RENTABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE LAS ACCIONES DE CORRECCIÓN HIDROLÓGICO-FORESTALES.

M. A. CATALINA; C. VICENTE

Consejería de Medio Ambiente
c/Mauricio Moro 2, 4ª planta.
29006 MÁLAGA.

RESUMEN

La metodología de valoración ambiental ha experimentado un considerable desarrollo conceptual en la última década. Esta técnica se ha aplicado al proyecto de restauración de las cuencas vertientes al área urbana de Málaga, que contempla la repoblación y compra de 10.824 ha y la construcción de 101.986 m^3 de hidrotecnia, suponiendo una inversión de 13.995 millones de pesetas. Proyecto que permite resolver un histórico problema, inabordable mediante técnicas exclusivas de ingeniería civil, que ha originado importantes daños económicos (100.000 millones de pesetas en 1989 además de pérdidas de vidas humanas). La evaluación económica del proyecto abarca un periodo de análisis de 85 años, obteniendo una rentabilidad claramente positiva, con un Valor Actualizado Neto (V.A.N.) de 21.578'4 millones de pesetas, para una tasa de interés del 4%; y una Tasa Interna de Retorno (T.I.R.) del 7'38%. Se realiza una aportación metodológica en la monetarización de los ingresos o beneficios ambientales en función del análisis ambiental de antiguas repoblaciones.

P.C.: Valoración ambiental, Coste, Beneficio, Hidrología, Reforestación.

SUMMARY

Environmental assessment methodology has undergone a considerable conceptual development during the last decade. This technique has been applied on the restoration project affecting the watersheds flowing into Málaga´s metropolitan area, which plans afforestation and buying of 10.824 ha and 101.986 m^3 construction of hydraulic facilities, with a total budget of 13.995 million pesetas. This project will solve an historical problem, which has caused considerable financial damage (100.000 million pesetas in year 1989 and lost of human lives) but can´t be solved based exclusively in civil engineering actions. Financial evaluation covers a 85 years analysis period; it shows a highly positive return, having a Net Present Value (NPV) of 21.578,4 million pesetas (interest rate 4%) and Internal Rate of Return (IRR) of 7,38%. A methodological contribution is done, concerning environmental benefits monetary conversion according to established forests environmental analysis.

K.W.: Environmental assessment, Cost, Benefit, Hydrology, Afforestation.

INTRODUCCIÓN

Los efectos del bosque que inciden sobre la economía y el medio ambiente deben ser valorados, con el objetivo de maximizar el beneficio socio-ambiental. Así, el conjunto de sus acciones ayuda a regular nuestro irregular clima Mediterráneo: bajada de temperatura por efecto de la evotranspiración, aumento del albedo en la radiación de onda larga, así como de las precipitaciones ocultas, y de la humedad relativa dentro del bosque, disminución de los vientos desecantes y fijación de CO_2 atmosférico en mayor cantidad y de forma más permanente que cualquier cultivo agrícola, reduciendo el efecto invernadero. Efectuando además acciones de conservación del suelo, protegiendo los cauces y las llanuras de inundación, y a las poblaciones de la formación de aludes tanto de nieve como de piedras, estos últimos más frecuentes en Andalucía. La protección actúa tanto en cabecera de cuenca como en zonas medias y llanuras de alto valor económico en confluencias y desembocaduras, por lo que cualquier agresión ambiental como cortas, incendios, procesos contaminantes, etc, originan efectos que repercuten en toda la cuenca con un alto coste económico. Efectos de los que verdaderamente tomamos conciencia de su importancia cuando hay que sufragar las actuaciones regeneradoras.

Todas estas acciones quedan ensombrecidas al lado del papel del bosque como productor de agua, tanto en cantidad como en calidad, teniendo en cuenta el clima Mediterráneo que disfrutamos, con un coeficiente de variación de las lluvias del 42 %, que hace que pasemos de años con clima desértico como 1999 a otros con grandes inundaciones como 1989. El conjunto de estas acciones aumenta el confort climático para el hombre, motivando junto a su belleza el poder atractivo del bosque, origen del millón de

visitas anuales al interior de la provincia de Málaga, tanto por su patrimonio cultural como natural, lo que constituye una fuente de riqueza. La sistematización de todos estos efectos, tanto de tipo directo como indirecto, es complicada y ha sido motivo de múltiples estudios como el de AGUILÓ (1976). Un nuevo desarrollo se expone en la evaluación del *"Proyecto de defensa hidrológico-forestal de la ciudad de Málaga frente a las avenidas"*. La solución elegida en el proyecto como pilar básico de la defensa contra las avenidas, es la corrección hidrológico-forestal de las cuencas que desaguan al mar Mediterráneo a través de la propia ciudad de Málaga. Los instrumentos para lograr dicha corrección son la construcción de obras transversales en los cauces y la repoblación forestal de las superficies cuya pérdida potencial de suelo, estimada según la USLE, supera las 150 t/ha·año. A pesar de las obras de defensa construidas, como las presas de regulación del Guadalmedina y del Campanillas, las inundaciones de 1989 pusieron de manifiesto que la reducción de los daños no queda garantizada únicamente con estas grandes estructuras y que es necesaria una actuación decidida sobre la raíz del problema: la deforestación.

MATERIAL Y MÉTODOS

La evaluación económica debe contemplar el conjunto de costes y beneficios que el proyecto evaluado genera en la sociedad, independientemente de quién los sufra o resulte beneficiado AZQUETA (1994). La metodología utilizada debe incluir 4 fases fundamentales:

1.- Identificación de las actividades del proyecto que generan beneficios económicos y los daños ambientales evitados.

2.- Determinación cuantitativa de los mismos, directamente o por bienes relacionales.

3.- Monetarización de los mismos por el método del coste-beneficio.

4.- Valoración de esta cuantificación, mediante índices que permitan determinar la conveniencia de realización del proyecto y el análisis de alternativas.

Partiendo de sus objetivos, la evaluación económica de este proyecto se debe efectuar fundamentalmente en función de la reducción esperada de la función de costo, constituida por los daños por inundación y de la salvaguarda de las infraestructuras civiles, así como de la función de beneficio, formada por la mejor conservación de los recursos agua y suelo, el mejor funcionamiento de las infraestructuras civiles (encauzamientos urbanos, embalses), y el aprovechamiento de productos forestales como madera, corcho, pastos o caza. No incluyéndose en la valoración el incremento de la atracción ni la fijación del CO_2, en el primer caso por no ser un objetivo directo del proyecto y en el segundo por la falta de valor de mercado, en orden a lograr un mejor análisis de alternativas.

Ingresos por defensa hidrológica de la ciudad de Málaga.

Reducción de la emisión de sedimentos

En primer lugar se ha evaluado el efecto de retención de los sedimentos que producirán los diques de hormigón armado. Se calcula el coste económico de dichos sedimentos considerando el precio de su limpieza en 1.000 pts/m^3. En el caso de los ríos Guadalmedina y Campanillas, la reducción de los sedimentos incide directamente en la funcionalidad de las presas de cierre de sus cuencas. En los arroyos urbanos, al no existir presas de cierre, los sedimentos arrastrados se van a depositar en infraestructuras como trasvases, túneles o

FUNCIONES DE BENEFICIO

- Mejora de la calidad del suelo en las zonas repobladas.
  - Aumento de la materia orgánica.
  - Mejora de la estructura.
- Efectos sobre el ciclo hidrológico.
  - Incremento de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.
  - Incremento de la capacidad de infiltración de agua.
  - Aumento de la rugosidad superficial del terreno y de la escorrentía subsuperficial.
- Aumento de la calidad del agua y disminución del coste de su tratamiento.
- Reducción de la emisión de sedimentos.
  - Incremento de la vida útil de los embalses y de su capacidad laminadora de avenidas.
  - Limpieza de cauces e infraestructuras, manteniendo su capacidad de circulación.
- Estabilización de los cauces a los deslizamientos, por efecto de las hidrotecnias.
- Producción forestal de la masa xreada (madera, corcho, leña, pastos, caza).
- Fijación del CO_2, disminuyendo el efecto invernadero.
- Disminución del efecto del viento y suavización del clima.
- Mejora del paisaje e incremento del desarrollo turístico.
- Estabilización de la población en la zona.
- Seguridad de las infraestructuras y de la población frente a las inundaciones.
- Desarrollo de la fauna.

FUNCIONES DE DAÑO

- Coste de oportunidad de las tierras utilizadas con finalidad agrícola.
- Coste de realojo de las familias afectadas.
- Incremento del riesgo de incendios forestales.
- Daños por ejecución del proyecto, como apertura de caminos, ruidos, etc.

Figura 1.- Función de beneficio y daño del proyecto.

encauzamientos, existentes en los tramos inferiores de los cauces. Los diques de mampostería-hormigón retienen un volumen de sedimentos calculado en 1.369.568 m^3. A este volumen retenido habría que añadir el volumen evitado de emisión de sedimentos por acción de la cubierta forestal creada con la repoblación. A los diques se les ha supuesto una vida útil de 25 años, al cabo de los cuales el efecto de la repoblación compensará su pérdida funcional.

Se evalúa en segundo lugar el efecto de un menor transporte de materiales y consiguiente sedimentación a lo largo de los tramos finales encauzados de los arroyos que atraviesan el casco urbano. En esos tramos se produce sedimentación de las fracciones gruesas de los arrastres, con lo que una reducción del arrastre redunda en una menor sedimentación. Por su importancia relativa, en cuanto al tamaño de las cuencas y la afección a bienes inmuebles, destacan entre los llamados arroyos urbanos el de Jaboneros y el Totalán. Únicamente para estos dos arroyos se evalúa la sedimentación en cauces urbanos, estando el resto de cauces incluidos en la valoración de la regulación del transporte sólido. La capacidad de transporte de sedimentos se ha calculado mediante la ecuación de Meyer-Peter y Müller, modificada por SMART Y JAEGGI (1983) para régimen de plena turbulencia y pendientes moderadas. El transporte total se distribuye uniformemente durante los 85 años del período considerado.

Aumento de la capacidad reguladora de los embalses

En la regulación de los ríos Guadalmedina y Guadalhorce, son piezas básicas las presas del Limonero y Casasola (ésta sobre el río Campanillas, recientemente terminada). La primera está construida dentro de la zona urbana de Málaga, y la segunda en su límite. La evaluación económica de su vida útil está condicionada en ambas por la pérdida de capacidad de regulación debida al aterramiento. Sus cuencas presentan unos niveles de erosión muy elevados.Se han medido, por técnicos de la Delegación de Medio Ambiente, los aterramientos de materiales gruesos en los embalses. En el caso del embalse del Limonero,

para la fracción arena se calculó un volumen depositado, hasta 1997, de 0,41 hm^3 de sedimentos, según CATALINA (2001). Esto supone un volumen de sedimentos totales, en este momento, próximo a los 3 hm^3, que ha perdido este embalse de capacidad reguladora. Se efectúa la valoración del transporte sólido anual conducido por los cauces a los embalses, calculado por el modelo de Williams, a precio de construcción de embalse, siendo en el caso del Limonero 5.000 millones de pesetas, que dividido entre su máxima capacidad útil (25 hm^3) nos proporciona el coste para la pérdida de capacidad de embalse a causa de la sedimentación: 200 mill.pts/hm^3.

Aumento de la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo

La masa forestal contribuye a la economía del agua de dos maneras: favoreciendo la infiltración e incrementando la capacidad de retención en el suelo.Gracias a la acción de "esponjamiento" de las raíces y la microfauna forestal, el agua penetra mejor hacia capas profundas del suelo. Al mismo tiempo, la vegetación densa reduce la velocidad de escurrimiento del agua por el terreno, con lo que tiene más tiempo para infiltrarse. Por otro lado, el incremento en la cantidad de materia orgánica del suelo mejora su estructura, lo hace más esponjoso y es capaz de almacenar una gran cantidad de agua. También la capa superior de restos vegetales y hojarasca retiene agua en abundancia. De este modo, el suelo del bosque se convierte en una suerte de embalse que va soltando lentamente el agua almacenada.

El incremento del almacenamiento de agua en los suelos se ha calculado según la fórmula de J.M. Gandullo. Los suelos cultivados de la cuenca tienen una proporción de materia orgánica del orden de 1%, que va a incrementarse al 4% en un corto plazo de tiempo, según los datos medidos de analítica edáfica de que disponemos para la cuenca del Guadalmedina (P. N. Montes de Málaga, con terrenos repoblados en los años 40). Así pues, el incremento de la capacidad de retención de agua tras la repoblación propuesta se ha calculado, para el conjunto de la zona, en 4'841 hm^3, además retiene 2 hm^3 adicionales a corto plazo (24 horas), en forma de agua gravitacional.

La valoración económica del incremento del agua retenida se efectúa a precio de construcción de un embalse como el del Limonero (200 mill.pts/hm^3). El agua almacenada y susceptible de ser aprovecha para usos urbanos se valora al precio final de usuario de 50 pts/m^3.

Reducción del caudal punta y volumen total de las avenidas

Se ha calculado la reducción obtenida en los volúmenes de agua acumulados y en los caudales punta de la avenida tras diferentes episodios de tormenta, a partir del análisis de los hidrogramas, y de acuerdo con modelos que simulan la protección debida a la vegetación tras una ordenación de usos del territorio. Se contemplan situaciones de ordenación parcial y total, así como episodios de lluvia de 50 y 70 mm en 24 horas, para diferentes condiciones previas de humedad del terreno (seco, húmedo y saturado).

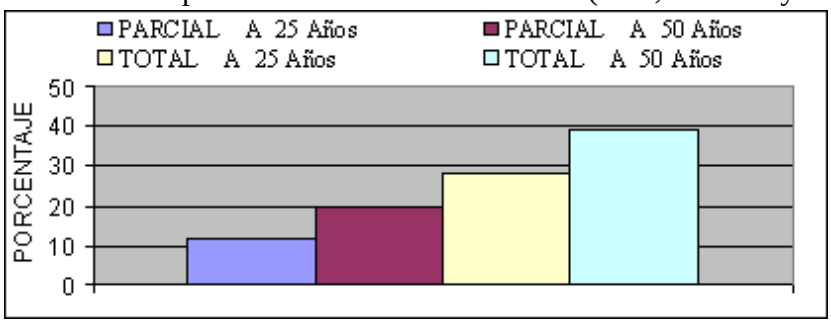


Gráfico 1.- Efecto de la ordenación en el volumen del hidrograma.

La posibilidad de dragar los vasos de los embalses para mantener su capacidad de regulación y prolongar su vida, es difícilmente viable. A un coste actual estimado de 2.000 pts/m^3, únicamente la retirada de los 3 hm^3 que se han acumulado en el embalse del Limonero durante 15 años tendría un coste de 6.000 millones de pesetas. Ello sin pensar en el problema de dónde depositar los lodos extraídos.

Aumento de la conservación del suelo.

Un efecto muy claro de la repoblación es la importante disminución de las pérdidas de suelo. La capa superior del suelo, la más fértil, sufre una erosión de tipo laminar que es generalmente más importante, aunque menos espectacular que la producida por fenómenos de acarcavamiento. El efecto de conservación de suelos se valora en función de los porcentajes de pérdida calculados y de la producción media del suelo agrícola tipo de la zona.

Para tener una idea aproximada de cómo las futuras plantaciones protegerán el terreno, empleamos como indicador la fracción de cabida cubierta (fcc). Disponemos de los datos de un inventario de 1982-83 efectuado en el actual Parque Natural de Montes de Málaga, a partir de los que se ha construido una tabla con los diámetros de copa medios de los pies a diferentes edades. La superficie de copa individual se calcula como el área de un círculo con dicho diámetro. A partir de los 15-20 años se logra un grado de protección del suelo apreciable. La fracción de cabida cubierta máxima teórica para una plantación a marco real (malla cuadrada) es del 78’5%, y para plantación al tresbolillo en malla triangular, del 84’2%. A partir de los 45-55 años, según la densidad inicial, se superaría la cobertura máxima teórica.

Ingresos por productos forestales

Se ha considerado en la evaluación económica la producción en madera de los pìnares y choperas, según los modelos de repoblación en función de su crecimiento, con los modelos para masa regular del Primer y Segundo Inventario Forestal Nacional, correspondientes a cada especie con el criterio de extracción por tangencia de copas a fin de lograr la máxima protección del suelo.Para el cálculo de la edad a la que se produce la tangencia de las copas se han utilizado los ajustes parabólicos del diámetro de copa y de la edad, de inventarios en detalle del monte Cuenca del Guadalmedina. En cuanto a los chopos, se considera que las plantaciones de ribera propuestas tienen un carácter predominantemente protector Se trata de plantaciones de montaña, cuyo rendimiento es algo inferior a las choperas de vega. Se ha evaluado también la producción de pastos, frutos (garrofin y piñón), leñas y caza.

Para valorar los ingresos de los aprovechamientos se ha supuesto el método de precios constantes, tomando para la madera de pino negral un precio de 2.500 pts/m^3, y de 1.500 pts/m^3 para la de carrasco; la de chopo se valora en 10.000 pts/m^3. El corcho se valora a un precio de 100 pts/kg, el bornizo, y 250 pts/kg, el de reproducción. El precio de la algarroba se toma en 20 pts/kg, y los piñones en 30 pts/kg. Las leñas se valoran a 1 pta/kg, las de los pinos, y 1’5 pts/kg, las de frondosas. El valor de los pastos se cuantifica a la cantidad media de 610 pts/ha, y el de la caza a 1.000 pts/ha. Los ingresos previstos para cada año, desde el 1º al 85º tras el comienzo de las plantaciones, figuran en el gráfico adjunto. Puesto que la plantación se realiza en cuatro anualidades, la entrada de ingresos se reparte en cuatro años.

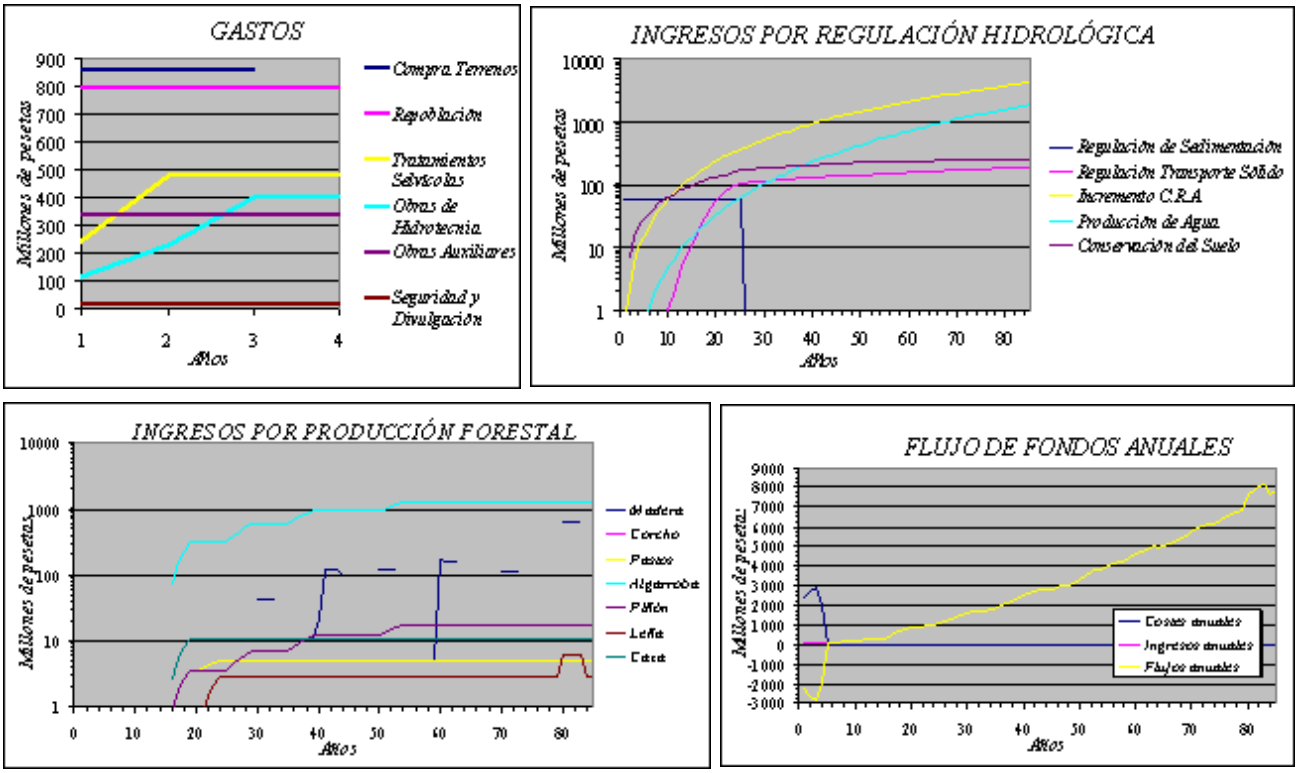
Resultados y Conclusiones

Como resumen del estudio económico se adjuntan gráficos en los que aparecen los gastos e ingresos calculados del Proyecto. Los diferentes conceptos se han anualizado a lo largo de un período de 85 años, que comprende el turno de las especies principales (80 años) más el período de ejecución del Proyecto. Todas las cantidades se expresan en millones de pesetas.

Los beneficios derivados de la protección hidrológica son mucho más considerables que los generados en forma de productos forestales, lo que responde a la finalidad preferentemente protectora de las actuaciones contenidas en el Proyecto. El efecto regulador de las avenidas produce un beneficio al cabo del período que equivale a la construcción de dos presas como las actualmente existentes en el Guadalmedina y el Campanillas. El incremento en la capacidad de retención de agua del suelo, en función del contenido creciente de materia orgánica, ejerce un efecto equivalente al de un embalse de unos 5 hm^3 de capacidad.

Cabría considerar también el beneficio de la reducción de daños en las áreas urbanas debido a unos caudales punta y totales de avenida menores. Esta reducción hipotética no se ha valorado en este estudio económico, realizado con parámetros restrictivos. Tampoco se considera (no es cuantificable) la posible pérdida de vidas humanas evitada.

Para el período de análisis de 85 años, el Valor Actualizado Neto (V.A.N.) es de 21.578’4 millones de pesetas, a una tasa de interés del 4%. La Tasa Interna de Retorno (T.I.R.) es del 7’38%. La inversión es claramente positiva, a pesar de los criterios conservadores empleados en la valoración de beneficios. El método empleado demuestra la rentabilidad de la inversión en las obras de corrección hidrológico forestales y constituye un paso en su desarrollo metodológico.



Gráficos 2 a 5.- Resumen del estudio económico del proyecto de defensa de Málaga.

BIBLIOGRAFÍA

BRANDT, C.J.; (1989). *The size distribution of throughfall drop particle size under vegetation canopies*. Catena 16, p 507-524

AGUILÓ BONNIN, J.; (1976). *Evaluación de inversiones en la Ordenación Agrohidrológica de Cuencas*. ICONA.

AZQUETA OYARZUN, D.; (1994). *Valoración económica de la calidad ambiental.* Mc Graw Hill.

SMART, A., JAEGGI, L.; (1983). *Sediment transport on steep slopes*. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau. Hydrologie und Glaziologie, Zürich.

CATALINA MIMENDI, M.A., VICENTE FERNÁNDEZ, C.; (2001). *Hidrología Forestal de la Provincia de Málaga.* Diputación de Málaga(en impresión).