

SIG: UN ARMA PARA LA FRONTERA

Heriberto Gómez Z. y Rosalba Linares*

Resumen

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una herramienta moderna para el análisis espacial. Sus bondades permiten la manipulación de datos de diferentes fuentes y en cantidades casi infinitas por lo que su aplicación actual y potencial en los estudios de los espacios fronterizos es pertinente. Este trabajo persigue destacar las características del SIG así como una revisión ajustada de la aplicación de estos sistemas tanto para algunos casos concretos y otros sugeridos a fin de demostrar la versatilidad de esta herramienta y sus posibilidades de uso para entender con mayor propiedad la realidad fronteriza; lo cual coadyuva a solucionar los problemas inherentes a la misma.

Palabras claves:

Fronteras, Sistemas de Información Geográfica, Sensores Remotos.

GIS: A Weapon for the Border

Abstract:

The Geographic Information Systems (GIS) constitutes a modern tool for the spatial analysis. GIS allows the data manipulation of different sources and in almost infinite amounts. Current and potential applications in the studies of the border areas are pertinent. This paper aims to show main characteristics of GIS and to review the applications of these systems on real situations and some suggested demonstrating the versatility of this tool and the possibility of better understanding of the border's reality, which in turn will contribute to solve related boundary problems.

Key words:

Border, Geographic Information System, Remote Sensing.



INTRODUCCIÓN

La frontera es un espacio que, por sus características intrínsecas y extrínsecas, ha atrapado el interés de estudiosos de distintas profesiones, en particular los dedicados a la geopolítica y las relaciones internacionales. Según Starr (2002) algunos de los tópicos más relevantes a tratar en las relaciones fronterizas son: la cantidad y tipos de interacciones entre Estados; interdependencia entre Estados; la integración regional; la probabilidad de guerra entre Estados; la difusión de la guerra y otras formas de

conflicto internacional; entender por qué y cómo el territorio afecta el inicio de una guerra; los efectos de las alianzas; los asuntos asociados a las regiones supranacionales y la estructura de los sistemas internacionales. En efecto, tal como los destaca el autor antes mencionado, la localización de los Estados y su condición especial de compartir fronteras es en esencia la clave para estudios internacionales que analizan las situaciones extremas que van desde la posibilidad de conflictos bélicos hasta el estudio de la paz existente entre países con un mismo esquema político. En este sentido, para algunos, los tópicos antes expresados se resumen en investigaciones que se focalizan principalmente

en el análisis fronterizo de las relaciones entre *proximidad, contigüidad, localización y territorio* (Gochman, 1991).

Desde el punto de vista de la geografía, al mismo tiempo, las fronteras son espacios interesantes de estudiar pues es bien cierto que los humanos tienden a interactuar más con aquellos que estén más cercanos, lo cual tiene como resultado incuestionables expresiones socio-espaciales. Esto implica la necesidad de conocer bien las características biofísicas y geográficas, así como tener precisa información acerca de estos espacios fronterizos y limítrofes, lo que Starr (2002) denomina las *cualidades específicas* de la frontera. En este sentido, Wesley (1962) señala que la longitud de la frontera entre dos países es una de las mejores medidas de sus *oportunidades geográficas*, donde la longitud debería ser medida en términos de *unidades de población*, más que bajo el concepto de longitud física. Esto refuerza el concepto de la proximidad entendida como la visión que las oportunidades de interacción ofrecen los espacios fronterizos (Starr, 2002). ¿Cómo medir y evaluar esos espacios y sus elementos fundamentales con satisfactoria precisión?. ¿Qué herramienta moderna de análisis espacial se puede emplear en estos estudios?

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) o GIS (Geographic Information Systems), son una de las herramientas de apoyo más poderosas empleadas en la actualidad en los análisis espaciales. En efecto, el desarrollo tecnológico ha favorecido considerablemente la evolución de éstos instrumentos capaces de poder almacenar y manipular enormes volúmenes de datos e información, lo cual era prácticamente imposible en el pasado reciente. Este hecho ha permitido que los SIG se empleen profusamente en diversas áreas del conocimiento científico y

tecnológico (Gómez, 2002). Espacios que generan conflictos, como lo son los fronterizos, pueden encontrar en los SIG un auxilio valioso que coadyuve, de manera más eficaz, a la solución de los problemas suscitados producto de la dinámica particular de estos espacios. La capacidad de los SIG se fundamenta en su habilidad para superponer varias capas, con tablas de datos asociados, de tal manera que el sistema genera nueva información la cual puede ser accedida de manera interactiva. Estas capas contienen data que incluye tanto características biofísicas, como por ejemplo, cobertura vegetal, red de drenaje y relieve, así como actividades humanas entre las que cuentan centros poblados, red vial, data aeronáutica, red de trenes y capacidad bélica, entre otros. En este artículo persigue dar a conocer las características más relevantes de esta herramienta, sus aplicaciones actuales y potenciales usos en el campo de los espacios fronterizos.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los SIG tienen como origen la necesidad de la sociedad para poder manipular grandes volúmenes de datos e información, que el desarrollo mismo de dicha sociedad genera. En sus inicios, las sociedades humanas hacían magros intentos para poder almacenar y manipular parte del conocimiento que acerca de la realidad geográfica se poseía para el momento. Conocimiento que, con el devenir de los años, se hacía cada vez mayor.

La cartografía, fue, en consecuencia, una de esas respuestas a tal necesidad. La información era "almacenada" gráficamente en mapas. Así, nuevos territorios y posesiones fueron delimitados y representados por los cartógrafos de la época. Avances posteriores, como el desarrollo de la escala (relación proporcional mapa/realidad) y los sistemas de coordenadas (latitud y longitud), al

igual que la invención y utilización de instrumentos como la brújula, el sextante y el reloj de péndulo, permitieron no sólo plasmar la información, sino también hacer cálculos más precisos de superficies y de otras medidas como perímetro y longitudes, generando algunas veces una nueva cartografía temática.

Esto último contribuyó, de alguna manera, a una mejor conciencia espacial de los terrenos poseídos lo cual impactó lo particular, trascendiendo hacia lo local, y de allí hacia lo nacional y lo supra-nacional. Ya el propietario podía conocer como mayor precisión la demarcación de sus tierras, así como los Estados los límites de sus territorios y los imperios los alcances de sus dominios. La popularidad de aplicar dichos recursos fue tal que durante décadas fueron considerados como las únicas alternativas para solventar problemas limítrofes entre naciones. De hecho, en 1873 durante la disputa limítrofe entre México y Guatemala, el gobierno guatemalteco consideró la necesidad de adoptar la cartografía con la utilización coordenadas - en grados de latitud y longitud - a objeto de hacer más precisa la línea divisoria entre ambos países y así reducir las disputas entre las autoridades fronterizas (Dardon, 1900).

En tiempos recientes, los avances tecnológicos han mejorado, substancialmente, la obtención de datos e información. El empleo de sistemas de alta tecnología para captura de datos, como los sensores remotos, es un ejemplo clásico de estos avances. Los sensores remotos son capaces de obtener información del paisaje más allá de las propias capacidades humanas, pues poseen la cualidad para actuar en casi todas las bandas del espectro electromagnético, es decir, pueden percibir cosas que los seres humanos no. Destacan, entre la amplia gama de los sensores remotos, los satélites y radares. Estos pueden abarcar desde grandes extensiones hasta

superficies menores que requieren de un mayor nivel de detalle. Al operar desde distancias remotas con respecto al objeto bajo estudio, son imperturbables por agentes externos, como por ejemplo capturar información de áreas en conflicto o de alto riesgo sin necesidad de poner en peligro la vida del operario ni de los equipos (Gómez, Linares y Bradshaw, 1999). Pueden, además, facilitar la apropiación de información sin que necesariamente exista el permiso de las autoridades locales o nacionales. Es, en otras palabras, una forma alternativa de conocer una realidad, pero al mismo tiempo hace de cualquier espacio un elemento vulnerable a intromisiones externas.

No obstante a la abrumadora cantidad de datos e información espacial, generada por la moderna tecnología de captura, esto provocaba cada vez más frustración en los investigadores necesitados de utilizar los mismos. En efecto, en sus inicios, fueron sobrepasadas las capacidades de análisis de muchos estudiosos ante la imposibilidad de poder “controlar manualmente” todos los elementos derivados del uso de estas nuevas tecnologías de captura. Es durante la década del sesenta que el gobierno canadiense emprende la tarea de concebir un sistema capaz de facilitar la manipulación, en ambiente computacional, de importantes volúmenes de datos georeferenciables. El Canada Geographic Information System (CGIS por sus siglas en inglés) es reconocido mundialmente como el primer SIG desarrollado. Su objetivo fue analizar los datos recolectados por el Canada Land Inventory (CLI) y producir estadísticas a ser utilizada en planes de manejo para extensas áreas rurales de Canadá. Nacen así los Sistemas de Información Geográfica (Tomlinson, 1988). Sin embargo, fue necesario solventar algunos inconvenientes generados por la innovadora tecnología. Primero la falta de experiencia previa para

estructurar datos internamente, segundo la carencia de precedentes sobre superposición de mapas en ambientes computacionales y tercero la necesidad de construir escáner como herramienta de apoyo para poder utilizar mapas analógicos en forma digital. Es en la década de los ochenta cuando, una vez subsanadas estas dificultades, se tiene, apoyados en la creación de SIG genéricos, un despegue definitivo de estos sistemas.

Los SIG son algo más que un simple programa para la elaboración de mapas. Tienen la habilidad, bajo un ambiente computacional, de integrar datos relacionados con expresiones espaciales específicas de un fenómeno junto con otras variables asociadas a la ocurrencia del mismo. Estas herramientas permiten efectuar análisis a diversos rangos de escala, tanto a nivel de países como regiones y polígonos de cuencas compartidas por países cuyos territorios ocupan cuencas internacionales. Esto permite manipular grandes volúmenes de datos lo cual facilita el conocimiento, con un mayor nivel de detalle, acerca de la ocurrencia de un fenómeno. Tales características de esta herramienta subsanan, en parte, la toma de decisiones, a veces sesgada, acerca de un hecho geográfico particular, pues permite manejar varios escenarios con un mayor nivel de certeza y a un menor esfuerzo. La nueva información generada resulta ser, en consecuencia, más apropiada y el análisis más realístico.

Los sistemas de información geográfica son un sistema computarizado con capacidad para poder almacenar, manipular, recuperar, analizar, modelar y mostrar, de una forma interactiva, datos con referencia geográfica o geoespaciales. La manera como están concebidos los SIG permite considerarlos como una tecnología computacional que utiliza a los sistemas de información geográfica como un marco analítico para manejar e integrar datos, resolver

problemas o entender situaciones del pasado, presente o futuro. La ESRI (2006) define a los SIG como “un sistema compuesto por software, hardware, datos y personal que ayuda a manipular, analizar y presentar información ligada a datos espaciales”. En este sentido son cuatro los componentes básicos de un SIG: base de datos, software, hardware y personal.

Base de datos

La base de datos constituye una de los componentes primordiales del SIG. Su construcción, procesamiento y actualización requieren de grandes inversiones de tiempo y recursos. Por otro lado, los datos que conforman un SIG deben ser de muy buena calidad. Esto significa que éstos deben poseer un alto grado de precisión. La razón de esta exigencia es que la toma de decisiones basadas en el procesamiento de los mismos pudiera estar afectada por datos erróneos que distorsionen una realidad determinada. Esto amerita que los datos sean sometidos a análisis estadísticos, previos a su utilización, y determinar así su nivel de confiabilidad. De esta manera se persigue evitar que sean introducidos errores en el sistema. Construir una base de datos constituye, sin embargo, una de las tareas más exigentes en la elaboración de un SIG. Ésta requiere dedicar una considerable cantidad de tiempo y recursos económicos en su preparación. Al preparar una base de datos, por ejemplo para el estudio de una realidad fronteriza, las variables a considerar requieren, por sí solas muchas veces, de un exhaustivo inventario, en campo y gabinete, de la mayor cantidad de elementos asociados a la misma. De igual modo los datos tienden a perder vigencia con el tiempo. Esto implica mantener una actualización permanente de los mismos, sobre todo si la realidad que se trata es dinámica. Existen muchas fuentes sobre las cuales se apoyan la construcción de una base de datos, entre otras se encuentran los mapas,

sensores remotos, censos y los modelos digitales de elevación.

Los **mapas**, tradicionalmente elaborados, representan una rica fuente de datos, sobre todo si se trata de mapas temáticos. Estos mapas temáticos son construidos por lo general por expertos, de allí que presenten datos cartográficos con un alto nivel de confiabilidad. Un ejemplo clásico de este tipo de mapa lo constituyen los mapas físico-geográficos de suelos y geología, elaborados por pedólogos y geólogos. Igualmente, se utilizan mapas con los límites que representen la división político-territorial de municipios, estados o países, construidos por geógrafos y cartógrafos, bajo la supervisión de organismos oficiales. Los **sensores remotos**, tal como se mencionó previamente, son recursos invaluable para la captura de datos a utilizar en un SIG. Procesados, los datos generados por sensores remotos son considerados de una excelente calidad. Entre otros, pueden aportar información acerca de cobertura vegetal y sus condiciones, usos de la tierra, vialidad y variables ambientales como erosión. También constituyen una rica fuente de datos de elevación. Los censos apoyan la estadística que cuantifica una realidad geográfica. Datos sobre población y vivienda, ingreso familiar, intercambio comercial, flujo de personas y vehículos, así como sobre salud, número personas y unidades utilizadas en enfrentamientos bélicos forman la base para el análisis de una realidad. Los **modelos digitales de elevación** (MDE) conforman una de las más ricas fuentes de datos en los tiempos modernos de los estudios geográficos. Estos modelos representan las características topográficas de la superficie terrestre con un nivel bastante aproximado a la realidad. A diferencia de las tradicionales curvas de nivel o isohipsas del relieve, los MDE son construidos en ambientes computacionales y generan datos

de elevación en forma areal, es decir, estiman automáticamente los valores altitudinales para cualquier punto sobre un espacio determinado. Entre las numerosas bondades de estos modelos está la de poder producir datos sobre otras variables inherentes a los análisis espaciales como por ejemplo valores de pendiente, orientación o aspecto de un terreno, delimitación automática de cuencas y generación de imágenes tridimensionales (3D). Esto último favorece el estudio de realidades de una forma mucho más efectiva, pues el relieve puede ser virtualmente apreciado tal y como naturalmente es: en 3D. Así, los MDE han cambiado el concepto de la cartografía topográfica, permitiendo a los analistas espaciales conocer con mayor nivel de detalle una realidad, así como ofreciéndoles la posibilidad de poder modelar dicha realidad a través de técnicas de simulación asociadas al uso de estos modelos como son la *visualización y el fotorealismo*.

Software

Se refiere básicamente a la parte "inteligente" del SIG. La conforman los programas operativos que facilitan el desarrollo de los sistemas necesarios para la operación del equipo y el procesamiento de los datos. El software, posee un su diseño interno un conjunto de operaciones lógico-matemáticas y algorítmicas que facilitan dicho procesamiento. En la actualidad, existen un número importante de programas para sistemas de información geográfica; cada uno con diferentes cualidades y capacidades de operacionalizar datos georeferenciables. Destacan entre los usuarios aquellos con mayor robustez y facilidad de manejo, pero que al mismo tiempo puedan ejecutar diversas tareas dentro de un estudio determinado a objeto de resolver un problema específico y en un espacio en particular. Los software operativos para SIG deben ser capaces de manejar datos, hacer análisis geoestadísticos y manipular

imágenes, todo en un mismo ambiente. No obstante, salvo muy pocas excepciones, esta condición es difícil de encontrar en un sólo programa. Esto ha ocasionado que la mayoría de los paquetes computacionales sean diseñados para ser interoperativos, es decir, con formatos que puedan ser reconocidos por otros software SIG o, en todo caso, que posean la habilidad de poder importar dentro del sistema otros formatos.

Hardware

Es la parte sólida o estructura física del sistema. Lo conforman la computadora y todos los periféricos auxiliares del equipo, es decir, escáner, impresora, pantalla o monitor, mesa digitalizadora, quemadora de discos compactos, ratón o mouse, cables, entre otros. Tal como se mencionó previamente, el desarrollo de la tecnología computacional ha sido vertiginoso en los años recientes. Este avance ha estado sustentado en la electrónica y la cibernética cuyo indiscutible aporte ha permitido la generación de máquinas cada vez más poderosas. En este sentido, un hardware para SIG debe ser cuidadosamente seleccionado a objeto de poder soportar el almacenamiento y manipulación, a una regular velocidad de procesamiento, de una data voluminosa. Monitores de buena resolución y de gran tamaño son ideales para el análisis de imágenes frecuentemente utilizadas en los estudios geográficos. El desarrollo de la computación facilitó la tarea de los SIG. En la actualidad, la capacidad que poseen los equipos computacionales es literalmente ilimitada. Esto permite los análisis espaciales, incluyendo aquellos territorios donde la información generada es abundante y cambiante, como en los espacios fronterizos. Equipos con capacidades de almacenamiento que sobrepasan algunos el terabyte (1012 bytes) y con velocidades de procesador por encima de un gigabyte (10⁹ bytes), hacen más sostenible el uso de

equipos de computación para la manipulación de datos e información geográfica. Por ejemplo, una imagen de satélite fácilmente abarca una data de un terabyte.

Personal

El personal o usuario constituye junto con el software la parte inteligente del sistema. Comprende el personal técnico que construye y opera las computadoras y los periféricos, además de desarrollar los software y alimentar el sistema. Sin embargo, el usuario no sólo está representado por el operario dentro de un concepto SIG, sino también por otras personas que hace uso de la información generada. En otras palabras, el operario requiere tener conocimientos del SIG mientras que el usuario común no requiere de este conocimiento. El personal técnico requiere de cierta preparación en el área de la computación, bien sea en el desarrollo de software (programación) o en el manejo de los paquetes SIG disponibles. No obstante, profesionales que incursionan en este campo deben poseer conocimientos básicos de geografía, o en todo caso acerca del tópico sobre el cual se está aplicando la herramienta. Aún cuando se trata de aplicar la computación al análisis espacial, la interpretación de variables actuantes, de su manipulación y de los resultados obtenidos dependerá en buena medida del nivel de conocimiento que acerca el fenómeno estudiado posea dicho personal.

Estructuras básicas de un SIG

Al abordar un análisis espacial de una realidad concreta, uno de los principales problemas a enfrentar es la conversión de las variables que conforman ese espacio en objetos manejables bajo ambientes computacionales, es decir, la abstracción de esa realidad. Estos objetos por lo general poseen vinculaciones o relaciones espaciales imposibles de obviar, lo cual es resuelto utilizando la

topología, la cual permite a través de modelos lógico-matemáticos establecer las relaciones espaciales entre objetos geográficos.

En términos de SIG, el concepto de topología se refiere a la manera como los elementos geográficos son conectados entre sí. Por ejemplo, la topología de un límite entre países es una línea que representa el contacto entre dos espacios geográficos bien definidos representados por polígonos. Existen dos estructuras básicas empleadas en SIG: vector y raster

Vector

Consiste en la representación de objetos geográficos, o datos espaciales, basados en pares de coordenadas, utilizando puntos, líneas y polígonos (Figura 1). El punto constituye una coordenada simple x, y que representa elementos geográficos tan pequeños como para ser expresados como una línea o un área (p.e. un hito limítrofe). Con dos puntos consecutivos se puede generar una línea la cual posee orientación y sentido representando con ella aquellas características geográficas que conforman expresiones espaciales distintas a un área o punto; es el caso, por ejemplo, de la línea que representan el límite entre dos países. Los polígonos constituyen aquella agrupación de líneas que encierran una superficie tal, la cual no puede ser representada por vectores como el punto o simple línea.

Las divisiones políticas administrativas como municipios, estados, departamentos y países son

ejemplos clásicos de características geográficas representadas por un vector poligonal. Las imágenes vectoriales pueden ser manipuladas (p.e ampliar o reducir) manteniendo su calidad.

Raster

El espacio geográfico y los fenómenos asociados son representados utilizando una malla o cuadrícula regular conformada por celdas, la cuales son conocidas también como píxels (Figura 2). El píxel constituye la unidad mínima de representación que posee una imagen. Estas celdas mantienen las relaciones de vecindad entre los objetos representados utilizando para ello un valor numérico representativo (por ejemplo elevación).

El valor de cada celda o píxel es constante y su tamaño está estrechamente ligado a la resolución de la imagen. Resoluciones cercanas a la unidad (tamaño de píxel) indican una mejor calidad de la imagen. Un ejemplo clásico de raster lo constituyen los mapas analógicos al ser digitalizados o escaneados. A diferencia de las imágenes vectoriales, los rasters tienden a sufrir alteraciones si son ampliadas o reducidas en extremo.

SIG Y ESTUDIOS FRONTERIZOS: APLICACIONES ACTUALES Y POTENCIALES USOS

La herramienta SIG posee un cúmulo de atributos que dada la realidad fronteriza y los problemas limítrofes asociados, presenta un potencial uso dentro del campo de

Figura 1. Vectores

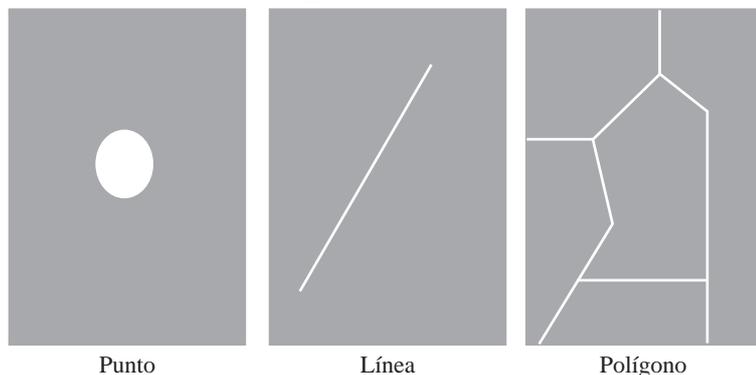
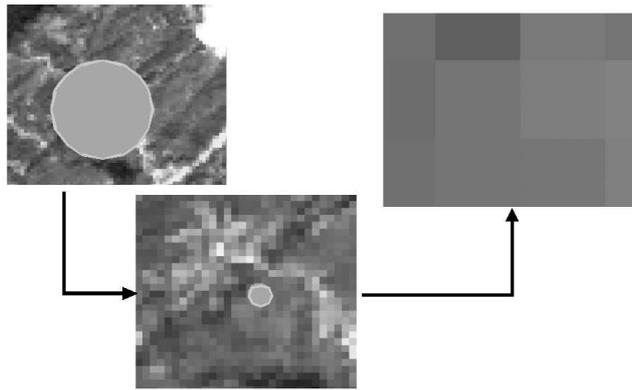


Figura 2. Raster



los estudios de esta naturaleza. Inherentes al sistema existen recursos de apoyo, como los sensores remotos por ejemplo, que infieren robustez al programa y facilitan el análisis de la problemática que históricamente ha estado ligada a las fronteras y espacios limítrofes. Algunas de esas bondades del SIG aplicables al estudio de estos particulares espacios son brevemente comentadas a continuación.

Georeferenciación

En la actualidad los SIG son aplicados eficientemente en las representaciones cartográficas. Los mapas creados en ambiente SIG destacan por su alto grado de precisión, calidad y posibilidad de actualización inmediata. Los sistemas de información geográfica operan con cartografía digital susceptible a ser georeferenciada. Esto significa, que el mapa puede ser proyectado bajo cualquier sistema de coordenadas conocidos (geográfica o UTM). Al mismo tiempo, puede seleccionarse los DATUM de cada país en específico.

En Venezuela, por ejemplo, se puede trabajar, entre otros, con los sistemas de coordenadas venezolanas: 1) PSA56, DATUM La Canoa o UTM 18, 19 ó 20 HN; 2) GRS80 DATUM REGVEN o UTM 18, 19 ó 20 HN. En efecto, al asociarse cada mapa a sistemas de coordenadas conocidos, cualquier objeto (por ejemplo, una nueva línea límite internacional) creado sobre él es automáticamente

georeferenciado. En consecuencia, la delimitación entre cada entidad federal es tratada como una línea vectorial, con orientación y sentido conocido. Esto facilita cualquier cálculo que sobre dicho límite deba realizarse. Así, determinar la longitud de la línea limítrofe entre dos países es sumamente sencillo donde presionando apenas algunas teclas puede conocerse con elevada precisión tal característica de dicha unidad territorial.

Cartografía digitalizada

Los sistemas de información geográfica son una herramienta poderosa para el diseño, manipulación y actualización de la información cartográfica. Los mapas elaborados con el apoyo de los programas para SIG poseen además de la precisión de sus datos la calidad en cuanto la presentación de los mismos. Al estar georeferenciados es posible estimar a partir de ellos dimensiones como superficie, perímetro y longitud. Al mismo tiempo estos programas traen incorporados recursos cartográficos tales como una paleta de colores, que permite al usuario una casi infinita mezcla de colores a ser utilizados. De igual modo traen como apoyo otros recursos cartográficos como tramas, una gran variedad de líneas y símbolos convencionales (p.e. tipos de líneas para trazado de límites), escala gráfica, coordenadas reticulares, entre otros. Al estar digitalizados y poseer tablas de datos asociadas, es posible hacer modificaciones y

actualizaciones inmediatas sobre estos mapas.

A objeto de mostrar las bondades cartográficas de estos programas se hará un ejercicio utilizando como material de apoyo la cartografía digital suministrada por ESRI. Para ello se empleará el programa MapInfo®. Tal como se puede apreciar en la Figura 3 en pantalla se presenta el mapa mundial. Asociado a cada país aparece una tabla de datos que contiene información general la cual incluye, entre otros, población para el año 1994, así como inflación, desempleo y analfabetismo.

La interactividad del SIG permite consultar sobre un tópico determinado relacionado con la tabla en cuestión los cual no sólo es representado cartográficamente, sino que también genera una nueva tabla de datos contentivos de la información solicitada. En este caso se desea indagar algún tópico sobre población. A través del programa se puede determinar cuales son los países que poseen un número determinado de habitantes. Por ejemplo, se puede interrogar al programa acerca cuáles son aquellos países que para el año 1994 poseían más de 63 millones de habitantes. Para ello se selecciona la columna de la tabla que contiene discriminada la población (Pop_1994) y se establece la condición deseada; en este caso la selección de aquellos países con más de 63 millones de habitantes ($Pop_{1994} > 63000000$). Automáticamente se crea una tabla que indica lo solicitado: del total mundial sólo 12 países poseen tal condición, destacando China con la mayor población y en Sudamérica Brasil. La tabla generada, producto de la selección, activa además una malla sobre cada país que cumpla con la condición solicitada.

Longitud del límite

Varias son las aplicaciones potenciales de los SIG asociadas a las mediciones de patrones longitudinales, particularmente aplicables a los cambios territoriales.

Figura 3. Tabulación y consulta interactiva

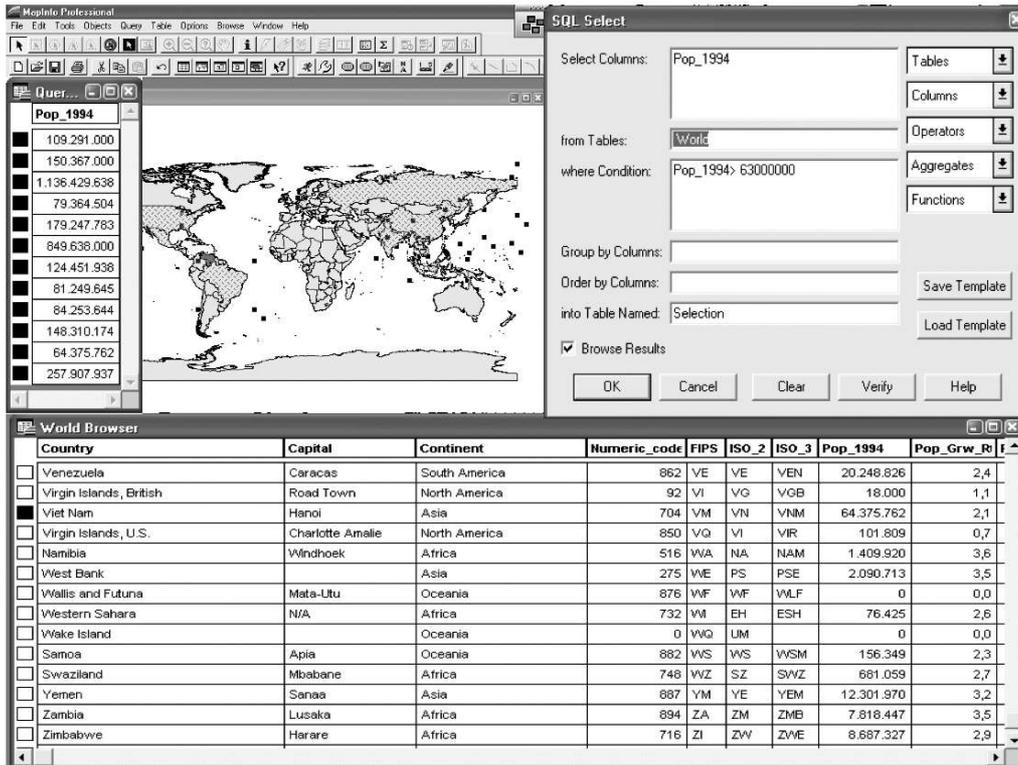
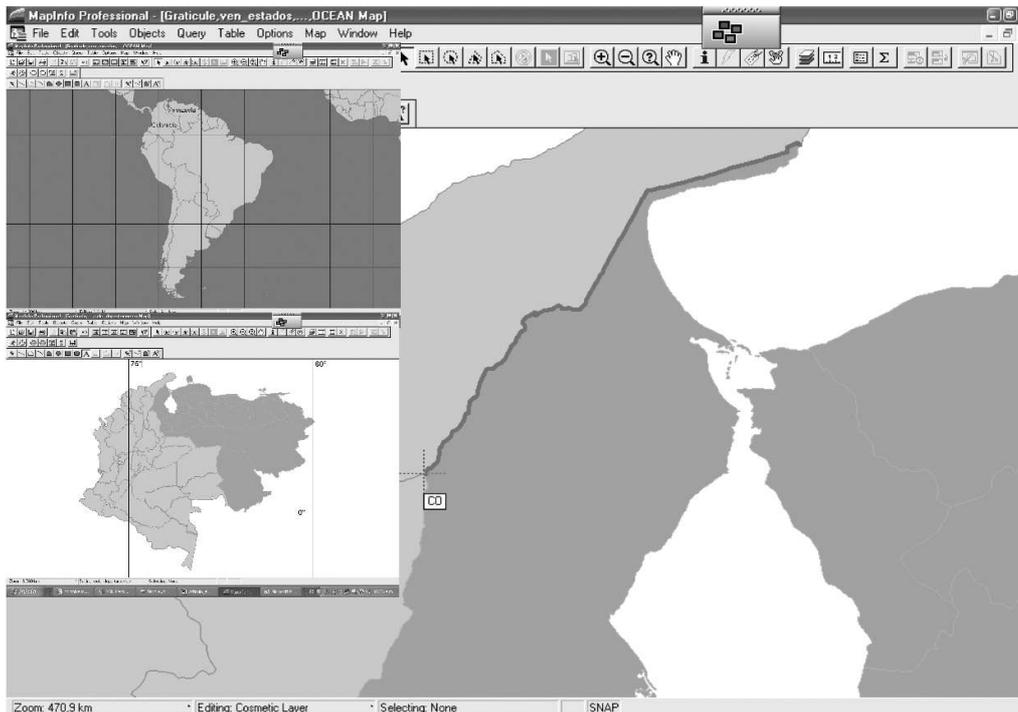


Figura 4. Vectorización línea limítrofe entre Zulia (Venezuela) y Colombia



A efectos de tener una idea de los potenciales beneficios que los SIG pueden suministrarles a los estudios fronterizos y en particular al trazado y determinación de las dimensiones de la línea limítrofe entre naciones, a continuación se hará un breve ejercicio comparativo entre los datos de la longitud del límite entre Venezuela y Colombia, aportados por diversos organismos oficiales y las mediciones obtenidas utilizando el software para SIG MapInfo®. Para ello se considerará la longitud del límite internacional de cada estado venezolano que comparte su frontera con la República de Colombia, es decir: Zulia, Táchira, Apure y Amazonas.

El mapa utilizado es el suministrado por ESRI con el paquete MapInfo® versión 7.0 (Figura 4). Está digitalizado y georeferenciado bajo el sistema de coordenadas geográficas (latitud y longitud) WGS 84.

Utilizando el mapa de Sudamérica, se desplegaron en la pantalla de MapInfo® dos capas contentivas de los mapas con las dos entidades nacionales a analizar, es decir, Venezuela y Colombia (Figuras 4). Una capa contiene sólo los mapas de ambos países y la otra con las divisiones políticas administrativas. Sobre este último mapa se activó el *control de capas* y se seleccionó *creación de capa*. Esta operación hace editables a dichos mapas. Así, con la opción

de trazado *polilínea* se procedió a vectorizar sobre el mapa cada segmento limítrofe entre el Estado venezolano y Colombia.

Con la intención de hacer el trazado más preciso aún, se utilizó el sistema *snap* de trazado automático (autotrazado). El mismo reduce sustancialmente las imprecisiones por parte del operario. Por otro lado, el programa utilizado facilita la ampliación de la imagen (zoom) sin que la misma pierda sus cualidades (resolución, proporcionalidad, entre otros). Esto permite incrementar el nivel de detalle, lo cual se traduce en un trazado (vectorización) más preciso aún.

Según el Cuadro 1, si se comparan, a nivel de entidades, los resultados obtenidos aplicando el cálculo del límite con MapInfo®, se puede apreciar que hay una notable discrepancia entre estos y los datos suministrados por los organismos oficiales COPRE y COPAF. En efecto, con la excepción del caso limítrofe entre Táchira y Colombia, donde los valores son prácticamente similares (alrededor de los 140 Kms de longitud de límite), la diferencia entre ambos datos es muy significativa. Llama la atención, el estado fronterizo del Zulia. El límite de acuerdo con COPRE y COPAF, alcanza una longitud de 819 Kms, por el contrario los valores estimados utilizando MapInfo® indican una

longitud de 641,2 Kms. Esto hace una diferencia de 177,8 Kms.

Por otro lado, utilizando varias fuentes oficiales se aprecia que son muy similares los datos de longitud total del límite aportados por el MRE de Venezuela y el gobierno colombiano (2219 Kms de longitud total entre Venezuela y Colombia). Igual ocurre entre el total estimado por el IGVS B y la COPRE y COPAF (2317 Kms.). Sin embargo, tal como se desprende de los datos suministrado por el cuadro, la diferencia entre ambos es de 98 Kms. Si se analizan otras fuentes, se observa que no existe ninguna coincidencia entre las longitudes del límite. Tampoco coinciden estos datos con el obtenido utilizando MapInfo®, sin embargo el valor es más cercano al suministrado por el MRE y el gobierno colombiano con una diferencia de unos 15 Kms.

Buffers

Ésta constituye una de las herramientas del SIG que ofrece gran utilidad en los estudios relacionados con la delimitación de espacios homogéneos a lo largo de una línea o límite. A través de *buffer* es posible determinar con gran nivel de precisión el área de influencia, o establecer una zona de protección, a partir del límite. El usuario puede a su albedrío indicarle al sistema la amplitud de la franja.

Starr (2002) en su intento por caracterizar todas las fronteras del globo por medio de la herramienta SIG y apoyados en los datos Digital Chart of the World (DCW) generados por ESRI en 1992, utilizó el software ArcInfo® para crear un *buffer* a lo largo del límite fronterizo de Israel. La misma tenía como objetivo conocer con un alto nivel de precisión el comportamiento (presencia y ausencia) de un conjunto de variables que facilitan la caracterización en una franja aproximada de 10 mil metros a cada lado del límite internacional. Las variables a identificar dentro de la franja fueron: vías de comunicación, vías férreas y pendiente del terreno. Este ejemplo demuestra, que en

Cuadro 1. Longitud de limite entre Venezuela y Colombia

Entidad	COPRE COPAF	MRE Vzla.	Gob. Colom.	CIA	IGVSB	BD (PRIO)	MapInfo®
Amazonas	690	—	—	—	—	—	722
Apure	668	—	—	—	—	—	700,3
Táchira	140	—	—	—	—	—	140,8
Zulia	819	—	—	—	—	—	641,2
TOTAL	2317	2219	2219	2050	2317	3700	2204,3

Fuentes:

- COPRE-COPAF (Linares, 1996)
- MRE (Ministerio de Relaciones Exteriores, Venezuela) www.mre.gov.ve
- Gobierno de Colombia
<http://www.presidencia.gov.co/historia/Colombia%20Mapa%20Oficial.pdf>
- CIA (Central Intelligence Agency)
<http://www.cia.gov/cia/publications/factbook/geos/ve.html>
- IGVS B (Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar)
<http://www1.igvsb.gov.ve/atlas/inicio.html>
- PRIO (International Peace Research Institute, Oslo)
<http://www.prio.no/cwp/ArmedConflict/>

efecto, una vez establecida la franja es posible conocer la superficie que ocupa y los elementos contenidos dentro de ella, permitiendo llevar a cabo análisis estadísticos y de correlación espacial mucho más precisos.

El Centro de Ingeniería Topográfica de la Armada de los Estados Unidos utilizó parte de esta técnica durante las negociaciones de Paz en Daytona en 1995, para solucionar el conflicto entre Bosnia y Herzegovina. Imágenes tomadas en tiempos reales combinadas con modelos digitales de elevación alimentaron el sistema que facilitó la creación de mapas de las divisiones territoriales y de franjas o *buffers* propuestas en las negociaciones. Esta acción favoreció lograr los acuerdos para que se respetase la entidad nacional y establecer una línea fronteriza favorables a los países en disputa (Johnson, 1999).

Con el comando *buffer* puede entonces crearse un área que cubra, por ejemplo, veinte kilómetros a lo largo y ancho del límite fronterizo entre Venezuela y Colombia. Utilizando MapInfo® y *polilínea* se traza la línea limítrofe y se mantiene activa (Figura 5). Con el

comando *buffer* se asigna el valor del *buffer* deseado (10) y la unidad (kilómetros). Este procedimiento genera automáticamente un polígono que encierra una franja exacta de diez kilómetros a cada lado del límite. Esta opción produce al mismo tiempo información que es asignada a los originales contenidos en los mapas a partir de los cuales se elabora el *buffer*. Así, datos como superficie y perímetro son suministrados instantáneamente.

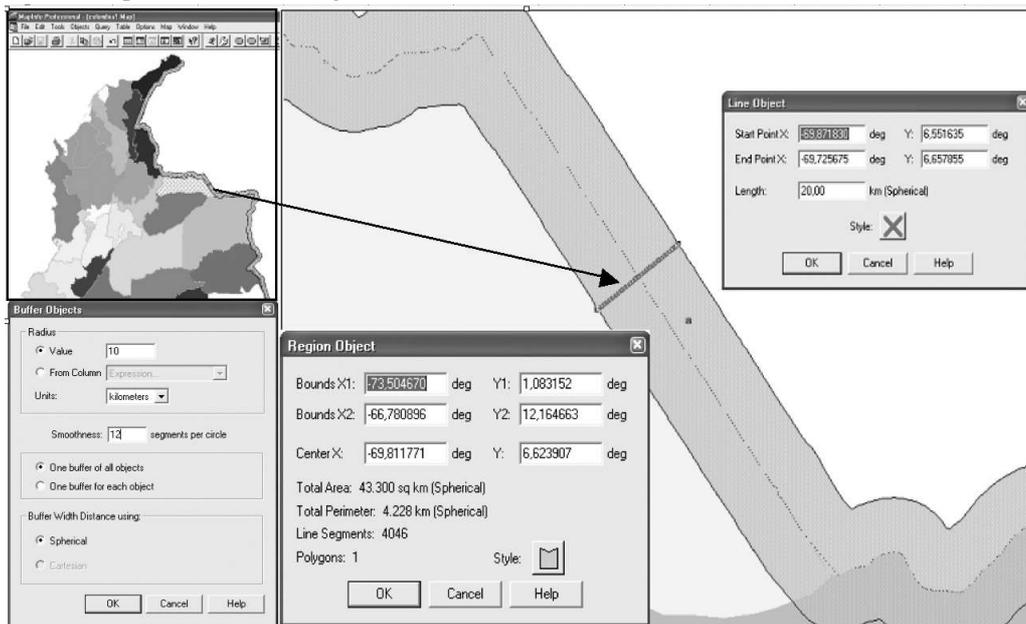
Tridimensionalidad

La tendencia histórica a establecer separaciones físicas entre países ha ocasionado en algunas oportunidades la creación de murallas o barreras físicas a lo largo del límite internacional. Son bien conocidos los casos de estas acciones por parte de algunos imperios o gobiernos nacionales, siendo tal vez el más emblemático la Gran Muralla China construida durante la Dinastía Ming, con una longitud de 6.352 kilómetros, a objeto de defender a China de los nómadas mongoles. Otros casos no menos conocidos son el derribado Muro de Berlín, que dividió a Alemania en dos porciones durante la Guerra Fría, y los parcialmente construidos entre Palestina e Israel

en Medio Oriente y entre Estados Unidos y México en Norteamérica.

Con el apoyo del SIG es factible visualizar, en forma tridimensional, aspectos asociados al espacio fronterizo como por ejemplo estas estructuras o barreras. Utilizando la cartografía digitalizada y georeferenciada es posible delimitar la sección limítrofe a lo largo del eje fronterizo y crear una imagen virtual de un muro o barrera física cuyas dimensiones (p.e. longitud y ancho) pueden ser conocidas en tiempo real. A los efectos de presentar la factibilidad de tal procedimiento se hará un simulacro de elaboración de una barrera entre virtual entre Venezuela y Colombia. Para ello se considerará el mapa de Sudamérica suministrado por ESRI. Utilizando el comando *polilínea* se traza la línea que divide a ambos países. Posteriormente se le aplica un *buffer* de unos diez metros de ancho. Tanto el mapa digitalizado y el *buffer* son exportados del formato TAB (MapInfo®) al formato SHAPE (ArcView®). La idea es poder elaborar en ArcView®, utilizando la extensión *Spatial Analyst*, la imagen tridimensional del muro virtual entre ambas naciones.

Figura 4. Buffer o franja de 10 Km a ambos lados del límite Venezuela - Colombia



En ArcView® se presenta en pantalla las imágenes exportadas y se procede a seleccionar el comando 3D Scene, con el cual se crea la imagen deseada (Figura 6). A través de la manipulación de las características de la imagen 3D, se exageran los datos originales asignándole una altura aproximada de tres puntos a la estructura virtual. El resultado es una imagen 3D, que puede ser visualizadas desde diferentes perspectivas de acuerdo con las necesidades del usuario. De igual modo se puede controlar otras variables como el ángulo de incidencia solar, al mismo tiempo que se puede dar animación a la imagen.

Vigilancia y control de fronteras

La posibilidad de poder combinar en un ambiente SIG cartografía actualizada con otros recursos de captura de información como imágenes de satélites, hacen de esta herramienta un apoyo en la vigilancia y control de las actividades legales e ilegales que se suscitan en las fronteras.

Recientemente, la Patrulla de Frontera de los Estados Unidos localizada al sur de ese país, desarrolló un sistema de seguridad basado en la tecnología SIG para patrullar y controlar el denominado Sector San Diego (Desde Imperial Beach hasta el Desierto de Anza Borrego). Este sector es considerado como el más vulnerable del sudoeste de los Estados Unidos, en cuya frontera internacional con México se concentra aproximadamente un cuarto del total de la actividad de cruce ilegal, estimándose en un tráfico de una diez mil personas anualmente McGarigle (2001).

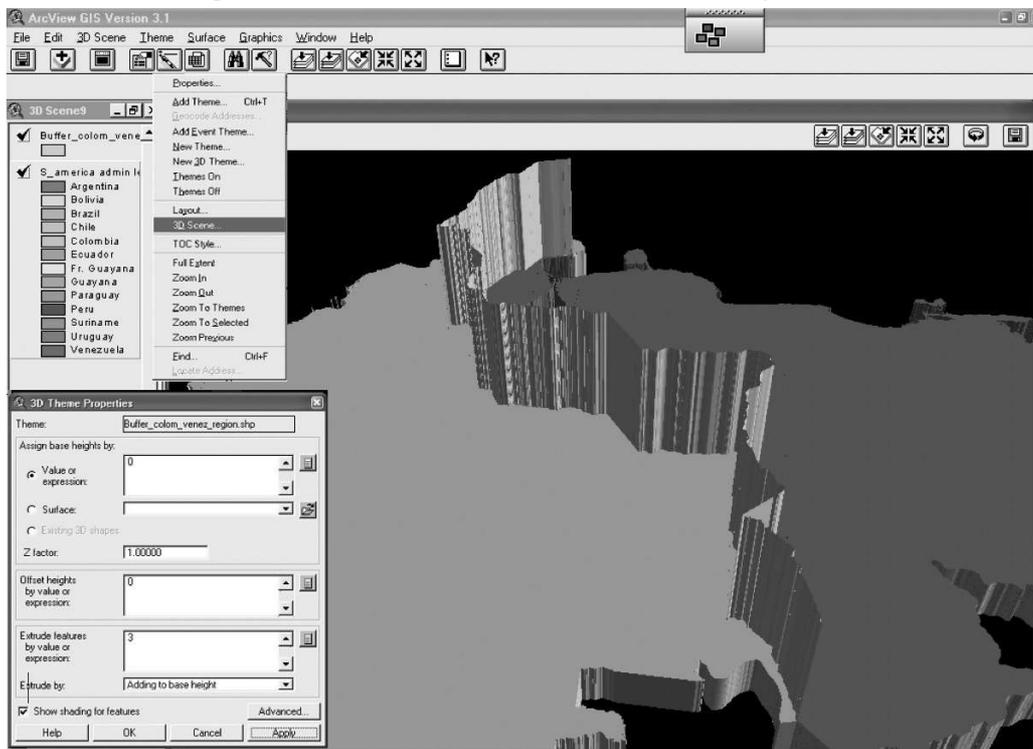
De acuerdo con McGarigle (2001) el SIG fue desarrollado para integrar y analizar data proveniente de diversas fuentes como GPS, sensores remotos, fotografías aéreas en falso infrarrojo, instrumentos de visión nocturna, detectores terrestres de actividad sísmica e infrarrojo y capta huellas digitales. Una breve descripción de esta aplicación se hace a continuación.

A objeto de operacionalizar la aplicación del SIG, se estableció

una red conectada a los detectores sísmicos y de infrarrojo en sitios estratégicos. Estos equipos de alta sensibilidad, localizados en nueve sitios seleccionados, son capaces de detectar cualquier movimiento en sus cercanías disparando una señal que es recogida por una central. El tiempo y las coordenadas del sensor son mostrada inmediatamente sobre un mapa 3D del área, lo cual permite al operario estimar el flujo migratorio. Utilizando el GPS se efectúa un inventario de las vías de comunicación y de las rutas (trochas) por donde transitan los migrantes. Esta información alimenta una base de datos en una plataforma ArcView®. De esta forma se establece un patrón de rutas a partir de lo cual se estima la dinámica de las rutas (abandonadas, modificadas y creadas) y se mide la efectividad de la acción de patrullaje.

Con el apoyo del programa para SIG, ERDAS Imagine®, se analiza las características de la vegetación observándose el comportamiento

Figura 6. Muro o barrera física virtual entre Venezuela y Colombia



de ésta ante la acción humana; lo cual se refleja en el estado de salud de las plantas, su nivel de estrés debido al paso de la gente así como los residuos dejados. Utilizando este programa y con el apoyo del GPS se procedió a clasificar la red de las rutas seguidas de acuerdo con el costo físico para cruzar un determinado terreno. A cada tipo de suelo, inclinación del terreno (pendiente), vegetación, estación del año, defensas y el instrumento de detección se le asigna un nivel de dificultad que se almacena en el SIG a través de un código de colores. Esta es una escala de impedimento (factor de dificultad) para cada sector. Cuando mayor es el factor de dificultad, mayor es el costo físico para poder cruzar la frontera por ese sector. El factor de dificultad es sobreimpuesto a un mapa digitalizado lo cual permite analizar el patrón del flujo de personas, además de sugerir las áreas que requieren mayor supervisión y equipamiento.

De igual modo, el sistema de información geográfica juega un papel importante en el control de migrantes a través de capta huellas. A una persona, que es capturada por primera vez, se le escanean sus huellas lo cual alimenta una base de datos y se le asigna un código de identificación, el cual incluye adjunto fotografía del individuo así como parte de su biografía. Esto permite un control sobre las personas arrestadas, su reincidencia y arroja el número total de arrestados durante el año, a parte de conformar una base de datos de más de un millón y medio de personas. Al ser arrestado y capturada su huella, la información generada es desplegada sobre un mapa, así se determina si la persona está utilizando una ruta por primera vez o si está moviéndose hacia otro sector, por lo que el seguimiento y control es más efectivo.

Demarcación y delimitación del límite fronterizo

Tal como lo destaca Newman (2000), aún en la actualidad aquellos

espacios donde coinciden los bordes de las naciones todavía continúan las delimitaciones y las demarcaciones. En efecto, un gran número de naciones aún mantienen disputas con sus vecinos o siguen redibujando la línea que los separa. Aunque como lo señala el autor antes citado, salvo los reordenamientos territoriales después del colapso de la Unión Soviética, por lo general se trata de indefiniciones de pequeñas porciones de espacios limítrofes más que de la totalidad del límite. No obstante queda claro que, al tratar de definir sus espacios, para las naciones cualquier porción de territorio cercano al vecino es cuidadosamente vigilado. Legados coloniales, dominio de poderosos Estados sobre otros más débiles, el deseo de mantener control sobre escasos y valiosos recursos, histórica injusticia cuando las líneas limítrofes fueron por primera vez trazadas, falta de conocimiento por parte de los delimitadores, inaccesibilidad, mapas con escasa información son entre otros tantos las razones por las cuales límites internacionales han generado conflictos territoriales (Newman, 2000).

Una de las alternativas que ofrece la tecnología moderna para la delimitación y demarcación de los espacios limítrofes, con mayor nivel de exactitud, es la aplicación de los sensores remotos en plataforma SIG. Recursos como fotografías aéreas, imágenes de satélites y radares ofrecen posibilidades aún no del todo aprovechadas. Estas imágenes además de estar georeferenciadas poseen el valor de ser una representación bastante aproximada de la realidad lo cual facilita el trabajo de los delimitadores. En efecto, la representación gráfica del terreno con tal nivel de aproximación evita problemas del pasado como la identificación a priori de condiciones que pueden incidir en la delimitación – la división de propiedades – y en la

demarcación – la determinación precisa del talweg de un río -. Por otro lado, los sensores remotos pueden contribuir en la determinación de los cambios con potencial efectos sobre la línea limítrofe, tal como puede ocurrir cuando cursos de aguas utilizados como límites naturales, como quebradas o ríos, sufren alteración en su configuración original. De igual modo, bajo este concepto, las imágenes generadas por sensores remotos son recursos ideales a considerar para la localización precisa de los hitos fronterizos.

Tal como lo destaca Wood (2000), los sensores remotos deben ser considerados como claves en la generación de datos a ser utilizados en toda disputa fronteriza, sobre todo donde son escasos los mapas con datos precisos, actualizados y de gran escala, es decir, en casi todo el mundo. Los datos generados por los sensores remotos ofrecen una cantidad considerable de información que pueden ser utilizados dentro de un SIG para el análisis de fenómenos y procesos fronterizos (Gómez et al., 2000). El aporte de estos recursos pudiera satisfacer el análisis de la realidad fronteriza en tres escalas o niveles de resolución:

a. Baja resolución: cubre grandes áreas y son de potencial utilidad para evaluar cambios que pudieran incidir en las negociaciones fronterizas, principalmente para cálculos de espacios territoriales y marítimos. Se incluyen los tipos Landsat y Radarsat con resoluciones entre 15 y 30 metros.

b. Media resolución: pueden ser de gran utilidad para definir la delimitación de espacios limítrofes. Con una resolución aproximada de cinco metros ofrece una visión pancromática del espacio terrestre. Destacan en este orden los satélites SPOT e IRES.

c. Gran resolución: imágenes a esta resolución pueden ser empleadas en la localización de hitos, para ajustar con mayor precisión los límites y para generar datos sobre

demarcación. Incluye satélites como el IKONOS, fotografías aéreas y LIDAR con aproximadamente un metro de resolución.

SIG y conflictos

La versatilidad de los sistemas de información geográfica destaca por la capacidad de los mismos para almacenar grandes volúmenes de datos de diversas fuentes así como el soporte de información cartográfica. De allí que recientes estudios de conflictos bélicos entre naciones se estén apoyando en SIG para el análisis de escenarios de guerra, impactos de la actividad bélica e incluso en la predicción de países que pudieran tener posibles conflictos.

Queda claro, para los estudiosos de la materia, que los conflictos armados no son eventos distribuidos al azar, sino que por el contrario su localización responde a factores que tienen una variación geográfica y relevancia militar. En efecto, si se revisa la literatura especializada, se observa que una serie de condiciones físico-geográfica y de orden militar son consideradas en los análisis de todo conflicto armado, las cuales pueden ser manipuladas en ambientes SIG. Collier y Hoeffler (2001) consideran como indicadores los terrenos montañosos y la vegetación boscosa, es decir, variables causales que contribuyen a explicar el patrón de desarrollo de las guerras civiles; Braithwaite (2001) incluyó en su estudio variables dimensionales como longitud y latitud para localizar el punto central de cada disputa con lo cual se apoyó, con la ayuda de SIG, para realizar análisis visuales sobre guerras; Buhaug y Gates (2002) incluyen variables sobre localización de las zonas de batalla, distancia desde la zona de conflicto a la capital y otras variables relacionadas con la presencia de valiosos recursos naturales.

A objeto de analizar el comportamiento de los conflictos bélicos entre estados vecinos Starr

(2002) comparte la idea de Vasquez (1993) quien sugiere que la contigüidad territorial es uno de los elementos determinantes cuando se intenta precisar la probabilidad de guerra entre dos Estados. Sin embargo, Vasquez (1993) refuerza sus planteamientos señalando que la contigüidad no sea tal vez el factor crítico, por lo que sugiere que tal vez la naturaleza de la frontera entre dos países también repercute en la probabilidad de que Estados se enfrenten en una guerra. El planteamiento sugiere, en consecuencia, que fronteras que coinciden con límites fronterizos naturales o atraviesan regiones inhabitadas o tienen poco valor son menos probables de provocar guerra que las fronteras disímiles o las zonas fronterizas. Utilizando un SIG y una base de datos que incluían diferentes grupos de conflictos (22 rivalidades y 27 disputas territoriales, entre otros) entre pares de Estados que compartían contiguos territorios fronterizos, Starr (2002) analizó la naturaleza de la frontera y su incidencia en los conflictos concluyendo, entre otras cosas, que más que la naturaleza de la frontera, la longitud de la misma juega un importante rol, argumentando en consecuencia que mientras más larga sea la frontera mayor es la posibilidad de interacción y por ende la ocurrencia de conflictos.

Conclusión

Las fronteras son espacios con características intrínsecas y extrínsecas muy particulares y cuyo análisis permite la comprensión de su naturaleza. Estos espacios tienden a ser conflictivos o a generar disputas entre los Estados, siendo el desconocimiento del límite por parte del país vecino una de las causas principales de estos conflictos. Los sistemas de información geográfica constituyen una metodología alternativa para el estudio científico de estos espacios. Sus capacidades para almacenar y manipular grandes volúmenes de

datos de diversas fuentes permiten estudios más detallados, con niveles aceptables de precisión, lo cual contribuye a mejorar el conocimiento de la realidad fronteriza y por ende a disminuir la posibilidad de enfrentamientos; mejorando la calidad de vida en estos espacios.

Bibliografía

- Braithwaite, A. (2001), *The geography of militarized interstate dispute (MID) onsets, 1816-1992*. North American Meeting of the Peace Science Society, USA: Atlanta, GA, octubre 26-28.
- Buhaug, H. y Gates, S. (2002), "The geography of civil war". *Journal of Peace Research*, vol. 39, no. 4, pp. 417-433
- Collier, P. y Hoeffler, A. (2001), *Greed and Grievance in civil war*. World Bank: Working Paper.
- Dardon, A. (1900), *Memoria sobre la cuestión de límites entre Guatemala y México, presentada al señor Ministro de Relaciones Exteriores por el jefe de la Comisión Guatemalteca*. Guatemala: Centro Editorial "José de Pineda Ibarra" – Ministerio de Educación Pública, 1964. Citado por Soili Buska *From Zone and Subjects to Line and Territory: A Theoretical Reflection on the Mexican-Guatemalan Boundary Dispute (1821-1882)*, en línea: <http://historia.fcs.ucr.ac.cr/articulos/fronteras.htm> (consulta 20-02-06).
- ESRI (2006), What is GIS?, en línea: <http://www.gis.com/whatisgis/index.html> (consulta 28-04-06).
- Gochman, C.S. (1991), "Interstate metrics: conceptualizing, operationalizing, and measuring the geographic proximity of States since the Congress of Vienna". *International Interactions*, vol. 17, no. 1, pp. 93-112.
- Gómez, H. (2002), *Modelling Landslide Potential in the Venezuelan Andes*. Inglaterra: Universidad de Nottingham, Tesis de PhD.
- Gómez, H., Linares, R. y Bradshaw, R. (2000), El paisaje fronterizo: una visión satelital. Caso: San Antonio del Táchira (Venezuela) – Cúcuta (Colombia). *Aldea Mundo*, vol. 4, no. 8, pp. 5-18.
- Johnson, R.G. (1999), *Negotiating the Dayton Peace Accords through digital maps*. USA: United States Institute of Peace (USIP), Virtual Diplomacy Report.
- McGarigle, B. (2001), High-Tech Borders, en línea: <http://www.govtech.net/magazine/story.print.php?id=4611> (consulta 20-03-2006).
- Linares, R. (1996), *Desarrollo fronterizo y descentralización. Realidades y expectativas en el Táchira*. Trabajo de ascenso. San Cristóbal: ULA CEFI.
- Newman, D. (2000), "Into the millenium: the study of international boundaries in an era of global an technological change". *Boundary and Security Bulletin*, vol. 7, no. 4, pp. 63-71.
- Starr, H. (2002), "Opportunity, willingness and geographic information systems (GIS): reconceptualizing borders in international relations". *Political Geography*, vol. 21, pp. 243-261.
- Tomlinson, R.F. (1988), "The impact of the transition from analogue to digital cartographic representation". *The American Cartographer*, vol. 15, no. 13, pp. 249-261.
- Vasquez, J. (1993), *The war puzzle*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wesley, J.P. (1962), "Frequency of wars and geographical opportunity". *Journal of Conflict Resolution*, vol. 6, no. 387-389.
- Wood, W. (2000), "GIS a tool for territorial negotiations". *IBRU Boundary and Security Bulletin*, pp. 72-79.



Gómez Z, Heriberto R.

Geógrafo, Universidad de Los Andes, Venezuela. PhD en Geografía, Universidad de Nottingham, Inglaterra. Profesor Asociado, adscrito al Departamento de Cs. Sociales de la ULA. Cátedras: Geomorfología y Sistemas de Información Geográfica. Coordinador del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica (LABSIG). PEI-ULA y PPI Nivel I, FONACIT.

E-mail:

hgomez@ula.ve

Linares, Rosalba

Geógrafo, ULA-Mérida. PhD en Geografía, Universidad de Nottingham, Inglaterra. Investigadora-Docente, Centro de Estudios de Fronteras e Integración. ULA-Táchira. Profesor Agregado. Coordinadora Revista GEOENSEÑANZA. PEI-ULA y PPI II-FONACIT

E-mail:

rosali@ula.ve

Fecha de Recepción:

28 de marzo de 2006.

Fecha de Aprobación:

6 de mayo de 2006.

