WCED (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press. 1987.
- WISCHMEIER, W.H. y SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. Guide for selection of practices for soil and water conservation*. A.R.S. USDA. Agriculture Handbook. Núm. 282, 1965.

Abstract

TEJERA-GIMENO, R. & GARCÍA-RODRÍGUEZ, J.L. *Methodology for watershed management and planning: a new approach based on sustainability criteria*. Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish). Vol. XXI, no. 1, January-March, 2006, pp. 43-58.

This article presents a watershed management methodology based on a land-use planning model whereby sustainability criteria are introduced according to the capacity of the environment to support interventions in the watershed. The model has been applied to the middle course of the Jarama river (Guadalajara, Spain), taking into account the likely construction of a storage dam for controlling the flow of the Tajo river into which the Jarama river flows. In this study a distribution of activities has been carried out according to the established goals in the management plan. The results show a greater degree of detail if compared to the ones obtained with the models traditionally applied in watershed management.

Keywords: sustainability, watershed management, methodology, land-use planning, erosion and GIS.

Dirección institucional de los autores:

Rosario Tejera-Gimeno

Universidad Politécnica de Madrid,
Departamento de Economía y Gestión Forestal,
ETS de Ingenieros de Montes,
Ciudad Universitaria s/n,
28040 Madrid, España,
rosario.tejera@upm.es

José Luis García-Rodríguez

Universidad Politécnica de Madrid,
Departamento de Ingeniería Forestal,
ETS de Ingenieros de Montes,
Ciudad Universitaria s/n,
28040 Madrid, España,
josel.garcia@upm.es