

Uso de Sistemas de Información Geográficos y análisis espacial en arqueología: Proyecciones y limitaciones¹

EDGARDO ARANEDA C.²

*"Where is the wisdom we have lost in knowledge?
Where is the knowledge we have lost in information?"*
T. S. Eliot

RESUMEN

En el presente artículo se estudia y se realiza un análisis crítico de la potencialidad de uso de los Sistemas de Información Geográficos (SIG) como herramienta para el estudio arqueológico sistemático de la prehistoria andina.

Palabras claves: *Sistemas de Información Geográficos – arqueología andina.*

ABSTRACT

This paper studies and carries out a critic analysis, about the use potential of Geographic Information Systems (GIS) as a tool for systematic archaeological study of Andean prehistory.

Key words: *Geographic Information Systems – Andean archaeology.*

Introducción

El interés inicial por abordar esta temática nace de una inquietud personal al comienzo del curso "Problemas de la Prehistoria Andina".³ El objetivo fundamental de éste era profundizar en el conocimiento de proposiciones teóricas y metodológicas con el fin de comprender los problemas en el estudio de las comunidades andinas prehispánicas. La pregunta inicial como observador externo a la disciplina arqueológica, proviniendo del campo de la geografía fue: ¿pueden los marcos conceptuales y métodos de la geogra-

fía entregar herramientas comprensivas de utilidad para los objetos de estudio de la arqueología? Para intentar responder a lo anterior, era necesario un esfuerzo doble; por un lado, intentar comprender preliminarmente los cuerpos teóricos relacionados a las principales problemáticas dentro a los dominios estudiados por los arqueólogos; y por el otro, clarificar aquellas características fundamentales de la geografía, que pudiesen ser un aporte a la disciplina arqueológica. Pensando en lo anterior, se pensó que la metodología más adecuada para fijar los marcos de este trabajo era aproximarse (transitar) poco a poco desde la geografía a la arqueología.

Aceptando estos términos, es necesario precisar que la geografía es una ciencia de síntesis en la encrucijada de métodos de distintas disciplinas, por lo tanto, necesita del conocimiento de los métodos y los resultados de múltiples ciencias asociadas.

Una originalidad de la geografía procede del estudio de relaciones de datos heterogéneos y diacrónicos. Por una parte se sitúa entre las ciencias de la tierra o de la naturaleza, desde la geología hasta la biología; y, por otra parte, entre las ciencias del hombre, desde la historia hasta la sociología y la economía. Por lo tanto, es una disciplina cuyo ámbito es la naturaleza y el medio ocupado por el hombre (*oikuméne*). Esto trae un problema inicial en la recopilación de datos de naturaleza distinta, que se manifiesta en intentar determinar las formas e intensidades de las relaciones entre estos datos y también a abordar marcos metodológicos de las ciencias concernientes al medio natural y a los hechos humanos. De lo anterior surge la necesidad de que este volumen de información heterogénea y diacrónica desarrolle métodos de explotación rápida y sintética. His-

¹ Este trabajo se inserta dentro del Proyecto FONDECYT N° 1011006.

² California 2250, Depto. 201, Providencia, Santiago, Chile. Email: earaneda@ryq.cl

³ Curso regular Magíster en Arqueología, Universidad de Chile, dictado por Victoria Castro.

tóricamente, la visión de conjunto se ha elaborado partiendo de trabajos de correlación y mapas de síntesis, y se ha caracterizado por el sentido de la medida y el valor desigual de los datos de distintos órdenes o de variados orígenes.

En la actualidad, han sido los Sistemas de Información Geográficos (SIG) la principal herramienta que ha abordado la naturaleza disímil de la información geográfica. En un corto período, los SIG han tenido una difusión amplia tanto dentro de la propia geografía como en el conjunto de estudios y aplicaciones en donde el componente espacial y territorial es un aspecto clave en el análisis. En particular, se sabe que los Sistemas de Información Geográficos son una herramienta de uso reciente en el campo de la arqueología. Pero, ¿es posible pensar que los SIG constituyen un recurso metodológico adecuado para el estudio de los elementos, procesos y circunstancias que configuran la cultura material?

Cualquier estudio arqueológico conlleva implícitamente un volumen de factores y relaciones cuyas proporciones pueden desbordar las capacidades de análisis de los profesionales, entonces puede resultar ventajoso, en el estudio de un proceso cultural concreto, establecer una jerarquía de elementos influyentes y considerar su análisis a partir de un dimensionado factor. De esta forma, se simplifica la realidad con el objeto de facilitar la comprensión del fenómeno o la relación en estudio y aportar una imagen inteligible al problema.

Teniendo presente las inquietudes mencionadas, el objetivo general de este trabajo será estudiar la potencialidad de uso de los Sistemas de Información Geográficos (SIG) como herramienta para el estudio arqueológico sistemático de la prehistoria andina. Con ello, se desprenden los siguientes objetivos específicos: 1) conocer los conceptos teóricos básicos de los Sistemas de Información Geográficos; 2) conocer preliminarmente los antecedentes históricos de uso de análisis espacial y SIG; 3) determinar quiénes usan SIG en la comunidad arqueológica; 4) establecer la familiaridad de los usuarios con la herramienta; 5) resaltar el tipo de aplicaciones arqueológicas que se están llevando a cabo empleando SIG; y 6) establecer el nivel de conciencia de los usuarios de las dificultades que surgen en el uso de los SIG.

Para la obtención de estos objetivos hemos organizado el trabajo en dos grandes secciones. En primer término, se presentará un marco conceptual necesario para una comprensión de los SIG, buscando responder a las preguntas: 1) ¿qué es un Sistema de Información Geográfico?; 2) ¿a qué cuestiones puede responder un SIG?; y 3) ¿cuáles son las ventajas y desventajas en su uso?

En segundo término, se presentará el desarrollo que ha tenido el análisis espacial y los SIG en arqueología. En particular, intentaremos responder las preguntas que se buscará responder, son: 4) ¿cuál es el impacto de los SIG en la investigación arqueológica?; 5) ¿qué permiten resolver los SIG en arqueología?; 6) ¿quienes están usando SIG en la comunidad arqueológica?; 7) ¿cómo está siendo usada esta herramienta?; y 8) ¿cuáles son las más problemáticas y más exitosas aplicaciones de SIG en arqueología?

Antecedentes generales de los Sistemas de Información Geográficos (SIG)

¿Qué es un Sistema de Información Geográfico?

Los Sistemas de Información Geográficos son, en primer término, sistemas de información, es decir, programas diseñados para representar y gestionar grandes volúmenes de datos sobre ciertos aspectos del mundo (Martín 1991 cit. en Gutiérrez y Gould 1994).

Un Sistema de Información Geográfico (SIG) es un sistema de información diseñado para trabajar con datos georreferenciados mediante coordenadas espaciales geográficas (Star y Estes 1990 cit. en Gutiérrez y Gould 1994), es decir, con información geográfica (Gutiérrez y Gould 1994).

Luego, un Sistema de Información Geográfico (SIG) es un sistema asistido por computador para la captura, almacenamiento, recuperación, análisis y despliegue de la información espacial, permitiendo procesar y generar nueva información derivada de la ya existente sobre la base de conceptos como localización, relación, descripción y base de datos relacional.

El carácter deposicional de los restos arqueológicos, así como distribucional de los asentamientos humanos prehistóricos, permite pensar en la potencialidad de uso de una herramienta de este tipo.

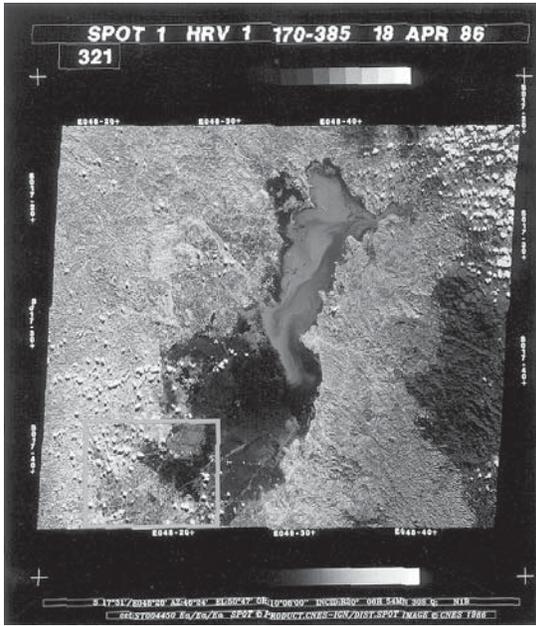


Figura 2. Imagen satélite francés SPOT.

c) *Análisis de datos.* Los SIG son herramientas para el análisis espacial que pueden realizar funciones tan simples como la medida de distancia entre dos puntos, hasta el modelado complejo de patrones espaciales. Los siguientes son los tipos de análisis SIG más comunes.

- Distancia simple (o distancia euclideana). Esta puede ser usada para determinar el tiempo de viaje y proximidad de puntos de interés.

- Capas vectoriales y raster. Las capas vectoriales caen dentro de tres categorías: de punto en polígono, de línea en polígono, y de polígono en polígono. Las capas raster se realizan por la ejecución de fórmulas matemáticas en celdas. Se pueden generar nuevas composiciones por la combinación de diferentes combinaciones de capas.

- Forma de polígonos, longitud, perímetro y área. Este análisis resalta la forma de las entidades es-

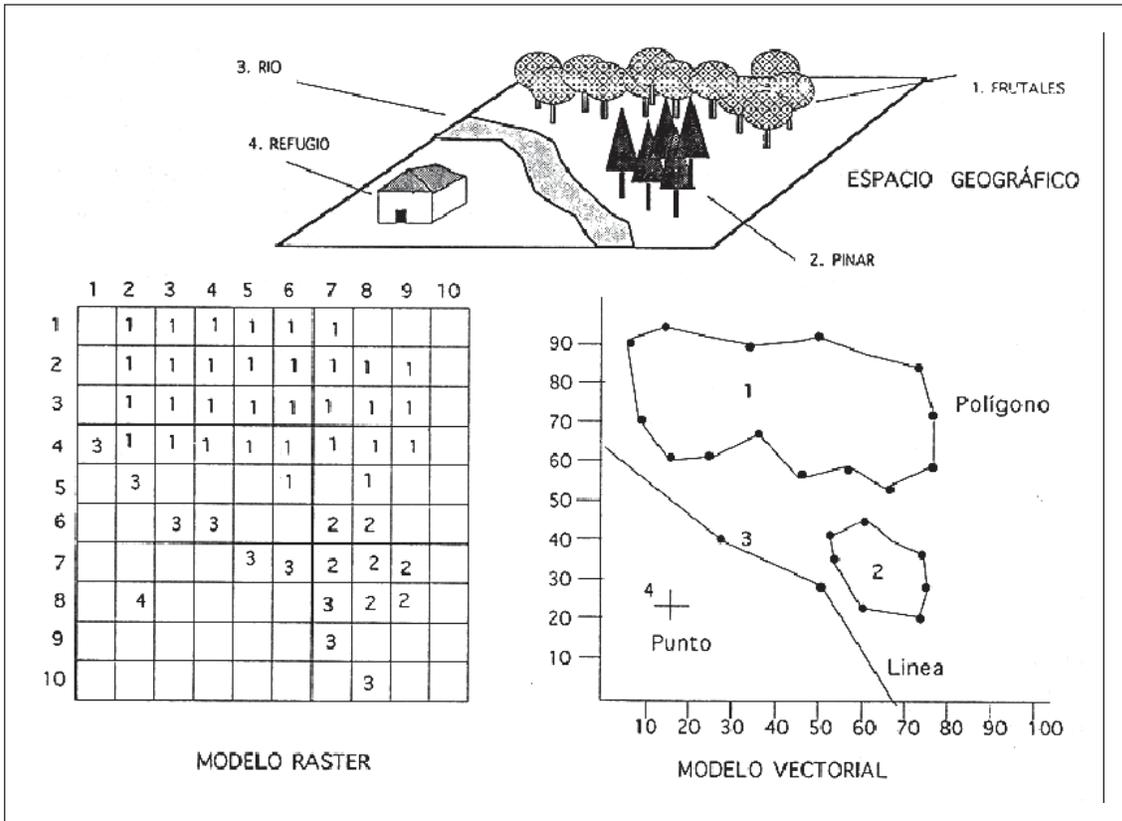


Figura 3. Modelos de datos raster y vectorial.

paciales, lo cual pueden revelar mucho acerca de sus funciones.

- Distancia funcional. Supone agregar impedimentos a las distancias euclidianas para simular situaciones de vida real.

- Funciones de vecindad. Incluye funciones que pueden ser muy usadas en arqueología como análisis del vecino más próximo.

- Direccionalidad, conectividad y complejidades de redes. Son a menudo usadas en análisis de redes. Un ejemplo de este tipo de análisis en arqueología son las redes hidrológicas, las cuales pueden señalar la presencia de localización de sitios (Allen 1990 y Zubrow 1990 cits. en Gourad 1999).

- Densidad de distribución, análisis cuadrático y polígonos de Thiessen. Son funciones usadas para encontrar un quiebre entre ciertos patrones, tales como las distribuciones biológicas.

- Modelos de gravedad. Se les puede dar un peso relativo a los *layers* según parámetros definidos para crear un modelo de localización.

- Forma y pendientes. Generalmente derivados desde Modelos Digitales de Elevación (DEMs), son algunos de los parámetros más comúnmente usados en modelos predictivos.

- Interpolación. Cuando la superficie de datos no está disponible, los SIG pueden ser usados para

crear datos espaciales continuos basados en muestras de puntos. Muchos algoritmos de interpolación son construidos en los paquetes SIG actuales. La naturaleza del terreno determina el mejor algoritmo a ser usado. Los modelos digitales de terreno (DEMs) son el resultado de mecanismos de interpolación (Figura 4).

Cuestiones a las que puede responder un SIG

Rhind (1990 cit. en Gutiérrez y Gould 1994) distingue seis grandes tipos de cuestiones a las que un SIG puede responder:

a) *Localización*. Se puede obtener información sobre lo que hay en un lugar determinado. Se trata simplemente de realizar una consulta en la que es necesario relacionar la información cartográfica con la base de datos de atributos (¿qué hay?).

b) *Condición*. A partir de unas condiciones previamente especificadas, el sistema debe indicar dónde se cumplen o no esas condiciones (¿dónde sucede que?).

c) *Tendencias*. En esta pregunta lo fundamental es la comparación entre situaciones temporales distintas, si bien para ello se pueden incluir condiciones. Ello supone trabajar con varios mapas de la misma zona referidos a fechas distintas (¿qué ha cambiado?).

d) *Rutas*. El sistema puede calcular el camino óptimo entre dos puntos a través de una red (¿cuál es el camino óptimo?).

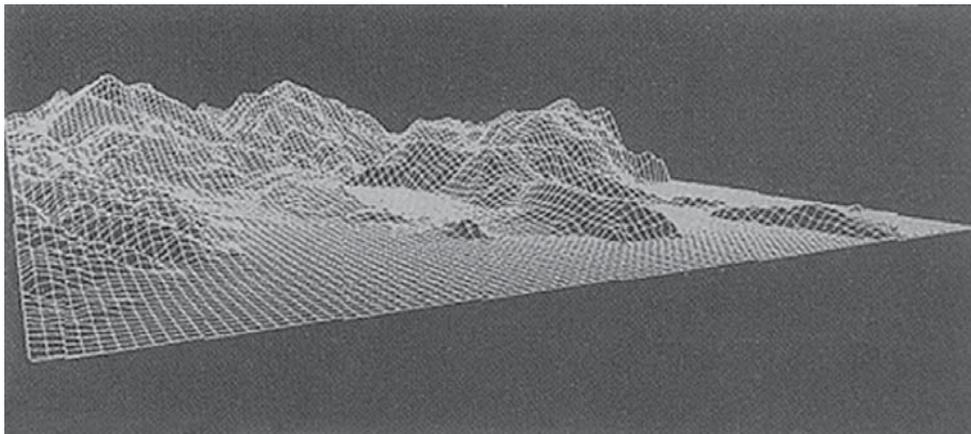


Figura 4. Ejemplo de modelo digital de terreno (DEMs).

e) *Pautas*. Ciertas regularidades espaciales pueden ser detectadas con la ayuda de un SIG, como, por ejemplo, patrones de distribución espacial de restos arqueológicos (¿qué pautas existen?).

f) *Modelos*. Se pueden generar modelos para simular el efecto que producirían posibles fenómenos o actuaciones en el mundo real (¿qué ocurriría si...?).

Ventajas y desventajas en el uso de un SIG

Según Borcosque (1997 Ms), el uso de los Sistemas de Información presenta principalmente las siguientes ventajas y beneficios: a) Mejoran el ordenamiento de los datos referenciados espacialmente; b) permiten mantener los datos en forma físicamente compacta; c) proveen un único lugar para el resguardo de los datos; d) permiten la recuperación de la información en tiempos breves; e) proporcionan herramientas computacionales capaces de realizar variados tipos de manipulación de los datos, incluyendo las mediciones de mapas, la sobreposición de mapas, transformaciones de los formatos de los datos, diseños gráficos y manejo de bases de datos; f) permiten reducir los costos de procesamiento de los datos, especialmente en las etapas de actualización de los mismos; g) permiten el diseño gráfico interactivo a través de las herramientas de dibujo automatizado, las que a su vez posibilitan acelerar y mejorar las tareas cartográficas tradicionales y diversificar la cartografía temática; h) permiten en forma gráfica e iterativa realizar pruebas y calibraciones de modelos conceptuales que se deseen aplicar sobre el espacio (esta propiedad favorece tanto a los criterios científicos como a los de administración y control del espacio en tiempos reducidos y sobre grandes áreas); i) facilitan el análisis de los procesos espaciales para distintos períodos; j) amplían el espectro de procesamiento y análisis de toda la información que contienen; k) permiten ciertas formas de análisis que manualmente resultarían muy costosas o ineficientes. Tal es el caso del análisis digital de terreno, cálculos tales como pendientes, intensidad de insolación, sobreposición de conjuntos complejos de polígonos, etc.; l) favorecen el proceso de toma de decisiones relativas al espacio, a través de las facilidades de integración y asociación de información; y m) permiten la incorporación constante de nuevas aplicaciones, en respuesta a nuevas necesidades de los usuarios.

Desventajas en el uso de un SIG

Algunas de las desventajas asociadas, ya sea tanto al desarrollo o a la adquisición de un SIG, son: a) los costos asociados a los problemas técnicos de convertir los registros geográficos existentes en archivos digitales automatizados; b) los presupuestos para el financiamiento de la mantención tanto técnica (equipos, programas), como de protección y actualización de la información ya automatizada; c) el elevado monto de las inversiones iniciales en la adquisición y llenados de las bases de datos; d) es importante también la evaluación de los beneficios marginales en función de áreas específicas de aplicación; f) por último, en los casos de adquisiciones de sistemas completos, resulta imprescindible la definición precisa de los objetivos de la compra, así como la verificación de los proveedores respecto a sus potencialidades y condiciones contractuales.

Errores comunes en el uso de un SIG

La más exacta base de datos espacial no representa correctamente el mundo real y más bien será pensada como una abstracción de la realidad, lo cual significa que cualquier dato SIG tendrá problemas de exactitud y precisión. Actualmente se acepta el hecho de que los errores deben ser vistos como una dimensión inherente en los datos digitales y no como una mera inconveniencia (Chrisman 1991 cit. en Gourad 1999). En vez de tratar de resolver los problemas de exactitud, lo cual es una tarea imposible, es más realista considerarlos en el análisis, y establecer una capa de error en los datos y las operaciones a ser conducidas en ellos.

Los errores pueden ser clasificados en: a) errores de recolección y registro de datos, los cuales pueden ser un resultado poco cuidadoso en la recolección de los datos y el uso de métodos y herramientas adecuados. Siguiendo en la fase de recolección, los errores pueden ocurrir cuando los datos son clasificados e ingresados en una base de datos digital; b) errores de manipulación y análisis de los datos, los cuales pueden presentar la mayoría de los problemas y son generalmente propagados por varios niveles de abstracciones, siendo difícil rastrearlos; c) errores teóricos, los cuales son específicos a la disciplina y generalmente son el resultado de teorías defectuosas y simplistas; y d) errores de interpretación de da-

tos, los cuales falsean la percepción del usuario y son generalmente el resultado de generalizaciones erróneas o abuso de la herramienta

Errores de datos. Los resultados de los análisis de los SIG son solamente tan buenos como los datos usados para producirlos. Ciertos tipos de entidades espaciales son más fáciles de mapear que otros. Rasgos de una naturaleza discreta como suelo o vegetación son inherentemente difíciles para mapear debido a su distribución fluida. En cambio, los mapas pasan a través de un filtro intelectual que ubica límites arbitrarios en los datos (Deemers 1991 cit. en Gourad 1999).

La digitalización está sujeta a errores humanos así como a otros factores, incluyendo la edad del mapa, el tipo de medio de mapa (Bolstad *et al.* 1990 y Dunn *et al.* 1990 cits. en Gourad 1999), así como la calidad del mapa original.

La exactitud de la imagen producida en mapas escaneados es función directa del escáner usado. Los datos resultantes están todavía sujetos a la edición humana, de manera que se introducen más errores. La fotografía aérea puede afectar la exactitud de los mapas a través de la variación en el movimiento vertical del avión que soporta la cámara, la cual puede producir fotografías menos confiables, especialmente a través de los márgenes. También se piensa que las imágenes satelitales tienen altos niveles de exactitud, pero no se puede olvidar el hecho que los datos derivados de ella generalmente son el resultado de técnicas de clasificación que son finalmente de manejo humano. Desde los datos basados en los píxeles, el tamaño del píxel es un nivel de abstracción que puede afectar los análisis en los datos.

Errores analíticos. Algunos de los SIG con capacidades analíticas más poderosas son también la fuente de los errores más serios. Desde las simples medidas de distancia a los complejos modelos multi-layer, la herramienta está repleta con deficiencias que no son necesariamente obvios al usuario.

Diferentes paquetes SIG usan diferentes algoritmos para ciertos análisis, incluyendo interpolaciones. Este hecho no es siempre explícito en la literatura que acompaña el *software* del SIG. Variaciones en áreas interpoladas resultan diferencias que son explícitas (Kvamme 1990 cit. en Gourad 1999).

Las conversiones entre ambientes raster y vectoriales están incluidas en los paquetes SIG más recientes. La conversión, sin embargo, causa pérdida de detalle o agrega nuevos y viciados detalles. Si el proceso es de mapas raster a vectoriales, luego los puntos, líneas y polígonos reemplazan los píxeles con puntos, líneas y áreas, las cuales, dependiendo del tamaño de los píxeles, pueden agregar límites falsos.

Errores teóricos. Otras dificultades tienen más que ver con el diseño teórico del análisis que con el *software* en sí mismo. En arqueología, han sido usados para la localización de sitios. Los modelos creados por la correlación de localización de sitios con parámetros ambientales ha sido criticado por muchos autores. En un campo como la arqueología, donde la interacción humana con el medio ambiente es compleja e impredecible, tales modelos pueden conducir al determinismo ambiental (Gaffney y Van Leusen 1995 cit. en Gourad 1999). Los modelos predictivos creados a través de los SIG asumen que el proceso de toma de decisiones inherente en la elección de un lugar para establecerse es fijo y mecánico. En realidad, los sitios tempranos escogidos son mucho más complejos. En muchos asentamientos, hay decisiones que están sujetos a relaciones causales con el medio ambiente, pero otros son tan espontáneos como para hacer cualquier correlación deficiente (Ebert y Kohler 1990 cit. en Gourad 1999). Esto es especialmente cierto cuando las sociedades hacen la transición desde la recolección a la producción, su relación con el medio ambiente llega a ser menos evidente y es, en cambio, reemplazado con políticas, tecnología y otros factores. Luego, los mapas SIG pueden fácilmente enmascarar estos defectos teóricos.

Errores de interpretación. Los Sistemas de Información Geográficos fueron inicialmente diseñados por los geógrafos y son diseñados para el uso de los geógrafos. En cualquier herramienta transplantada de una disciplina a la otra, los problemas están destinados a encontrar dificultades (Zubrow 1990, Goodchild 1991 y Gaffney y Van Leusen 1995 cits. en Gourad 1999). Tal dificultad es semántica. El lenguaje arqueológico es muy diferente al de la geografía y ciencia computacional, por lo tanto, los arqueólogos deben ser cautelosos de la interpretación equívoca de ciertas palabras.

Como se ha mencionado antes, los SIG pueden adoptar el rol de una herramienta o llegar a ser un término en sí mismo. Kvamme (1989 cit. en Gourad 1990) discute el carácter definitivo que las bases de datos grandes pueden tener. Esto es particularmente cierto en las ciencias sociales, donde los investigadores son ávidos consumidores de análisis estadístico. Algo generado por un computador puede llegar a ser indisputable debido a que los seres humanos que están detrás de los análisis tienden a separarse de la máquina.

Análisis espacial y Sistemas de Información Geográficos (SIG) en arqueología

¿Cuáles han sido las principales líneas de investigación del análisis espacial en arqueología?

Según Redman (1973), los espacios con los que la arqueología espacial opera abarcan tres ámbitos distintos: a) el primero de ellos en un marco espacial amplio pretende establecer el estudio de las causas que intervienen en la distribución espacial de un conjunto de yacimientos, y de las relaciones que existen entre ellos mismos. Términos como organización espacial y jerarquía de los asentamientos, o dinámica de poblamiento, se incluyen dentro de esta línea de trabajo. Estos modelos comenzaron por analizar las relaciones existentes entre los yacimientos considerando a éstos por igual, pero pronto se vio la necesidad de asignar distinta importancia a los mismos, aunque al principio tan sólo en función de su tamaño (Hodder y Orton 1990 [1976]). En esta línea, y teniendo como fundamento las ideas de Christaller o Losch nace lo que se conoce como Teoría del Lugar Central (Johnson 1972 cit. en Redman 1973). Según ésta, con el aumento del tamaño de los asentamientos, aumentan los servicios que éstos pueden ofrecer a comunidades de menor entidad cercanas. El establecimiento a nivel macroespacial de un análisis más serio de las relaciones entre yacimientos debe pasar por la consideración particular del carácter y función de cada yacimiento, en cierta forma deducible del examen de los espacios en que éstos se asientan y de los recursos y características en ellos existentes; b) En segundo lugar, a una escala intermedia, el objetivo planteado consiste en el análisis de la relación de explotación-transformación del medio que de modo particular se produce en cada uno de los yacimientos. Para Redman (1973), el término de

“*site catchment analysis*”, traducido por algunos autores como “análisis de territorio y de áreas de captación”, viene a definir claramente el punto de interés establecido por este segundo nivel de actuación. Según el mismo se puede llegar a establecer una correlación entre el tipo de subsistencia dominante y los recursos disponibles dentro del área de alcance del yacimiento; c) Por último, a una escala detallada, el análisis espacial pretende determinar las relaciones espaciales existentes entre estructuras y materiales de cada yacimiento como punto de partida para la definición del uso diferencial del espacio dentro del mismo.

Importancia del análisis espacial en arqueología

Hodder y Orton (1990 [1976]) opinan que el valor y la relevancia del análisis espacial en arqueología se fundamentan en que las técnicas de análisis espacial permiten examinar procesos distintos que pueden producir mapas de distribución similares. Asimismo una aproximación cuantitativa proporciona claridad en la demostración de tendencias, pautas y relaciones espaciales, a la vez que algún grado de objetividad en el análisis de tales pautas. La técnica conduce al descubrimiento de patrones no revelados por el análisis arqueológico habitual, que plantean al arqueólogo nuevas cuestiones. Si se obtienen nuevos patrones estructurados, los arqueólogos tienen más cuestiones a las que responder y explicar, por ejemplo, la identificación de autocorrelación espacial en un conjunto de datos espaciales nos brinda inmediatamente cuestiones para explicar e interpretar. Los métodos ayudan a la contrastación de hipótesis sobre procesos espaciales, permitiendo manejar grandes volúmenes de datos, y capacitando para la realización de predicciones sobre la localización, la importancia y el funcionamiento de los yacimientos. El gran potencial de estas técnicas será realmente mejor aprovechado con una recolección fina de datos. Si los arqueólogos de campo reconocen el valor de registrar pormenorizadamente la información sobre los patrones espaciales, la calidad de los datos necesarios para una mejor comprensión de los procesos espaciales empezará a acumularse. Una excavación cuidadosa de los yacimientos, junto a un registro detallado de los porcentajes de los tipos presentes, posibilitarán un mejor conocimiento de las relaciones entre los yacimientos. Un registro concienzudo de la posición de los artefactos y sus relaciones con otros rasgos proporcionarán datos

para el análisis de pautas en el interior del yacimiento.

Los mismos autores expresan la necesidad de realizar un balance del papel de los estudios espaciales debido a que la investigación precedente en este campo ha sido limitada en sus objetivos y métodos, con frecuencia acríticos y de poca utilidad para una interpretación detallada, las valoraciones subjetivas de las distribuciones pueden ser peligrosas, y a que se necesitan nuevos métodos para manejar la enorme cantidad de información sobre distribuciones que ya empieza a ser significativa.

Problemas que se encuentran al aplicar el análisis espacial en arqueología

No obstante el potencial de este tipo de análisis, se han encontrado importantes problemas que han dificultado un avance más explícito en esta área. Según Hodder y Orton (1990 [1976]), estas dificultades se agrupan principalmente en:

a) *Problemas resultantes de la naturaleza de los datos arqueológicos.* Uno de los más importantes es el de la variación espacial en la conservación de yacimientos. Entre el amplio número de factores que pueden afectar la calidad de la información que se desprende de los datos están: la construcción de viviendas y autopistas, y los métodos agrícolas modernos.

Es probable que una buena parte de los modelos de distribución de yacimientos sea resultado de las pautas de erosión y destrucción de yacimientos, y también que corresponda a los intereses de la investigación arqueológica local. Evidentemente se trata de un problema difícil de superar, cuya única respuesta parece ser el examen pormenorizado de las actividades de investigación presentes y pasadas, y de las prácticas en el uso de la tierra. De este modo se podrá obtener quizás una orientación sobre las posibles distorsiones de los mapas.

b) *Problemas metodológicos particulares derivados del empleo de las técnicas propias de la arqueología.* Los tests estadísticos que se utilizan requieren ciertas premisas sobre los datos. Por ejemplo, al estudiar los análisis de regresión y los de superficie de tendencia, si se desea aplicar los tests de significación, los datos deberían estar dis-

tribuidos regularmente. En arqueología, es muy difícil constatar las premisas necesarias; en consecuencia, los tests no pueden utilizarse con el mismo rigor que en otras disciplinas, por lo que deberían considerarse con cuidado y precaución.

c) *Problemas acerca de la relación entre forma espacial y proceso.* Diferentes procesos espaciales pueden producir una misma forma espacial. Al ser así, es posible demostrar una asociación entre dos distribuciones, pero esto no proporciona explicación alguna sobre la razón de tal asociación. Tal vez no exista enlace causal directo entre las dos distribuciones, que pueden ser el resultado de un tercer factor. También existe la posibilidad de que la asociación haya sido provocada por la pauta de recuperación y conservación del yacimiento. De hecho, la asociación observada podría haber sido producida por una gran cantidad de procesos y, con frecuencia, es imposible distinguirlos a partir de la forma de la propia asociación.

¿Qué permiten resolver los SIG en arqueología?

La arqueología, como una disciplina espacial, ha usado los SIG de variadas maneras. En el nivel más simple, como un manejo de base de datos para registros arqueológicos, con el beneficio adicional de ser capaz de crear mapas al instante. Ha sido implementado en el contexto de manejo de recursos culturales, donde la localización de los recursos culturales es precedida usando modelos estadísticos basados en localizaciones de sitios previamente identificados. Se ha utilizado también, para simular cambios diacrónicos en los paisajes del pasado, y como una herramienta de análisis intra-sitio, aunque esta última aplicación no ha disfrutado de la misma popularidad de las otras aplicaciones.

Como cualquier nueva tecnología, los SIG llevan consigo una variedad de peligros que hay que tener en cuenta. Estas dificultades caen bajo varias categorías. Ellas pueden estar relacionadas a fuentes de datos no calificados, errores de análisis, percepción confusa o fallas teóricas imprevistas. En muchas disciplinas, trabajar con el error potencial está tan establecido como el uso de la herramienta en sí misma, no obstante, según Gourad (1999) esto no ha sucedido en arqueología.

Ya que los SIG son un mecanismo de reconocimiento de patrones complejos, sólo será útil si es

correctamente comprendido. El éxito de cualquier esfuerzo arqueológico utilizando esta herramienta está directamente unido a la conciencia de sus limitaciones (Kvamme 1988 cit. en Gourad 1999).

Aplicaciones de los SIG en arqueología

Al examinar las aplicaciones del uso del SIG realizadas en arqueología se pueden distinguir cuatro categorías principales: la modelación predictiva arqueológica, simulación de los cambios en el pasado, análisis intra-sitios, y manejo de bases de datos.

Modelos arqueológicos predictivos. Un ejemplo de este tipo de modelos lo constituye el proyecto de investigación del Ministerio de Recursos Naturales de Ontario para predecir las formas de la tierra que contienen probablemente sitios arqueológicos (Figura 5). El proyecto usó una base de datos de sitios conocidos para establecer el éxito de su modelo predictivo. El 75% de los sitios en el modelo igualó los sitios arqueológicos actuales en la base de datos. Una descripción más detallada puede encontrarse en el Web, en el siguiente sitio: (<http://modelling.pictographics.com/>

intro.htm.). Otro ejemplo es el proyecto SIG de los sitios Tell-el-Umayri, cuyo alcance va desde el Bajo Paleolítico al Islámico Tardío y desde centros urbanos a pequeños campos (Christopherson *et al.* 1996 cit. en Gourad 1999). La primera parte de este proyecto consistió en la creación de un modelo de probabilidad ambiental usando modelos de regresión logística con el objeto de encontrar sitios adicionales basados en localidades conocidas. La segunda parte del proyecto implicó la construcción de modelos de erosión para visualizar en los patrones de intensificación agrícola de la edad de hierro. El proyecto usó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) desarrollada por la USDA *Agricultural Research Service* para construir un modelo de erosión potencial y sus relaciones a la presencia o ausencia de sitios arqueológicos. De igual modo, como una parte de una evaluación de impacto para un programa propuesto por la US *Air Force* en Montana, SIG fueron usados para desarrollar un modelo predictivo de la distribución de sitios arqueológicos en un área de 8.500 millas cuadradas en el norte de Montana. Técnicas de regresión logísticas fueron usadas para construir el modelo (Carmichael 1990 cit. en Gourad 1999).

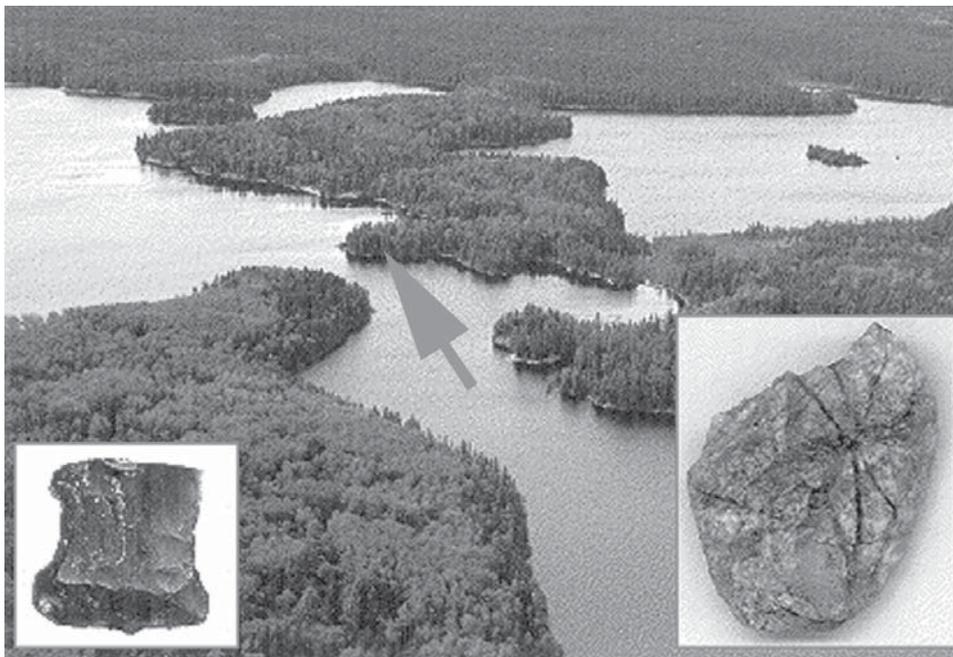


Figura 5. Localización de sitio arqueológico en bosques de Ontario, Canadá.

Simulación de la actividad pasada. Allen (1990 cit. en Gourad 1999) usó los SIG para modelar las redes de comercio entre los nativos americanos y europeos en el período histórico temprano (ca. 1550-1750 DC). Los datos para el proyecto consistían en mapas de hidrología, la localización de las poblaciones nativas, las localizaciones de fuertes europeos y los puestos de comercio (Allen 1990 cit. en Gourad 1999). Los análisis fueron conducidos usando el módulo de redes de ArcInfo. Zubrow también utilizó una cubierta hidrológica como datos para el modelo de expansión de poblaciones europeas a través del estado de Nueva York entre 1608 y 1810. El estudio creó diferentes modelos de migración según varias situaciones iniciales y diferentes niveles de impedancia en la capacidad de las redes hidrológicas además de las poblaciones. Los modelos permitieron al autor dar más luz a los procesos implicados estableciendo una frontera, y a otros identificar los factores limitantes de migración (Zubrow 1990 cit. en Gourad 1999). Finalmente un estudio de los patrones cambiantes de asentamientos y uso de la tierra sobre 2000 años, desde la Edad de Hierro Céltica al período moderno en Francia usando las capacidades de modelación de los SIG. El proyecto fue emprendido en el valle del río Arroux en Burgundy, y usó datos del uso de la tierra de imágenes del satélite SPOT junto con datos tempranos del satélite norteamericano LANDSAT desde 1972 para conducir estudios diacrónicos en el paisaje.

Análisis intra-sitio. El uso del SIG en análisis intra-sitio no ha disfrutado de la popularidad de otras aplicaciones debido a que la mayoría de las aplicaciones SIG presentan dificultades en la manipulación de datos multidimensionales (Harris y Lock 1996 cit. en Gourad 1999). Sin embargo, la tercera parte del proyecto de Tell el-Umayri usó SIG para examinar distribuciones cerámicas dentro de los sitios (Christopherson *et al.* 1996 cit. en Gourad 1999).

Los SIG también han sido usados como un mecanismo de manejo multisitio. Debido a la facilidad de actualización y producción de mapas híbridos, los SIG han sido la herramienta elegida por muchos arqueólogos para mantener pistas del registro arqueológico. Tal uso es ejemplificado en investigaciones en Olorgasailie, un sitio homínido del Pleistoceno en Kenia. La herramienta fue útil en el traslado del foco desde el sitio al paisaje cercano (Potts *et al.* 1996 cit. en Gourad 1999).

Los ejemplos anteriores son algunas de las aplicaciones tempranas de los SIG en arqueología. Hoy en día se cuenta con numerosos ejemplos que hacen uso de las capacidades más poderosas de los nuevos *softwares*.

Manejo de bases de datos. Un ejemplo de este tipo de aplicaciones lo constituye el *Integrated Database for Excavation Analysis* (IDEA), el cual es un modelo de base de datos que estructura el registro arqueológico, y provee al usuario una visión de sus datos. IDEA acomoda conceptos arqueológicos tales como relaciones estratigráficas, artefactos, secuencias, reconstrucción de fragmentos, clasificaciones jerárquicas, agrupaciones de depósitos, así como muchos links estableciendo entre ellos relaciones entre artefactos, depósitos, rasgos, dibujos y fotografías donde ellos aparecen.

Impacto de los SIG en la investigación arqueológica

La situación actual de uso de los SIG por la comunidad arqueológica ha sido estudiada por Gourad (1999), quien presenta un cuestionario *online* que contiene preguntas orientadas a alcanzar cinco objetivos: 1) determinar quién está usando SIG en la comunidad arqueológica; 2) establecer la familiaridad de los usuarios con la herramienta; 3) resaltar el tipo de aplicaciones arqueológicas que se están llevando a cabo empleando SIG; 4) detectar el impacto de los SIG en las investigaciones de los usuarios; y 5) establecer el nivel de conciencia de los usuarios sobre las dificultades que surgen en el uso de los SIG (Figura 6).

Entre las diferentes maneras de realizar una encuesta, la Internet fue escogida ya que es la manera más rápida y más eficiente para alcanzar un amplio espectro de arqueólogos a través del mundo. El sitio web que sostuvo la encuesta fue lanzado en abril de 1998 a través de un sitio comercial con el objetivo de monitorear el tráfico del sitio. Para llamar la atención sobre el proyecto se llevaron a cabo los siguientes pasos: a) sobre 2.000 e-mails fueron enviados a arqueólogos alrededor del mundo; b) la encuesta fue enviada por correo a muchos *Archaeology Internet LisServs* incluyendo Arch-L, Antro-L, GIS-L, AIA, GIS-Arch, SAS, ArchComp, etc.; c) la encuesta fue también enviada por correo a otros sitios visitados por arqueólogos frecuentemente.

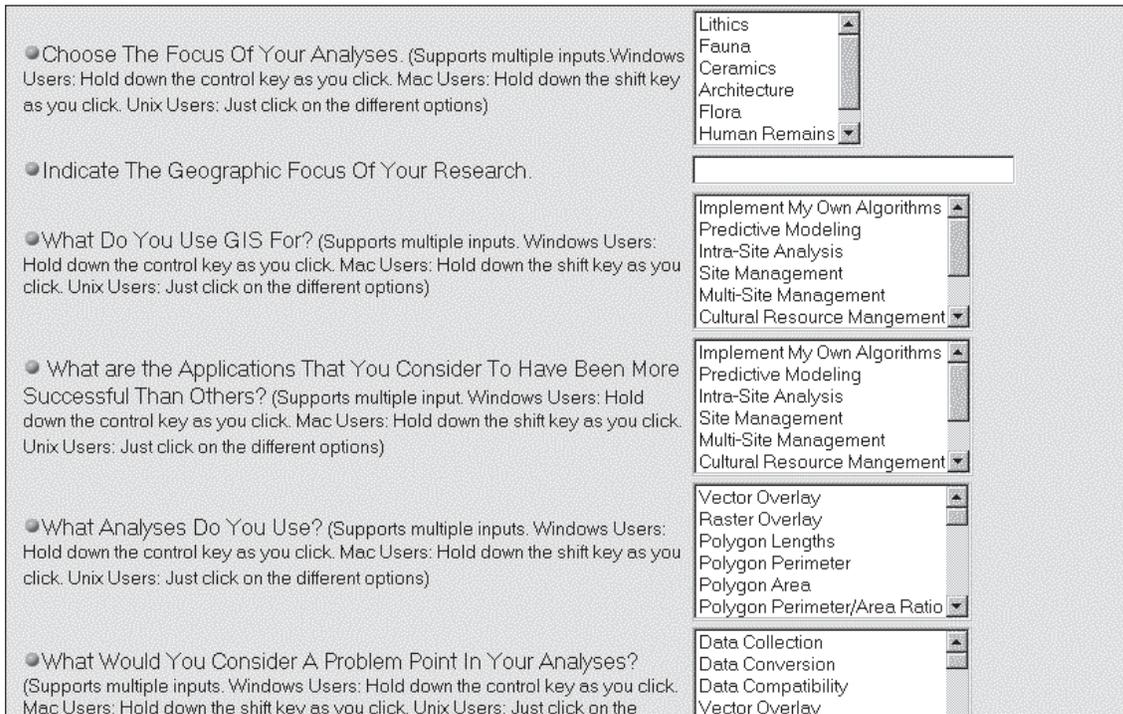


Figura 6. Despliegue gráfico encuesta on-line a comunidad arqueológica.

El proyecto finalmente aceptó 140 entradas. La localización geográfica de los participantes de la encuesta mostró una concentración esperada de los usuarios de SIG en los Estados Unidos. La siguiente mayor concentración fue en Canadá, seguida del Reino Unido, y finalmente Australia (Tabla 1).

La Figura 7 muestra el tipo de *software* empleado por los arqueólogos y las plataformas en que ellos corren. Los *softwares* Arcview y ArcInfo de ESRI fueron los líderes entre los programas usados por los arqueólogos. No ha habido sorpresa por este resultado ya que esta compañía ha sido la pionera en el desarrollo de programas poderosos con un manejo de interfases amigables para el usuario, oponiéndose a algunos otros paquetes que se basan en el uso de comandos en línea. Los computadores personales (PC) fueron usados más que cualquier otra plataforma. Por otro lado, el 33% de los participantes no había asistido a ninguna clase formal, talleres o seminarios. Las operaciones problemáticas fueron principalmente la recolección de datos, la conversión de los datos, y compatibilidad de éstos.

Evaluando el conocimiento de los arqueólogos acerca de los escollos comunes en el uso de los

U.S.A.	78
U.K.	12
Canadá	11
Australia	10
Sweden	3
Germany	2
Japan	2
Finland	2
Netherlands	2
Belgium	2
Italy	2
Portugal	1
France	1
Lebanon	1
Spain	2
Austria	1
Denmark	1
Romania	1
Greece	1
Hungary	1
Slovenia	1
Norway	2
Chile	1
South Africa	1
Ireland	1

Tabla 1. Localización geográfica de usuarios de SIG según encuesta on-line.

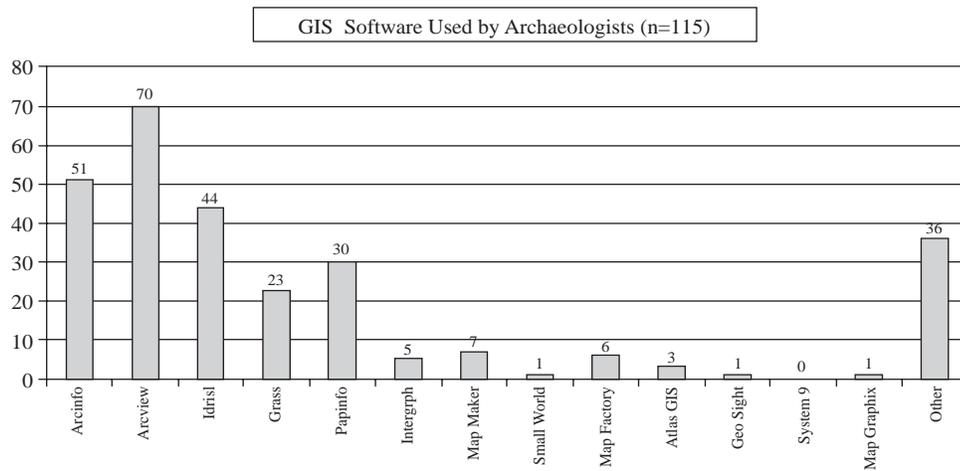


Figura 7. Paquetes SIG más usados por los arqueólogos (Fuente: Gourad 1999).

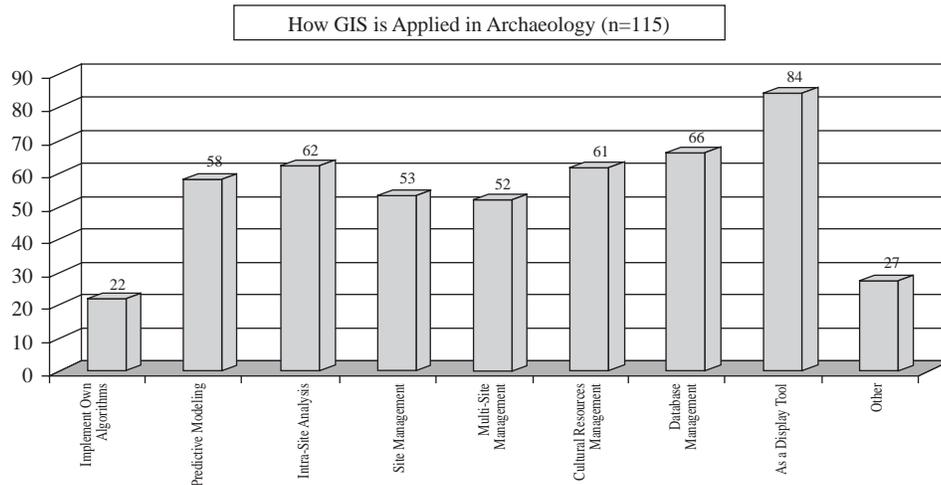


Figura 8. Cómo están siendo usados los SIG en arqueología.

SIG y las respuestas a ellos, los resultados de la encuesta demostraron que muchos conceptos directa o indirectamente afectan la calidad de los resultados de los SIG, ya que son todavía desconocidos para la mayoría de los arqueólogos o no los consideran suficientemente serios para garantizar cambios en el diseño de los proyectos. Según Gourad (1999), si hay alguna lección a ser aprendida desde estas nuevas herramientas, es que los SIG deben ser abordados prudentemente. El uso de los SIG en arqueología no estará completo sin agregar la dimensión del error como una extensión natural de la herramienta (Figura 8).

Conclusiones

Del análisis de las páginas precedentes se puede concluir que los Sistemas de Información Geográficos (SIG) constituyen una herramienta cuyos marcos conceptuales y metodológicos, en conjunto con una tecnología apropiada, pueden potencialmente favorecer el estudio arqueológico sistemático de la prehistoria. El uso de una herramienta SIG no pretende agotar las potencialidades de análisis locacional en arqueología, pero sí acrecentar el conocimiento en esta área, particularmente en nuestro país, donde, una visión preliminar, pero absolutamente insuficiente e imprecisa, per-

mite expresar que en estos momentos existe un gran interés por descubrir la potencialidad de uso de estas herramientas, aún cuando hasta el momento su desarrollo ha sido escaso.

Hemos intentado mostrar la potencialidad de uso de los Sistemas de Información Geográfica en arqueología. El enfoque ha sido más bien crítico, señalando tanto las bondades de su uso, así como sus desventajas y errores esperables en su manejo. Ambas posiciones reflejan, de alguna manera, posturas paradigmáticas proclives y contrarias al empleo de este tipo de herramientas en arqueología, con todo el aparato conceptual que las apoya.

Uno de estos extremos lo constituye la visión de la “Nueva Arqueología”, expresada en su máximo exponente, Lewis Binford. Este arqueólogo recomendaba que se usaran nuevas técnicas, incluyendo el análisis estadístico y la modelación por computadora para evaluar la información que permitiera inferir la dinámica de la conducta humana a partir de la distribución de artefactos estáticos (herramientas, habitación, huesos) en el tiempo y el espacio. Según Binford, era a través

de los avances teóricos y de sólidas argumentaciones como podemos vincular nuestras observaciones sobre el registro arqueológico a cuestiones concretas sobre el funcionamiento de los sistemas culturales del pasado (Rice 1987). Dado el carácter depositacional de los restos arqueológicos, así como distribucional de los asentamientos humanos prehistóricos, las técnicas de análisis espacial, provenientes de la geografía, tuvieron muy buena acogida en los comienzos de los años '70 (Figura 9).

A partir del análisis locacional en arqueología, se esperaba poder clarificar muchos aspectos de la conducta humana en el pasado. Pero, el potencial de estas técnicas sería más aprovechado con una mejor recolección de datos. Si los arqueólogos de campo reconocían el valor de registrar pormenorizadamente la información sobre los patrones espaciales, la calidad de los datos necesarios para una mayor comprensión de los procesos espaciales empezaría a acumularse. Una excavación cuidadosa de los yacimientos, junto a un registro detallado de los porcentajes de los tipos presentes, posibilitarían un mejor conocimiento de las relaciones entre los yacimientos. Un re-

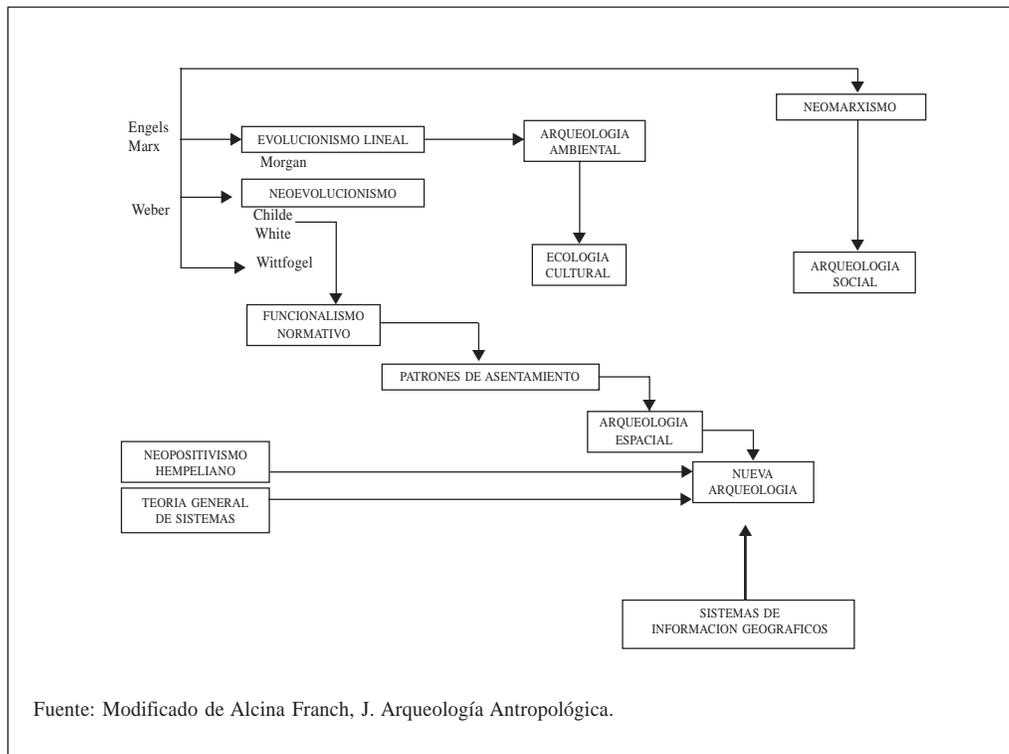


Figura 9. Relación entre SIG y paradigmas en arqueología.

gistro concienzudo de la posición de los artefactos y sus relaciones con otros rasgos proporcionarían datos para el análisis de pautas en el interior del yacimiento. Este volumen de información necesitaría ser sistematizado para inferir inductivamente la dinámica de la conducta humana prehistórica.

No obstante, el potencial de este tipo de análisis para los “nuevos arqueólogos”, algunos de los investigadores que desarrollaron esta línea de estudios, tales como Hodder y Orton (1990 [1976]), advirtieron problemas que dificultarían un avance más explícito en esta área. Estas dificultades se agrupaban principalmente en problemas resultantes de la naturaleza de los datos arqueológicos, problemas metodológicos particulares derivados del empleo de las propias técnicas en arqueología, y problemas acerca de la relación entre forma espacial y proceso.

Otras observaciones, dentro de la misma línea crítica, provienen de Gourad (1999), quien a través de una encuesta *on-line* a la comunidad arqueológica mundial usuaria de SIG pudo realizar una evaluación del conocimiento de los arqueólogos acerca de los errores más comunes que se cometen con SIG. Los resultados mostraron que muchos conceptos, los cuales afectan directa o indirectamente la calidad de los resultados de los SIG, son todavía desconocidos por la mayoría de los arqueólogos, o no son considerados suficientemente importantes como para cambiar los diseños de sus proyectos. En este sentido, es importante tener presente que los resultados de los análisis SIG son solamente tan buenos como los datos usados para producirlos, sobre todo si se considera que ciertos tipos de entidades espaciales son más fáciles de mapear que otras.

Actualmente, se acepta el hecho de que los errores deben ser vistos como una dimensión inherente en los datos digitales y no como una mera inconveniencia (Chrisman 1991 cit. en Gourad 1999). En vez de tratar de resolver los problemas de exactitud, lo cual es una tarea imposible, es más realista considerarlos en el análisis, y establecer una capa de error en los datos y las operaciones a ser conducidos en ellos.

Es importante señalar, no obstante, que existe alguna resistencia a su uso, de acuerdo más que nada al aporte de otras tecnologías introducidas en el

pasado en la disciplina, como lo son la datación por C^{14} y la estadística, las cuales reorientaron la arqueología de muchas maneras. Es común pensar en la actualidad que el C^{14} no es una medida precisa como se supuso en su introducción en 1940, sino más bien es una aproximación que está sujeta a una variedad de factores. De la misma manera, muchos autores piensan que ha habido un abuso de teoría y métodos estadísticos.

Por lo tanto, el uso de la herramienta SIG debe ser usada prudentemente, y para ello, es importante que cualquier aplicación que se desarrolle incorpore la dimensión del error como una extensión natural de la herramienta. Según Gourad (1999), lo anterior se puede aproximar de múltiples maneras. En primer lugar, es aconsejable adherir a estándares establecidos de aceptación mundial (p.e., *National Map Accuracy Standards* y *Spatial Data Transfer Standards*). Además, es recomendable que los usuarios de SIG en arqueología definan la calidad de los datos fuentes basados en la calidad de los resultados que necesiten.

Por otro lado, desde una perspectiva tecnológica, se puede establecer que si se piensa que los SIG son una “tecnología informática para gestionar y analizar información espacial” (Bosque 1997), y ésta supone técnicas asociadas, es decir, el conjunto de procesos informáticos que permiten producir, a partir de datos no tratados, la información de que se sirve una ciencia, resulta conveniente hacer algunas reflexiones.

Remitiéndonos a la concepción corriente de la técnica (citada por Heidegger 1993), según la cual la técnica es “un medio para un fin”, y es también “un hacer del hombre”, es importante no olvidar el rol de medio de los SIG, por lo tanto, no puede llegar a ser un fin en sí mismo, así como se debe tener presente que, aunque se tiende a pensar que algo generado por un computador es irrefutablemente verídico, es siempre *un hacer del hombre*, por lo que no representa correctamente el mundo real y más bien es una abstracción de la realidad, lo cual significa que cualquier dato SIG tendrá problemas de exactitud y precisión.

Siguiendo la idea de lo que la técnica es, según Heidegger, el:

“elaborar y utilizar instrumentos, aparatos y máquinas, pertenece este elaborar y utilizar mismo,

las necesidades y fines a lo que sirven. El total de estos dispositivos es la técnica. Ella misma es un dispositivo; dicho en latín: un instrumentum" (1993: 74).

En general, las personas involucradas con la información geográfica coinciden en afirmar que la tendencia existente hasta el presente ha sido la de dar demasiada importancia a las herramientas ("*instrumentum*") que usa la especialidad de la información geográfica, es decir, a los SIG. Según Comas y Ruiz (1993), se ha estado demasiado pendiente de la tecnología en lugar de intentar consolidar una especialidad científica propia que constituya el marco bajo el cual llevar a cabo nuevos desarrollos e investigaciones. Se ha estado muy volcado en la vertiente tecnológica y dándole escasa atención al hecho de que se estaba desarrollando un nuevo paradigma de organización, acceso y gestión de la información geográfica. La experiencia confirma que la tecnología es pasajera, a diferencia de los métodos que definimos para utilizarla. Lo que sí se necesita es superar la dependencia respecto a esta tecnología y definir finalmente el marco epistemológico que permita organizar la especialidad. Dentro de esta visión:

"La técnica no es, pues, simplemente un medio. La técnica es un modo de desocultar. Si prestamos atención a eso, entonces se nos abriría un ámbito distinto para la esencia de la técnica. Es el ámbito del desocultamiento, esto es, de la verdad" (Heidegger 1993: 74).

¿Pero qué desocultarían las técnicas de análisis espacial a través de la tecnología SIG? ... los patrones de la realidad ocultos en los datos ...

Una postura muy crítica a la anterior es la que plantean Yoffee y Sherrat (1993), los cuales examinan las teorías en contra de la perspectiva histórica, geográfica y procesual de los trabajos arqueológicos. Para ellos los llamados "buenos instrumentos para la medida de propiedades especificadas de los sistemas culturales pasados" de Binford están todavía siendo falseados, y los procesos de formación de sitios todavía parecen estar en estados formativos de desarrollo.

Según Gourad (1999), otros autores como Zubrow, Goodchild y Gaffney y Van Leusen, son todavía

más drásticos. Para ellos los Sistemas de Información Geográficos fueron inicialmente diseñados por los geógrafos para el uso de los geógrafos; y en cualquier herramienta transplantada de una disciplina a la otra, los problemas están destinados a encontrar dificultades, las cuales son de tipo semántico. La jerga arqueológica es muy diferente de la geografía y ciencia computacional. Los arqueólogos, luego, deben ser cautelosos de la interpretación equívoca de ciertas palabras. Estos planteamientos se enmarcarían dentro de un método posible para encarar el conocimiento, esto es, los que parten del presupuesto de que el conocimiento se puede alcanzar de modo directo gracias a una disciplina autónoma, cuyos resultados vendrían entonces a permitir un control normativo de su ciencia en particular.

Una posición, absolutamente opuesta a la anterior, la plantea el filósofo y matemático inglés Whitehead (cit. en Santos 1994), para quien la explicación de numerosos fenómenos correspondientes a una ciencia dada se encuentra frecuentemente fuera del dominio de esta ciencia. Para este autor no hay que temer la invasión del dominio de otro especialista. Un ejemplo de esta visión la señala el historiador francés Bloch quien escribió en 1974 que: "el sociólogo Durkheim, como el geógrafo Vidal de la Blanche, han dejado sobre los estudios históricos de comienzos del siglo XX una huella más profunda que ningún otro historiador", o la de Jacques Bondeville, para quien "toda ciencia se desarrolla en los límites de otras disciplinas, y se integra con ellas en una filosofía" (Bloch cit. en Santos 1994).

La postura adoptada en este artículo, aun cuando pareciera acercarse a la segunda visión mencionada, es también crítica con ella puesto que aunque se acepta la idea de que los conocimientos pueden llevar aparejados modos de estructuración múltiples y recibir aportes de otros dominios, también reconoce que es la disciplina específica quien conoce y debe desarrollar su propia ciencia, para lo cual define sus propios marcos teóricos y metodológicos.

Teniendo presente lo anterior, pensamos que resulta siempre necesario un esfuerzo constante de análisis introspectivo, extrospectivo y de reflexión epistemológica de la propia disciplina, sobre todo cuando se encuentra en el límite entre ciencias.

Agradecimientos Agradezco en forma especial a la profesora Victoria Castro, por su permanente apoyo y confianza a esta línea de investigación. También agradezco a los arqueólogos Carlos Ocampo y Pilar Rivas, quienes, antes que yo, rea-

lizaron los primeros desarrollos y aplicaciones de SIG en arqueología en el país. Por último agradezco a la comunidad arqueológica chilena por permitirme participar de su fascinante disciplina.

REFERENCIAS CITADAS

- BOSQUE, J., 1997. *Sistemas de Información Geográficos*. Ediciones Rialp S. A., Madrid.
- BORCOSQUE, J., 1997 Ms. Apuntes sobre Sistemas de Información Geográficos. Material de Clases. Departamento de Ingeniería Geográfica, Universidad de Santiago de Chile.
- COMAS, D. y E. RUIZ, 1993. *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográficos*. Editorial Ariel S. A., Madrid.
- ELIOT, T. S. 1941. Choruses from 'The Rock. En *Later Poems 1925-1935*. The Faber Library, London.
- GOURAD, K., 1999. GIS in archaeology: A survey. Master of Arts Thesis. Department of Anthropology, Hunter College of the City University of New York. <http://research.hunter.cuny.edu/arch/survey.html>
- GUTIERREZ, J. y M. GOULD, 1994. *SIG: Sistemas de Información Geográfica*. Editorial Síntesis S.A., Madrid.
- HEIDEGGER, M., 1993. *Ciencia y técnica*. Editorial Universitaria, Santiago.
- HODDER, I. y C. ORTON. 1990 [1976]. *Análisis espacial en arqueología*. Editorial Crítica, Barcelona.
- REDMAN, C., 1973. *Research and theory in current archaeology*. John Willey y Sons, Inc. New York.
- RICE, D., 1987. *La Nueva Arqueología*. Tomado de The Wilson Quarterly.
- SANTOS, M., 1984. *Pour une géographie nouvelle*. Publisud, París.
- YOFEE, N. y A. SHERRAT, 1993. *Archaeological theory: Who sets the agenda?* N. Yoffee y A. Sherratt (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge.