

EL USO DE INDICADORES GEOQUÍMICOS EN MODELOS DE AYUDA A LA DECISIÓN PARA UN USO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS DE AGUA

Bros. T, Olay. A, Roqueñí. N, Loredó. J

Departamento de Explotación y Prospección de Minas. Universidad de Oviedo
E.T.S. Ingenieros de Minas. Independencia 13. 33004. Oviedo. España.
E-mail: jloredo@uniovi.es

Abstract

The Decision Support Systems (DSS) are tools more and more necessary for a sustainable management of the hydric resources, allowing an improvement of the process of decision-making opposite to great complexity problems. In order to a correct operation of the models that feed each one of these systems, it is essential the selection of a group of indicators type which, in a reliable and consistent way they would be representative and reflect the current situation of the basin. Between the different indicators, a group of them, in particular those associated to the natural characteristics of the media and the consequences of the anthropogenic actions, it will be necessary the use of relevant geochemical data.

Keywords: decision support systems, geochemical indicators, water management

Resumen

Los “Sistemas de Ayuda a la Decisión” son herramientas cada vez más necesarias para una gestión sostenible de los recursos hídricos, permitiendo mejorar el proceso de toma de decisiones frente a problemas de gran complejidad. Para un correcto funcionamiento de los modelos de los que se alimenta cada uno de estos sistemas, es imprescindible seleccionar una serie de indicadores tipo que, de una forma fiable y consistente, reflejen la situación actual de la cuenca y sean representativos de la misma. De entre los diferentes indicadores, una serie de ellos, en especial aquellos asociados a las características naturales del medio y las consecuencias de las acciones antrópicas sobre él, necesitarán la utilización de datos geoquímicos relevantes.

Palabras clave: sistemas de ayuda a la decisión, indicadores geoquímicos, gestión del agua.

1. Introducción

La acción del hombre sobre el medio ambiente, a medida que aumenta el desarrollo y la actividad industrial que éste conlleva, mediante la modificación de algunas de las características naturales relacionadas con la geomorfología, las redes fluviales, los ecosistemas, las capacidades de almacenamiento superficial o subterráneo, etc., influye sobre el ciclo natural del agua, modificando las características y la calidad de los recursos hídricos.

La limitación de los recursos hídricos y el aumento de la demanda, obligan a una gestión del agua eficiente, en todos sus aspectos, y para ello es preciso disponer de los instrumentos y medios técnicos más adecuados, que favorezcan el desarrollo sostenible. No es posible poner en práctica una gestión sostenible de los recursos hídricos de una cuenca sin un enfoque global de la misma que incluya un análisis completo de los componentes del ciclo hidrológico así como del conjunto de los usos.

La Directiva Marco del Agua nace como respuesta a la necesidad de unificar las actuaciones en materia de gestión de aguas en la Unión Europea, y establecer unos objetivos ambientales homogéneos para todos los estados miembros. El objetivo último de la DMA es llegar a conseguir el buen estado de todas las masas de agua, mediante la protección y mejora del medio ambiente hídrico incluyendo tanto al agua como a los sistemas acuáticos de ella dependientes, de manera que se contribuya al uso sostenible de la misma. Esta Directiva establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, requiriendo la identificación, la valoración y el análisis coste-eficacia de las medidas para lograr, del modo más eficiente, su buen estado ecológico.

El análisis de los recursos de agua, a escala de cuenca y bajo un punto de vista integral, donde se tenga en cuenta no solo la calidad y cantidad de agua como recurso, sino el estado ecológico, tal y como se postula en la Directiva Marco del Agua, es fundamental para una adecuada gestión y planificación de los recursos de una cuenca (Clark, 2002).

Con vistas a conseguir este ansiado desarrollo sostenible del que hablamos, la información geoquímica juega un papel decisivo, puesto que puede suministrar datos fundamentales para los procesos de toma de decisiones (DPCSD, 1995; Rodenburg et al., 1995; World Bank, 1995). En la Agenda 21, el capítulo 40 (Información para la toma de decisiones) se hace una llamada al desarrollo de indicadores para el desarrollo sostenible, y una parte de estos indicadores se constituirán a partir de datos geoquímicos.

La definición e identificación de indicadores ambientales, entre los que se incluyen indicadores geoquímicos, constituye la base para la elaboración de “Modelos de Ayuda a la Decisión” que permitan optimizar el uso de los recursos hídricos de una cuenca.

2. Los Sistemas de Ayuda a la Decisión (SAD) en la gestión de recursos hídricos

Según la directiva marco del agua, las principales preocupaciones ambientales en relación a la gestión del agua son, el deterioro de su calidad, su escasez y la calidad ecológica de la misma (m.m.a, 1998). Una optimización de la gestión de los recursos hídricos necesita de una visión global de todos los usos del agua en la cuenca y de los impactos de las actividades humanas sobre el sistema hídrico (vertidos contaminantes y perturbaciones del ciclo del agua por el deterioro de ciertas unidades del hidrosistema, la desecación de pantanos, la sobreexplotación de acuíferos, etc.).

Una gestión integral de los recursos hídricos, de acuerdo con los principios de la Directiva Marco del Agua, supone la necesidad de disponer de sistemas de información adecuados, que permitan disponer de un buen conocimiento, actualizado, de la cantidad y calidad del agua, sus usos y las potenciales fuentes de contaminación, tanto puntuales como difusas, existentes en las diferentes partes de una cuenca. Esto requiere el uso de redes de monitorización que controlen todos estos parámetros, así como sistemas de información geográfica e indicadores normalizados de seguimiento, que nos permitan controlar cualquier variación de los mismos de forma continuada.

Los Sistemas de Ayuda a la Decisión (SAD) son herramientas informáticas cuyo objetivo es dar apoyo y servir de ayuda a lo largo de las diferentes etapas del proceso de toma de decisión (recopilación de datos, alternativas al problema, selección de la mejor alternativa posible y ejecución), para resolver problemas no estructurados y minimizar la situación de incertidumbre que acompaña a toda toma de decisión relativa a problemas de gran complejidad, en los que están involucrados múltiples factores. Estos sistemas tratan de interrelacionar modelos realizados sobre la cuenca con bases de datos, generando así un abanico de posibles soluciones.

En un proceso de toma de decisiones, la clase de información necesaria es variable en función del problema, pero existen una serie de consideraciones técnicas, ambientales, económicas, institucionales, culturales, etc que siempre se deben tener en cuenta. Para la definición de modelos, es fundamental contar con un conjunto de datos de muy diversa índole (geológicos, hidrológicos, climáticos, físico-químicos, biológicos, ambientales, socioeconómicos, etc.). Todos estos datos, deben cumplir una serie de criterios como su pertinencia, es decir, que representen con exactitud la situación de la zona de estudio; su calidad, que procedan de fuentes de información fiables; y por último su acceso que debe ser fácil y, a ser posible, estar disponible de forma periódica; de esta forma la existencia de series históricas permitirá el estudio de tendencias. Todas estas variables quedan definidas en los denominados “Indicadores Ambientales”.

La producción de información para la toma de decisiones implica un proceso de síntesis y agregación en diferentes etapas (Hammond et al., 1995), que permita la identificación de problemas que ayuden a una gestión integrada. El conocimiento de qué se debe monitorizar y cómo, son aspectos fundamentales en la toma de información relevante para los sistemas de Ayuda a la Decisión. Los modelos existentes para obtener, analizar y elaborar información ambiental son generalmente de dos tipos: aquellos que definen la relación entre la información ambiental y los objetivos (EPA, 1994b), y aquellos que tratan de clasificar los problemas ambientales en términos de causa – efecto (UN, 1984). Estos dos tipos de modelos son complementarios en el proceso de elaboración de información ambiental para la toma de decisiones.

Para la selección y elaboración de indicadores ambientales normalizados, que sean útiles para el proceso de toma de decisiones se necesita manejar una serie de datos representativos que, integrados en etapas sucesivas, produzcan la información necesaria que permita a las herramientas de gestión la toma de decisiones. De entre los datos a incorporar, los datos geoquímicos serán fundamentales para elaborar indicadores que controlen aspectos relacionados con la calidad de las aguas, con el fin de conseguir el uso sostenible del recurso.

3. Selección de indicadores ambientales

Los indicadores para la gestión del agua, son un elemento importante en el desarrollo de las políticas para una gestión sostenible de los recursos hídricos y deben reflejar, de forma clara y cuantitativa, la situación y los aspectos más relevantes en una cuenca. El objetivo principal de los indicadores, es proporcionar, de la manera más simple posible, información simplificada del estado actual y futuro del sistema hídrico, así como de sus tendencias. Ayudan a analizar la extensión de los procesos naturales e impactos humanos sobre el sistema en el espacio y el tiempo, mostrándose como instrumentos adecuados para facilitar la comunicación con el público (UNESCO, IAEA, IAH, UNECE, 2003). Pueden aplicarse en la investigación de problemas y tratamiento relacionados con el uso y disponibilidad de los recursos hídricos, análisis de riesgos, y control de actividades contaminantes y de sequías, entre otros.

En la bibliografía se pueden encontrar diferentes criterios para la selección y desarrollo de indicadores: OECD, 1993; EPA, 1994a; Bakkes et al., 1994. La selección de indicadores ambientales hace necesario un proceso de priorización, cuyo resultado es la definición de un marco e trabajo para estructurar las diferentes fuentes de datos, con la finalidad de permitir un mejor acceso a la información, e integrar los datos para una interpretación que tenga en cuenta las interrelaciones y efectos sinérgicos entre problemas (EPA, 1994a).

No es posible utilizar un conjunto universal de indicadores, pues sólo la aplicación de un conjunto claro de criterios facilita la selección de los indicadores más adecuados para cada caso. En general, el conjunto de indicadores debe de ser conciso y debe de poder organizarse según las necesidades de los diferentes usuarios. El utilizar muchos indicadores, con una cantidad excesiva de detalles, puede generar confusión en las prioridades, tanto para quienes los elaboran como para los usuarios finales.

Los indicadores juegan un papel muy importante no sólo en el ámbito de cuencas hidrográficas dentro de un mismo país, si no también a lo largo de límites compartidos internacionalmente (cauces transfronterizos), donde en la mayoría de las ocasiones la gestión del agua se vuelve una tarea complicada. Lo más importante en todo caso, es definir indicadores representativos, fiables y consistentes que permitan alcanzar el objetivo esperado.

La siguiente propuesta de grupos de indicadores (Tabla 1), atiende a las problemáticas aludidas en la Directiva Marco del Agua, invitando a su utilización, en la medida de que conllevaría a una política de aguas enfocada, tanto a la atención medioambiental del entorno de la cuenca, como a una buena gestión del agua en la misma. En esta propuesta quedan reflejados cuatro grandes grupos de indicadores que describen las principales problemáticas medioambientales relacionadas con la gestión del agua.

INDICADORES			
ASOCIADOS A LAS CONDICIONES NATURALES	ASOCIADOS A ACTIVIDADES INDUSTRIALES	ASOCIADOS A SUMINISTRO Y DEMANDA	SOCIOECONÓMICOS
Calidad Agua	Agricultura	Producción de vertidos por actividades humanas e industriales	Demografía
Cantidad Agua	Explotación Forestal	Consumo de agua	Sociedad
Biodiversidad	Ganadería y Pesca	Precio del Agua	Economía
Tipos y usos del Suelo	Minería	Aguas residuales	Infraestructuras
	Otras actividades industriales		

Tabla 1. Grupos de indicadores

Cada grupo está formado por una serie de “Indicadores Generales”, que a su vez, quedan definidos por los llamamos “Indicadores Locales o Específicos” que son los que caracterizan a una determinada zona de estudio, y los que proporcionan toda la información ambiental asociada a la misma. Estos últimos indicadores, por tanto, variarán en función de la zona y de la problemática particular considerada.

Dentro de los grupos correspondientes a las condiciones naturales y las actividades industriales (tabla 2), encajan los indicadores geoquímicos, ya que en ellos se hace referencia a las propiedades y variaciones de los parámetros físico-químicos del agua, así como todas aquellas actividades que producen modificaciones en la misma. Cada indicador describe un aspecto específico del sistema hídrico o proceso en él generado, basándose en la agregación de una o de varias variables.

El grupo de indicadores asociado al suministro y demanda de agua, está directamente relacionado con la utilización de la misma y sus productos resultantes.

Los indicadores socioeconómicos, si bien no están relacionados directamente con las características ambientales del sistema hídrico, sí van a influir en gran medida, en su política de gestión, distribución y aprovechamiento. Ofrecen información sobre la disponibilidad, usos, desarrollo y protección del recurso disponible en la cuenca.

Estos dos últimos grupos de indicadores, al igual que los socioeconómicos, no suelen variar demasiado en estudios de este tipo y no presentan relación directa con los parámetros geoquímicos, por lo que en este artículo no se hará mención a su descripción.

4. Indicadores Geoquímicos

Para abordar con más detalle la descripción de los Indicadores Geoquímicos, se atenderá a los dos primeros grupos mencionados en el epígrafe anterior, los cuales se han enfocado al estudio de la calidad y seguimiento de los recursos hídricos de una cuenca.

Para hablar de los Indicadores Geoquímicos, se centrará la atención en los dos primeros grupos, por tanto éstos quedarán enfocados en el estudio de la calidad y seguimiento de los recursos hídricos de una cuenca.

Todos los indicadores propuestos se basan en datos medibles y observables, que proporcionan información sobre el estado, impactos y tendencias en la calidad y la cantidad del agua.

Una vez definidos los indicadores que se van a proporcionar al Sistema de Ayuda a la Decisión, el siguiente paso es la ponderación de los mismos. La etapa de ponderación consiste en asignar un valor de importancia relativa a un indicador frente a los demás. Es también recomendable hacer esta misma valoración enfrentando los diferentes grupos de indicadores entre sí, en la medida de que esta confrontación minimiza la tipología y cantidad de datos a tratar haciendo así más sencillo el proceso de toma de decisiones. De los diversos métodos de ponderación, puede mencionarse el método de los Pares de Saaty (Saaty, 1980) como uno de los más fáciles y más utilizados. Realiza una valoración del 1 al 9, en función del peso que se considera que posee el indicador. Estos valores son asignados de forma totalmente subjetiva por el propio equipo de trabajo, quien conoce de primera mano tanto el problema como la zona de estudio.

Una vez ponderados son proporcionados al SAD, que tras analizar toda la información suministrada, presenta los resultados obtenidos y las diferentes alternativas de solución. Sea cual fuere la alternativa primada por el sistema, es necesario tener en cuenta que la fiabilidad del resultado estará ligada siempre a la calidad de los datos de partida y a la viabilidad de los modelos que los procesen. Será por tanto necesario un análisis detallado de cada una de las alternativas e imprescindible una buena interpretación de los datos finales obtenidos.

Los SAD son sistemas que proporcionan al usuario distintas alternativas de solución de problemas reales. Sin embargo, como ya se comentó anteriormente, sus resultados dependen de numerosos factores, como la calidad de los datos de partida y la correcta selección de indicadores. Por tanto, una vez que el sistema comienza a ser técnicamente funcional, es inevitable un prolongado proceso de prueba y verificación que confirme que el sistema se está adaptando eficazmente a la situación real. De no ser así, se haría necesaria una nueva calibración de los indicadores y/o una re-ponderación de los mismos, hasta que se consigan resultados que realmente representen la situación a la que se debe hacer frente.

GRUPOS DE INDICADORES	INDICADORES AMBIENTALES GENERALES	INDICADORES GEOQUÍMICOS ESPECÍFICOS
INDICADORES ASOCIADOS A LAS CONDICIONES NATURALES	Calidad del agua	<ul style="list-style-type: none"> - pH y conductividad en aguas superficiales y subterráneas. - Alcalinidad y dureza - Contenido en Aniones: nitratos, sulfatos, carbonatos y cloruros. - Presencia de cationes: Ca, Mg, Na, K, F. - Existencia de metales pesados: Hg, Cd, Zn, Pb, As. - Vulnerabilidad frente a los contaminantes - Contaminación por elementos radiactivos
	Cantidad de agua	<ul style="list-style-type: none"> - Recarga de los acuíferos - Aportes procedentes de cauces superficiales - Tasa de Precipitación - Pérdidas en sistemas de riego y áreas urbanas
	Biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> - Emisiones de SO₂ a la atmósfera. - DBO en las aguas - Turbidez del agua - Número de especies en peligro
	Tipos y Usos del suelo	<ul style="list-style-type: none"> - Calidad del suelo para el desarrollo agrícola-ganadero. - Procesos de degradación del suelo - Metales pesados presentes en los sedimentos procedentes de las actividades industriales. - Contenido en materia orgánica
INDICADORES ASOCIADOS A LAS ACTIVIDADES INDUSTRIALES DESARROLLADAS EN EL ÁREA	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> - Presencia de pesticidas - Afecciones debidas a la acumulación de restos vegetales - Exceso de nutrientes - Procesos de salinización
	Forestación	<ul style="list-style-type: none"> - Problemas generados por la deforestación
	Ganadería y Pesca	<ul style="list-style-type: none"> - Presencia en los cauces de Pb procedente de los artilugios utilizados para pescar. - Contaminación procedente del abandono de reses muertas - Exceso de purines
	Minería y otras actividades industriales	<ul style="list-style-type: none"> - Vertidos contaminantes hacia el medio - Aporte de metales pesados

Tabla 2. Indicadores geoquímicos específicos y su integración dentro de los grupos de indicadores ambientales generales..

5. Conclusiones

Las nuevas exigencias sociales y legislativas llevan a mejorar la gestión global de los recursos de agua, en la línea de la Directiva Marco Europea. En este sentido, una gestión integrada por cuenca, es la única respuesta técnica aceptable para implementar una política efectiva de lucha contra la contaminación y para un uso sostenible de los recursos hídricos de la cuenca.

La limitación de los recursos hídricos, el aumento de la demanda, y la presión de la actividad humana sobre éstos, llevan a una inutilización de parte de los recursos por no cumplir los parámetros de calidad exigidos, obligan a una gestión cada vez más eficiente, y para ello es preciso introducir en los planes de gestión instrumentos y medios técnicos adecuados, que favorezcan el desarrollo sostenible del recurso hídrico. En este sentido, los Sistemas de Ayuda a la Decisión (SAD) son herramientas cada vez más integradas en la gestión del agua de una cuenca, que permiten afrontar los problemas de forma rápida y eficaz.

Para la introducción de Sistemas de Ayuda a la Decisión que sean efectivos, los datos suministrados deben ser representativos y reflejar con exactitud las condiciones hídricas y medioambientales de la cuenca. La definición de indicadores geoquímicos específicos permite realizar un análisis y seguimiento del estado que estos parámetros presentan en las condiciones en las que se sustentan, y de los procesos que sufre el entorno, así como el impacto que provoca la actividad humana sobre el recurso hídrico. La definición de los indicadores geoquímicos específicos exige disponer de información geoquímica relevante en el área.

Referencias

- Bakkes, J.A., Van den Born, G.J., Swart, R.J., Hope, C.W., Parker, J.D.E. (1994), *An Overview of Environmental Indicators: State of the Art and Perspectives*. UNEP/EATR.04-01; Environmental Assessment Sub-Programme, UNEP, Nairobi, 72pp.
- Clark, M.J.(2002), *Dealing with uncertainty: adaptive approaches to sustainable river management. Aquatic conservation: Marine and freshwater ecosystems*, 12: 347-363.
- DPCSD. (1995), *Implementation Plan for CDS Work Programme on Indicators of Sustainable Development*. United Nations. New York.
- EPA. (1994a), *A conceptual framework to support the development and use of environmental information*. Environmental Statistics and Information Division. Office of Policy, Planning and Evaluation. EPA 230-R-94-012, USEPA, Washington D.C
- EPA. (1994b), *Indicators development strategy, Environmental monitoring assessment program*. EMAP Center, Research Triangle Park, NC, EPA 620/R-94/022.
- Hammond, A., Adriaanse, A., Rodenburg, E., Bryant, E., Woodward, R. (1995), *Environmental Indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development*. World Resources Institute, Washington, D.C.
- M.M.A.(1998), *Sistema español de indicadores ambientales: subáreas de agua y suelo*. Centro de publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente. 102pp. Madrid.
- OECD. (1993), *OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews*. A Synthesis Report by the Group on the State of the Environment, OECD, Paris, 35pp.

- Rodenburg, E., Tunstall, D. y Van Bolhuis, F. (1995), Environmental Indicators for Global Cooperation. Working Paper 1, Global Environmental Facility (GEF), UNDP/UNEP/The World Bank. Washington, D.C.
- Saaty, T.L. (1980), The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.
- United Nations. (1984), A framework for the development of environmental statistics, Statistical Papers Series 78, New York.
- World Bank. (1995), *Monitoring Environmental Progress: A Report on Work in Progress*. ESD Series, The World Bank, Washington, D.C.
- UNESCO, IAEA, IAH, UNECE. (2003), *Development of groundwater indicators*. Second edition of the World Water Development Report