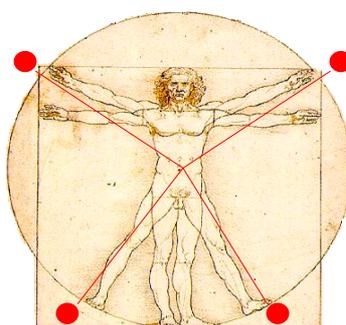


TECNOLOGÍ@ y *DESARROLLO*

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN III. AÑO 2005
SEPARATA



PROPUESTA DE UN SISTEMA DE INDICADORES MEDIOAMBIENTALES
PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL Y SEGUIMIENTO DE
ACTIVIDADES DE REGENERACIÓN HÍDRICA MEDIANTE RECARGA
ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS
(PRIMERA PARTE: ESTADO-PRESIÓN)

A. Enrique Fernández Escalante, Manuel García Rodríguez, Fermín
Villarroya Gil y Javier Montero Fernández



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: A. Enrique Fernández Escalante, Manuel García Rodríguez, Fermín Villarroya Gil y Javier Montero Fernández.

Noviembre, 2005.

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEOC05_004.pdf

© De la edición: *Revista Tecnol@y desarrollo*.

Escuela Politécnica Superior.

Universidad Alfonso X el Sabio.

28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).

ISSN: 1696-8085

Editor: Julio Merino García, tecnologia@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

Tecnol@y desarrollo. ISSN 1696-8085. Vol.III. 2005.

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE INDICADORES
MEDIOAMBIENTALES PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTO
AMBIENTAL Y SEGUIMIENTO DE ACTIVIDADES DE
REGENERACIÓN HÍDRICA MEDIANTE RECARGA ARTIFICIAL
DE ACUÍFEROS
(PRIMERA PARTE: ESTADO-PRESIÓN)**

A. Enrique Fernández Escalante ⁽¹⁾, Manuel García Rodríguez ⁽²⁾, Fermín Villarroya Gil ⁽³⁾ y Javier Montero Fernández ⁽⁴⁾

(1) Dr. CC. Geológicas. TRAGSATEC. Julian Camarillo 6ºB. 28037 Madrid. Tf: 91 3226106. Fax: 91 3226005. Email: efe@tragsatec.es

(2) Dr. CC. Geológicas. Departamento de Tecnología Industrial. Escuela Politécnica Superior. Universidad Alfonso X el Sabio. Avenida de la Universidad nº 1. Villanueva de la Cañada C.P. 28691. Madrid. Tf. 918109780. E-mail: manugaro@uax.es

(3) Dr. CC. Geológicas. Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. CP 28040. Tf. 913944847. E-mail: ferminv@geo.ucm.es

(4) Informático Técnico y programador. Freelance. Polvoranca 72 esc 1º 7ºb Alcorcón Tf. 696797630. E-mail: administrador@zharack.com

RESUMEN: En este artículo se describen detalladamente los indicadores propuestos en el sistema de indicadores medioambientales parametrizado, diseñado para la evaluación de impacto ambiental (EIA), seguimiento y control aplicable a dispositivos de recarga artificial de acuíferos, y muy especialmente, a humedales sometidos a procesos de regeneración hídrica empleando dicha técnica. El sistema se basa en la elaboración de un polígono de evaluación multicriterio o variograma, cuyo diseño y ejemplos de aplicación se presentaban en el artículo de referencia TECEOC05_003 (Escalante et al, 2005d). Además del sustrato teórico, se ha programado una aplicación informática designada EI-MAR (Environmental Impacts- Management of Aquifer Recharge), con la finalidad de agilizar y unificar criterios de evaluación. Sus instrucciones de uso se especifican en el apartado 4 del artículo.

PALABRAS CLAVE: Recarga artificial de acuíferos, indicadores medioambientales, evaluación de impacto ambiental (EIA), sistema PER, indicadores de presión, estado, respuesta, regeneración hídrica, EI-MAR.

ABSTRACT: In this article are described in detail the indicators proposed for an own environmental indicators system, designed for the environmental impact assesment (EIA), and monitoring applicable to facilities of artificial recharge of aquifers, and, very specially, to wetlands under processes of hydric regeneration by means of this technique. The system is based on the design of a multicriteria evaluation

polygon or “variogram”, whose design and examples of application appear in the article TECEOC5_003 (Escalante et al, 2005d). Apart from the theoretical framework, there has been programmed a computer application called EI-MAR (Environmental Impacts- Management of Aquifer Recharge), with the purpose of unifying evaluation criteria for all the users. Their instructions of use are specified in the section 4 of the article.

KEY-WORDS: Artificial recharge of aquifers, enviromental indicators, environmental impact assesment, PER system, pressure, state and response indicators, hydric regeneration, EI-MAR..

SUMARIO: 1. Introducción, 2. Metodología, 3. Diseño de indicadores medioambientales, 4. La aplicación EI-MAR, 5. Conclusiones, 6. Agradecimientos, 7. Bibliografía.

1. Introducción

Este artículo se presenta con objeto de aportar el sustrato teórico y las normas para la correcta aplicación del sistema de evaluación de impacto ambiental (EIA) propuesto en el artículo previo de título “Seguimiento y control de la restauración de humedales mediante técnicas de recarga artificial de acuíferos a partir del diseño de un sistema de indicadores medioambientales” (ref. TECEOC05_003) de la revista [Tecnología@ y desarrollo](#) (Fdez. Escalante et al, 2005d). En dicho artículo se proponía un sistema para la evaluación y seguimiento de humedales, basado en indicadores medioambientales relacionados por medio de un variograma o polígono de evaluación multicriterio. Incluía también algunos ejemplos de aplicación del método propuesto en humedales susceptibles de regeneración hídrica mediante operaciones de recarga artificial de acuíferos (Fdez. Escalante y García, 2004), en concreto las lagunas de las Eras y de la Iglesia (González Bernáldez, 1989; Fdez. Escalante, 2005), del Complejo Coca-Olmedo (Rey Benayas, 1991), en Villagonzalo de Coca (Segovia).

El presente artículo describe con detalle los indicadores de estado y presión propuestos, así como su metodología de cálculo y aplicación. Además, se incluyen las especificaciones e instrucciones de uso del programa de ordenador “EI-MAR” (Environmental Impacts - Management of Aquifer Recharge). El programa tiene por objeto automatizar el sistema de indicadores medioambientales propuesto, unificar criterios y facilitar a los técnicos el proceso de EIA de acuerdo con criterios básicos de ingeniería ambiental. Esta aplicación se adjunta al artículo a modo de anexo en español e inglés.

Los indicadores que se proponen y definen en este artículo son una readaptación del sistema presentado en la tesis del primer autor (Fdez. Escalante, 2005).

La descripción de los indicadores de respuesta será objeto de otro artículo complementario.

2. Metodología

Metodológicamente, el diseño de indicadores medioambientales empleado se apoya en el sistema PER (Friends & Raport, 1979), sistema que diferencia indicadores de presión, estado y respuesta. Este modelo ha sido el seguido en numerosos sistemas de indicadores en la actualidad, al estar basado en un principio de causalidad, en el que las actividades humanas ejercen una presión sobre el medio ambiente, presión que puede provocar cambios en su estado, y finalmente la sociedad adopta respuestas para hacer frente a las consecuencias negativas de las presiones ejercidas (CMA-JA, 2002; Junta de Andalucía, 2002).

Las disciplinas que estudian el sustrato de los distintos indicadores corresponden a un amplio abanico, como se verá más adelante, si bien los más desarrollados se incluyen en las áreas de la hidrogeología y del medio ambiente.

El diseño de indicadores o la adopción de algunos ya estandarizados se ha realizado tras el chequeo de matrices específicas de tipo Leopold encontradas en distintas fuentes bibliográficas y listados de control (p.e. en Gómez Orea, 1999; Fdez. Escalante y Cordero, 2002; Fdez. Escalante y García, 2004 a y d). De este modo se han chequeado la mayoría (práctica totalidad) de los impactos que actúan sobre el medio, y realizado una evaluación preliminar con objeto de atribuirles un valor numérico en consonancia con la magnitud y escala de cada impacto, considerando además los acumulativos y sinérgicos.

Los indicadores ambientales han sido diseñados conforme al principio de causalidad (causa-efecto) entre los impactos identificados en distintas fases y la previsión razonada de las consecuencias previsibles.

La metodología de cálculo propuesta se apoya en cuatro etapas, algunas comunes con los Estudios de Impacto Ambiental (EsIA) de corte clásico, que son:

1) Tipificar las formas de cada atributo. Por ejemplo, el momento de máxima intensidad del impacto, su recuperabilidad, etc. (Larry & Canter, 1998; EOI, 2000).

2) Atribuir un código numérico a cada forma de impacto (máximo a la más desfavorable y mínimo a la más favorable).

3) Determinar la magnitud para cada impacto.

4) Estandarizar un valor de magnitud entre base a su escala e intensidad, acumulación y sinergismos para los ámbitos de intervención y actuación, que podrían corresponder a unidades homogéneas de impacto ambiental en el territorio, bien sean unidades ambientales, unidades hidroambientales (Fdez. Escalante, 2005), etc.

El empleo de esta fórmula permite calcular el valor de cada impacto, y estudiar su evolución mediante el seguimiento de los indicadores medioambientales del sistema.

La relación de indicadores empleados, así como las características de cada uno de ellos a tener en cuenta a la hora de aplicar el método, se presentaba en un artículo previo (Fdez. Escalante et al, 2005d).

2.1 Sustrato teórico basal del diseño del sistema de indicadores medioambientales

Algunos de los factores tenidos en cuenta al diseñar el sistema de EIA, basados en gran medida en el RD 6/2001 de Evaluación de Impacto Ambiental deben ser, por lo menos, los siguientes:

- Afecciones sobre el funcionamiento hidrogeológico inicial.
- Sobre los recursos hídricos.
- Sobre la calidad del agua.
- Sobre elementos ambientales relacionados con el acuífero (fauna, flora, vegetación (incluyendo cultivos y suelo).
- Sobre el aire.
- Sobre los elementos socioeconómicos (generación de puestos de trabajo, etc.).
- Sobre los elementos paisajísticos.
- Sobre los elementos culturales, especialmente los que componen el Patrimonio Histórico Español.
- Sobre la población humana, en forme de ruidos, vibraciones, olores, emisiones gaseosas, etc.
- Sobre otras actividades o aprovechamientos del entorno.

De acuerdo con los antecedentes consultados y el análisis de la legislación, actualmente no hay establecida una metodología específica de implantación de indicadores, ni de cómo se deben sopesar sus variaciones en la aplicación de los distintos indicadores. No obstante, parece quedar consolidado de manera explícita que debe adoptarse un sistema rangos-pesos, atribuyendo un peso determinado según cada caso concreto.

Los indicadores medioambientales diseñados permitirán vigilar la evolución del acuífero, el seguimiento de la recarga artificial, y cómo está influyendo en los ecosistemas asociados: humedales, pinares, etc.

El sistema adoptado para su diseño ha sido el “Presión-Estado-Respuesta” (PER), dada su alta causalidad y sensibilidad ante escasas variaciones (si el diseño de los indicadores es correcto), y su escasa idoneidad para dar cabida a la subjetividad. Otro criterio es la confusión en las directrices de aplicación del sistema DFPSIR (Driving Forces – Pressures – State – Impacts – Responses) (OCDE, AEMA) (en Juntadeandalucía.es, 2002).

Cada indicador es dinámico por definición, al marcar la evolución de una tendencia en el tiempo. Su diseño permite minimizar la alta carga de subjetividad de algunos indicadores en aquellos aspectos más dependientes de la percepción y formación de los técnicos que los diseñen, ya que los sistemas de indicadores persiguen la objetividad.

Los indicadores funcionarán como sensores y quedarán integrados como alternativas en el diseño de un Programa de Vigilancia y Control Ambiental de un sistema de AR. Esta labor queda culminada con el diseño de un variograma dinámico, pluridisciplinar, interactivo e informatizado, de manera que puede ser generado automáticamente a partir de ciertos parámetros. Éste deberá reflejar aspectos cuantitativos, cualitativos, evolutivos, ecológicos, etc., así como la evolución de las aguas, sea cual sea su procedencia.

Algunos de los indicadores de presión y de estado son de aceptación internacional, con ligeras modificaciones para su aplicación al ámbito específico del acuífero de la Cubeta de Santiuste, zona donde ha sido aplicado el sistema aquí presentado, y en su dispositivo de AR. Por ejemplo, el indicador de intrusión marina para medir la salinización de las aguas será reemplazado por un indicador de intrusión salina continental, de acuerdo con la definición planteada en el LBAS (MOPTMA-MINER, 1994) y en el LBAE (MIMAM, 2000b).

Otros indicadores “de diseño” adoptados por su idoneidad son: Acuíferos contaminados por nitratos, ríos y humedales con buena calidad según los índices bióticos, índice de calidad general (ICG) y caracterización de la vulnerabilidad (índice CRIPTAS). El resto de los indicadores son inéditos.

Los indicadores propuestos son “intencionales”. Su aplicación y calibración deberá realizarse tras comenzar las operaciones de AR y estudiar la respuesta del medio.

La validación del sistema de indicadores diseñado y presentado más adelante requiere un seguimiento plurianual que, hasta la fecha, ninguna empresa o administración ha realizado en la zona de estudio. Valga este artículo como punto de partida para su seguimiento, dado que en verano de 2005 han comenzado las primeras obras para la regeneración hídrica del sector de la Laguna de la Iglesia, en Villagonzalo de Coca.

En el apartado 3 se presentan las características más importantes de cada indicador.

3. Diseño de indicadores medioambientales

En este apartado son descritos los indicadores de estado y presión propuestos (acorde al sistema PER), postergando para un futuro artículo los “indicadores de respuesta”, que se irán definiendo a medida que se puedan llevar a cabo observaciones en la respuesta del medio ante las actuaciones que muy recientemente se han comenzado a aplicar en algunos humedales.

3.1. Indicadores de estado

Describen la calidad del medio y de los recursos naturales asociados a procesos de explotación socioeconómica. Reflejan los cambios provocados en el medio, y se pueden evaluar por métodos analíticos. Permiten cuantificar la “respuesta de la actuación” (MIMAM, 1997), pueden advertir de situaciones anómalas, y constituyen una herramienta para la toma de decisiones, tales como poner en marcha un programa de emergencia, construir nuevas instalaciones, cambiar dispositivos de ubicación, etc.

El inventario de humedales “hidrodependientes” (es decir, dependientes de las aguas subterráneas) degradados cobra especialmente sentido en esta etapa, al ser empleados como indicadores medioambientales con vistas a una futura restauración. Los bodones y pequeñas charcas salinas, además de funcionar como piezómetros e indicadores medioambientales de estado, podrán recobrar el valor como ecosistema que tenía, previo

a la implantación del regadío y de otros agentes y procesos impactantes. Su regeneración hídrica con aguas y dispositivos que permitan mantener su calidad originaria posibilitaría evitar la tentación de generar lagunas artificiales de agua dulce.

En principio, se proponen unos indicadores de estado que se apoyan en la caracterización hidrogeológica de las áreas de intervención y de actuación, cuyo planteamiento se presenta en el artículo complementario (Fdez. Escalante, 2005, Fdez. Escalante et al, 2005d). En la tabla 1 son listados los indicadores seleccionados o diseñados, que serán descritos con posterioridad, así como los rangos - pesos asignados.

INDICADOR	RANGO	PESO	FACTOR CORRECTOR (SI APLICA) K = Permeabilidad	TOTAL
1.- ACUÍFEROS CONTAMINADOS POR NITRATOS (A1 MIMAM):		25/50/75/100		
2.- RÍOS Y HUMEDALES CON BUENA CALIDAD SEGÚN LOS ÍNDICES BIÓTICOS (ÍNDICE BMWP) (INDICADOR A3 DEL MIMAM):	P/A	0/100		
3.- ÍNDICE DE CALIDAD GENERAL (ÍNDICE ICG) (A4 MIMAM):	E/B/I/A/I	0-100		0-100
4.- CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ANTE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA (CRIPTAS)	0-201	25/50/75/100		
5.- ACUÍFEROS SALINIZADOS POR INTRUSIÓN SALINA CONTINENTAL (A2 MIMAM MODIFICADO):	0->500	25/50/75/100		
6.- SALINIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	0->500	25/50/75/100		
7.- EVALUACIÓN DEL VALOR DE LA TURBIDEZ Y TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS (TSD) EN EL AGUA DE RECARGA.	0->30	25/50/75/100		
8.- NIVEL DEL AGUA EN LOS PIEZÓMETROS DE OBSERVACIÓN	>4-<2	25/50/75/100	x 2 si $10 < K < 100$ x 3 si $101 < K$	
9.- DIFERENCIA DE COTA MEDIA ENTRE EL NIVEL FREÁTICO Y EL NIVEL DEL AGUA DE RECARGA EN CADA UHA.	>4-<2	25/50/75/100	x 2 si $10 < K < 100$ x 3 si $100 < K < 1000$	
10.- PORCENTAJE DE FINOS EN EL CAZ. (INDICADOR INICIAL DE LA COLMATACIÓN)	0->20	25/50/75/100		
TOTAL				

Tabla 1. Indicadores medioambientales de estado

3.1.1. Descripción de los indicadores de estado

En este apartado se describe cada uno de los indicadores presentados en la tabla 1. Los cinco primeros están basados en la bibliografía, y fueron definidos anteriormente por MIMAM (1996) e ITGE (1998). Así, el Ministerio de Medio Ambiente publicó en 1996 la

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEOC05_004.pdf

monografía “Indicadores ambientales. Una propuesta para España”. En ellas se sientan las bases del Sistema Español de Indicadores Ambientales. La propuesta recoge la idea de medio ambiente como preocupación, adoptando el marco causal de la OCDE. Los indicadores se organizan por problemas identificados dentro de las distintas áreas temáticas abordadas: Atmósfera, Residuos, Medio Urbano, etc. Resulta en total un conjunto de 79 indicadores dentro del modelo causal que pretende sintetizar la situación del medio ambiente en España (MIMAM, 1996).

E-1). Acuíferos contaminados por nitratos (A1 MIMAM)

Se obtiene de la toma de muestras para la determinación de concentraciones de nitratos (mg/l), en los puntos de la Red de Control de la Hidroquímica (RCH). Es un indicador de la contaminación difusa por efecto de fertilizantes agrícolas y muestra la tendencia de su evolución.

El porcentaje de acuífero contaminado por nitratos se calcula como el número de puntos con un contenido en nitratos superior a 50 mg/l, dividido por el número de puntos controlados y por la superficie de la zona de estudio (Ec. 1).

$$\text{Superficie contaminada (\%)} = \left(\frac{\text{n.º puntos con más de 50 mg/l de nitratos}}{\text{n.º de puntos controlados}} \right)$$

(Ec. 1)

El indicador crece a medida que lo hace la red de control, por lo que es válido para una red fija durante un período de tiempo significativo (MIMAM, 2001).

Se propone el siguiente sistema rangos-pesos, con dos determinaciones anuales, una en invierno y otra en verano. Se deben emplear valores enteros en la evaluación, aplicando el redondeo si es preciso:

RANGOS	PESOS
0-100	10
101-150	50
151-200	75
> 201	100

Cuadro 2. Propuesta del sistema de rangos – pesos para el indicador E-1.

Todas las estimaciones realizadas con estos indicadores deben ser interpretadas con precaución, debido a que no todos los resultados provendrán directamente de los regadíos, y debido a la dificultad de definir las zonas vulnerables, cuya contaminación sea achacable a otras prácticas de uso del suelo.



Figura 1. Bodón de la Hiruela en Santiuste de San Juan Bautista. El análisis de sus aguas indica una concentración en nitratos superior a 100 ppm en agosto de 2003, en plena época de riegos.

E-2). Ríos y humedales con buena calidad según los índices bióticos (índice BMWP') (indicador A3 del MIMAM)

Se basa en la identificación de invertebrados con un valor adjudicado entre 1 y 10 (1 para familias que viven en aguas muy contaminadas y 10 para aquellas que no toleran la contaminación). La suma del valor para cada familia en un punto de muestreo da su grado de contaminación. Este indicador, en el caso concreto de la zona de estudio, se aplicaría tanto en la zona de derivación del caudal de recarga del río Voltoya como en los humedales que se pretende regenerar, midiendo así la evolución de su valor como ecosistema y biodiversidad.

De acuerdo con el indicador A3 del MIMAM (1997) se distinguen los siguientes baremos de calidad:

- Mayor de 120: Aguas muy limpias.
- De 101 a 120: Aguas no contaminadas de modo sensible.

- De 61 a 100: Efectos evidentes de la contaminación.
- De 36 a 60. Aguas contaminadas.
- De 16 a 35: Aguas muy contaminadas.
- Menor de 15: aguas fuertemente contaminadas.

En este caso, los rangos mayores corresponden a menor impacto, por lo que se aplica un factor corrector al establecer el peso, multiplicando el rango por (-1) y sumando 120. De este modo, a mayor impacto, mayor peso.

El indicador BMWP', específicamente diseñado para la Península Ibérica, se basa en la presencia o ausencia de una familia, género o especie determinada. Si bien en la zona de estudio se están probando algunas especies (listadas al presentar el indicador P-9) todavía no se ha adoptado ninguna definitiva. Corresponde al técnico evaluador dicha selección para cada caso específico.

Se propone un sistema rangos-pesos (cuadro 1), con dos medidas al año, una en verano y otra en invierno:

RANGOS	PESOS
PRESENCIA	0
AUSENCIA	100

Cuadro 1. Propuesta del sistema de rangos – pesos para el indicador E-2.

E-3). Índice de Calidad General (índice ICG) (A4 MIMAM)

Indicador de calidad de las aguas definido por el porcentaje de estaciones con un ICG medio anual superior a 75 (calidad buena). Este índice se obtiene matemáticamente a partir de una fórmula de agregación que integra 23 parámetros de calidad de las aguas [9 básicos (X) y 14 complementarios (Y)]. Los básicos son necesarios en todos los casos. Los complementarios sólo se usan para aquellas estaciones o períodos en los que se analizan. A partir de formulaciones matemáticas que valoran, a través de ecuaciones lineales, la influencia de cada uno de estos parámetros en el total del índice, se deduce un valor final, comprendido necesariamente entre 0 y 100.

Se pueden establecer cinco categorías:

- 100-86: Excelente (E)
- 85-76: Buena (B)

- 75-66: Intermedia (I)
- 65-51: Admisible (A)
- 50-0: Inadmisible (i)

Se considera positivo el incremento. El indicador no es muy sensible a la mejora de la calidad por depuración (DBO y DQO).

La carga de datos es con números enteros. Los pesos, al igual que en el caso anterior, resultan de multiplicar el rango por (-1) y añadir el valor entero máximo (100). Se proponen dos medidas anuales, una en verano y otra en invierno.



Figuras 2 y 3. Ejemplo de Estación del Sistema automático de Información de la Calidad de las Aguas (SAICA) A-70, río Eresma en Villeguillo.

E-4). Caracterización de la vulnerabilidad ante la contaminación difusa (CRIPTAS)

El indicador CRIPTAS (ITGE, 1998) inicialmente fue desarrollado para estudiar la vulnerabilidad ante pesticidas y plaguicidas, y, por ende, puede ser empleado para agroquímicos que generen contaminación difusa.

El cálculo se realiza en base a siete parámetros, que son:

- C.- Conductividad hidráulica del acuífero.
- R.- Recarga neta.
- I.- Impacto en la zona no saturada, en función de la litología y nivel del agua.
- P.- Profundidad del nivel del agua.
- T.- Topografía - pendiente.
- A.- Roca del acuífero.

S.- Tipo de suelo.

Para la aplicación del método propuesto en la Cubeta de Santiuste se ha propuesto el siguiente sistema de rangos-pesos (cuadro 3), cuyo cálculo debe ser realizado sobre el análisis de un único muestreo anual en la época estival.

RANGOS (CRIPTAS)	PESOS
0-100	25
101-150	50
151-200	75
> 201	100

Cuadro 3. Propuesta del sistema de rangos – pesos para el indicador E-4.

A modo de ejemplo, seguidamente se describe el sistema de cálculo de cada parámetro aplicado a la Cubeta de Santiuste:

- 1). Conductividad hidráulica (C). Para la zona nuestra se le aplica un valor de 2, que corresponde con el intervalo 4-12, medido en m/día.
- 2). Recarga neta (R). Para la zona nuestra se le aplica un valor de 1, que corresponde con el intervalo 0-50, medido en mm.
- 3). Impacto de la zona no saturada (I). Para la zona nuestra se le aplica un valor de 6, que corresponde con el rango de arenas y gravas con limo y arcillas.
- 4). Profundidad del nivel de agua (P). Para la zona de estudio se le aplica un valor de 6, que corresponde con un valor medio entre los intervalos 5-10 y 10-15.
- 5). Topografía (T). Para la zona se le aplica un valor de 10, que corresponde con el intervalo 0-2 % de pendiente.
- 6). Roca del acuífero (A). Para la zona de estudio se le aplica un valor de 8, que corresponde con el rango de arenas y gravas.
- 7). Tipo de suelo (S). Para la zona nuestra se le aplica un valor de 9, que corresponde con el rango de arenas.

Todos estos factores son variables dependientes, por tanto, interactúan entre sí. La ecuación (Ec. 2) para determinar este índice es:

$$\text{Contaminación CRIPTAS potencial} = a_C P_C + a_R P_R + a_I P_I + a_P P_P + a_T P_T + a_A P_A + a_S P_S$$

(Ec. 2)

donde :

- ai = valores dentro de cada rango.
- Pi = pesos relativos de cada factor.
- subíndices = factores CRIPTAS.

Cuanto mayor sea el índice CRIPTAS mayor será la vulnerabilidad de las aguas subterráneas. Los valores determinados en la zona han sido 161 (1999) y 151 (2004).

Este resultado debe ser considerado global para la zona de estudio. No se ha considerado procedente sectorizar la zona en subzonas con distinta vulnerabilidad a la contaminación por plaguicidas, como consecuencia de la gran homogeneidad de los materiales y escasa variabilidad de los factores. No obstante, es de prever que en el sector norte el índice será ligeramente superior por la mayor aplicación de agroquímicos a los cultivos.

E-5). Acuíferos salinizados por intrusión salina continental (A2 MIMAM modificado)

El indicador inicialmente fue diseñado como indicador de la intrusión marina (A2 del MIMAM), posteriormente para controlar la intrusión salina continental (A2 modificado) (RD 329/2002, PNR). En este caso se pretende controlar la salinización por disolución de sales del acuífero, reciclaje de aguas de riego, infiltración en zonas de pinar con incremento de la salinidad, efecto del vertido de aguas residuales, etc.

El indicador debe ser evaluado en el acuífero, no en las estructuras de recarga artificial. Se define como la superficie del acuífero con un contenido de cloruros superior a 250 mg/l respecto a la superficie total. La extensión del área salinizada se calcula mediante la expresión:

$$\text{Superficie salinizada (\%)} = \left(\frac{\text{n.º puntos con más de 250 mg/l de cloruros}}{\text{n.º de puntos controlados}} \right) \times \text{superficie}$$

(Ec. 3)

Se propone el sistema rangos-pesos (cuadro 4), con al menos, dos determinaciones anuales, una en invierno y otra en verano:

RANGOS	PESOS
0-100	25
101-200	50
201-500	75
> 500	100

Cuadro 4. Propuesta del sistema de rangos – pesos para el indicador E-5.

E-6). Salinización de las aguas subterráneas

El indicador es similar al anterior, ahora bien, el origen de la salinidad no procede de intrusión salina, sino de salinización de las aguas subterráneas. El método de determinación y cadencia es idéntico. En acuíferos con ausencia de facies salinas, el valor numérico adoptado debe ser similar en ambos.

E-7). Evaluación del valor de la turbidez y total de sólidos disueltos (TSD) en el agua de recarga artificial

El grado de turbidez en el agua de recarga artificial superficial incide directamente en la tasa de infiltración y grado de colmatación. Para ello es preciso controlar la calidad real del agua tras ser tratada por los dispositivos de pretratamiento, tales como plazoletas de decantación y filtros (Fdez. Escalante y López, 2002). La propuesta conlleva establecer estaciones de medida distanciadas como mucho dos kilómetros, en las que se realizará la determinación directa del TSD, bien de forma automatizada o a cargo de un técnico (Fdez. Escalante, 2005).

Se propone realizar medidas cada quince días durante el ciclo de AR, con el siguiente sistema rangos-pesos:

RANGOS	PESOS
<10 ppm	25
≥10 y <20 ppm	50
≥20 y <30 ppm	75
≥ 30 ppm	100

Cuadro 5. Propuesta del sistema de rangos – pesos para el indicador E-7.

Es preceptivo contar con un análisis de la calidad del agua de recarga artificial realizado en el dispositivo de entrada en el periodo preoperacional, es decir, antes del inicio de cada ciclo de AR.

E-8). Nivel del agua en los piezómetros de observación

El indicador se aplica sobre los puntos de la red de control de la piezometría y/o de la red específica establecida para el control de la recarga artificial (RCP), controlando las variaciones del nivel freático en el acuífero y en las inmediaciones del dispositivo de AR (indicador de estado y de respuesta respectivamente). Este indicador quedará definido como la diferencia entre el nivel freático del punto de agua y de la cota del agua en el fondo del dispositivo de recarga artificial superficial (determinado a partir de las equipotenciales establecidas previas al inicio del ciclo de AR para seleccionar los puntos de control).

Diferencias menores de dos metros (profundidad de alerta en acuíferos de este tipo) (Christen et al, 2001) o de 1,5 (Fdez. Escalante, 2005) implican un cierto riesgo de inundación ante algún fenómeno meteorológico adverso. Esta diferencia de niveles (rangos) podría equipararse a un grado de riesgo (pesos). En zonas de permeabilidad alta se aplicará un factor de ponderación (cuadro 6).

En la zona piloto de estudio, el rango de oscilación de la capa freática para el primer periodo de AR alcanzó un valor inferior a 8 metros, lo que permitió definir el intervalo superior de los rangos establecidos. El hecho de producirse inundaciones conlleva un impacto severo de escasa escala pero gran intensidad, de ahí la técnica de evaluar con un peso muy alto (1.000) las situaciones en que el agua sobrepasa la profundidad de alerta afectando a los cultivos, con objeto de acelerar las acciones correctoras. El ejemplo propuesto sería el siguiente para una unidad hidroambiental (UHA) de permeabilidad media (K) y considerando una profundidad de alerta de 1,5 m.

RANGOS	PESOS (K media)	Factor ponderación
< 1,5 m	1.000	
1,5 a 2 m en la vertical	25	x 2 si $10 < K < 100$ x 3 si $K \geq 100$
> 2 y ≤ 3	50	
> 3 y ≤ 4	75	
>4 m en la vertical	100	

Cuadro 6. Propuesta del sistema de rangos – pesos para el indicador E-8.

El factor de ponderación sería el doble si la permeabilidad es alta, y el triple si es muy alta (de acuerdo con el baremo de Villanueva e Iglesias, 1984). El número de medidas propuestas sería quincenal durante el período de AR y trimestral el resto del año.

E-9). Diferencia de cota media entre el nivel freático y el nivel del agua de AR en cada Unidad Hidroambiental (UHA)

El indicador se aplicará en cada una de las unidades hidroambientales (UHAs) definidas, considerando la distancia media de la superficie freática con respecto al agua de AR es parecido al anterior, pero aplica a superficies en lugar de datos puntuales, considerando el mismo sistema rangos-pesos, un factor de ponderación similar y la misma cadencia. En caso de haber una única UHA, el valor del indicador es similar para ambos.

En este caso la profundidad de alerta será distinta de 1,5 m, dado que el agua de la recarga artificial se encuentra bajo la cota media del terreno. Por tanto, hay que calcular la diferencia entre la cota del nivel freático y el fondo del dispositivo de recarga artificial.

E-10). Porcentaje de finos en el fondo del caz de recarga artificial. Indicador inicial de la colmatación

A mayor cantidad de arcilla y carbono orgánico total (TOC) en el medio receptor es previsible una menor tasa de infiltración. La determinación inicial en el medio receptor condicionará la capacidad de acogida del medio. En principio se propone adoptar los valores de los resultados de las granulometrías medias en muestras tomadas en puntos elegidos al azar dentro de cada unidad de gestión a efectos de AR. Este indicador introduce un indicador de respuesta: alteraciones en los parámetros hidrogeológicos por efecto de la colmatación.

La profundidad de la muestra, de acuerdo con la representatividad de ciertas medidas empíricas, debe ser tomada a 15 cm, al igual que en el indicador de respuesta del fondo del dispositivo de AR (indicador P-10).

El número de medidas en el tiempo sería mensual durante el período de recarga, realizando una granulometría adicional en el período estival durante las labores de mantenimiento y limpieza del dispositivo.

RANGOS	PESOS
0-5%	25
6-10%	50
11-20%	75
>20%	100

Cuadro 7. Propuesta del sistema de rangos – pesos para el indicador E-10.

Con estos indicadores es posible hacer un seguimiento de las principales afecciones previsibles, como son los cambios en los flujos subterráneos, variación de recursos hídricos del acuífero, variación de caudales en humedales, zonas de drenaje y captaciones, cambios en las relaciones aguas subterráneas - aguas superficiales, incremento de la evaporación en las masas de agua superficial de los bodones, alteraciones en la calidad hidroquímica, variaciones en la concentración de nutrientes y de procesos contaminantes, etc.

3.1.2. Cálculo del sistema rangos-pesos para indicadores de estado

Una vez conocidos los resultados de los distintos indicadores, se lleva a cabo el cálculo del índice para el período de AR considerado. Todos aquellos con más de un cálculo anual son promediados, de modo que el valor final será la media aritmética de las determinaciones.

La tabla de cálculo queda integrada en la aplicación EI-MAR (apartado 4). En la aplicación pueden ser excluidos los indicadores no contemplados por el técnico evaluador, o bien todos aquellos indicadores no considerados o excluidos del proceso de cálculo, que deben recibir un *input* constante y mayor que cero, dado que ignorar el impacto no conlleva que no exista.

Un ejemplo de su aplicación en dos humedales del Complejo, seleccionados por ser los que contaban con mayor probabilidad de regeneración, la Laguna de la Iglesia y de las Eras, en Villagonzalo de Coca, fue presentado en la separata de referencia TECEOC_003 (Fdez. Escalante et al, 2005d). De hecho, en verano de 2005 han comenzado las obras de restauración hídrica del primero.

3.2. Indicadores de presión

Los indicadores de presión son diseñados para la medición de las repercusiones de la actividad, por tanto, se miden sobre la actuación. De este modo es posible conocer si las

relaciones causales estímulo-respuesta derivadas de las acciones se ajustan a las previsiones, o bien si constituyen peligrosidad o riesgo (EPA, 1997).

Genéricamente, y según se presentó en el artículo previo (Fdez. Escalante et al, 2005d), esta tipología de indicadores medioambientales refleja las presiones directas e indirectas que las actividades humanas ejercen sobre el medio, consecuentemente, su evaluación se lleva a cabo según la importancia y la intensidad de los impactos ambientales generados potencialmente por las actividades humanas. Se cuantifican más en el área de intervención que en la de actuación, y su fin último es evaluar la magnitud del impacto ambiental, y contribuir al seguimiento y control de las medidas de restauración, valorar su efectividad y corregir los fallos detectados.

Se ha elegido un grupo de 10 indicadores, con el propósito de controlar las presiones directas o indirectas que pueden producir las actividades humanas (dispositivos de recarga artificial de acuíferos) sobre el medio y sobre los humedales sometidos a regeneración hídrica, así como otros elementos clave.

Algunos de los indicadores son de dudosa atribución a la categoría de presión o de estado, lo cuál no influye en el resultado final de la evaluación.

En la siguiente tabla 2 se presentan los indicadores seleccionados o diseñados, que serán descritos con posterioridad:

INDICADOR	RANGO	PESO	FACTOR CORRECTOR (SI APLICA)	TOTAL
1.- SOBREEXPLOTACIÓN DE ACUÍFEROS POR EL REGADÍO.	0-25%	0/50/75/100	X1/X2/X4/X8	
2.- BALANCE DE NUTRIENTES EN LAS AGUAS DE RECARGA. ARTIFICIAL	0->8	25/50/75/100		
3.- MODERNIZACIÓN Y MEJORA DE LOS DISPOSITIVOS.				0-100
4.- EFICACIA DEL USO DEL AGUA.				100-0
5.- EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA	< o >			
6.- PROCEDENCIA POLÍTICA DE LA ACTIVIDAD		PROPOSICIONES REALIZACIONES		
7.- CERCANÍA AL DISPOSITIVO DE AR.		T _i (Tiempo de tránsito)		
8.- RADIO DE INFLUENCIA		m (metros)		
9.- PRESENCIA DE ECOSISTEMAS HIDRODEPENDIENTES Y TERMODEPENDIENTES.		P/A		
10.- RELACIÓN DE LOS HUMEDALES CON OTROS ACUÍFEROS, MANANTIALES, HUMEDALES, LAGUNAS, ETC.		< o >		

TOTAL	
-------	--

Tabla 2. Cálculo del estado de presión a partir del sistema de rangos-pesos y un factor corrector en base a impactos acumulativos y sinergismos sobre los indicadores de presión.

Los indicadores propuestos se basan en las experiencias obtenidas en la Cubeta de Santiuste tras un ciclo de AR (año hidrológico 2002/03) y desde el inicio del segundo ciclo hasta la primavera de 2004. En este período se ha podido diseñar nuevos indicadores de presión sobre los establecidos previamente al inicio de las labores de AR, así mismo se han podido establecer los rangos de acuerdo con el comportamiento del acuífero.

El grado de conocimiento actual de la respuesta del acuífero está condicionado por la información específica disponible hasta la fecha, si bien cabe la posibilidad de que los indicadores de respuesta deban ser modificados en el futuro.

Algunos de los impactos operativos en la actualidad tenidos en cuenta a la hora de establecer el sistema de indicadores de presión son la contaminación de fuente puntual y difusa, las extracciones significativas de agua y pérdidas en los sistemas de distribución, la incidencia de la regulación en el flujo del agua (incluidos trasvases y desvíos), la identificación de las alteraciones morfológicas en los cauces fluviales y otros tipos de incidencia antropogénica significativa en el estado de las aguas superficiales, generalmente provocados por los distintos usos del suelo.

El sistema de indicadores y de rangos-pesos propuesto es inédito.

3.2.1. Descripción de los indicadores de presión

Se han tratado en dos grupos, los indicadores del P-1 al P-6, son generales y afectan de forma global a toda la zona de estudio, mientras que los P-7 al P-10 son específicos y de aplicación a labores de recuperación de humedales mediante técnicas de AR. Respecto al primer grupo se han diseñado cuatro indicadores. En relación con el último y debido a que a la fecha de redacción de este artículo están comenzando las labores de regeneración de un único humedal en la zona, todavía resulta inviable otorgar un valor a los rangos o pesos, ya que se trata de situaciones hipotéticas.

P-1). Sobreexplotación de acuíferos por el regadío

Este indicador resulta de la relación entre las extracciones y la recarga neta, de acuerdo con la definición de sobreexplotación que consta en el RDPH, RD 849/86 de 11 de abril y 606/2003 de 23 de mayo.

De acuerdo con los valores de recarga neta calculados para el año hidrológico 2002/03, de carácter especialmente húmedo, la recarga (natural y artificial) en la zona planimetrada del acuífero (42,1 km²) ascendió a 1,82 hm³/año (calculado por el balance hídrico en el suelo) (en Fdez. Escalante, 2005). Los recursos renovables se han cifrado en 0,99 hm³/año para el mismo período, corroborando que el acuífero no se encontraba sobreexplotado.

En caso de concurrir situaciones de sequía, el indicador cobrará especial importancia, sobre todo si la sequía presenta un carácter plurianual, situación para la que se ha añadido un factor de ponderación en el proceso de evaluación, que considera el producto rangos-pesos una potencia de los años de sequía concurrentes, al no ser un efecto acumulativo, sino exponencial.

El indicador ha sido estudiado para la totalidad del área de actuación, no para alguna unidad hidroambiental (UHA) determinada.

El sistema rangos-pesos propuestos es el siguiente:

RANGOS	Pesos	Factor ponderación
Recarga \geq extracciones	0	x 1 si es el primer año de sequía
Recarga = extracciones + 10 % R ₀ (1)	50	x 2 si es el segundo año
Recarga = extracciones + 10 a 25 % R ₀ (2)	75	x 4 para el tercer año seco consecutivo (exponente 2)
Recarga = extracciones + >25 % R ₀ (3)	100	x 8 (exponente 3)

- (1) Si las extracciones sobrepasan la recarga media anual en un porcentaje del 0 al 10 % de la recarga natural inicial (R₀), el peso asignado es de 50.
- (2) Si las extracciones sobrepasan la recarga media anual en un intervalo del 11 al 25 % (ambos incluidos) de la recarga, el peso asignado es de 75.
- (3) Si las extracciones sobrepasan la recarga anual en un intervalo mayor del 25 % de la recarga, el peso asignado es de 100. NOTA: La recarga debe ser calculada en m³/año.

Cuadro 8. Propuesta del sistema de rangos – pesos para el indicador P-1.

Se han establecido cuatro rangos considerando cuatro casuísticas: la recarga natural supera las extracciones, la recarga es inferior a las extracciones en menos de un 10 % de la recarga, otro caso para la situación en que la diferencia es inferior al intervalo de 10 a 25 % de la recarga, y, por último, la recarga es menor que las extracciones con una diferencia mayor del 25 %.

El número de medidas tendría cadencia anual, realizándose al término de cada año hidrológico.

El programa EI-MAR necesita el valor numérico de la recarga natural y de las extracciones en la zona de aplicación (ambas expresadas en $m^3/año$). Al cumplimentar la casilla del indicador, el programa nos dirige a una ventana inferior donde se rellenan los datos precisos, retornando al variograma principal y obteniendo la evaluación ambiental parcial para este impacto. Esta metodología es diferente de la establecida para la mayoría de los indicadores del sistema, de determinación directa.



Figura 4. Consolidación de regadíos mediante técnicas modernas en el sector septentrional de la Cubeta.

P-2). Balance de nutrientes en las aguas de recarga artificial

La concentración de nutrientes en el agua de recarga artificial ha sido adoptado como indicador cualitativo, por la importancia e incidencia directa en los procesos de colmatación de los nutrientes principales, como son el fósforo, nitrógeno, clorofila y

carbono orgánico disuelto o total (COD - TOC) (Hijnen & van der Kooij, 1992; van der Kooij et al, 1995) que se encuentran en las aguas, bien disueltos o en suspensión. Este indicador se emplea habitualmente en zonas de riego, para aguas procedentes de embalses (MIMAM, 1996).

Este indicador es previsible que aumente a lo largo de los distintos ciclos de recarga artificial, dado que la colmatación influye directamente en la abundancia de carbono orgánico total (TOC).

El indicador se presta además para el control de las estructuras de limpieza y filtrado y la efectividad del pretratamiento de las aguas de recarga artificial, ya que el pretratamiento es considerado el sistema preventivo más efectivo ante la colmatación y otros impactos que afectan directamente a los dispositivos de recarga artificial de acuíferos (Fdez. Escalante, 2005).

El estándar de calidad es de 6 mg C/l, de acuerdo con criterios hidroquímicos (explicados en Fdez. Escalante, 2005).

El parámetro puede ser controlado tanto en el dispositivo de AR como en los sondeos de riego. En principio, como indicador de presión, se considera más procedente su estudio a lo largo del sistema superficial, puesto que en los sondeos de riego sería más tipificable dentro del grupo de indicadores medioambientales de respuesta.

El cálculo del indicador se pretende realizar mediante mediciones en estaciones distantes 2 km a lo largo del dispositivo, cuya longitud en la zona de estudio es de 12 km, por lo que es previsible contar con seis puntos de control. De acuerdo con la concentración de COT en cada punto, la “longitud contaminada” será calculada mediante la fórmula:

Longitud del caz contaminada (%) = = (n.º puntos con más de 6 mg C/l / n.º de puntos controlados) x longitud
(Ec. 4)

Se propone el siguiente sistema rangos-pesos (cuadro 9), realizando una determinación mensual durante el semestre de recarga artificial en los puntos de control establecidos para la zona de estudio):

RANGOS (mg C/l)	PESOS
≤ 5	25

$> 5 \text{ y } \leq 7$	50
$> 7 \text{ y } < 8$	75
≥ 8	100

Cuadro 9. Propuesta del sistema de rangos – pesos para el indicador P-2.

P-3). Modernización y mejora de los dispositivos

Se trata de un indicador de la eficiencia de los dispositivos de AR, no tanto con respecto a sus resultados. Los parámetros a controlar quedan supeditados a la idoneidad técnica y constructiva del proyecto, independiente del grado de colmatación que alcance (que quedaría dentro de los indicadores de respuesta).

Los parámetros a controlar son los siguientes:

- Idoneidad del diseño.
- Efectividad del trazado.
- Grado de ajuste de los dispositivos empleados a los ideales para este tipo de acuíferos.
- Capacidad de pretratamiento del agua de recarga.
- Efectividad de los filtros.
- Efectividad de los dispositivos de decantación.
- Efectividad de los dispositivos de protección frente a agentes externos (avenidas, barro, etc.).
- Efectividad de los dispositivos de desoxigenación.
- Efectividad de los dispositivos anticólmatación.
- Eficiencia de los dispositivos durante los ciclos de helada, etc.

Si se evaluara del 1 al 100 cada uno de los dispositivos. El peso o “nota final” correspondería al indicador de partida para el primer ciclo de recarga artificial. Son tantos los parámetros que concurren, que se propone un sistema que estudie las variaciones del indicador tras ser asignado un valor inicial.

Su determinación debe realizarse de forma conjunta a la memoria de recarga artificial anual, al finalizar el ciclo de AR (en general, al término de la concesión de la

Confederación Hidrográfica correspondiente). Además es previsible que el listado sea incrementado tras nuevos ciclos, por tanto, el indicador inicial perdería validez. De este modo, se sugiere considerar una media aritmética de las diferentes evaluaciones de cada ciclo para los dos últimos años. El peso será el valor del rango restado a 100, de manera que para unas condiciones “perfectas” el peso resultante será cero y 100 en el extremo contrario.

Para el primer ciclo de AR, tras analizar la efectividad de los dispositivos, la atribución de acuerdo con estos criterios quedaría parcialmente apoyada en la subjetividad del técnico evaluador, que asignará unos pesos determinados a los siguientes parámetros:

PARÁMETRO	PESO 1 ^{ER} CICLO	PESO 2 ^O CICLO
Idoneidad del diseño.	40	50
Efectividad del trazado.	20	50
Grado de ajuste de los dispositivos empleados a los ideales para este tipo de acuíferos.	0	50
Capacidad de pretratamiento del agua de recarga artificial.	60	50
Efectividad de los filtros.	10	50
Efectividad de los dispositivos de decantación.	50	50
Efectividad de los dispositivos de protección frente a agentes y riesgos externos (avenidas, barro, etc.).	30	50
Efectividad de los dispositivos de desoxigenación.	30	50
Efectividad de los dispositivos anticómatación.	30	50
Eficiencia de los dispositivos durante los ciclos de helada, etc.	30	50
Evaluación final media	40	
Peso	60	

Tabla 3. Diseño de la tabla empleada para el cálculo del sistema de indicadores medioambientales de presión: modernización y mejora de dispositivos.

Todos los parámetros que no pueden ser evaluados en el dispositivo objeto de estudio deben recibir un peso cero, bien porque el dispositivo carece de estos elementos o bien por que no precisa de tal evaluación.

En los consecutivos ciclos de AR, al realizar la memoria anual de actividades, se podría aplicar el mismo criterio de cálculo del indicador, derivado de promediar sus principales constituyentes. Un incremento del indicador representa mejoras en los dispositivos,

mientras que una reducción conlleva bien el deterioro de algunos de sus componentes o bien un impacto ambiental severo inherente al incorrecto diseño de la estructura.

Cualquier modificación, ampliación o mejora debe quedar reflejada en este indicador, si bien la disponibilidad presupuestaria condiciona los distintos parámetros de forma directa.



Figura 5. Cabecera del dispositivo de recarga artificial. Diseño inicial a evaluar.

P-4). Eficacia del uso del agua

Indicador de la eficiencia de los dispositivos de AR en cuanto a su funcionamiento y efectividad. Los parámetros a controlar son básicamente tres:

- 1). Tasa de infiltración media calculada tras el ciclo de recarga artificial mediante el método de fluctuación del nivel del agua volumétrico algebraico WTF VA (Fdez. Escalante, 2005).
- 2). Indicador del porcentaje de pérdidas en las conducciones (Carrera, 1997). Valoración en base a la eficiencia de la red.

3). Indicador del porcentaje de pérdidas por evaporación. Calculada en base a la superficie de infiltración de los dispositivos que se encuentra al aire libre y en función del carácter del año hidrológico. Su cálculo se realiza mediante fórmulas de evapotranspiración convencionales.

Se trata de un indicador parecido al anterior en cuanto a funcionamiento, si bien se diferencia de éste por presentar menos dependencia del diseño inicial.

El valor del indicador resulta del cálculo del mismo y comparación con el valor inicial tras el primer ciclo de recarga artificial, período en el que las instalaciones se encuentran escasamente colmatadas y la eficiencia de la red es alta. Influye además el carácter del año hidrológico.

El cálculo para el primer ciclo de AR se presenta en la tabla 5:

PARÁMETRO	RANGO 1 ^{ER} CICLO	RANGO 2º CICLO
Efectividad de los dispositivos de desoxigenación.	100	80
Efectividad de los dispositivos anti-colmatación.	100	80
Eficiencia de los dispositivos durante los ciclos de helada, etc.	100	80
Otros	100	80
Evaluación final media	90	
Peso	10	

Tabla 5. Tabla empleada para la aplicación del indicador de presión P-4.

Su evaluación se debe llevar a cabo al final de cada ciclo de AR (como en el caso anterior), obteniendo un escalar que valore con qué grado de eficiencia están siendo utilizadas las aguas de AR.

Como criterios técnicos medioambientales ajenos a la hidrogeología, existen dos indicadores cuyo resultado condicionará de manera determinante las actuaciones en el sistema, que son:



Figura 6. Operaciones de limpieza y mantenimiento del caz de recarga artificial de la Cubeta de Santiuste. Dispositivo de “parada”.

P-5). Evaluación socioeconómica

Este indicador debe evaluar la viabilidad de las actuaciones y su prolongación en el tiempo en base a criterios presupuestarios y demanda social canalizada a través de los mecanismos legales. El funcionamiento del indicador se basa, en gran medida, en la “bondad” de los resultados agrícolas, productividad de las cosechas, evolución de los índices económicos de la comarca, etc. El índice está supeditado a la calidad de vida de la población, lo que requiere el empleo de índices económicos cuantitativos. Un posible indicador será los ingresos declarados por parte de los agricultores, si bien adolece de precisión.

El cálculo se realizará una vez al año, coincidiendo con la elaboración de la memoria del ciclo de AR. En el supuesto de no obtener criterios suficientes para evaluar el indicador, se asignará un valor común en las determinaciones consecutivas entre cero y cien.

P-6). Procedencia política de la actividad

En vista de las circunstancias políticas actuales, con cambios de gobierno, derogación de un proclamado Plan Hidrológico Nacional, basado principalmente en la utilización de aguas superficiales, las operaciones de recarga artificial (AR) quedan supeditadas a la

procedencia política, necesidades de innovación, presiones de grupos ecologistas y técnicos sensibilizados con la importancia de las actuaciones.

Un posible indicador se basaría en el número de actividades propuestas que son llevadas a cabo en el tiempo. Para el primer ciclo de AR se considera un peso igual a cero. Su cadencia es similar al indicador previo (una vez al año).



Figura 7. Expresión de grupos contrarios a las operaciones de recarga artificial argumentando razones económicas y ecológicas.

P-7). Cercanía al dispositivo de recarga artificial (medido en tiempo de tránsito)

Indicador de la distancia entre el dispositivo de AR (bien sea caz de AR o pozo de infiltración para AR inducida). Este indicador puede ser modificado por alteraciones de la permeabilidad del material de la franja que queda comprendida entre ambos (dispositivo y humedal), a medida que prosperan los procesos colmatantes. Por tanto, no debe ser entendido como distancia física, salvo en casos de vertido directo, sino como tiempo que tardan las aguas de recarga artificial en alcanzar el objetivo tras experimentar en su circuito subterráneo o subsuperficial las modificaciones cualitativas correspondientes.

El indicador sería el equivalente al “Tiempo que tarda en alcanzar el agua del dispositivo a los pozos o humedales objetivo, en función de la permeabilidad, gradiente hidráulico, etc.” Este indicador debe estar referido a una fecha determinada.

Su determinación es compleja. En principio, lo más recomendable parece ser el empleo de trazadores, o bien el seguimiento del avance del bulbo de humidificación, controlando el paso de funcionamiento en “control vertical” a “control lateral.” Otra alternativa es el cálculo darciniano tras determinar valores de permeabilidad basados en la tasa de infiltración y en el conocimiento del acuífero, bien por procedimientos clásicos o por modelización matemática. Cualquier aumento conlleva el deterioro de las condiciones de AR, indicando la necesidad de tomar medidas al respecto.

Una proposición inicial (cuadro 10), pendiente de ajustar con datos empíricos, sería establecer cuatro rangos en función del número de días precisos para la llegada al humedal elemento clave de las aguas desde el dispositivo de AR inducida:

RANGOS	PESOS
≤5	25
>5 y ≤10	50
>10 y ≤20	75
>20	100

Cuadro 10. Propuesta del sistema de rangos – pesos para el indicador P-7.

La determinación puede ser mensual durante el funcionamiento del dispositivo, que para el caso de la zona de estudio su cadencia es de 6 medidas por ciclo.

En caso de no disponer de algún resultado, bastará con cargar en EI-MAR un valor constante.

P-8). Radio de influencia

Este indicador quedará definido por la distancia medida en la horizontal entre un humedal o pozo de extracción y el dispositivo de AR, en el caso de que el nivel del agua del dispositivo influente quede por encima del nivel freático estabilizado del ganador (zona de control lateral). En este caso sí se trata de la distancia física más que de un tiempo de tránsito, siendo, por tanto, un parámetro de gestión (distancia en metros), que variará a medida que prospere el llenado del cuenco del humedal objetivo.

El indicador sirve además para la toma de decisiones relativas al caudal de bombeo en pozos incorporados al circuito de recarga inducida.

Una proposición inicial (cuadro 11), pendiente de ajustar con datos empíricos, sería:

RANGOS	PESOS
0-100:	25
101-200:	50
201-500:	75
> 500:	100

Cuadro 11. Propuesta del sistema de rangos – pesos para el indicador P-8.

La determinación sería mensual durante el funcionamiento del dispositivo, al igual que el previo (6 medidas por ciclo), siendo innecesario su cálculo en verano.

P-9). Presencia de ecosistemas hidrodependientes y termodependientes

Indicador de carácter ecológico basado en la presencia/ausencia de especies poco tolerantes a los cambios de calidad del agua y temperatura en un ecotono, así como la presencia/ausencia de elementos sensibles a la depresión de niveles freáticos (freatofitas) y su relación entre la profundidad radicular y la posición del nivel freático.

El indicador es de presencia/ausencia. Para su aplicación es preciso contar con inventarios de fauna y vegetación de los humedales objetivo, y debe ser llevada a cabo antes del inicio de las operaciones de AR.

Las especies inicialmente adoptadas para la aplicación de este indicador en la zona de estudio han sido:

- *Aerulopus littoralis*.
- *Artemisia caerulescens*.
- *Convolvulus lineatus*.
- *Frankenia lavéis*.
- *Juncus maritimus*.
- *Juncus subulanus*.
- *Limonium costae*.
- *Suaeda vera*.

Este inventario, específico para la zona de estudio, deja en manos del técnico / equipo evaluador la adopción de la/s especie/s específica/s para cada caso concreto.

En años consecutivos la presencia mantiene un peso cero y la ausencia 100.



Figura 8. El diseño del indicador P-9 requiere un inventario con especial atención a los endemismos.

P-10). Relación de los humedales con otros acuíferos, manantiales, humedales, lagunas, etc.

Se trata de un indicador cuantitativo para aplicar durante la etapa de caracterización del “entorno preoperacional”. Se basa en determinar el “grado de vinculación” entre distintos elementos del sistema (conexión hídrica por aguas superficiales y/o subterráneas a partir de un nivel de llenado determinado, etc.). El indicador funcionaría, por tanto, comprobando sus variaciones a lo largo del tiempo.

Un caso detectado durante el primer ciclo de AR ha sido la conexión hidráulica entre ciertos manantiales de la margen izquierda de los ríos Voltoya y Eresma, secos hasta la fecha, que han cobrado actividad tras las operaciones de AR. Esta vinculación puede sufrir determinadas alteraciones por efecto de la recarga artificial, con su consecuente influencia en la hidrología del sistema. El sistema de rangos-pesos adoptado (cuadro 12), basado en el

porcentaje de las variaciones relativas entre mediciones sucesivas con respecto a la determinación inicial, es:

RANGOS	PESOS
0-5%:	25
6-10%:	50
11-20%:	75
>20%:	100

Cuadro 12. Propuesta del sistema de rangos – pesos para el indicador P-10.

Por ejemplo, tras introducir los datos de dos valores numéricos, se calcula la diferencia y se toma en cuenta su valor absoluto. Si la medida 1 es 100, la 2 es 110, la diferencia es menos 10, hay que calcular el porcentaje que resulta 10 (positivo) con respecto a la medida 1 (100), que es un 10 %, por tanto, el peso correspondiente a este rango es 50.

La determinación es con una cadencia anual, al término del ciclo de AR (mayo).

El proceso de cálculo del sistema rangos-pesos para los indicadores de presión se basa en los resultados de los distintos indicadores, en general calculados al término del ciclo de AR, de modo que hay un resultado para cada período de recarga artificial considerado. Todos aquellos con más de un cálculo a lo largo del año (por ser medidos en distintas ocasiones) son promediados, de modo que el valor final será la media aritmética de las sucesivas mediciones/determinaciones.

La aplicación EI-MAR desprende un valor numérico parcial para los indicadores de presión, que tiene cierta entidad por sí mismo, independientemente de los de estado y respuesta, si bien es preceptivo considerar las tres tipologías conjuntamente, dado que hay algunos indicadores cuya atribución a un tipo determinado es dudosa, lo que influye en el resultado parcial si se incorpora a un grupo o a otro, pero no en el final, al ser un valor numérico derivado del sumatorio de todos ellos.



Figura. 9. Laguna de las Eras en julio de 2003.

4. La aplicación EI-MAR (Environmental Impacts- Management of Aquifer Recharge)

Se ha designado de este modo la aplicación informática diseñada para la elaboración del variograma, que permite agilizar y unificar criterios de evaluación. Se trata de una sencilla interfaz programada en Java accesible mediante el Internet Explorer que permite la carga de datos directa de forma amena y guiada. Aquellos indicadores de evaluación directa son cargados en las ventanas diseñadas para tal fin, mientras que para los de cálculo más complejo, el programa dirige a otra ventana donde es necesario cumplimentar los elementos precisos para cada cálculo (siempre en números enteros).

Los indicadores no considerados o excluidos del proceso pueden recibir un *input* constante o bien el valor cero, en el caso de que el técnico evaluador prescinda de determinados impactos. En cualquier caso es preciso contar con la caracterización inicial del humedal o elemento clave, para así aplicar criterios de evaluación y del sistema rangos-pesos, obteniendo como producto final el polígono de evaluación multicriterio con un valor numérico y su poligonal envolvente correspondiente.

La aplicación diseñada por los autores se encuentra en “código abierto”, permitiendo así las modificaciones precisas para su aplicación en otros contextos. El *input* data debe ser realizado en valores enteros. En el caso de indicadores con valores decimales, deben ser cargados mediante puntos (no comas). La resolución óptima del monitor es de 1.024 x 768 como mínimo.

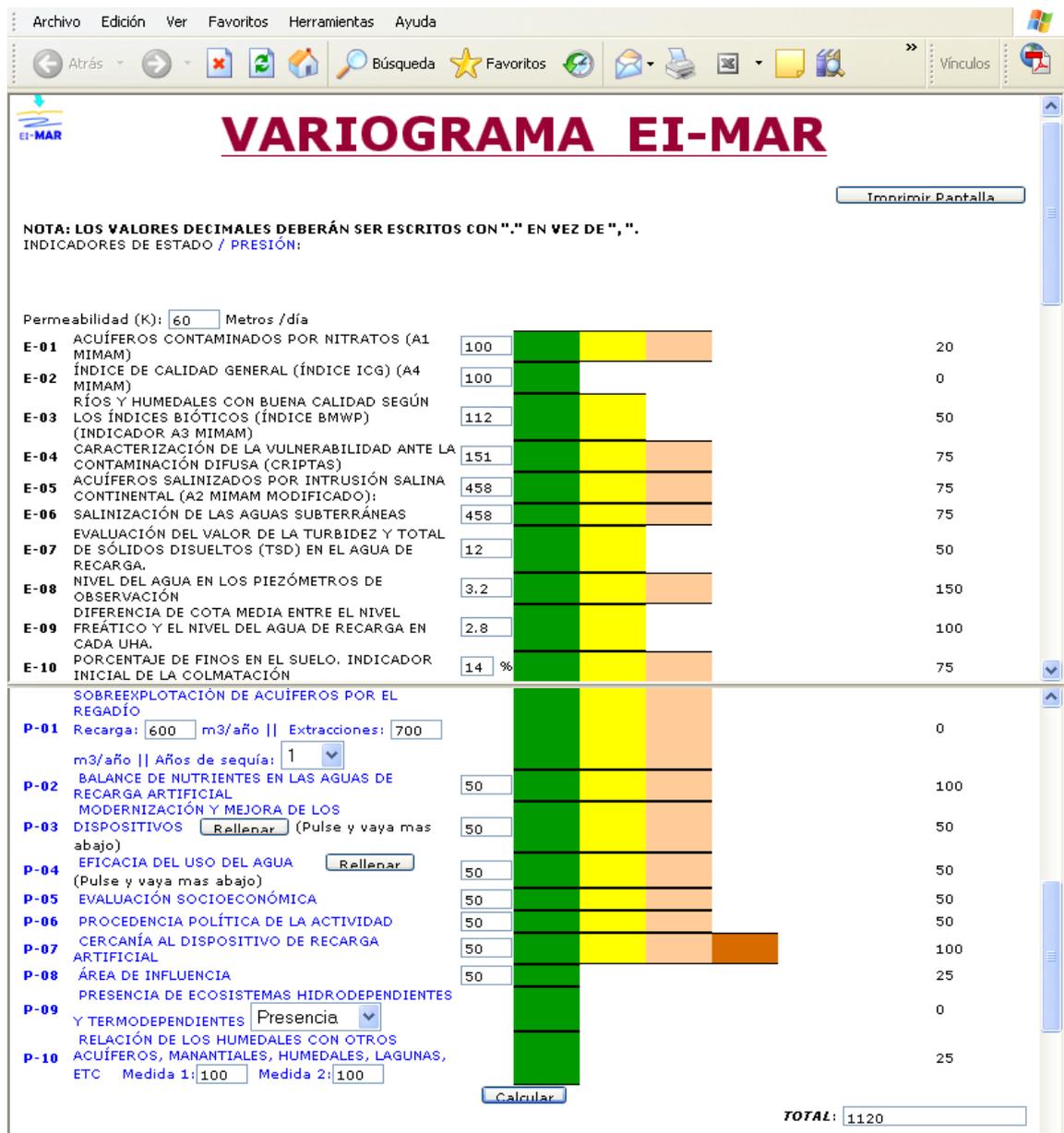
Los valores de las casilla correspondientes a los indicadores P-03 y P-04, se calcula automáticamente tras rellenar la tabla que aparece debajo del variograma al pinchar, para cada indicador, el botón “Rellenar”.

Una vez cumplimentados los datos, pulsando el botón “Calcular”, aparecerá dibujado el variograma (en colores), seguido de su valor numérico correspondiente.

La versión del programa EI-MAR que ahora se presenta no permite el almacenamiento informático de datos, a falta de un servidor de internet que almacene los resultados. Así pues, los resultados obtenidos de la aplicación deberán guardarse en soporte de papel, bien capturando la pantalla e imprimiéndola a través de algún programa de imágenes, o preferiblemente generando un fichero pdf, bien con un adobe acrobat pdf-writer o mediante aplicaciones *freeware* de generación de pdfs, como por ejemplo la disponible de manera gratuita en www.cutepdf.com, cuya generación sería mediante el botón “Imprimir Pantalla”. Un ejemplo del formato de salida con los datos de las figuras 10 y 11 se presenta en el Anejo 1.

Para realizar la descarga del programa se puede contactar con los autores del presente artículo (manugaro@uax.es) o acceder a la siguiente dirección: <http://www.uax.es/publicaciones/anexos/variograma/index.htm>

Propuesta de un sistema de indicadores medioambientales para la evaluación de impacto ambiental y seguimiento de actividades de regeneración hídrica... 37



Figuras 10 y 11. Aspecto de la aplicación EI-MAR para la elaboración automatizada del variograma. Indicadores de estado y de presión.

5. Resumen y conclusiones

El sistema de indicadores de seguimiento propuesto constituye una novedad respecto a los antecedentes consultados.

El indicador es dinámico, al marcar la evolución de una tendencia en el tiempo. Deben reflejar aspectos cuantitativos, cualitativos, evolutivos, ecológicos, etc., así como la evolución cualitativa de las aguas, sea cual sea su procedencia, en cada zona de estudio. Su seguimiento a lo largo del tiempo permitirá conocer si las actuaciones se están llevando a cabo de forma apropiada. En consecuencia funcionan como sensores y deben ser considerados una alternativa de peso en el diseño de un Programa de Vigilancia y Control Ambiental de un sistema de recarga artificial.

El sistema de indicadores medioambientales diferencia los impactos que concurren sobre las áreas de intervención y actuación (s), y el entorno pre, sin y postoperacional (t). Además considera el efecto de sinergismos e impactos acumulativos mediante factores de ponderación que se aplican al sistema de rangos-pesos. Se atribuyen colores a las categorías en todos los niveles de ponderación establecidos.

El sistema de rangos-pesos tiene carácter matricial (relaciona factores y procesos), y requiere una readaptación continua a lo largo del tiempo en base a la información específica y los cambios detectados en el medio.

El dinamismo inherente a los indicadores y su tendencia a conseguir la sostenibilidad del sistema permite minimizar su carga de subjetividad. Lo más importante son los objetivos medioambientales que se persiguen, resultando cada indicador como una herramienta para la consecución de cada objetivo, y el variograma final un indicador de consecución de los objetivos globales: vigilar la evolución del acuífero, el seguimiento de la recarga artificial, su influencia en los ecosistemas asociados y la regeneración del humedal de una manera cuantificable con criterios objetivos.

Los tres tipos de indicadores, acompañados de sus índices y parámetros específicos, deben culminar en el diseño de un sistema de indicadores calibrado y con un registro suficientemente largo para estudiar la evolución hidrogeológica y de los ecosistemas de cada ámbito de actuación. Estos podrán ser modificados a medida que varíen las condiciones de referencia, la tendencia evolutiva y el contexto de aplicación.

Los indicadores pueden quedar sintetizados en un variograma, polígono que adquiere un carácter dinámico adaptable a otros contextos o lugares de aplicación.

Cualquier incremento en el valor de los indicadores (fácilmente perceptible al representar el polígono de evaluación multicriterio) conlleva la procedencia de estudiar sus causas y tomar las medidas correctoras o compensatorias oportunas, corrigiendo el tipo de actuaciones o procesos tipificados como impactos negativos que afectan a un factor específico. Por el contrario, si el valor decrece en mediciones consecutivas, con gran probabilidad las operaciones de recarga artificial de acuíferos están contribuyendo positivamente en la regeneración hídrica planificada, y, en consecuencia, en la restauración de los enclaves degradados donde se aplica.

La atribución de algunos de los indicadores dentro de los grupos de presión o estado varía de unos autores a otros, si bien, este hecho no influye en el sistema de evaluación ambiental global propuesto.

El variograma puede ser obtenido mediante la aplicación del programa EI-MAR, que permita, a partir de la caracterización inicial del humedal o elemento clave, la aplicación de los criterios de evaluación y del sistema rangos-pesos, obteniendo como producto final el polígono de evaluación multicriterio con valor numérico y la poligonal envolvente. El programa queda disponible en Internet para su acceso general y empleo por parte del técnico interesado. Se encuentra en “código abierto”, permitiendo así las modificaciones precisas para su aplicación en otros contextos.

6. Agradecimientos

A los profesores Ramón Llamas, José M.^a Rey Benayas, Juan José Sanz Donaire, José M.^a García Asensio y José M. Murillo por sus críticas opiniones y valiosas aportaciones.

7. Bibliografía

- BOE. (2001). Ley 6/2001, de 8 de mayo, de modificación del Real Decreto legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de evaluación de impacto ambiental (BOE. n.º 111, de 9 de mayo de 2001).
- BOE. (2002). Real Decreto 329/2002, de 5 de abril, por el que se aprueba el Plan Nacional de Regadíos (PNR) (BOE. n.º 101, de 27 de abril de 2002).
- BOE. (2003). Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público.

- CARRERA, J. (1997). "Observación y medidas de la recarga (descarga) a partir de aguas superficiales y conducciones, transferencias y fugas." *La Evaluación de la Recarga a los Acuíferos en la Planificación Hidrológica*. Asoc. Intern. Hidrogeólogos-Grupo Español/Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE). Madrid: pg. 229-245.
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE DE LA JUNTA DE ANDALUCÍA (CMA.JA) (2002). "*Restauración de las reservas naturales de Laguna Honda y Laguna del Chinche. T.M. de Alcaudete (Jaén)*". Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía-Tragsatec. Informe técnico no publicado.
- CHRISTEN, E.W, PRASAD, A & KHAN, S. (2001). "*Spatial Analysis of shallow groundwater pumping for salinity control and potential conjunctive use: A case study of the Coleambally Irrigation Area*". CSIRO Land and Water PMB nº 3. Griffith NSW 2680. Technical Report 40/00, July 2001. 27 pp. Australia.
- DOCE (1999). Directiva 1999/31/ce del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos.
- DOCE (2000). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (DOCE n.º L 327, de 22 de diciembre de 2000).
- EOI (2000). "*Prontuario de gestión medioambiental*". Escuela de Organización medioambiental- SEPI. Madrid, 2000.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). (1997). *Integrated Risk Information System* [Internet]. En: <http://www.epa.gov>.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E., (2002). "*La recarga artificial en la Cubeta de Santiuste (Segovia) Estudio de las condiciones de referencia, funcionamiento hidrogeológico y aspectos medioambientales relacionados*". Trabajo de aspiración a la Diplomatura de Estudios Avanzados. Dpto de Geodinámica. Facultad de CC. Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. Trabajo no publicado.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A. E., & LÓPEZ, J. (2002). "*Hydrogeological studies preceding artificial recharge of Los Arenales aquifer, Duero basin (Spain)*". *Management of Aquifer Recharge for Sustainability*, Dillon, P.J. (ed). Proceedings of the 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Adelaide, South Australia 22-26 September 2002. Balkema Publishers-AIH, The Netherlands.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E., y CORDERO, R. (2002). "*Los espacios naturales protegidos frente a la Directiva Marco del agua. Comentarios y proposiciones acerca de los estudios de impacto ambiental en los mismos*". Jornadas técnicas sobre la gestión y el control del agua frente a la Directiva Marco. UAM.-CYII.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A. E. y GARCÍA, M. (2004a). "*Proposición de un sistema de caracterización de humedales degradados susceptibles de regeneración*".

- hídrica mediante operaciones de recarga artificial de acuíferos*". VIII Simposio de Hidrogeología. El agua. Esencia ambiental. AEH-IGME. Octubre de 2004.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A. E. y GARCÍA, M. (2004b). "*Proposición de una clasificación de humedales en base a su susceptibilidad para ser restaurados mediante operaciones de recarga artificial de acuíferos. Aplicación al sistema de humedales de Coca-Olmedo*". VIII Simposio de Hidrogeología. Zaragoza. AEH-IGME. Octubre de 2004.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A. E. (2005). "*Recarga artificial de acuíferos en cuencas fluviales. Aspectos cualitativos y medioambientales. Criterios técnicos derivados de la experiencia en la Cubeta de Santiuste (Segovia)*". Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Enero de 2005.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A. E., GARCÍA, M. y VILLARROYA, F. (2005a). "*Proposal for a system of environmental indicators to monitor and control artificial aquifers recharge operations based on case studies*". ISMAR 5 proceedings. 5th International Symposium on Management of Aquifer Recharge. Berlín. June 2005.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A. E., GARCÍA, M. y VILLARROYA, F. (2005b). "*Proposal for a new classification of wetlands susceptible to recovery by means of artificial recharges of aquifers techniques. Application to the Coca-Olmedo wetlands complex, Duero basin (Spain)*". ISMAR 5 proceedings. 5th International Symposium on management of aquifer recharge. Berlín, 2005 (12-16 june).
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E., GARCÍA, M. y VILLARROYA, F. (2005c). "*Propuesta de una clasificación de humedales para ser restaurados mediante operaciones de recarga artificial de acuíferos: Aplicación al complejo de humedales de Coca-Olmedo (Segovia)*". Revista Tecnología y Desarrollo. Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Volumen III. Año 2005.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A. E., GARCÍA, M. y VILLARROYA, F. (2005d). "*Seguimiento y control de la restauración de humedales mediante técnicas de recarga artificial de acuíferos a partir del diseño de un sistema de indicadores medioambientales*". Revista Tecnología y Desarrollo. Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Volumen III. Año 2005.
- FRIENDS, A. & RAPORT, D. (1979). "*Towards a comprehensive framework for environment statistics: stress-response approach*". Ottawa, Canadá: Statistics Canadá.
- GÓMEZ OREA, D. (1999). "*Evaluación del impacto ambiental. Un instrumento preventivo para la gestión ambiental*". Coedición Ediciones Mundi-prensa-Editorial agrícola española, S.A. Madrid, 1999.
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. (1989). "*Ecosistemas áridos y endorreicos españoles*". En: zonas áridas en España: 223-238. Real Academia de Ciencias de Madrid.

- HIJNEN, W. & VAN DER KOOIJ, D. (1992). "The effect of low concentrations of assimilable organic carbon (AOC) in water on biological clogging of sand beds". *Water Research*, 26(7): 963-972.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO Y GEOMINERO DE ESPAÑA (ITGE) (1998). "Conceptos básicos de microbiología de las aguas subterráneas". MIMAM.
- MIMAM. (1996). "Indicadores ambientales. Una propuesta para España". Secretaría General de Medio Ambiente, 1996.
- MIMAM. (2000a). "Libro Blanco del Agua en España 2000 (LBAE)." MIMAM. Madrid. 637 p.
- MIMAM (2000b). "Indicadores Ambientales. Una propuesta para España". Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Ministerio de Medio Ambiente. 2000.
- MIMAM. (2001). "Caracterización de las fuentes agrarias de contaminación de las aguas por nitratos". Dirección General de obras hidráulicas y calidad de las aguas. Subdirección general de tratamiento y control de calidad de las aguas.
- MOPTMA.-MINER (1994). "Libro Blanco de las Aguas Subterráneas (LBAS)". Serie Monografías. Secretaría General Técnica del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- LARRY, W. & CANTER, M.C. (1998). "Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Técnicas para la elaboración de estudios de impactos". Mc Graw Hill, 1998.
- REY BENAYAS, J. M. (1991). "Aguas Subterráneas y Ecología. Ecosistemas de descarga de Acuíferos en Los Arenales". ICONA.-CSIC. Colección Técnica ICONA.- MAPA.
- VAN DER KOOIJ, D., VROUWENVELDER, H.S. & VEENENDAAL, H.R. (1995). "Kinetic aspects of biofilm formation on surfaces exposed to drinking water." *Water Sci. Tech*, 32(8): 61-65.
- VILLANUEVA, M. E IGLESIAS, A. (1984). "Pozos y acuíferos. Técnicas de Evaluación Mediante Ensayos de Bombeo". Instituto Geológico y Minero de España.
- JUNTA DE ANDALUCÍA, (2002). *El SICAM, Sistema de Indicadores Climático-Ambientales de la C.M.A.* [En http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/clima_atmosfera/infgen/sicam1_2.html]

ANEJO 1. Ejemplo del formato de salida del variograma EI-MAR



VARIOGRAMA EI-MAR

Imprimir Pantalla

**NOTA: LOS VALORES DECIMALES DEBERÁN SER ESCRITOS CON "." EN VEZ DE ",", ".
INDICADORES DE ESTADO / PRESIÓN:**

Permeabilidad (K):	<input type="text" value="60"/>	Metros /día		
E-	ACUÍFEROS CONTAMINADOS POR			
01	NITRATOS (A1 MIMAM)	<input type="text" value="100"/>		20
E-	ÍNDICE DE CALIDAD GENERAL (ÍNDICE			
02	ICG) (A4 MIMAM)	<input type="text" value="100"/>		0
E-	RÍOS Y HUMEDALES CON BUENA			
03	CALIDAD SEGÚN LOS ÍNDICES BIÓTICOS (ÍNDICE BMWP) (INDICADOR A3 MIMAM)	<input type="text" value="112"/>		50
E-	CARACTERIZACIÓN DE LA			
04	VULNERABILIDAD ANTE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA (CRIPTAS)	<input type="text" value="151"/>		75
E-	ACUÍFEROS SALINIZADOS POR			
05	INTRUSIÓN SALINA CONTINENTAL (A2 MIMAM MODIFICADO):	<input type="text" value="458"/>		75
E-	SALINIZACIÓN DE LAS AGUAS			
06	SUBTERRÁNEAS	<input type="text" value="458"/>		75
E-	EVALUACIÓN DEL VALOR DE LA			
07	TURBIDEZ Y TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS (TSD) EN EL AGUA DE RECARGA.	<input type="text" value="12"/>		50
E-	NIVEL DEL AGUA EN LOS PIEZÓMETROS			
08	DE OBSERVACIÓN	<input type="text" value="3.2"/>		150
E-	DIFERENCIA DE COTA MEDIA ENTRE EL			
09	NIVEL FREÁTICO Y EL NIVEL DEL AGUA DE RECARGA EN CADA UHA.	<input type="text" value="2.8"/>		100
E-	PORCENTAJE DE FINOS EN EL SUELO.			
10	INDICADOR INICIAL DE LA COLMATACIÓN %	<input type="text" value="14"/>		75
SOBREEXPLOTACIÓN DE ACUÍFEROS POR EL REGADÍO				
P-	Recarga:	<input type="text" value="600"/>	m3/	
01	año Extracciones:	<input type="text" value="700"/>	m3/año	0
	Años de sequía:	<input type="text" value="1"/>		
P-	BALANCE DE NUTRIENTES EN LAS			
02	AGUAS DE RECARGA ARTIFICIAL	<input type="text" value="50"/>		100
	MODERNIZACIÓN Y MEJORA DE LOS			
P-	DISPOSITIVOS	<input type="text" value="Rellenar"/>	(Pulse y	50
	vaya mas abajo)			
P-	EFICACIA DEL USO DEL AGUA			
04	<input type="text" value="Rellenar"/>	<input type="text" value="50"/>	(Pulse y vaya mas abajo)	50
P-	EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA	<input type="text" value="50"/>		50
P-	PROCEDENCIA POLÍTICA DE LA	<input type="text" value="50"/>		50
06	ACTIVIDAD	<input type="text" value="50"/>		50
P-	CERCANÍA AL DISPOSITIVO DE	<input type="text" value="50"/>		100
07	RECARGA ARTIFICIAL	<input type="text" value="50"/>		100

44. Enrique Fdez. Escalante, Manuel García, Fermín Villarroya y Javier Montero

Eimar Variograma

<p>P-08 ÁREA DE INFLUENCIA</p> <p>PRESENCIA DE ECOSISTEMAS HIDRODEPENDIENTES Y</p> <p>P-09 TERMODEPENDIENTES <input type="text" value="Presencia"/></p> <p>RELACIÓN DE LOS HUMEDALES CON OTROS ACUÍFEROS, MANANTIALES, HUMEDALES, LAGUNAS, ETC <input type="text" value="Medida"/></p> <p>P-10 1: <input type="text" value="100"/> <input type="text" value="Medida"/></p> <p>2: <input type="text" value="100"/></p> <p>TOTAL: <input type="text" value="1120"/></p>	<p><input type="text" value="50"/></p> <p><input type="text" value="0"/></p> <p><input type="text" value="25"/></p> <p><input type="text" value="25"/></p>	<p>25</p> <p>0</p> <p>25</p> <p>25</p>
---	--	--

50	
50	
50	
50	
50	
50	
50	
50	
50	
50	
50	

50	
50	
50	
50	

Metodología desarrollada por Enrique Fernández Escalante.
Programación por Javier Montero Fernández