



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-328

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Gescuencas. Sistema de evaluación para la gestión de los recursos naturales en cuencas hidrológicas.

AUTORES: JULIAN FUENTES, F.¹, CIENFUEGOS CALDERA, B.²; VICENTE PARRA, R.³ Y SCHNABEL, S.⁴

DIRECCIÓN PROYECTO GESCUENCAS: JULIAN FUENTES, FEDERICO¹; CIENFUEGOS CALDERA, BENIGNO²; VICENTE PARRA, RAQUEL³.; SCHNABEL, SUSANNE⁴; LABADO CONTADOR, FRANCISCO⁵; y VÁZQUEZ PARDO, FRANCISCO M^a ⁶.

EQUIPO CIENTÍFICO TÉCNICO: TABLA 1.

¹ Ingeniero de Montes. Ingeniero Agrónomo. Ambienta Ingeniería y Servicios Agrarios y Forestales, S.L.U.

² Licenciado en Ciencias Biológicas. Fomento de Técnicas Extremeñas S.L.

³ Licenciada en Ciencias Ambientales. Agroquímicos Álvarez S.A.

⁴ Doctora y Licenciada en Geografía. Grupo GIGA. Universidad de Extremadura.

⁵ Doctor y Licenciado en Ciencias Biológicas. Grupo GIGA. Universidad de Extremadura.

⁶ Doctor y Licenciado en Ciencias Biológicas. CICYTEX

Resumen

La complejidad de los ecosistemas necesita del análisis y comprensión de los diversos componentes del territorio y sus interrelaciones, adoptando un enfoque integral.

Gescuencas es un sistema de evaluación para la gestión de los recursos naturales a escala de cuenca. Está basado en una metodología que permite evaluar la calidad e integridad ambiental de cuencas hidrográficas en entornos rurales. Contempla elementos físicos, bióticos, sociales y económicos, que se analizan en busca de indicadores clave que sean los que sirvan al objetivo final, y para facilitar el diseño de una serie de medidas que puedan corregir la progresiva degradación ambiental de las cuencas estudiadas.

Metodológicamente se basa en un sistema de indicadores dirigido a la evaluación y el seguimiento ambiental de cuencas hidrográficas, pudiéndose definir algunos indicadores que sintetizan información de aspectos ambientales relacionados. Además, el sistema de evaluación se integra en un sistema de información geográfica y genera información espacialmente distribuida, que puede servir de base para parametrizar modelos y generar escenarios de gestión.

Gescuencas ha sido ideado conceptualmente, desarrollado y aplicado con éxito en las cuencas piloto de las Gargantas de la Vera, en una superficie de 76.000 hectáreas. Como herramienta de referencia puede ser consensuada por las administraciones.

Palabras clave

Modelo conceptual, sistema de indicadores, calidad ambiental, percepción social, economía rural.

1. Introducción

Los problemas medioambientales que afectan al territorio son complejos y se deben, entre otras causas, a la interrelación de multitud de factores y variables, lo que da lugar en ocasiones a una progresiva degradación de los sistemas ecológicos que es difícil de detener por la ausencia de métodos de diagnóstico, evaluación y gestión eficaces.

Esta complejidad de los sistemas naturales, particularmente en áreas fuertemente transformadas por el hombre, necesita del análisis y la comprensión de los diversos componentes del

territorio y sus interrelaciones, es decir, de un enfoque integral. Dicho enfoque integral debería contemplar los subsistemas suelo, relieve, agua, fauna y flora, así como sus interrelaciones con las actividades humanas. Este análisis integral del territorio posibilitaría la detección de problemas actuales y anticiparía otros futuros antes de su materialización. No obstante, la gestión territorial actual se realiza fundamentalmente mediante la determinación y resolución de problemas puntuales, el análisis de alteraciones locales del equilibrio ambiental y la evaluación de riesgos basada en informaciones parciales.

Una unidad espacial idónea para el análisis integral del territorio es la **cuenca hidrográfica**, al delimitar los procesos ambientales de forma más adecuada que cualquier unidad administrativa.

Las cuencas hidrográficas son territorios delimitados por la topografía del terreno que tienen en el ciclo hidrológico un sistema de conectividad natural, que no entiende de fronteras ni divisiones administrativas, y que presentan, dentro de los límites de las mismas, complejas relaciones entre las variables ecológicas y antrópicas que constituyen el conjunto del sistema.

A menudo, la ausencia de investigaciones en profundidad de los problemas ambientales, que afectan a la conservación de los recursos naturales en territorios concretos, hace que los trabajos que se emprendan para solucionar los retos que se plantean puedan ser insuficientes, por incompletos, para detener la progresiva degradación de los ecosistemas. Esto genera frustración en los gestores, que ven cómo las inversiones realizadas no alcanzan a medio plazo los objetivos esperados.

Gescuencas es un sistema de evaluación para la gestión de los recursos naturales a escala de cuenca hidrográfica, y se basa en una metodología de trabajo que permite evaluar la calidad e integridad ambiental de las cuencas en entornos rurales (Figura 1). Para cuencas que integran ciudades medianas o grandes este sistema no es aplicable. Gescuencas contempla numerosos elementos (físicos, bióticos, sociales y económicos) que se analizan en busca de indicadores clave que sean los que sirvan al objetivo final, así como para facilitar el diseño de una serie de medidas que puedan reducir los efectos medioambientales negativos y corregir la progresiva degradación ambiental de estas cuencas, en caso de que las conclusiones obtenidas vayan en esta dirección.



Figura 1. Gescuencas permite evaluar la calidad e integridad ambiental de cuencas hidrográficas en entornos rurales.

El uso de un sistema de indicadores como metodología para la evaluación y el seguimiento de la calidad, integridad y la función ambiental de las cuencas hidrográficas se justifica por su carácter integrador, siendo posible definir algunos indicadores que sintetizan información de aspectos ambientales relacionados, desequilibrios o problemas de diferente naturaleza, así como por su posibilidad de aplicación con carácter espacialmente distribuido, para toda el área de una cuenca, y de servir de base para parametrizar modelos y generar escenarios de gestión.

Además de permitir comparar los resultados entre diferentes cuencas hidrográficas, evaluar problemas y ayudar en la delimitación de umbrales ambientales, un sistema de esta naturaleza funciona también como germen de conocimiento a la hora de desarrollar e implantar los planes de gestión integrada en cuencas hidrográficas a escala regional. El diseño de estos planes es muy complicado por la complejidad inherente a cualquier sistema territorial, y su implantación se ve a veces dificultada por las múltiples administraciones y autoridades competentes en los distintos temas (Ministerios del Gobierno Central, Consejerías de las Comunidades Autónomas, Diputaciones, Ayuntamientos, Confederaciones Hidrográficas, etc.). Gescuencas aporta una herramienta de referencia que puede ser consensuada por las administraciones implicadas al centrarse, fundamentalmente, en escalas y procesos espaciales de naturaleza física, la cuenca vertiente, no administrativa.

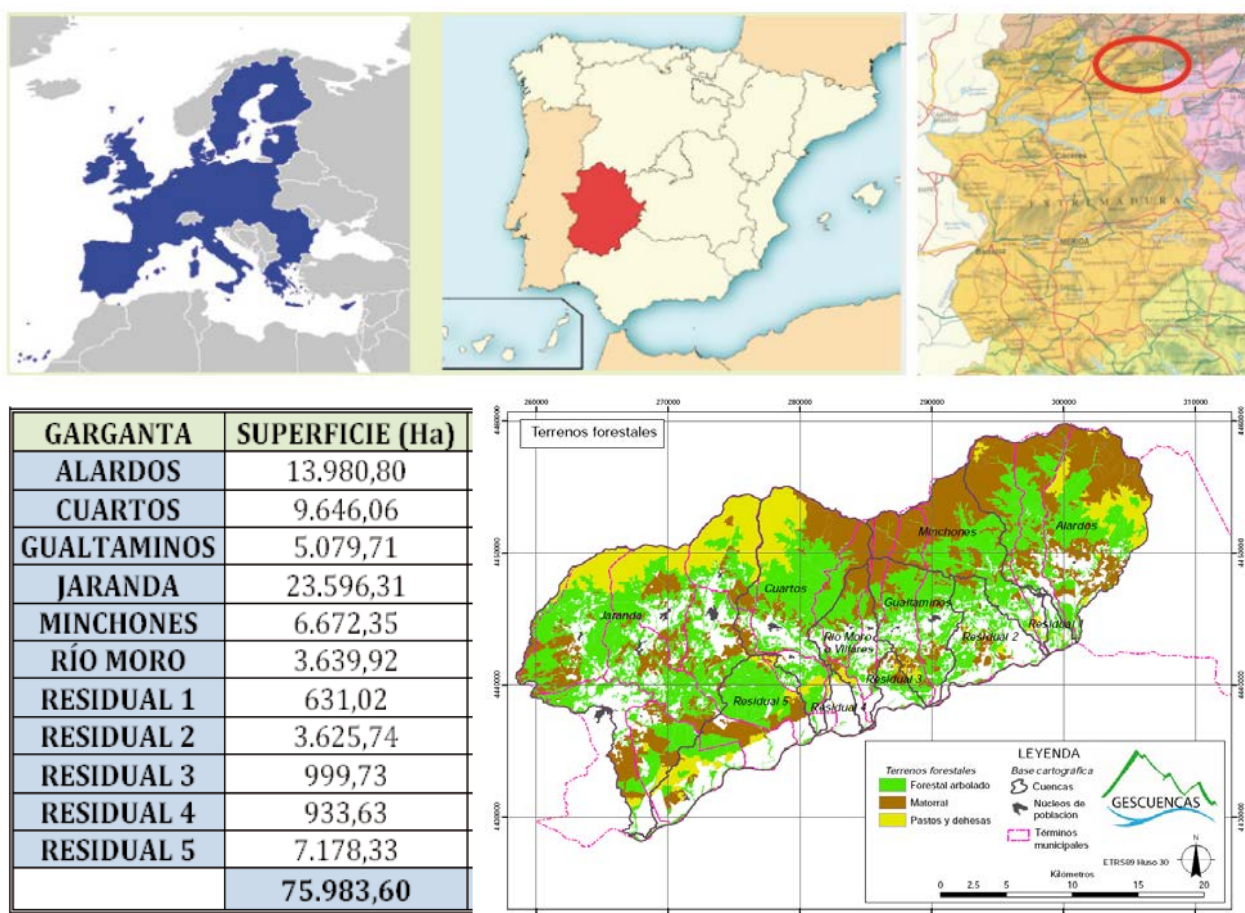


Figura 2. Localización de las cuencas hidrológicas en las que se ha aplicado Gescuencas y su mapa forestal.

Conocer las razones por las que uno u otro indicador ecológico evoluciona en un sentido u otro es imprescindible a la hora de evaluar la calidad ecológica de un ecosistema, y de aplicar medidas para una correcta gestión del mismo y de los recursos naturales asociados.

Una vez desarrollado el modelo conceptual del sistema de evaluación, el siguiente reto era realizar un estudio de caso en unas cuencas hidrográficas seleccionadas para ver si el mismo era viable y los resultados que se obtenían eran clarificadores. Para aplicar el Sistema de Evaluación Gescuencas, se eligieron una serie de cuencas hidrológicas en La Vera (Cáceres, España), las gargantas de La Vera del margen derecho del río Tiétar (Figura 2), por la singularidad y complejidad

de las mismas, así como por los problemas ambientales que afectan a la población que reside en las localidades de la comarca extremeña.

2. Objetivos

El objetivo principal del proyecto ha sido por tanto desarrollar una investigación enfocada en crear un sistema de evaluación medioambiental que constituya una técnica útil para la gestión integral de los recursos naturales a escala de cuencas hidrográficas.

Entre los objetivos concretos de Gescuencas destacan:

- Aportar un sistema de uso generalizable basado en indicadores que sirva para determinar la calidad e integridad ambiental de cuencas hidrográficas en el medio rural.
- Aportar indicadores que sirvan para poner de manifiesto los aspectos y áreas problemáticos en términos ambientales y que también sean útiles en la detección de riesgos actuales o futuros.
- Basado en lo anterior, aportar los componentes fundamentales de un futuro Sistema de Apoyo a la Decisión (SAD) en aspectos ambientales de cuencas hidrográficas, que se materializará en elementos informáticos aplicables sobre sistemas de información geográfica y modelos hidrológicos.
- Aportar una metodología paralela al sistema de indicadores de la calidad ambiental que permita evaluar la percepción social de los habitantes de las cuencas afectadas por los procesos de decisión.

3. Metodología

El proyecto Gescuencas, *Sistema de evaluación para la gestión integral de los recursos naturales en cuencas hidrográficas*, nació de una idea tras un problema de biodiversidad detectado en los ríos de una cuenca, años después de haberse estudiado el deterioro de otra cuenca hidrológica distinta por causas diferentes. De la observación en campo de distintos fenómenos relacionados con las cuencas hidrológicas, surgió la idea de diseñar un enfoque integral de investigación y gestión para la búsqueda de soluciones a determinados retos medioambientales detectables en el territorio.

Gescuencas es un proyecto de inversión económica y científico técnica empresarial, y ha sido desarrollado por las empresas Ambienta Ingeniería y Servicios Agrarios y Forestales S.L.U., Fomento de Técnicas Extremeñas S.L. y Agroquímicos Álvarez S.A., con la colaboración del Grupo de Investigación Geoambiental de la Universidad de Extremadura, el Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX) y el Centro Tecnológico Agroalimentario de Extremadura (CTAEX). Subvencionado parcialmente por el Programa Coinvestiga 2014 de la Junta de Extremadura, en el mismo ha trabajado un equipo multidisciplinar formado por doctores, ingenieros, licenciados, técnicos y personal auxiliar y de gerencia de consorcio (Tabla 1).

La metodología de este trabajo se fundamenta en el concepto de sistemas integrales, que, implícitamente, reconoce la dinámica de los sistemas ecológicos y la interconexión de los ecosistemas acuáticos con el resto de componentes de los sistemas ambientales y antrópicos.

Tabla 1. Equipo científico técnico y administrativo del Proyecto Gescuencas.

EMPRESA	NOMBRE	PERFIL	FUNCIÓN
Ambienta Ingeniería	Federico Julián Fuentes	Ingeniero de Montes Ingeniero Agrónomo	Dirección
FOTEX	Benigno Cienfuegos Caldera	Licenciado en Biología	Dirección biología
Agroquímicos Álvarez	Raquel Vicente Parra	Lda. Ciencias Ambientales	Dirección agronomía
GIGA Universidad Extremadura	Susanne Schnabel	Doctora, Geógrafa	Dirección científica
GIGA Universidad Extremadura	Francisco Labado Contador	Doctor, Biólogo	Dirección conceptual
Ambienta Ingeniería	Javier Pineda Vadillo	Ingeniero de Montes	Coordinación técnica, SIG y equipo conceptual.
Agroquímicos Álvarez	Daniel Abel Schaad	Doctor, Biólogo	Agronomía, agua y equipo conceptual.
FOTEX	Vanessa Piña Bueno	Ingeniero de Montes	Biología, SIG y equipo conceptual.
GIGA UEX	Álvaro Gómez Gutiérrez	Doctor, Ingeniero Geodesia, Geógrafo	Cartografía, SIG y equipo conceptual
FOTEX	Sergio Murillo Rodríguez	Licenciado Ciencias Ambientales	Biología, muestreos y SIG

EMPRESA	NOMBRE	PERFIL	FUNCIÓN
Ambienta Ingeniería	Roberto Martín Fuentes	Ingeniero Industrial	Economía y territorio. SEPS Gescuencas.
GIGA Universidad Extremadura	Javier Lozano Parra	Doctor, Geógrafo	Modelo hidrológico
CICYTEX	Francisco M ^a Vázquez Pardo	Doctor, Biólogo	Investigación flora
Agroquímicos Álvarez	Adrián Mateos Caballero	I. T. Forestal	Agronomía y agua
Ambienta Ingeniería	José Ángel Rivas González	Ingeniero Técnico Forestal	Forestal y logística
Ambienta Ingeniería	Juan Jesús Sánchez	Auxiliar de campo	Trabajos de campo. SEPS Gescuencas.
GIGA Universidad Extremadura	Alberto Alfonso Torreño	Licenciado en Geografía	Analista SIG e hidrología
GIGA Universidad Extremadura	Ignacio López-Coca	Doctor, Químico	Investigador
GIGA Universidad Extremadura	Manuel Pulido	Doctor, Geógrafo	Investigador
Agroquímicos Álvarez	Vicente Iglesias Velaz	I. T. Forestal	Técnico/Investigador
FOTEX	Miguel A. Palacios Martín	Ingeniero Técnico Forestal	Forestal
FOTEX	Pedro J. García Juzgado	Licenciado en Biología	Ictiofauna
FOTEX	Joaquín Alviz García	Ingeniero Técnico Agrícola	Ictiofauna
FOTEX	Félix Vegas Luna	Ingeniero Técnico Agrícola	Ictiofauna

FOTEX	Juan Tomás Prieto Benítez	Licenciado en Admon. Y Dirección Empresas	Administración
FOTEX	Juan A. García Gallego	Ingeniero de montes	Ictiofauna
Agroquímicos Álvarez	Sergio Alonso Expósito	I. T. Forestal	Técnico/Investigador
Agroquímicos Álvarez	Alberto Salas Castuera	FP II	Auxiliar de campo
Agroquímicos Álvarez	David Carpintero Arroyo	Capacitación agrícola	Auxiliar de campo
CICYTEX	David García Alonso	Ingeniero de montes	Investigación flora
CICYTEX	Francisco Márquez García	Licenciado Ciencias Ambientales	Investigación flora
CICYTEX	María José Guerra	Ingeniera Técnica Agrícola	Investigación flora
CTAEX	Elena Ordiales Rey	Dra. Ingeniera Agrónoma	Laboratorio
CTAEX	Jesús Gil Soto	Ingeniero Agrónomo	Laboratorio
CTAEX	Rosa de la Torre	Licenciada en Químicas	Laboratorio
CTAEX	Montserrat Gómez	Licenciada en Químicas	Laboratorio
Autónomo	Francisco Ginés Polo	Ingeniero Técnico Forestal	Ríos y riberas
Agroquímicos Álvarez	M ^a Ángeles Amarilla Martínez	FPI	Auxiliar administración
Agroquímicos Álvarez	Fermín Ruano Albarrán	Auxiliar de campo	Auxiliar de campo
Agroquímicos Álvarez	Julián Álvarez Arroyo	Ldo. Derecho	Gerencia consorcio
FOTEX	José Ignacio Vegas Jiménez	Ldo. Derecho	Gerencia consorcio
Agroquímicos Álvarez	Gabriel Álvarez Arroyo	Ldo. Derecho y Economía	Gerencia consorcio
Ambienta Ingeniería	Álvaro Julián Fuentes	Ldo. Ciencias Ambientales	Gerencia consorcio

Durante el desarrollo del proyecto, se diseñó un equipo de ingeniería conceptual que trabajó durante varias semanas en la ordenación de los indicadores ambientales en bloques y en el diseño de la estructura del sistema de evaluación. Paralelamente, los equipos técnicos encargados de avanzar en las distintas áreas temáticas, trabajaron sobre el terreno en las cuencas piloto para tomar datos que se organizarían posteriormente en un sistema de archivos y en un sistema de información geográfica. Los distintos equipos recopilaron información sobre el terreno en diferentes materias tales como climatología, geología, usos del suelo, hidrología y aguas en general, forestal, fauna y flora silvestre, agricultura, actividades socio económicas, regímenes de perturbación y amenazas ambientales, por citar algunos campos.

Para probar el sistema sobre un problema medioambiental piloto concreto, se escogió el de la pérdida de fauna ictícola en las gargantas de La Vera, y así poder estudiar las posibles causas del deterioro de las poblaciones piscícolas en los cauces fluviales.

La planificación del proyecto general se diseñaba y monitorizaba en las reuniones mensuales dónde el equipo multidisciplinar exponía los trabajos realizados y se marcaban los próximos hitos.

En el campo de la ingeniería conceptual, y para la consecución de los objetivos marcados, se definió un sistema de indicadores de evaluación de la calidad ambiental, en el cual se han integrado los procesos ecológicos y los determinantes sociales y económicos, además de la percepción ciudadana. El enfoque del Sistema de Evaluación Gescuencas se ha basado, así, en dos herramientas

principales paralelas e independientes entre sí, Sistema de Evaluación de la Calidad Ambiental (SECA), y el Sistema de Evaluación de la Percepción Social (SEPS).

3.1. El sistema de evaluación de la calidad ambiental (SECA).

Este sistema de indicadores es un pentágono compuesto por cinco elementos: condición de la biota, condición del agua, regímenes de perturbación, condición geomorfológica e hidrológica y condición de los hábitats y del paisaje ecológico (Figura 3). La evaluación de estos componentes se realiza a través de algunos aspectos de su composición, estructura y función. El conjunto de estos indicadores constituiría el perfil ambiental básico de una cuenca hidrográfica, siendo la base sobre la que se consultan los resultados de la evaluación de la calidad ambiental.



Figura 3. Componentes o bloques esenciales en la evaluación de la calidad ambiental de las cuencas hidrográficas.

A partir de esta información básica, se conforman índices sintéticos que resultan de la agregación matemática de dos o más de estos indicadores. Estos índices se presentan en los dos niveles mostrados en la Tabla 2 como nivel 1 y 2, existiendo, además, un último nivel correspondiente al índice sintético de calidad ambiental general (ISCG), que aglutina la información de todos los índices de nivel 2.

Tabla 2. Bloques, categorías y temas para los que se han seleccionado o desarrollado los indicadores ambientales del proyecto Gescuencas en el Bloque Condición de la Biota.

BLOQUE	CATEGORIA	TEMA	INDICADOR (PERFIL AMBIENTAL DE LA CUENCA)
Condición de la biota	Aspectos relativos a la zoocenosis	Composición y diversidad	Diversidad de especies animales
		Grado de conservación	Estado de conservación de la zoocenosis
			Estado de especies indicadoras de calidad ambiental
		Naturalidad	Especies exóticas animales/Especies autóctonas fauna terrestre
	Aspectos relativos a la fitocenosis	Composición y diversidad	Diversidad de especies vegetales
		Grado de conservación	Estado de conservación de la fitocenosis (catalogo protegido)
			Estado de especies indicadoras de calidad ambiental. Presencia de <i>Dryopteris oreades</i> **
			Estado de especies indicadoras de calidad ambiental. Presencia de <i>Dryopteris filix-mas</i> **
			Estado de especies indicadoras de calidad ambiental. Presencia de <i>Dryopteris affinis</i> **
		Estado de especies indicadoras de calidad ambiental. Diversidad de <i>Dryopteris</i> **	
Naturalidad	Estado de desarrollo de la vegetación (respecto a la condición climática)		

La metodología de construcción y elección de ponderación de los componentes empleados en los índices sintéticos de nivel 1 y 2 se describen en función de los métodos utilizados de agregación aditiva ponderada o el producto ponderado de los componentes.

Consideramos el conjunto de n muestras que desean ser evaluadas mediante la construcción de un indicador sintético a partir de m indicadores conocidos. Por I_{ij} denotamos el indicador j -ésimo asociado a la muestra i , con $i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$ y $j \in J = \{1, \dots, m\}$. Por IS_i denotamos el indicador sintético asociado a la muestra i . Consideramos que los valores están normalizados de manera que sean comparables.

Índice sintético mediante agregación aditiva ponderada:

$$IS_i = \sum_{j \in J} \omega_j I_{ij}$$

donde ω_j denota la ponderación asignada al indicador j -ésimo.

Índice sintético mediante producto ponderado:

$$IS_i = \prod_{j \in J} I_{ij}^{\omega_j}$$

Los pesos asignados a los componentes de los índices sintéticos han sido decididos mediante consulta experta. La ponderación asignada puede ser equivalente entre todos los componentes, es decir, que ninguno posea un peso mayor que otros en el resultado de la expresión, como es el caso de la mayoría de los índices de nivel 2 y del Índice Sintético de Calidad Ambiental General (ISCG). En el caso de algunos índices, se emplearon otras expresiones para reflejar, por ejemplo, el promedio de los componentes.

Los determinantes sociales y económicos forman parte del sistema de evaluación, pero están fuera del sistema de indicadores. Para Gescuencas se decidió hacer un largo listado de variables sociales y económicas que pudieran afectar al medio, y a partir de estas se preparó una selección de determinantes sociales y económicos que simplificaran a la vez que permitían dar una idea representativa de la influencia que el estado actual de la población podía tener en la cuenca de estudio. Aunque estos determinantes pueden cambiar en función del espacio, pero también de la época en que se ejecute la evaluación, y están en constante dinamismo y evolución, para el sistema diseñado se ha tenido en cuenta los siguientes conductores o determinantes: densidad de población, evolución de la población absoluta, pirámide de población, población según lugar de nacimiento, crecimiento natural o vegetativo, tasa de dependencia, nivel de estudios de la población, cuota de mercado, encuesta de población activa, paro registrado, accesibilidad absoluta y relativa, distribución de las empresas según sectores.

Para ordenar e integrar los indicadores de la calidad ambiental, con múltiples relaciones con los determinantes sociales y económicos, a través, por ejemplo, de los procesos ecológicos, el SECA se apoya en dos herramientas que contribuyen a una mejora en el análisis de la información, un modelo hidrológico, que para Gescuencas fue el SWAT, y un Sistema de Información Geográfica. El modelo SWAT permite simular una amplia serie de procesos físicos a partir de diferentes escalas espaciales, desde la cuenca hidrológica hasta la unidad de respuesta hidrológica. Para ello, SWAT divide la cuenca principal en sub-cuencas (Figura 4), lo cual puede ofrecer ciertas ventajas cuando la superficie está dominada por tipos y usos de suelo lo bastante diferenciados entre sí como para que tengan un funcionamiento hidrológico distinto.

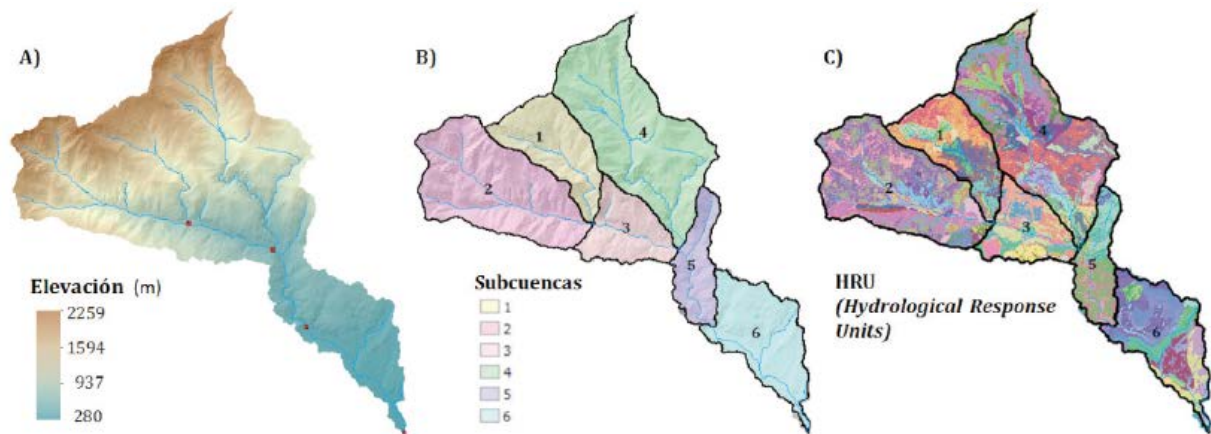


Figura 4. Cuenca hidrológica principal (A), dividida en sub-cuencas (B), y en Unidades de Respuesta Hidrológica o HRU (C).

Por otro lado se hace imprescindible el uso de los sistemas de información geográfica, que serán la base de representación gráfica de la información georreferenciada a la hora de presentar los resultados ordenados en cuencas hidrológicas, y así facilitar la visualización de estos para los clientes que encarguen la aplicación del sistema (Figura 5).

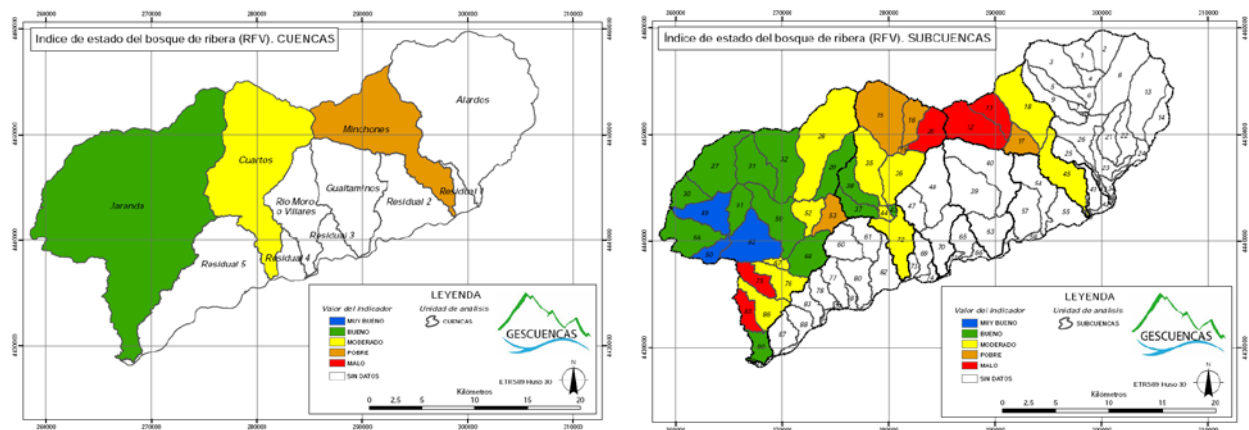


Figura 5. Distribución espacial, presentada por cuencas y por subcuencas, del índice del estado de los bosques de ribera.

3.2. El sistema de evaluación de la percepción social (SEPS).

El Sistema de Evaluación Gescuencas pretende abordar el asunto de la percepción social e integrarlo en el esquema de apoyo a la decisión de una manera sencilla pero bien definida. Para ello se parte del sistema de indicadores pentagonal y los determinantes sociales y económicos definidos en el sistema de evaluación de la calidad ambiental, y paralelamente se desarrolla un cuestionario basado en preguntas cerradas por un lado, que hacen referencia a los indicadores y determinantes ya descritos. Una segunda parte del cuestionario se enfoca a un cuestionario abierto, en el que se plantean preguntas de interés para el territorio que pretende evaluarse, y para los problemas ambientales concretos que pretendan resolverse.

La idea es que la evaluación desarrollada en el sistema de indicadores con mediciones técnicas y científicas se enfrente a la percepción que la sociedad del territorio afectada tiene sobre esos indicadores y determinantes sociales y económicos en la zona de estudio.

Con los resultados pueden obtenerse notas medias por respuesta o por bloque temático (Figura 6), que nos den una primera impresión clara de lo que la sociedad piensa de los problemas ambientales de la cuenca, incluso de las causas y de posibles soluciones.

GRUPO	N	PREGUNTAS SOBRE INDICADORES A ESCALA DE CUENCA HIDROLÓGICA	CALIDAD AMBIENTAL											
			NS / NC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
CONDICIÓN DE LA BIOTA BIODIVERSIDAD VEGETACIÓN Y FLORA AUTÓCTONA	19	Si 1 es muy degradados y 10 es muy bien conservados												
		¿Qué grado de conservación considera que tienen los bosques de su entorno?												
	20	Si 1 es inexistente y 10 es elevada biodiversidad de flora silvestre												
		¿Qué grado de biodiversidad considera que tiene el entorno natural de su comarca?												
	21	Si 1 es muy grave y 10 es inexistente												
		¿en qué grado considera que existe un problema de especies de vegetación "invasoras" que puedan afectar al equilibrio natural?												
	22	Si 1 es grave problema de extinción de flora amenazada y 10 es no hay problemas												
		¿cuál considera que es la posible gravedad del peligro de extinción de especies de flora en la comarca?												

Figura 6. Encuestas relativas a la percepción de la calidad ambiental por parte de la sociedad relativa al bloque condición de la biota.

El Sistema de Evaluación Gescuencas (Figura 8) está formado por lo tanto por dos sistemas independientes entre sí, el SECA y el SEPS, que al ser aplicados sobre el territorio ofrecen unos resultados que son enfrentados, de tal forma que los tomadores de decisiones disponen de un mayor nivel de información ordenada, lo que puede reducir la complejidad e incrementar la eficiencia a la hora de plantear las medidas a adoptar para resolver los problemas planteados.

4. Resultados

La metodología anterior se ha aplicado en las cuencas hidrográficas de las Gargantas de La Vera, una zona situada en un territorio rural muy característico y complejo. Inicialmente se han delimitado espacialmente las cuencas y su red de drenaje a partir de un modelo digital de elevación. Por debajo de esta escala o unidad, se han delimitado las subcuencas, que se entienden como las zonas vertientes de cada tramo independiente de cauce. Por debajo del nivel de subcuencas se han realizado más divisiones. Esta zonificación última se ha realizado utilizando la Unidad de Respuesta Hidrológica (HRU, del inglés *Hydrologic Response Unit*) que realiza la clasificación de la respuesta hidrológica en base a la tipología de suelos, de uso de los anteriores y de pendiente (Neitsch et al., 2009). La definición de esta unidad mínima de trabajo viene dada por ser la unidad espacial mínima utilizada por uno de los elementos que componen el sistema: el modelo hidrológico SWAT utilizado.

Para llevar a cabo la aplicación al territorio del Sistema de Evaluación Gescuencas (Figura 7) en estas cuencas piloto, se ha profundizado, utilizando el Sistema de Evaluación de la calidad Ambiental o SECA, en una serie de variables físicas, biológicas y antrópicas, que tienen su origen en las características del medio natural (litología, topografía, clima, variables ecológicas...) o en la propia gestión del territorio (población, tradición, usos del suelo, variables sociales, variables económicas...),

y que afectan a determinados aspectos ambientales del territorio (fauna en general e ictiofauna en particular, vegetación, incendios forestales, erosión del suelo, calidad de las aguas fluviales...). En la tabla 2, por ejemplo, se describen los indicadores ambientales seleccionados para el bloque condición de la biota. Todos los elementos que conforman el sistema de indicadores para las cuencas de drenaje se han recogido en una base de datos georreferenciada y se han mapeado en un sistema de información geográfica.

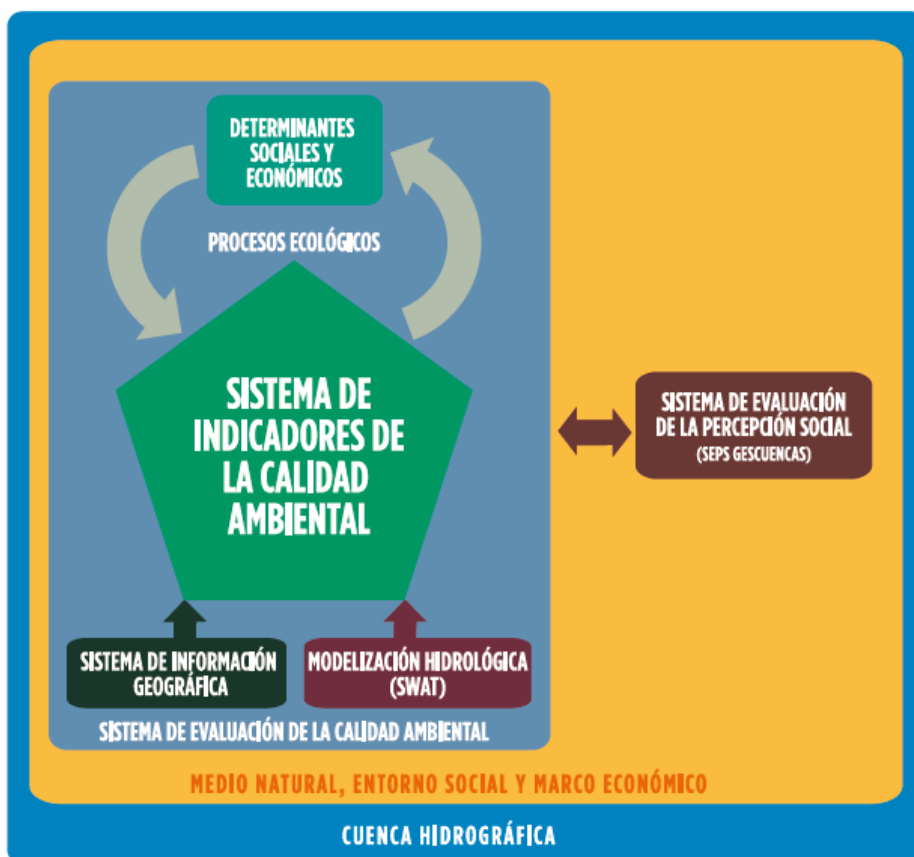


Figura 7. Esquema de funcionamiento del Sistema de Evaluación Gescuencas.

Para el estudio de caso y la aplicación del Sistema de Evaluación Gescuencas, se ha elaborado un completo trabajo de cada uno de los 50 indicadores de la calidad ambiental de la cuenca. La información recogida de cada indicador se recoge en una ficha (Figura 8), que describe los siguientes datos: *Bloque. Categoría. Tema. Indicador. Metodología y trabajos realizados. Resultados. Mapas temáticos de la calidad ambiental para ese indicador de las cuencas y de las subcuencas. Observaciones y conclusiones.*

Con los determinantes socioeconómicos se presenta igualmente una ficha que describe el estado de cada uno de estos indicadores en las cuencas objeto de estudio.

De esta forma, el trabajo final cuenta con un completo fichero, que ordena la información de la situación de los distintos indicadores ambientales y determinantes socioeconómicos en las distintas subcuencas, aportando información, fácilmente reconocible, del estado ambiental de las mismas respecto de cada uno de los indicadores.

Por otro lado, y una vez descrito el medio natural, el marco económico y el entorno social para cada cuenca hidrológica, además de analizados los indicadores de calidad ambiental sobre las cuencas piloto, se han comparado las mediciones reales y su organización espacial con lo que la sociedad percibe a través del Sistema de Evaluación de la Percepción Social o SEPS.



ESTUDIO DE CASO APLICACIÓN DE GESCUCENAS® A LAS GARGANTAS DE LA VERA																													
BLOQUE	Calidad Biológica																												
CATEGORÍA	Aspectos relativos a la calidad del agua																												
TEMA	Calidad ecológica del agua																												
INDICADOR	RCE/EQR																												
Metodología y trabajos realizados																													
Los trabajos ejecutados para la obtención de índice son los mismos que los realizados para el ÍNDICE IBMWP, por lo que remitimos a dicha ficha para ampliación de información.																													
Para el cálculo del índice EQR se realiza el cociente entre el valor observado y el valor de referencia:																													
$RCE = \frac{\text{Valor observado}}{\text{Valor de referencia}}$																													
Este indicador consiste en cuantificar mediante el denominado "cociente de calidad ecológica" (EQR, Ecological Quality Ratio), la desviación de la calidad de un determinado tramo fluvial de la "red de control" con respecto a las condiciones ecológicas de la "red de referencia". Toma valores entre 0 y 1. Posteriormente, se elaboró un mapa de valoración del índice EQR, a nivel de las unidades de cuencas y subcuencas, que se han desarrollado en el proyecto GESCUCENAS, mediante un programa de SIG libre.																													
Resultados																													
Para la elaboración del plano a nivel de cuencas mediante el programa SIG, se crearon dos capas: la primera que incluía la nube de puntos de muestreos de aguas, con el valor del índice EQR, para cada uno de ellos; y la segunda, una capa con las diferentes cuencas del área de estudio. Posteriormente, con ambas capas, mediante la herramienta SPATIAL JOIN, se creó una nueva capa, en la cual la capa Cuencas hereda los atributos de la nube de puntos. En aquellos polígonos en los cuales hay más de un punto de muestreo, se realiza la media y almacena ese valor en el campo EQR.																													
Una vez, obtenidos los resultados se han clasificado las diferentes cuencas como:																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>GARGANTA</th> <th>ESTADO ECOLÓGICO (EQR)</th> <th>GARGANTA</th> <th>ESTADO ECOLÓGICO (EQR)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>JARANDA</td> <td>BUENO</td> <td>RESIDUAL 1</td> <td>Sin datos</td> </tr> <tr> <td>CUARTOS</td> <td>BUENO</td> <td>RESIDUAL 2</td> <td>MODERADO</td> </tr> <tr> <td>RÍO MORO</td> <td>MODERADO</td> <td>RESIDUAL 3</td> <td>Sin datos</td> </tr> <tr> <td>GUALTAMINOS</td> <td>DEFICIENTE</td> <td>RESIDUAL 4</td> <td>Sin datos</td> </tr> <tr> <td>MINCHONES</td> <td>MODERADO</td> <td>RESIDUAL 5</td> <td>Sin datos</td> </tr> <tr> <td>ALARDOS</td> <td>BUENO</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	GARGANTA	ESTADO ECOLÓGICO (EQR)	GARGANTA	ESTADO ECOLÓGICO (EQR)	JARANDA	BUENO	RESIDUAL 1	Sin datos	CUARTOS	BUENO	RESIDUAL 2	MODERADO	RÍO MORO	MODERADO	RESIDUAL 3	Sin datos	GUALTAMINOS	DEFICIENTE	RESIDUAL 4	Sin datos	MINCHONES	MODERADO	RESIDUAL 5	Sin datos	ALARDOS	BUENO			
GARGANTA	ESTADO ECOLÓGICO (EQR)	GARGANTA	ESTADO ECOLÓGICO (EQR)																										
JARANDA	BUENO	RESIDUAL 1	Sin datos																										
CUARTOS	BUENO	RESIDUAL 2	MODERADO																										
RÍO MORO	MODERADO	RESIDUAL 3	Sin datos																										
GUALTAMINOS	DEFICIENTE	RESIDUAL 4	Sin datos																										
MINCHONES	MODERADO	RESIDUAL 5	Sin datos																										
ALARDOS	BUENO																												
Tabla 0: Resultados según su estado ecológico (EQR)																													
En cuanto a los resultados obtenidos a nivel de subcuencas, indicar que se han clasificado en 91 subcuencas, de las cuales 6 de ellas tienen un estado ecológico MUY BUENO, 3 estado ecológico BUENO, 10 se consideran como MODERADO y 3 como DEFICIENTES.																													

SISTEMA DE EVALUACIÓN PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS. APLICACIÓN A LAS CUENCAS DEL MARGEN DERECHO DEL RÍO TIETAR EN LA COMARCAS DE LA VERA (CÁDIZ).



Mapas temáticos

Observaciones y conclusiones:
Tanto a nivel de cuenca, como de subcuencas, indicar que al realizarse la valoración de un ratio, se obtienen el mismo estado ecológico en todos ellas.

Para mayor información consultar:
Anejos del presente proyecto

SISTEMA DE EVALUACIÓN PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS. APLICACIÓN A LAS CUENCAS DEL MARGEN DERECHO DEL RÍO TIETAR EN LA COMARCAS DE LA VERA (CÁDIZ).

Figura 8. Ejemplo de ficha de indicador, calidad ecológica del agua, del Sistema de Evaluación Gescucenas.

La aplicación a las cuencas piloto ha integrado también el estudio de un problema ambiental concreto. Para las Gargantas de la Vera se decidió profundizar en el conocimiento de la calidad de las aguas, y se hizo una investigación biológica en las gargantas, con el fin de integrar el estado de las poblaciones de ictiofauna y macroinvertebrados de los ecosistemas fluviales, y cruzar la información con los resultados de la aplicación del Sistema de Evaluación Gescucenas.

En cuanto a los resultados obtenidos, la aplicación del Sistema Gescucenas ayuda a determinar que varios problemas ambientales afectan a las gargantas de La Vera estudiadas, tanto en los estudios de indicadores como al enfrentarlos, para la Garganta de Cuartos, con la percepción ciudadana. Como problemas ambientales, la carencia de agua en verano, el descenso de las precipitaciones de lluvia y nieve, y la afección a los caudales que, unido a la contaminación agrícola aguas abajo y a la existencia de barreras infranqueables, ocasionan la pérdida de fauna ictícola. Pero también existen problemas socio-económicos ligados a estas cuencas, como son la falta de empleo estable y de calidad, o la ausencia de diversificación de los sectores de producción.

Por el contrario, varias fortalezas se observan en el territorio. La buena calidad general ambiental de la cuenca detectada en el Sistema de Evaluación de la Percepción Social y en el Índice de Calidad General de las Cuencas, el paisaje y la integración rural en el mismo, la buena aceptación por parte de la población de los servicios públicos, o la agricultura en constante desarrollo, por citar algunas.

5. Discusión

Se ha desarrollado un sistema de evaluación para la gestión de los recursos naturales en cuencas hidrológicas, denominado Gescuencas, que posteriormente se ha aplicado con éxito en unas cuencas piloto de La Vera, en la provincia de Cáceres.

Se determina así, que el objetivo principal del proyecto, que era desarrollar una investigación enfocada en crear un sistema de evaluación medioambiental que constituyera una técnica útil para la gestión integral de los recursos naturales a escala de cuencas hidrográficas, se ha cumplido con el desarrollo conceptual del Sistema de Evaluación Gescuencas.

En cuanto a los objetivos concretos, estos también se han cumplido tras el desarrollo de los trabajos:

- Gescuencas se apoya en indicadores que determinan la calidad e integridad ambiental de las cuencas hidrográficas. Estos indicadores ponen de manifiesto los aspectos y áreas problemáticos en términos ambientales de dichas cuencas, y son útiles en la detección de riesgos actuales o futuros.
- Gescuencas aporta los componentes fundamentales de un Sistema de Apoyo a la Decisión (SAD) en aspectos ambientales de cuencas hidrográficas, se apoya en un modelo hidrológico (SWAT), y se materializa en elementos informáticos aplicables sobre sistemas de información geográfica.
- Gescuencas enfrenta los resultados de los estudios sobre el terreno relativos a las variables sociales, económicas y del medio natural con la percepción que los ciudadanos tienen de los problemas ambientales, y también en este aspecto se obtienen conclusiones que ayudan a la toma de decisiones.

Por lo tanto, Gescuencas es una herramienta útil para los políticos y administradores de los fondos públicos a la hora de tomar decisiones en un sentido o en otro, aportando la información necesaria para mejorar la conservación de unos indicadores ambientales en las cuencas en las que se aplica el sistema, detectar y adelantarse a futuros problemas medioambientales o incluso sociales y económicos en el territorio rural, o mejorar las políticas de comunicación y educación ambiental, por citar algunos ejemplos.

6. Conclusiones

La cuenca hidrológica ofrece un sólido criterio ambiental pues es el agua y el ciclo hidrológico el que ordena y define los límites del territorio. Los procesos agrícolas que aguas abajo pueden afectar a los peces aguas arriba, un incendio forestal en cabecera que puede ocasionar meses después una crecida agravada por pérdida de suelo que se transporta aguas abajo, la construcción de una presa puede suponer una barrera infranqueable para la fauna ictícola, pero aportar agua a una comarca sedienta, etc.

El Sistema de Evaluación Gescuencas, desarrollado por este equipo científico técnico, puede considerarse una herramienta de trabajo para la toma de decisiones que aporte orden e integración

de una serie de conocimientos sobre múltiples variables ambientales que estaban presentes en diferentes ámbitos de trabajo, pero que por la complejidad de las mismas y por las diferentes competencias en la gestión del territorio y el medio natural, es difícil tenerlas en cuenta de manera conjunta a la hora de tomar decisiones.

Este sistema de evaluación a escala de cuencas hidrológicas sostiene una forma coherente, podría haber otras, en que se ordenan los diferentes campos de trabajo en materia de gestión de los recursos naturales. A la hora de tomar decisiones sobre determinados problemas, seguir un orden y tener una visión de conjunto puede ahorrar mucho trabajo y dinero, y puede mejorar el proceso de planificación a la vez que se evita cometer errores por falta de perspectiva sobre materias que están ahí y que pueden no tenerse en cuenta.

El Sistema de Evaluación Gescuencas bien utilizado con los recursos necesarios puede ser verdaderamente útil, sobre todo antes de emprender grandes inversiones económicas que podrían fracasar por no haber sido bien planificadas, o por haber obviado elementos que en un campo multidisciplinar y transversal como son el medio ambiente y la ordenación del territorio pueden resultar imprescindibles para la población.

En resumen, el objetivo último, que era aplicar en el ámbito de las gargantas de La Vera una nueva herramienta de gestión, que fuera eficaz como ayuda en la resolución de problemas complejos que afectan a los recursos naturales, y pudiera ser exportable al estudio de otras cuencas hidrográficas con problemas medioambientales complejos, se ha cumplido, obteniéndose resultados que podrán ser útiles en el futuro para la gestión del territorio, del medio natural, y para la mejora de la calidad de vida de las personas que habitan en él.

Es importante, sin embargo, reflejar que en la investigación desarrollada la complejidad por la diversidad de las variables contempladas ha sido un hándicap. Precisamente esa complejidad es un reto que Gescuencas deberá superar en el futuro. Una vez ordenados los indicadores y los determinantes, e integrados los mismos en un sistema apoyado en herramientas hidrológicas y sistemas de información geográfica, y una vez se ha desarrollado un sistema de evaluación de la percepción social basado en estos indicadores, el siguiente paso será hacer más sencillo y económico este sistema para que pueda ser aplicado en distintas cuencas con distintos problemas (erosión, incendios forestales, degradación de hábitat y ecosistemas, inundaciones, sequías, despoblación, pérdida de biodiversidad, etc.).

La integración y agregación de los indicadores automatizada y dinámica, la mejora de los procesos de obtención de causas a las que se deben los problemas ambientales, o la mejora de la participación en las encuestas del sistema de evaluación de la percepción social son sin duda apuestas futuras de continuidad del Sistema Gescuencas.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen el asesoramiento y el aporte de información cualificada para la realización del proyecto del siguiente personal científico técnico:

- Fernando Magdaleno Mas. Doctor Ingeniero de Montes. Consejero Técnico en el CEDEX (Mº Fomento - Mº Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).
- Germán Domínguez Martín. Alcalde de Losar de la Vera.
- Carmen Hita Marín. Ingeniera de Montes. Ambienta Ingeniería.
- María del Carmen Martínez Bautista. Ingeniera Agrónoma. Ambienta Ingeniería.

- José Luis Galindo Rubio. Arquitecto Oficina de Gestión Urbanística, Vivienda, Arquitectura y Territorio de la Mancomunidad Intermunicipal de La Vera.
- José Antonio Díaz Caballero. Licenciado en Ciencias Biológicas. Proyecto LIFE + Desmania. Servicio de Conservación y Áreas Protegidas de la Dirección General de Medio Ambiente de Extremadura.
- César Esteban Simón-Talero. Ingeniero de Montes. Asistencia técnica para la Sección de Pesca, Acuicultura y Coordinación.
- Eduardo Tello Cendal. Ingeniero Técnico Forestal. Técnico del Servicio de Recursos Cinegéticos en GPEX, S.A.U. Medio Ambiente.

8. Bibliografía.

NEITSCH, S.L., ARNOLD, J.G., KINIRY, J.R., WILLIAMS, J.R., 2011. Soil and Water Assessment Tool. Theoretical Documentation. Version 2009. Agricultural Research Service - Texas A&M University, USA.

Nota: El presente texto es un resumen del proyecto ejecutado *Sistema de evaluación para la gestión integral de los recursos naturales en cuencas hidrográficas. Aplicación a las cuencas del margen derecho del río Tíetar, en la Comarca de La Vera (Cáceres, España)*, del cual existe una publicación que incluye toda la bibliografía consultada y utilizada que ha servido de apoyo a la ejecución del Proyecto Gescuencas.