

SISTEMAS DE INFORMACIÓN geográfica

Y SU APLICACIÓN EN LA ARQUEOLOGÍA

DIÓGENES PATIÑO

Resumen

El uso potencial de los sistemas de información geográfica –SIG– en arqueología ha demostrado que la investigación en este campo puede hacerse de manera más sofisticada. Las aplicaciones de estos sistemas en arqueología son usadas para evaluar la relación entre los sitios arqueológicos y el ambiente regional. Los datos son recogidos por medio de mapas –altura, hidrología, geología, suelos, vegetación, arqueología, etcétera–, copiado electrónico y uso del SIG y los sensores remotos –vía satélite o fotografía aérea–.

Abstract

The potential use of Geographic Information Systems (GIS) in archaeology has demonstrated that research in this field can be addressed in more sophisticated way. GIS applications in archaeology are used to assess the relationship between archaeological sites and the regional environment. Data is gathered through digitalizing maps (elevation, hydrology, geology, soils, vegetation, archaeology, etcetera), scanning, using GPS and remote sensing (via satellite or aerial photography).

Introducción

Una de las metodologías que ha tomado más fuerza en los últimos años en el campo del análisis e interpretación del espacio y el medio ambiente en relación con la actividad humana (Allen y Zubrow, 1990; Montañez, 1993; Savage, 1990), son los sistemas de información geográfica –SIG– y su utilización en diferentes disciplinas de las ciencias sociales, incluyendo los estudios antropológicos y arqueológicos. En la última década, varios programas de cómputo –software–, para geógrafos y cartógrafos principalmente, se han convertido en una especie de *revolución* de la informática digital para quienes están interesados en la planeación de proyectos a corto y largo plazo. Por consiguiente, muchas compañías de cibernética inundaron los mercados internacionales de *software* para la sistematización de cualquier tipo de información digital. Uno de los mayores beneficiados con la aplicación de estos métodos computarizados ha sido el campo de la información geográfica sistematizada alrededor del mundo. Obviamente, los antropólogos y arqueólogos, por tener su objeto de estudio relación directa con el espacio y el tiempo –e.g., territorialidad, locación de hallazgos, patrones de asentamiento, etcétera– se encuentran ante la posibilidad de mejorar los métodos de investigación de manera sustancial a través de las múltiples e innovadoras aplicaciones de los sistemas de información geográfica.

Estos se definen como sistemas computarizados de gran poder para almacenar, analizar y representar de manera eficiente datos espaciales –mapas– y atributos –descriptivos–, elementos utilizados para responder a propósitos de investigación concretos (Burrough, 1986; Martin, 1996; Valenzuela, 1992). El desarrollo de los SIG es relativamente reciente en los departamentos de geografía y oficinas de Estado de muchos países que día a día modernizan, sistematizan y planean en mayor medida sus actividades, tanto en los centros urbanos como en las áreas rurales. En los países latinos, los SIG han tomado fuerza y se utilizan más en problemas de planeación rural y manejo de los recursos ambientales, con el propósito de prevenir su deterioro y usarlos de manera adecuada. Sin embargo, su utilización en estudios de las ciencias sociales es mucho más reciente, quizá desde hace unos siete años (Behrens y Sever, 1991; Goodchild, 1996: 341).

La arqueología y los sistemas de información geográfica

Los sistemas de información geográfica son ideales para trabajos arqueológicos, debido a que pueden manejar volúmenes de datos que combinados en una única información a gran escala funcionan como un sistema de análisis. La utilidad y flexibilidad de los SIG para la información arqueológica sobre periodos cronológicos y grandes áreas regionales es clara.

En arqueología, dichos sistemas han probado ser herramientas valiosas en la ejecución de diversos proyectos, tanto en la etapa de campo y laboratorio como en el manejo de resultados finales. Durante los últimos años, la arqueología se ha beneficiado de las técnicas SIG para diseñar y estudiar problemas arqueológicos de variada índole. En arqueología, los SIG son bases de datos espacialmente referenciados como puntos, líneas y áreas que están relacionados de manera directa con los registros de la base de datos (Maschner, 1996: 1). Los SIG son reconocidos por su gran capacidad para guardar, clasificar y manipular matemáticamente datos que se despliegan visualmente, en nuestro caso no sólo de un yacimiento sino de múltiples localidades en una región arqueológica.

La tecnología SIG usa programas de computo *software* para relacionar mapas temáticos e información arqueológica disponible en bases de datos. La arqueología usa esta tecnología para catalogar, guardar y relacionar espacialmente grandes registros pertenecientes a restos culturales, locaciones de unidades de excavación *e.g.*, trincheras, cuadrículas, pozos, etcétera, conjuntos de evidencias arqueológicas que van desde artefactos *e.g.*, cerámica, lítica, etcétera, restos animales *huesos*, botánicos *e.g.*, frutos, semillas, etcétera, hasta ruinas de diversa índole (*e.g.*, plazas, montículos, viviendas, poblados, etcétera). Mediante el contraste de la información observada y analizada, el investigador puede resaltar tendencias y agrupar diversos tipos de datos para referirse a ellos como una sola unidad de investigación; una tarea que sería muy dispendiosa y demorada si usáramos los métodos tradicionales (Maschner, 1996; Wener et al., 1992). Sin embargo, aunque los SIG puede usarse para describir y analizar múltiples variables, esto no significa, en sí mismo, la solución a los problemas teóricos, metodológicos o prácticos. Para ello es necesario tener claros los niveles de

organización, comenzar con diseños de base de datos relacionales o jerárquicos necesarios para analizar información que va desde los registros arqueológicos *excavaciones* hasta los paisajes arqueológicos *prospecciones sistemáticas* y medioambientales *atributos geográficos*. Se busca definir unidades espaciales apropiadas como base del análisis e interpretación del comportamiento humano dentro de un espacio geográfico (Green, 1990).

En norteamérica, el uso de sistemas de información geográfica se ha dirigido, sobre todo, a problemas arqueológicos encaminados a la creación de modelos de distribución y localización de sitios, utilización que se ha desarrollado especialmente en la arqueología de rescate y manejo de recursos culturales (Andresen et al., 1992; Gaffney y Stancic, 1991). En este sentido, en arqueología estas técnicas se han utilizado, sobre todo, para crear modelos de distribución de sitios arqueológicos con enorme volumen de información computarizada y necesidades de representación cartográfica. Con la ayuda de los métodos predictivos se intenta localizar, de manera eficiente, áreas susceptibles de contener sitios arqueológicos. Con este método se busca adelantarse a las fases de alteración de los terrenos con obras de infraestructura *e.g.*, redes eléctricas, gasoductos, vías, alcantarillado, etcétera, para evitar la destrucción de potenciales sitios arqueológicos. Así, los SIG son herramientas que en otros países han probado ser útiles en el manejo de la arqueología preventiva o de rescate. Sin embargo, su éxito radica en una cuidadosa metodología de prospección del terreno y en la exactitud con que se adquiera la información digital.

Los estudios cuantitativos de localización de sitios son una metodología corriente con la cual los arqueólogos pueden desarrollar modelos predictivos. Los análisis con procedimientos SIG puede relacionar varios estudios geográficos o del medioambiente con aquellos de interés arqueológico, usando parámetros teóricos del paisaje arqueológico (Butzer, 1982). En otras palabras, un SIG facilita análisis relacionados, por ejemplo, con las pautas de asentamiento, distribución de sitios en regiones con características fisiográficas diferentes *e.g.*, vegetación, clima, hidrología, uso de la tierra, etcétera susceptibles de estudiarse arqueológicamente en conjunto. Sin embargo, aceptar los resultados de tales escenas modeladas como hechos arqueológicos verdaderos es un riesgo, debido a los problemas relacionados con

la variabilidad de la información. No obstante, estos resultados pueden discutirse y revisarse a la luz de modelos generados como hipótesis que deben ser probadas de acuerdo con parámetros teóricos.

El principal desarrollo de estos sistemas en diferentes países ha sido en el terreno de la arqueología de rescate. Este tipo de estudios se ha interesado en el establecimiento de modelos predictivos para la localización de sitios arqueológicos y en el registro de bases de datos regionales y locales. Esta información se maneja a través de los SIG y busca planificar y solucionar problemas arqueológicos y manejo de sitios. Así, su uso más temprano e intensivo ha sido la simulación en la localización y distribución de sitios arqueológicos (Allen, 1990).

Los análisis de modelos de localización de sitios son importantes, ya que los arqueólogos sólo registran y documentan una porción –muestreos– de ese mundo fenoménico del pasado; muchos otros son destruidos cada año mediante vías de penetración, desarrollo urbano y uso moderno de la tierra, sin hablar de la *guaquería* como elemento de orden cultural. Por tanto, una forma de estudiar y proteger los sitios arqueológicos es crear modelos formales capaces de predecir dónde están localizados (Warren, 1990). Los modelos predictivos emergieron recientemente como un componente importante de la investigación arqueológica; se basan en el hecho de que los sitios arqueológicos tienden a ser recurrentes en un conjunto medioambiental favorable. Los modelos predictivos sacan ventajas de estas características, al maximizar el contraste entre las características medioambientales donde los sitios arqueológicos aparecen o no. Por tanto, con el uso de datos apropiados puede predecirse la locación de sitios en áreas mayores, a partir de pequeñas muestras de lugares conocidos.

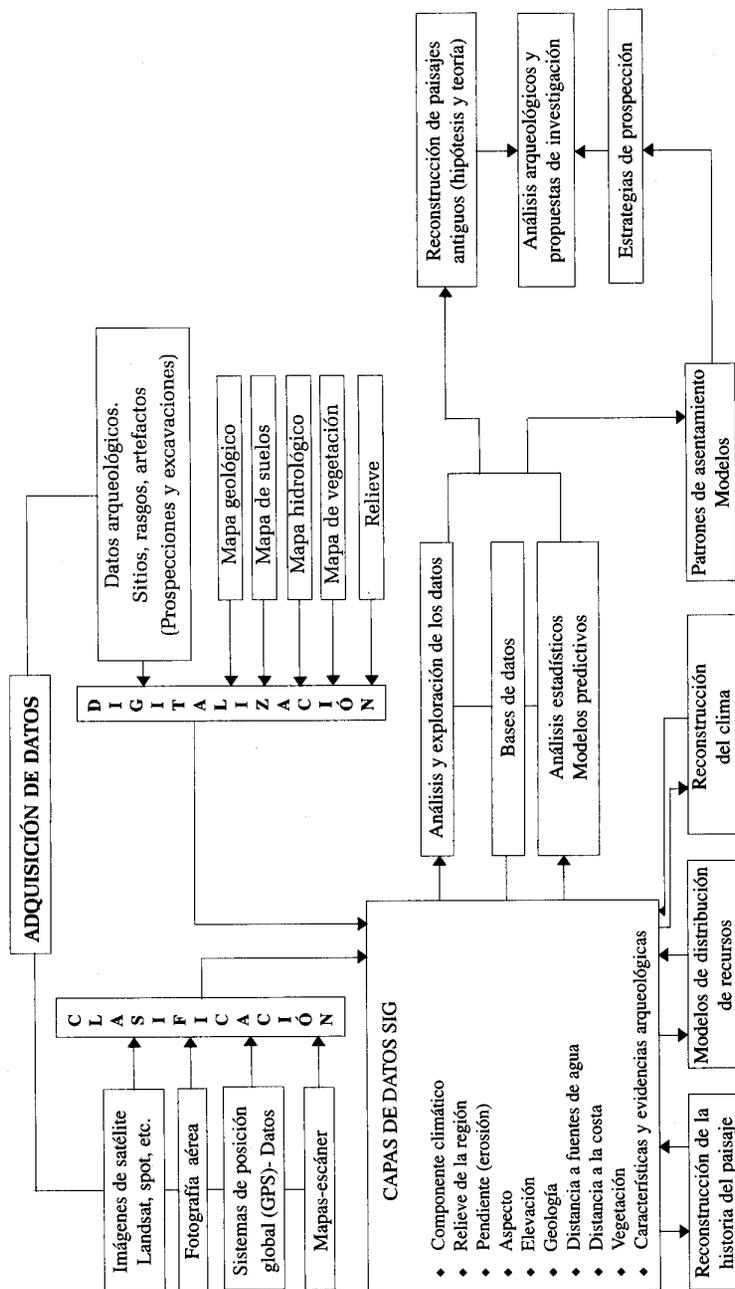
Metodológicamente, los arqueólogos pueden desarrollar modelos predictivos con probabilidades de ocurrencia de sitios a través de estudios cuantitativos de localización, que se basan en aspectos no culturales del medioambiente –variables independientes– y en la correlación con sitios localizados –variables dependientes–; su análisis e interpretación finaliza en la predicción de modelos (Morozas y Zack, 1990).

Las variables medioambientales –independientes–, que son muy útiles en los análisis y que pueden ser cuantificadas en el trabajo de campo, incluyen relieve, clima, pendiente, aspecto y distancia a fuentes de agua –ríos, lagos, costas, etcétera–, entre

otras. En el campo, para todas estas variables los parámetros pueden observarse por medios manuales o instrumentales –e.g., GPS, teodolito, altímetro, etcétera– o medidos en el laboratorio, usando la información cartográfica estatal. Sin embargo, recolectar y sistematizar manualmente el número necesario de medidas para desarrollar una base de datos de una amplia área de estudio es exhaustivo, muy demorado y, sobre todo, potencialmente propenso al error. Para evitar estos problemas, los arqueólogos utilizan los métodos SIG para ahorrar tiempo y eliminar errores humanos en tareas de medición de variables dependientes e independientes, las cuales se incorporan dentro del modelo conceptual de análisis SIG.

Más allá de los modelos o predicción de sitios arqueológicos, existe el uso potencial de los SIG para examinar procesos culturales sincrónicos o diacrónicos, como una herramienta metodológica para la arqueología. Esto significa el estudio de relaciones en términos de espacio entre las poblaciones y su entorno medio ambiental físico y social (Savage, 1990). La información arqueológica se analiza a varios niveles de resolución espacial, que pueden incluir desde conjuntos de artefactos y distribución de sitios hasta la caracterización regional del área arqueológica (véase la figura 1). En este sentido, un SIG se define como un sistema de apoyo a decisiones como, por ejemplo, cuáles son las áreas que deben explorarse con detenimiento en una determinada región, teniendo como parámetros resultados de análisis arqueológicos y la información georeferenciada con las técnicas SIG. Debe tenerse presente que los programas SIG son sistemas funcionales diseñados para coleccionar, almacenar, manipular y desplegar objetos definidos como puntos, líneas o áreas. Esto hace que su poder como sistema sea único para sintetizar y manipular información (Stine y Lanter, 1990). Con la aplicación de los SIG se crean nuevas entidades espaciales a partir de informaciones preexistentes básicas. Los programas –*software*– como Arc\Info, Grass, Idrisi, Ilwis, entre otros, transforman relaciones espaciales implícitas de bases de datos geográficos en relaciones explícitas como mapas, gráficos, etcétera. Las funciones de los SIG están diseñadas para deducir relaciones espaciales de varias entidades geográficas almacenadas en bases de datos para representarlas y guardarlas como nuevas entidades geográficas (véase la figura 1).

FIGURA 1
MODELO CONCEPTUAL SIG PARA LA INVESTIGACIÓN ARQUEOLÓGICA



Con la habilidad que tienen los SIG para analizar y sintetizar información espacial, la arqueología cuenta con mayores ventajas metodológicas y analíticas. Usando estas técnicas se tiene un despliegue rápido de elementos arqueológicos descriptivos y analíticos mediante la detección y mapeo de la distribución de artefactos, rasgos y sitios completos. Los análisis estadísticos en los SIG son muy importantes en el manejo de todo tipo de datos, particularmente en los modelos arqueológicos predictivos. Mediante el uso de bases de datos bien diseñadas pueden compararse los contenidos de evidencias arqueológicas en cuadrículas, sitios o regiones que muestren relación con entidades espaciales, así como crear modelos de patrones de asentamiento y distribución de secuencias regionales según fases arqueológicas. Estos modelos pueden ser creados como hipótesis para analizar el paisaje arqueológico según sus ocupantes –e.g., cazadores-recolectores, sociedades igualitarias, complejas, estatales, etcétera– combinando la digitalización manual de mapas, el procesamiento de imágenes, sitios arqueológicos, cronologías y la aplicación de varias funciones SIG¹.

En la construcción de bases de datos para análisis arqueológicos, los datos deben analizarse de acuerdo con niveles jerárquicos. Por ejemplo, en la dimensión espacial de la información arqueológica existen relaciones entre artefactos y rasgos –*features*–; entre artefactos, rasgos y cuadrículas; entre cuadrículas y sitios; y, finalmente, entre sitios y regiones. Las cuadrículas son arbitrarias y proveen un contexto espacial para la excavación de artefactos y rasgos. La región es un área que provee un contexto para la comparación entre sitios; así, las regiones pueden ser delimitadas por características distintivas geográficas sobre la superficie del terreno. Esto permite comparar sitios dentro de una cuenca hidrográfica o dentro de varias (Stine y Lanter, 1990). Otras bases de datos pueden organizarse en redes –*network*– o de forma relacional, también importantes para acceder con facilidad a la información desde uno o más archivos.

Desde el punto de vista técnico, los estudios han utilizado dos tipos de sistemas para representar el espacio de investigación: uno basado en vectores –e.g., Arc/Info, Tosca, etcétera–, el cual captura representaciones gráficas de entidades arqueológicas y geográficas de acuerdo con pares de coordenadas XY que delimitan

¹ En este sentido se han venido adelantando trabajos con los SIG en la región de Tumaco, costa pacífica (Patiño, 1998: 47).

puntos, líneas y áreas o polígonos –conocido como topología–; y otro, que utiliza el sistema de celdas –*raster*– –e.g., Map; Idrisi, Ilwis, ArcView, Grass, etcétera–, y que representan una región mediante una matrix de celdas formando filas y columnas sobre coordenadas X-Y además de la asignación de valores numéricos de acuerdo con los atributos de una región geográfica, como por ejemplo geología, suelos, vegetación, relieve, clima, etcétera. Los programas –*software*– más recientes permiten manipular ambos sistemas –vectores y celdas– para generar mapas compuestos que, incluso, permiten edición de texto.

Otro aspecto significativo en la relación de los SIG y la arqueología son las fuentes digitales de información espacial. Los arqueólogos recolectan información espacial desde una variedad de fuentes, particularmente a partir de cartografías estatales. La mayoría incluye mapas de suelos, relieve, vías, geología, vegetación, hidrología, etcétera. Con estos mapas, los arqueólogos pueden generar sus propias cartografías de sitios y regiones arqueológicas, que pueden incluir distribución de sitios, unidades de excavación, estratigrafías, rasgos, suelos, etcétera. Cuando se incorporan los sistemas de información geográfica a un proyecto de investigación arqueológica, los datos pueden convertirse a formatos digitales (Stine y Decker, 1990).

Componentes de un sistema de información geográfica

Para la instalación de un SIG en cualquier laboratorio u oficina de investigación deben tenerse, básicamente, tres componentes importantes: 1) Equipo de cómputo –*hardware*–, 2) Conjunto de módulos de aplicación de programas –*software*– y 3) Contexto organizativo apropiado (Burrough, 1986; Valenzuela, 1992, 1994; Weir, 1992).

El equipo de cómputo tiene como elementos básicos la unidad de procesamiento central –CPU–, preferible procesadores Pentium. Con la CPU y sus capacidades de almacenamiento se maneja el flujo de datos, además de ejecutar múltiples aplicaciones SIG –matemáticas y estadísticas–. Una tabla digitalizadora con la cual se convierten datos provenientes de mapas temáticos y documentos en formatos digitales que son enviados al computador –CPU–.

Para presentar los resultados finales de los datos procesados, son útiles una impresora y *plotter*. Otros accesorios usados en el manejo y almacenamiento de grandes volúmenes de información digital son las cintas magnéticas –*tape cartridge*–; CD ROM y discos duros de capacidad. El equipo puede ser complementado por un *escáner*, con el cual puede procesarse múltiple información, cuya fuente sea en papel, fotografía, aerofotografía, etcétera, que convertida en formato digital es exportada o importada para su uso con los SIG.

De acuerdo con Burrough (1986: 7-9) los módulos de aplicación de programas –*software*– que componen un SIG son: 1) Entrada y verificación de los datos –*input*–. Los datos requeridos sobre una determinada región pueden obtenerse a través de varios medios, ya sean estos digitalizados a partir de mapas temáticos y cartografías o incorporados a través de medios más sofisticados como la fotografía aérea, sistemas de posición global –GPS– o imágenes obtenidas por sensores remotos vía satélite –Multi-Spectral Remote Sensing: Landsat, Spot, Radarsat, etcétera–. Estos últimos métodos se destacan por una mayor precisión y confiabilidad en los análisis que se realizan con las técnicas SIG, ya que los errores humanos tienden a minimizarse. Otro medio útil para adquirir y transmitir datos es la vía internet, que comunica a computadores con acceso al sistema en red en todo el mundo; 2) Almacenamiento y manejo de la base de datos. Este proceso se interesa en la forma en que los datos se estructuran y organizan de acuerdo con la topología y atributos de elementos geográficos y, en este caso, arqueológicos²; 3) Resultados y presentación de los datos. Con este módulo se presentan los resultados de los análisis bien sea en mapas, tablas o gráficos generados por el usuario –*output*–; 4) El módulo de transformación demanda una serie de operaciones –e.g., análisis espaciales, creación de nuevos datos, uso estadístico, etcétera– que son manejadas con el propósito de generar respuestas a problemas planteados con las técnicas SIG; y 5) Interacción con el usuario. Este módulo es cada vez más importante ya que la ejecución de comandos del sistema SIG se maneja de forma interactiva; esto quiere decir que hoy la mayoría de los *software* se maneja a través de menús y varios idiomas –e.g., inglés, español, portugués, etcétera– están a disposición del usuario.

² Hasta el momento se ha publicado un trabajo de referencia sobre informática y arqueología, en donde se desarrolla un modelo que sirve de plataforma para alimentar bases de datos relacionales (Urrego et al., 1995). Sin embargo, con los SIG es posible analizar y visualizar espacialmente varios tipos de información contenida en la misma bases de datos.

Limitaciones de los sistemas de información geográfica

A medida que la tecnología avanza de acuerdo con las necesidades investigativas, las limitaciones en el campo de la cibernética son menores; sin embargo, en su desarrollo surgen nuevas y complejas técnicas que requieren sofisticados equipos. Aunque las técnicas SIG tienen múltiples y valiosas aplicaciones, debemos mencionar que existen algunas limitaciones que pueden ser superadas. Desde el punto de vista técnico, la formación del laboratorio requiere de equipos costosos, necesidad de asesoría técnica y personal especializado en el manejo de los SIG. Desde el punto de vista de la investigación, los SIG pueden crear falso sentido de precisión y confiabilidad en los resultados; en el país no existen proyectos pilotos sobre la aplicación de los SIG en arqueología; y, además, hay pocas bases de datos o estas no están organizadas para los sitios arqueológicos y para aquellos evidenciados en los trabajos de arqueología preventiva.

Referencias bibliográficas

- ALLEN, K. 1990. "Manipulating Space: A Commentary on GIS Applications". En Allen, K; S. Green; E. Zubrow (Editores). *Interpreting Space: Gis and Archaeology*: 165-172. Taylor y Francis. Londres.
- ALLEN, K., S. GREEN Y E. ZUBROW (EDS.). 1990. *Interpreting Space: Gis and Archaeology*. Taylor and Francis. Londres.
- ANDRESEN, J., T. MADSEN, AND I. SCOLLAR (EDS.). 1993. *Computing the Past: Computer applications and Quantitative Methods in Archaeology*. Aarhus University Press.
- BEHRENS, C. A. AND T. L. SEVER (EDS.). 1991. *Applications of space-age technology in anthropology*. National Aeronautics and Space Administration (NASA), Science and Technology Laboratory, J.C. Stennis Space Center, Bay St. Louis, Mississippi.
- BURROUGH, P. A. 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford Science Publications. Oxford.
- BUTZER, K. W. 1982. *Archaeology as Human Ecology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- GAFFNEY, V. Y Z. STANCIC. 1991. *GIS approaches to regional analysis: A case study of the island of Hvar*. Znanstveni institut Filozofske Fakultete. Ljubljana.

- GOODCHILD, M. 1996. "GIS and spatial analysis in the social sciences". En *Anthropology, space, and GIS*: 241-250. Editado por M. Aldenderfer y H. Maschner. Oxford University Press. Oxford.
- MAROZAS, B. Y J. ZACK. 1990. "GIS and Archaeological Site Location". En *Interpreting Space: Gis and Archaeology*: 165-172. Allen, K.; S. Green; y E. Zubrow (Eds.). Taylor and Francis. Londres.
- MARTIN, D. 1996. *Geographic Information Systems: Socioeconomic applications*. Routledge. Londres y Nueva York.
- MASCHNER, H.D.G. (ED.). 1996. "Geographic Information Systems in Archaeology". En *New Methods, Old Problems. Geographic Information Systems in Modern Archaeological Research*: 1-24. Editado por H. Maschner. Occasional Paper No. 23. Center for Archaeological Investigations CAI. Southern Illinois University. Carbondale. GIS
- MONTAÑEZ, G. 1993. "Una metodología de SIG para la planeación y gestión municipal sobre manejo de recursos naturales". En *Cuadernos de Geografía*. 4(1-2): 11-42.
- PATIÑO, D. 1998. "Sociedades complejas en Tumaco: asentamiento, subsistencia e intercambio". En *El área septentrional andina: arqueología y etnohistoria*: 59: 43-66. Mercedes Guinea (Compiladora). Biblioteca Abya-Yala. Quito.
- SAVAGE, S. 1990. "Gis in Archaeological Research". En *Interpreting Space: Gis and Archaeology*: 22-32. Allen, K; S. Green; y E. Zubrow (Editores). Taylor and Francis. Londres.
- STINE, R. Y DECKER, D. 1990. "Archaeology, Data Integration and GIS". En *Interpreting Space: Gis and Archaeology*: 134-140. Allen, K; S. Green y E. Zubrow (Editores). Taylor and Francis. Londres.
- STINE, R. Y D. LANTER. 1990. "Gis in Archaeological Research". En *Interpreting Space: Gis and Archaeology*: 80-89. Allen, K; S. Green y E. Zubrow, (Editores). Taylor and Francis. Londres.
- URREGO, C., L.F. HERRERA; S. MORA E I. CAVELIER. 1995. *Informática y Arqueología*. Colcultura. Bogotá.
- VALENZUELA, CARLOS. 1992. *Introduction to Geographic Information Systems*. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.
- SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, SIG. 1994. En *SIG-PAFC 1(1)*: 19-22.
- WARREN, R. 1990. "Predictive Modelling in Archaeology: A Primer". En *Interpreting Space: Gis and Archaeology*: 90-111. Allen, K; S. Green y E. Zubrow (Editores). Taylor and Francis. Londres.
- WEIR, M. 1992. "Errors in Geographic Information Systems". En *Introduction to Geographic Information Systems*, pp:68-74. Editor C. Valenzuela. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.
- WENER, R. Y T. BROCK. "Archaeologists dig and PC-Based Mapping". En *Geo Info Systems*. March 2(3):40-44.