

# El desarrollo de sistemas de información geográfica en la frontera norte de México

Gerardo Bocco\*

Recibido: 19 de agosto de 1999  
Aceptado en versión final: 3 de marzo de 2000

**Resumen.** México atraviesa una etapa crucial y sin precedentes en cuanto a la atención de los problemas ambientales, así como a la creación y gestión de los datos que se requieren para su análisis y manejo.

En la frontera norte de México esto es especialmente importante, ya que debido al rápido proceso de crecimiento económico y demográfico, y a las condiciones de su ambiente, se ha provocado una presión importante sobre sus recursos, lo que cuestiona la sustentabilidad de su desarrollo.

Los sistemas de información geográfica (SIG), en muchas ocasiones combinados con los sistemas de procesamiento de datos de la teledetección, se han convertido en herramientas insustituibles en el análisis y gestión de problemáticas ambientales, donde los aspectos espaciales son determinantes. En la frontera norte de México esto no es una excepción. Los SIG están desempeñando un papel preponderante en la gestión ambiental y territorial.

En este trabajo se examina un enfoque para el desarrollo de SIG en la frontera México-Estados Unidos, desde una perspectiva académica. El énfasis estará en los aspectos nacionales, con alguna referencia a cuestiones binacionales. Se intenta presentar a los SIG como instrumentos básicos en la gestión ambiental.

**Palabras clave:** Sistemas de información geográfica, frontera norte, México.

**Abstract.** Mexico is facing a crucial and unprecedented situation with regards to the attention to environmental issues, as well as regarding the generation and handling of data needed for their analysis and management.

In the Mexico-US border this is particularly important, since the accelerated processes of demographic and economic growth, along with the environmental conditions, have resulted in a severe stress on environmental resources, compromising its development's sustainability.

Geographic information systems (GIS), usually combined with remote sensing technologies, have become powerful tools for the analysis and management of environmental issues, where spatial aspects are crucial. Mexico's Northern border is not an exception, and GIS play a key role in environmental and territorial management. In this paper, an approach for the development of GIS at this border is discussed from an academic perspective. It is focused on the national aspects, although some bi-national topics are considered. Hereby GIS are presented as basic instruments for environmental management.

**Key words:** Geographical information systems, North frontier, Mexico.

## INTRODUCCIÓN

México atraviesa una etapa crucial y sin precedentes en cuanto a la atención que se brinda a los problemas ambientales, así como a la creación y gestión de los datos que se requieren para su análisis y manejo.

Todo problema medioambiental implica un efecto colateral negativo de la interacción sociedad-naturaleza. Esto es válido tanto en ambientes urbanos como rurales, y el esce-

nario puede ser continental, marino o costero. En cualquier caso, todo ocurre en un cierto espacio o territorio, y la comprensión de la distribución y relaciones espaciales resulta vital en el análisis y gestión de la cuestión ambiental.

En la frontera norte de México esto es especialmente importante, ya que debido al rápido proceso de crecimiento económico y demográfico, y a las condiciones de su ambiente, se ha provocado una presión impor-

\* Laboratorio de Geoecología, Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, UNAM, Campus Morelia, Apdo. Postal 3-27 (Xangari), 58089 Morelia, México. E-mail: gbocco@oikos.unam.mx

# El desarrollo de sistemas de información geográfica en la frontera norte de México

Gerardo Bocco\*

Recibido: 19 de agosto de 1999  
Aceptado en versión final: 3 de marzo de 2000

**Resumen.** México atraviesa una etapa crucial y sin precedentes en cuanto a la atención de los problemas ambientales, así como a la creación y gestión de los datos que se requieren para su análisis y manejo.

En la frontera norte de México esto es especialmente importante, ya que debido al rápido proceso de crecimiento económico y demográfico, y a las condiciones de su ambiente, se ha provocado una presión importante sobre sus recursos, lo que cuestiona la sustentabilidad de su desarrollo.

Los sistemas de información geográfica (SIG), en muchas ocasiones combinados con los sistemas de procesamiento de datos de la teledetección, se han convertido en herramientas insustituibles en el análisis y gestión de problemáticas ambientales, donde los aspectos espaciales son determinantes. En la frontera norte de México esto no es una excepción. Los SIG están desempeñando un papel preponderante en la gestión ambiental y territorial.

En este trabajo se examina un enfoque para el desarrollo de SIG en la frontera México-Estados Unidos, desde una perspectiva académica. El énfasis estará en los aspectos nacionales, con alguna referencia a cuestiones binacionales. Se intenta presentar a los SIG como instrumentos básicos en la gestión ambiental.

**Palabras clave:** Sistemas de información geográfica, frontera norte, México.

**Abstract.** Mexico is facing a crucial and unprecedented situation with regards to the attention to environmental issues, as well as regarding the generation and handling of data needed for their analysis and management.

In the Mexico-US border this is particularly important, since the accelerated processes of demographic and economic growth, along with the environmental conditions, have resulted in a severe stress on environmental resources, compromising its development's sustainability.

Geographic information systems (GIS), usually combined with remote sensing technologies, have become powerful tools for the analysis and management of environmental issues, where spatial aspects are crucial. Mexico's Northern border is not an exception, and GIS play a key role in environmental and territorial management. In this paper, an approach for the development of GIS at this border is discussed from an academic perspective. It is focused on the national aspects, although some bi-national topics are considered. Hereby GIS are presented as basic instruments for environmental management.

**Key words:** Geographical information systems, North frontier, Mexico.

## INTRODUCCIÓN

México atraviesa una etapa crucial y sin precedentes en cuanto a la atención que se brinda a los problemas ambientales, así como a la creación y gestión de los datos que se requieren para su análisis y manejo.

Todo problema medioambiental implica un efecto colateral negativo de la interacción sociedad-naturaleza. Esto es válido tanto en ambientes urbanos como rurales, y el esce-

nario puede ser continental, marino o costero. En cualquier caso, todo ocurre en un cierto espacio o territorio, y la comprensión de la distribución y relaciones espaciales resulta vital en el análisis y gestión de la cuestión ambiental.

En la frontera norte de México esto es especialmente importante, ya que debido al rápido proceso de crecimiento económico y demográfico, y a las condiciones de su ambiente, se ha provocado una presión impor-

\* Laboratorio de Geoecología, Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, UNAM, Campus Morelia, Apdo. Postal 3-27 (Xangari), 58089 Morelia, México. E-mail: gbocco@oikos.unam.mx

tante sobre sus recursos, cuestionando la sostenibilidad de su desarrollo.

Como en cualquier otra problemática, se requiere de datos, de variables que describan la situación de interés. En este caso, los datos deben ser capaces de describir objetos y procesos en su localización espacial y en sus características no espaciales.

Tradicionalmente esta tarea se realizaba utilizando mapas de diferente escala, contenido y presentación. En la actualidad, se utilizan instrumentos computarizados, bases de datos y sistemas de información geográfica, alimentados por datos espaciales y no espaciales en formato digital.

En este sentido, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), y en especial su Dirección General de Geografía (DGG), han jugado un papel relevante en la creación y gestión de datos geográfico-ambientales. En este momento, el grueso del esfuerzo se ha volcado a la conversión de la información disponible (mapas) del formato estándar en papel, al formato digital. En otras instituciones, como las académicas, se genera información directamente en formato digital. Todo ello permite el procesamiento de una gran cantidad de datos, de naturaleza diversa, y su análisis, en forma eficiente y sistemática, de tal manera que la toma de decisiones puede realizarse utilizando cada vez mayor y mejor información ambiental.

Los sistemas de información geográfica (SIG), en muchas ocasiones combinados con los sistemas de procesamiento de datos de la teledetección, se han convertido en herramientas insustituibles en el análisis y gestión de problemáticas ambientales, donde los aspectos espaciales son determinantes. En la frontera norte de México esto no es una excepción. Los SIG juegan un papel preponderante en la gestión ambiental y territorial.

Los SIG permiten la captura, almacenamiento, edición y análisis de datos geográficos, con objeto de generar información válida para la toma de decisiones. En los últimos años esta

tecnología ha ido cobrando auge en cuestiones urbano-regionales, de desarrollo rural, de gestión costera, de redes de transporte, por citar las más relevantes.

En este trabajo se examinará el desarrollo de SIG en la frontera México-Estados Unidos, desde una perspectiva académica. El énfasis estará en los aspectos nacionales, con alguna referencia a cuestiones binacionales. Se intenta presentar a los SIG como instrumentos básicos en la gestión ambiental.

## **LA FRONTERA NORTE**

La zona fronteriza norte México-Estados Unidos es una franja convencionalmente limitada a 100 km a ambos lados de la línea internacional, de unos 3 200 km de longitud, entre el Océano Pacífico y el Golfo de México, donde temas como la globalización y la diversidad han hecho aún más complejas las problemáticas ambientales. Desde una perspectiva geográfica, se trata de una región única, donde la división política (cuatro estados estadounidenses y seis estados mexicanos) atraviesa la continuidad de grandes regiones desérticas (los desiertos Sonorense y Chihuahuense), varias cuencas hidrográficas (como las de los ríos Colorado y Grande) y acuíferos vitales para una población que recibe una precipitación media anual en general menor de 250 mm. Con excepción del delta del río Grande, que es tropical, y la costa Pacífica, mediterránea, la región fronteriza es desértica o semi-desértica.

Según datos de 1990 (Anónimo, 1992), estos casi 640 000 km<sup>2</sup> están habitados por unos 9.5 millones de personas. De ese total, 37% son mexicanos. La densidad de población es baja: unos 15 habitantes/km<sup>2</sup> para toda la frontera, y unos 11 para el lado mexicano (la media para México es de unos 45). Esta población está desigualmente distribuida y la casi totalidad se asienta en el área metropolitana de 14 pares de ciudades fronterizas. Incluso aquí priva la desigualdad: casi 35% de la población binacional se asienta en las ciudades de San Diego-Tijuana y alrededor de 50% en estas

dos y El Paso-Ciudad Juárez. Se espera que la población fronteriza se duplique en los próximos 22 años (Anónimo, 1993).

Históricamente, las actividades económicas más importantes de la región han sido la agricultura de irrigación (muy especialmente los valles de Caléxico y Mexicali, en California-Baja California) y la minería. Durante los últimos treinta años, la región se ha industrializado muy rápidamente, en especial del lado mexicano.

En 1965 el gobierno mexicano estableció un plan para atraer industrias con alto requerimiento de mano de obra; en este esquema, los capitales extranjeros pueden ingresar equipo y material al territorio nacional sin pagar impuestos. Los materiales son ensamblados por plantas industriales en éste (maquiladoras) y re-exportados, pagando sólo el impuesto al valor agregado en México (Anónimo, 1992).

Existen unas 1 700 maquiladoras que emplean a unos 380 000 trabajadores en la frontera (Anónimo, 1992). De ellos, casi 55% (y 56% de las plantas) se concentra en Tijuana y Ciudad Juárez, lo cual se relaciona con la desigual concentración de población.

La presión sobre recursos relativamente escasos (en especial el agua), la desigual distribución de la población, el ritmo acelerado de su crecimiento, y en especial la falta de planificación urbana y regional, han creado un panorama bastante caótico en lo espacial y ambiental. Esto ha sido tradicionalmente enmascarado detrás de la idea de crecimiento y progreso. La situación es suficientemente grave, sin embargo, como para merecer la creciente atención de la sociedad y de las mismas autoridades a ambos lados de la frontera, tendiéndose asimismo a estimular las iniciativas de carácter binacional.

Desde 1983 existe un Acuerdo Ambiental Fronterizo, e instituciones gubernamentales (SEDESOL en México y EPA en Estados Unidos, como las más importantes) han trabajado en cuatro áreas prioritarias: agua y

aguas residuales, calidad del aire, residuos peligrosos, y emergencias y vulnerabilidad social.

En 1992 se formuló el Plan Ambiental Fronterizo, cuyos objetivos son garantizar el cumplimiento de las leyes existentes, reducir la contaminación ambiental, incrementar la cooperación en planeación, entrenamiento y educación, y contribuir a la comprensión del medio ambiente fronterizo. Los alcances de este plan han sido analizados desde una perspectiva crítica por académicos de ambos lados de la frontera.

A fines de 1993, con la aprobación del Tratado de Libre Comercio (TLC), estas iniciativas han sido impulsadas por ambos países. Por ejemplo, en la XI Reunión de la Comisión Binacional México-Estados Unidos, en mayo de 1994 (Banco Nacional de Comercio Exterior, 1994), se aprobó la puesta en marcha de la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza y de instrumentos específicos de financiamiento (el Banco de Desarrollo de América del Norte).

Últimamente, se ha incrementado la conciencia ciudadana en cuestiones ambientales, lo cual se ha manifestado en la formación de innumerables organizaciones no-gubernamentales de ambos países, muchas de ellas, binacionales (como por ejemplo Pro-Esteros, dedicada a la conservación de humedales, y el Proyecto Fronterizo de Educación Ambiental). De igual modo se multiplican los esfuerzos académicos, en especial de universidades de ambos lados de la frontera (Wright *et al.*, 1994).

Todas estas iniciativas han tenido diferentes grados de éxito, pero la magnitud de los problemas ambientales requiere de mayores y mejores esfuerzos. En especial es importante pensar en alternativas a diferentes plazos, basadas en una selección y manejo adecuado de datos, y en esfuerzos realistas de modelamiento y monitoreo. En este sentido, los SIG se han convertido en una herramienta básica.

## **ALGUNAS APLICACIONES DE SIG EN LA FRONTERA NORTE**

### **Enfoques**

A partir del marco general de referencia, descrito anteriormente, se han desarrollado diversas aplicaciones de SIG, algunas combinadas con percepción remota (PR), en el seno de instituciones de investigación y docencia.

Los sistemas de información geográfica (SIG) son sistemas computarizados que permiten el acopio, edición y análisis de datos geográficos, así como la presentación de información en un formato accesible a los usuarios (Aronoff, 1989).

Por su parte, las técnicas de percepción remota (PR) son un conjunto de procedimientos, analógicos y digitales, que permiten obtener información de un objeto sin tomar contacto directo con el mismo (Aronoff, 1989). La PR incluye tópicos tales como la fotointerpretación y el procesamiento digital de imágenes de satélite.

En cuanto a los temas y los objetivos de los proyectos, éstos intentan suministrar información válida para satisfacer algunas de las necesidades indicadas. En otras palabras, se acepta que el elemento central de un SIG es contribuir a la toma de decisiones (Aronoff, 1989).

En la práctica, la frontera norte fue conceptualizada como un arreglo espacial de ciudades y áreas de influencia. Este esquema es flexible y permite incorporar, si fuera necesario, el aspecto binacional. Se trabaja, asimismo, con el concepto de cuenca fluvial.

En términos teóricos, el presupuesto fundamental es que no existe una "ciencia de la información geográfica" (Goodchild, 1992); en cambio, se ha optado por conceptualizar a los SIG como herramientas de análisis de diversas disciplinas específicas, donde lo espacial es una dimensión relevante. Las diversas actividades que son requeridas en el

diseño e implementación de las bases de datos y del SIG son parte integrante del diseño metodológico de la investigación. La relación entre disciplina específica (en realidad multidisciplinaria) y SIG es entonces transparente.

Este enfoque es particular, y no necesariamente es compartido por otros actores en el uso de estas tecnologías en la región. Esto se debe a que la cultura en la creación y el manejo del dato ambiental en México, en contraste con Estados Unidos, es sustancialmente diferente. El hecho de disponer de una importante infraestructura tecnológica en México, no supone que se compartan los mismos puntos de vista en la gestión del dato geográfico en ambas realidades.

De ahí la necesidad de contar con un equipo multidisciplinario de especialistas y un diseño operacional relativamente simple. Esto último se basa en la idea de que, una vez rebasado cierto umbral, a mayor complejidad del sistema operacional (conjunto equipo-programa), se reduce la probabilidad de implementar aplicaciones complejas.

Se utilizaron entonces programas a nivel PC, plataforma que resulta suficientemente poderosa para modelar una realidad única en términos de problemática, pero arreglada espacialmente en forma discontinua.

En este contexto, el Colegio de la Frontera Norte, el municipio de Tijuana, la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y el Centro de Investigaciones Científicas y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), participan activamente en un proyecto binacional de SIG para el manejo de la cuenca del río Tijuana, en conjunto con la Universidad Estatal de San Diego. En el marco de este proyecto se formularán proyectos parciales, uno de los cuales tenderá a la creación de un área protegida binacional.

En términos operacionales, las ideas centrales fueron:

- Desarrollar bases de datos multipropósito para, de tal forma, establecer una aceptable relación costo-beneficio.
- Validar la calidad de los datos de entrada y la captura de los mismos (Bocco y Riemann, 1997).
- Realizar análisis y modelamientos espaciales de tal forma que el ejercicio tenga valor a nivel de investigación.
- Adiestrar personal técnico en SIG y PR, y utilizar este enfoque en educación superior, como la Universidad local y el CICESE.
- Ofrecer la información obtenida a los tomadores de decisiones, en forma de artículos, participación en foros locales y regionales, consultorías, etcétera.

Los programas que se usaron fueron ILWIS e IDRISI, ambos manufacturados por instituciones de educación superior de los Países Bajos y los Estados Unidos, respectivamente. Ambos sistemas son de bajo costo (menor al equivalente a 500 dólares americanos); sin embargo, sus capacidades de análisis son muy poderosas. Ambos permiten el uso de bases de datos vectoriales y en celdas, y un adecuado manejo de bases de datos de atributos.

Por otro lado, la capacitación en el uso pleno de estos sistemas es relativamente rápida, en comparación con otros sistemas disponibles en el mercado. Esto permite que no se subutilicen las funciones del SIG, cosa que ocurre con mucha frecuencia con otros sistemas más complejos, y por tanto más onerosos, que finalmente se emplean para graficar datos espaciales.

### **Proyectos específicos**

A continuación se detallan, a modo de ejemplo, algunas experiencias en las que se utiliza el enfoque descrito en los párrafos anteriores.

### **El impacto de precipitaciones extraordinarias en la ciudad de Tijuana**

En este proyecto se analizó el impacto de lluvias extraordinarias en Tijuana (enero de 1993) que desencadenaron ahí inundaciones severas. Se capturaron y utilizaron bases de datos del medio físico y socio-económicas (escala 1:50 000). Las zonas dañadas por las lluvias se interpretaron, según su génesis geomorfológica, con base en fotografías aéreas tomadas después del evento (escala 1:15 000). Las zonas dañadas fueron evaluadas, usando el SIG, en función del medio físico y de las características de la población afectada.

Los resultados del análisis indican que, desde un punto de vista del medio físico, la mayor parte de los procesos que dañaron a la ciudad ocurrieron en las zonas donde naturalmente se habrían producido, incluso sin interferencia antrópica. La interferencia de un tejido urbano caótico disparó y aceleró la actividad de los mismos.

Los resultados del análisis muestran también una gran vulnerabilidad de Tijuana a este tipo de emergencias. Sin duda, los grupos de menores ingresos son los más vulnerables; sin embargo, dadas las características de la ciudad, también son vulnerables sectores de altos ingresos (Bocco *et al.*, 1993).

### **Riesgos industriales en zonas urbanas**

En este caso se conceptualizaron bases de datos espaciales y de atributos para modelar la *distribución espacial e impacto ambiental de la industria en Tijuana* (escalas 1:25 000 a 1:50 000). El objetivo es generar información útil para la prevención y control de estas emergencias urbanas (Sánchez y Bocco, 1994).

Se localizó y digitizó cada industria, construyéndose una base de datos con las coordenadas geográficas, a la que se agregó información concerniente al tipo de actividad, cantidad de empleados, tipo de residuo, etcétera.

Las características del medio natural fueron modeladas mediante bases de datos espaciales que describen la topografía, el tipo de roca, las formas del relieve, la red hidrográfica y las zonas de riesgo de inundación. Las características urbanas fueron descritas mediante bases de datos de atributos socioeconómicos –población, vivienda, ingresos básicamente– referidas a las unidades censales. Asimismo, se capturaron datos concernientes a las vialidades principales de la ciudad para evaluar la accesibilidad.

El esquema de análisis utiliza técnicas estándares de SIG: reclasificación de unidades espaciales; sobreposición cartográfica de varios niveles informativos (por un lado las empresas ordenadas de acuerdo con su peligrosidad, localizadas en el espacio, *versus* características ambientales y socioeconómicas); evaluación de vecindades de industrias y distancias a vías de comunicación. A partir de estos datos se formuló un modelo de vulnerabilidad al efecto de ciertos contaminantes.

Como un subproyecto del que se describe, se desarrolló una evaluación específica de fuentes fijas de contaminación por plomo (industrias metalmeccánicas, de baterías, pinturas, etc.), con énfasis en una planta recicladora de plomo que ha provocado un conflicto a nivel binacional (Bocco y Sánchez, 1997).

#### **Cuantificación del crecimiento de la mancha urbana en la ciudad de Tijuana, BC (1973-1993)**

En este trabajo se analiza el uso de los sistemas de información geográfica en el desarrollo y la verificación de una estrategia de cartografía secuencial del uso del suelo urbano para la ciudad de Tijuana, Baja California. El objetivo fue cuantificar el crecimiento de la mancha urbana durante el período 1973-1993. Debido a las resoluciones espacial y temporal requeridas, se utilizó la interpretación visual de fotos aéreas estereoscópicas disponibles, a escalas 1:35 000 (1973) y 1:20 000 (1993).

El área bajo uso urbano creció aproximadamente 10 200 ha (de 6 620 a 16 830), en 20 años; ello conlleva un incremento de baldíos intraurbanos de casi 2 300 ha. Los usos alternativos en zona urbana crecieron poco más de 800 ha (Bocco y Sánchez, 1995). Las implicaciones socioeconómicas de este crecimiento se analizan por separado (Sánchez y Bocco, en prep.).

#### **Geomorfología y ecología del paisaje en Baja California**

Este proyecto se orienta al uso de SIG y PR para estudios de geomorfología y ecología del paisaje en el estado de Baja California. Este estado es peculiar desde el punto de vista ambiental, por las siguientes razones:

- Es fronterizo con los Estados Unidos y parte de su medio ambiente está bajo la presión de un crecimiento económico acelerado (industria, turismo).
- Su clima es árido y semi-árido, y el recurso agua superficial es una limitante (en algunos lugares es prácticamente nulo).
- La flora y la fauna se presentan en ecosistemas caracterizados por un alto número de endemismos, lo cual representa un capital biológico importante para el país.
- La variabilidad topográfica (entre el nivel del mar y los casi 3 000 m), consecuencia de una tectónica singular, junto con la influencia marina debida a la configuración peninsular, permiten el desarrollo de una gran variedad de paisajes a lo largo de un gradiente altitudinal.

Cada uno de los paisajes indicados presenta características y dinámicas peculiares que deben conocerse para poder manejar convenientemente sus recursos. El objetivo general del proyecto es formular un modelo geomorfológico ambiental para el estado de Baja California y proponerlo como la herramienta

básica para el ordenamiento ecológico (territorial) del estado. Ello supone definir unidades geomorfológicas como una base abiótica de unidades ecológicas, a nivel regional (escalas 1:250 000 a 1:1 000 000), utilizando criterios geomorfológicos y pedológicos. Asimismo, supone caracterizar el tipo de comunidades vegetales y ligarlas en forma sistemática con las unidades geomorfológicas para obtener unidades integrales de paisaje. En forma complementaria, el proyecto se propone evaluar el impacto de las actividades socioeconómicas sobre las comunidades riparias en zonas áridas del estado y formular una propuesta de conservación y manejo sostenible de estos recursos. Al menos parcialmente esta propuesta se basará en la utilización del conocimiento tradicional que los grupos indígenas locales tienen del medio ambiente.

## EL ENFOQUE BINACIONAL

El uso de SIG permite el análisis y modelamiento espaciales a través del espacio fronterizo. El INEGI y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) trabajan sobre los criterios para homogeneizar las actividades relacionadas con el manejo de los datos geográficos en la frontera. El objetivo es arribar a estándares comunes en cuanto a calidad, diccionario de datos, y de ser posible, estructura de datos digitales. Las iniciativas binacionales tenderán a incrementarse exponencialmente en los próximos años y un acuerdo de esta naturaleza facilitaría los esfuerzos conjuntos.

En un simposio reciente (Wright *et al.*, 1994) se identificaron los siguientes temas que requieren de atención prioritaria:

- Estandarización de los datos (uso del sistema métrico, y elaboración de diccionarios y leyendas comunes).
- Desarrollo de programas de captura binacional de datos (fotografías aéreas, elaboración de un nivel de referencia de datos ambientales y programas estandarizados de monitoreo en salud pública,

calidad del aire y agua).

- Creación de instituciones gubernamentales fronterizas en ambos países para dar seguimiento a estos temas.
- Estímulo a la formación de cuadros técnicos.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se describen aplicaciones de SIG desarrolladas durante un lapso de 20 meses, tiempo mínimo indispensable para formular e implementar un modelo de trabajo. El enfoque seguido ha probado ser eficiente para las características y necesidades concretas mencionadas.

Dos circunstancias pueden ser indicadas como "cuellos de botella" en este contexto. La primera tiene que ver con la formación de cuadros. Se suele señalar que faltan cuadros formados en SIG-PR. La experiencia realizada indica que la falta de cuadros con formación sólida en disciplinas del medio ambiente, es aún más acuciante. El adiestramiento en estas tecnologías debe ser parte integrante de la currícula de estudios en ciencias ambientales.

La segunda tiene que ver con la complejidad de las configuraciones equipo-programa, y la complejidad de las aplicaciones concretas. La experiencia indica que se suelen subutilizar configuraciones más complejas que cierto umbral básico. Contrariamente, sistemas de fácil manejo, pero poderosos en el análisis, suelen ser utilizados plenamente, en forma directa, por el especialista.

## RECONOCIMIENTOS

Las investigaciones que se mencionan en este trabajo fueron realizadas por el autor en el Departamento de Estudios Urbanos y del Medio Ambiente del Colegio de la Frontera Norte (COLEF), en conjunto con Roberto Sánchez y Hugo Riemann. Alejandro Angeles, Ofelia Ribera, Ana Lilia García, Efraín Moncada y Francisco Lares, asistentes de investigación, contribuyeron a la creación y

gestión de las bases de datos de los SIG a los que se hace mención en este trabajo. El financiamiento provino del Sistema de Inves-

tigación del Mar de Cortés (SIMAC), y las Fundaciones Ford, MacArthur y Progreso Fronterizo.

## REFERENCIAS

- 📖 Anónimo (1992), *Environmental Plan for the Mexican-US border area*, Summary, Environmental Protection Agency (EPA), Washington, D. C.
- 📖 Anónimo (1993), *Condición del medio ambiente en la frontera México-Estados Unidos*, Informe para la Environmental Protection Agency, preparado por el Udall Centre for Studies in Public Policy, Universidad de Arizona, Tucson.
- 📖 Aronoff, S. (1989), *Geographic Information Systems. A management perspective*, WDL, Ottawa.
- 📖 Banco Nacional de Comercio Exterior (1994), *Comercio Exterior*, vol. 44 (6), México.
- 📖 Bocco, G., R. Sánchez y H. Riemann (1993), "Evaluación del impacto de las inundaciones en Tijuana. Uso integrado de PR y SIG", *Frontera Norte*, 5(10):53-83.
- 📖 Bocco, G. y R. Sánchez (1995), "Quantifying urban growth using GIS", *Geo Info Systems*, 5(10):18-20.
- 📖 Bocco, G. y R. Sánchez (1997), "Identifying potential impact of contamination using a GIS", *Environmental Management*, 21(1):133-138.
- 📖 Bocco, G. y H. Riemann (1997), "Quality assessment of polygon labelling", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(4):393-395.
- 📖 Sánchez, R. y G. Bocco (1994), "Riesgos industriales de la frontera norte. El caso de Tijuana, Baja California", *Memorias del I Congreso Iberoamericano de Información de Base Geográfica*, Fundación Rosenblueth, México.
- 📖 Wright, R. D., G. Hepner y C. Brown (1994), *Geographic Information Systems for Mexico-United States Border Environmental Research and Management*, Institute for Regional Studies of the Californias, San Diego State University, San Diego.