

# LA CARTOGRAFÍA Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN EL MANEJO INTEGRADO DE CUENCAS

*Gerardo Bocco*

## INTRODUCCIÓN

LOS RECURSOS NATURALES, tales como el agua y sus cuencas, se distribuyen sobre espacios concretos; por tanto, son susceptibles de ser representados en mapas, una vez inventariados y clasificados. El inventario y clasificación de cuencas se basa en dos tipos de datos. Los obtenidos en el campo (estaciones hidro-meteorológicas de aforos, determinación de variables para estimar el balance hídrico, consumo de agua), y los derivados de la percepción remota (fundamentalmente cobertura del terreno, relieve y suelos, acuíferos), también verificados en campo. En la actualidad, la forma más conveniente de almacenar y analizar este conjunto de datos es mediante los sistemas de información geográfica (SIG), que además permiten la elaboración y manipulación de mapas. Entonces, es posible relacionar en forma coherente y sistemática los datos de localización de los recursos hídricos, con sus características descriptivas cuantitativas y cualitativas. Este hecho ofrece una visión integral y territorial del dato (en su localización geográfica y en sus características temáticas), lo cual permite mejorar las técnicas analíticas, incluyendo las estadísticas y las geo-estadísticas.

En este artículo se analiza la relevancia de la perspectiva territorial, geográfica, en el manejo integrado de cuencas (MIC). Para ello se revisan las herramientas para la adquisición y análisis de datos geográficos en el MIC, y se evalúan los requerimientos versus disponibilidad de datos geográficos en México para estos fines. El supuesto es que la evaluación y manejo del recurso agua en una cuenca requiere de un enfoque integral que considere la cuestión geográfica, territorial, como uno de sus componentes clave.

## LA CUENCA COMO UNIDAD TERRITORIAL

En términos estrictos, una cuenca es el área drenada por una corriente fluvial y sus tributarios. Sus componentes están definidos por el relieve, es decir, por la altitud y cambios en la altitud: canales o cursos principales y tributarios, laderas, divisoria de aguas y nivel de base. Las cuencas y sus canales se organizan a nivel jerárquico: subcuencas y órdenes de cauces. Sin embargo, la cuenca no encierra la idea de homogeneidad a ninguno de los niveles subordinados. La delimitación de subcuencas está dada por la organización de los cauces, no así por las demás características del terreno. En tanto unidad territorial, y a efectos de poder manejar o gestionar el recurso agua en forma eficiente, es preciso considerar aspectos tales como pisos altitudinales (por los cambios en precipitación y temperatura), formas del relieve y suelos (por los cambios en las rocas y materiales superficiales), uso del suelo y cambio de uso de suelo, cambios en la riqueza y abundancia en la biota, sistemas productivos y aptitud para los mismos, y organización social y política para el manejo de recursos. Todos estos componentes pueden ser inventariados, analizados y cartografiados utilizando SIG y otras técnicas complementarias.

## CARTOGRAFÍA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La cartografía, en tanto disciplina técnica ligada a la geografía, es capaz de representar en mapas la distribución espacial de los recursos naturales en territorios y tiempos específicos. La cartografía de los recursos naturales ha estado estrechamente ligada al desarrollo de las tecnologías de prospección e inventario mediante la percepción remota (o teledetección) y de posicionamiento global satelital. Ambas permiten a los especialistas detectar, localizar y representar de manera eficiente y con alto grado de exactitud los recursos naturales en sentido amplio.

La interpretación de los datos con propósitos clasificatorios también ha evolucionado con la tecnología de obtención y almacenamiento de los mismos. Los sistemas de almacenamiento de datos, asimismo, se han desarrollado en forma vertiginosa. Anteriormente, sólo existían mapas impresos, de tal manera que el medio de representación y almacenamiento era uno solo. Actualmente, los mapas existen en formato digital, y esto ha permitido almacenar y representar los datos en forma separada. De igual modo, la tecnología de manejo de bases de datos se estableció en forma eficaz en el medio de la

producción cartográfica de los recursos naturales en general y de las cuencas hídricas en particular.

La cartografía relevante en el tema es de dos tipos. La plani-altimétrica describe la altitud del terreno (mediante curvas de nivel), así como la red de drenaje, las localidades y la infraestructura. La temática describe diferentes variables tanto del medio natural (como los suelos, la vegetación y uso del suelo), como del medio social y económico (como la distribución de la población, el ingreso, la marginalidad, etc.).

Los SIG están constituidos por subsistemas que permiten ingresar, almacenar, editar y analizar datos geográficos. El propósito es convertir datos en información apta para la toma de decisiones. Una vez alcanzado este objetivo, los SIG permiten presentar la información obtenida en forma de mapas y otras bases de datos. El elemento esencial de un SIG es su capacidad analítica. En el caso de las cuencas, los SIG se han utilizado en forma sistemática desde hace por lo menos 20 años. Las aplicaciones más frecuentes han sido en temas tales como modelamiento hidrológico (predicción del gasto, cálculo de probabilidad de avenidas), estimación del balance hídrico, análisis integrado y planes de manejo de cuencas, y definición de zonas prioritarias para la conservación del recurso.

## EL PAPEL DE LAS TÉCNICAS

Para cumplir con los objetivos de generación de información geográfica para el manejo de cuencas, los SIG ofrecen un conjunto de técnicas analíticas. Todas ellas suponen la conformación de bases de datos coherentes, validadas, y sujetas a la edición y actualización.

## MODELOS DIGITALES DE TERRENO Y MORFOMETRÍA DE CUENCAS

Los modelos digitales de terreno (MDT) son bases de datos geográficos que describen las diferencias en el relieve de una cuenca. Los MDT se elaboran en un SIG mediante interpolación de un conjunto de datos de altitud, de tal manera que, con una cierta resolución, cada porción de la cuenca recibe un cierto valor de altitud. De un MDT de una cuenca se puede derivar el trazado de cauces y parteaguas, procedimiento que comúnmente se realizaba en forma manual sobre mapas topográficos. Mediante procedimientos matemáticos relativamente

sencillos, un MDT permite la construcción de mapas de pisos altitudinales, y mapas de inclinación, orientación y forma de la pendiente de las laderas, que son importantes en los modelos de escorrentía y erosión. También se calculan indicadores cuantitativos de forma de las cuencas, tales como la relación entre perímetro y área, o entre ancho y longitud máximos, que sirven para determinar probabilidad de concentración rápida de escorrentía en un punto.

## PERCEPCIÓN REMOTA

La percepción remota o teledetección consiste en un conjunto de técnicas que permiten obtener información de los objetos a partir del análisis de su respuesta espectral. En general, los sistemas de captura de datos están constituidos por sensores transportados por aeronaves o satélites, que son capaces de recibir y almacenar la respuesta espectral de los objetos en varias bandas del espectro electromagnético. La información así obtenida es plasmada bien en material fotográfico, bien en archivos digitales que pueden ser analizados mediante algoritmos de clasificación numérica o mediante análisis visual.

Independientemente del método de interpretación que se utilice, las imágenes aerosatelitales, incluidas las fotografías, ofrecen la posibilidad de derivar mapas de cobertura del terreno, distribución de las formas del relieve (mismas que permiten diferenciar tipos de roca y de suelos), así como cartografiar fielmente cauces, cuerpos de agua y otros elementos culturales del territorio (localidades, infraestructura).

Los mapas y bases de datos derivados de la percepción remota pueden alimentar procesos de modelamiento hidrológico y análisis del paisaje en SIG. A partir de la información secuencial de cobertura se puede establecer el cambio en el uso del suelo, el crecimiento de localidades urbanas, la pérdida de vegetación natural, así como el progreso de otros procesos de transformación o degradación que tienen impacto en el balance hidrológico. En síntesis, esta información, convenientemente procesada en los SIG, aporta elementos para determinar la oferta y la demanda del recurso hídrico.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS CLAVE A NIVEL PAÍS Y CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO

Concebir y analizar una cuenca como unidad territorial y derivar información para el manejo y la gestión de cuencas, requiere de la existencia de bases

de datos a las escalas espacial y temporal adecuadas, estandarizadas a nivel nacional, para ser procesadas en SIG. En México, la institución más importante en la oferta de datos para desarrollar los tratamientos descritos en este trabajo es el INEGI.

A nivel de datos geográficos, el único nivel de datos completo a nivel país y a una escala apta para el trabajo a nivel municipal en el manejo de cuencas es la cartografía plani-altimétrica, 1:50,000. La cartografía temática, en variables fundamentales del medio biofísico, también está completa, pero a escala 1:250,000. INEGI ofrece asimismo la fotografía aérea completa a varias escalas, entre el 1:25,000 y 1:75,000, así como imágenes de diversos sensores satelitales, de diferentes fechas, a varias resoluciones espaciales. A nivel de datos demográficos y económicos, INEGI proporciona los censos, a nivel localidad, y encuestas, de fechas diversas. Otro nivel de datos relevante es el aportado por la red nacional de observaciones hidro-meteorológicas (aforos de corrientes y estaciones que miden, principalmente, precipitación y temperatura), gestionada por la Comisión Nacional de Agua.

En el Instituto Nacional de Ecología están disponibles vía internet las siguientes bases de datos, a nivel país, a escala 1:250,000: tipos de relieve; vegetación y uso del suelo (1976, 1993 y 2000); ángulo de la pendiente del terreno; cuencas hidrográficas; indicadores socio-económicos derivados de censos de INEGI.

En lo que respecta a la capacidad de procesamiento de datos y generación de información, son múltiples los centros, tanto de investigación como de la administración pública, que disponen de estaciones de procesamiento de datos de la percepción remota, bases de datos diversas, y de producción de cartografía. La tecnología que se utiliza es la más avanzada, y buena parte de la información de producción está disponible en la internet. En este sentido destacan los portales de INEGI, CONABIO, SEMARNAT y órganos desconcentrados de la misma (CNA, IMTA, INE).

## INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TOMA DE DECISIONES

Si bien existe un acervo importante de datos y equipo para desarrollar las tareas descritas en este trabajo, aún faltan datos básicos a la resolución regional y local, y no siempre existen todos los especialistas que se requieren para aportar información oportuna a los tomadores de decisiones.

Es importante estimular los procesos de fortalecimiento de las capacidades regionales y locales, particularmente a nivel de los consejos de cuenca, y otros orga-

nismos municipales y comunales que operen con una visión de cuenca. En esta tarea debe existir una coordinación efectiva entre las instancias gubernamentales, las académicas y las organizaciones sociales y de productores.

## BIBLIOGRAFÍA

- Gonzalez, R. 2003. Joint learning with GIS: multi-actor resource management. *Agricultural Systems* 73 (1): 99-111.
- Kauffman, K. 2002. What if... the United States of America were based on watersheds? *Water Policy* 4(1): 57-68.
- Krishna Pahari, J.P. Delsol y S. Murai. 1996. Remote sensing and GIS for sustainable watershed management a study from Nepal. Paper presented at the 4th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography, Karlstad-Kiruna-Tromsø, August 19-29, 1996. Se puede consultar en: [www.nature.kau.se/nhc/hmrsc4/papers/PaEA\\_hm4.PDF](http://www.nature.kau.se/nhc/hmrsc4/papers/PaEA_hm4.PDF).
- McCall, M. 2003. Seeking good governance in participatory-GIS: a review of processes and governance dimensions in applying GIS to participatory spatial planning. *Habitat International* (4): 549-573.
- Miller, R., P. Heilman y D. Guertin. 2004. Information Technology in Watershed Management Decision Making. *Journal of The American Water Resources Association* 40: 22, 347-357.
- Socioeconomic Assessment and Land Degradation Modeling for Watershed Management by Using Remote Sensing and GIS. Disponible en: [www.virtualref.com/uncrd/196.htm](http://www.virtualref.com/uncrd/196.htm).
- Swallow, B., N. Johnson y R. Meinzen-Dick Working with people in watershed management. *Water Policy* 3(6): 449-455.
- Using GIS in Watershed Management. April 23, 2002. Princeton University, First Center Princeton, New Jersey. Disponible en: [www.thewatershedinstitute.org/gisworkshop.html](http://www.thewatershedinstitute.org/gisworkshop.html).
- Algunos sitios vinculados al tema en México en: [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx), [www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx), [www.imta.gob.mx](http://www.imta.gob.mx), [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx).