

Actas del V Coloquio de Geografía Cuantitativa  
Universidad de Zaragoza  
1992, Zaragoza

**APLICACION DE TECNOLOGIA S.I.G. EN LA  
ELABORACION DE UNA CARTOGRAFIA DE  
LAS ZONAS DE RIESGO DE INUNDACION EN  
EL SECTOR OESTE DE LA CIUDAD DE  
MALAGA**

Eusebio GARCIA MANRIQUE  
Federico Benjamín GALACHO JIMÉNEZ  
*Departamento de Geografía de la Universidad de Málaga.*

A medida que nos acercamos al final del siglo XX, hemos podido comprobar cómo la capacidad humana de obtener datos de todo tipo acerca del mundo real se ha tornado casi ilimitada gracias a las nuevas tecnologías; e igualmente, se ha tomado conciencia de la necesidad de usar esos datos para la investigación y la solución práctica de los problemas espaciales que nos afectan. Entendiendo el término "espacial" aquí como la localización o posicionamiento de datos y fenómenos en un espacio geográfico determinado.

Las representaciones físicas o cartográficas de esta información, o lo que es lo mismo, de los datos, constituyen un modelo o tipo de presentación de los fenómenos mencionados en estrecha relación con los Sistemas de Información Geográfica. Igualmente, la recopilación de información y su almacenamiento en bancos de datos, son otra forma de plasmar las diferentes características

representativas de un punto concreto de la superficie de la tierra.

Como es fácil observar, los factores espaciales o geográficos se constituyen en realidades físicas que determinan las decisiones que se puedan adoptar ante cualquier fenómeno en cualquier momento. Asimismo, la obtención de respuestas a preguntas, y de soluciones a necesidades y a problemas espaciales, que afloran constantemente tienen en los Sistemas de Información Geográfica una herramienta que facilitarán las decisiones al tener éstos la capacidad de poder georeferenciar y agrupar los datos en un único conjunto (RHIND, 1990).

Como apoyo a lo anterior, los dispositivos electrónicos, digitales o analógicos, facilitan el inventario de recursos y la ejecución rápida de operaciones aritméticas complejas. Asimismo, las computadoras actuales son herramientas tremendamente útiles para trabajar con datos de fenómenos físicos, humanos, culturales, etc.

Es por ello, que un Sistema de Información Geográfica se configura como la conjunción de un hardware y software especialmente diseñado para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos (TOMLIN, 1989) y/o geográficos.

La heterogeneidad de usos de los Sistemas de Información Espacial es manifiesta, porque los diferentes usuarios y organismos públicos o privados tienen distintas y particulares necesidades. Es en este punto, cabría decir que existen muchos, sistemas comerciales de software y modelos teóricos para establecer unos principios u orden común. Con ello queremos decir que se tiende a una diversificación de un necesario lenguaje común, que puede llevar a la confusión desde el momento en una misma herramienta es usada en diferentes campos y disciplinas. En gran medida, no vendría nada mal en un futuro cercano una reflexión, desde el punto de vista de la Geografía, sobre el desarrollo y caminos seguidos por los sistemas de información contemporáneos durante sus últimos veinte años de historia, sumando a ello

las dificultades y problemas que surgen en su aplicación práctica.

Una vez realizadas estas breves consideraciones sobre la utilidad de los S.I.G., pasamos a describir una de nuestras experiencias en el uso de ésta.

### **ELABORACION DE UNA CARTOGRAFIA DE LAS ZONAS DE RIESGO DE INUNDACION EN EL SECTOR OESTE DE LA CIUDAD DE MALAGA**

Tras las graves inundaciones acaecidas en la ciudad de Málaga en noviembre de 1989, surgió de la necesidad del Servicio de Protección Civil de la ciudad de poseer una cartografía detallada para sus posibles actuaciones en estas situaciones catastróficas.

Ante esa necesidad en el Departamento de Geografía de la Universidad de Málaga nos marcamos los siguientes objetivos: en primer lugar, el de suministrar una cartografía precisa que permitiera identificar los menores detalles del terreno sujeto a posibles inundaciones, pero que pudiese utilizarse igualmente para otros fines; en segundo lugar, suministrar una cartografía a diferentes escalas según el uso requerido en cada momento; y en tercer lugar, generar una cartografía no estática (base de datos digital), es decir, de fácil actualización, a la cual, se le adscriben datos de localización y características de las entidades en ella ubicada (base de datos alfanumérica).

Conscientes de las capacidad de la tecnología S.I.G. para conseguir los objetivos mencionados, aunque, por otro lado, condicionados por la obligación de entregar un proyecto inmediato menos amplio, el objetivo principal se fijó de modo concreto en la localización cartográfica de las zonas con riesgo de inundación del sector oeste de la ciudad de Málaga (desde la localidad de Campanillas hasta la desembocadura del río Guadalhorce, incluyendo el sector occidental de la ciudad).

En este sentido, a través de la aplicación de un Sistema de Información Geográfica se puede prever qué núcleos de viviendas de la zona residencial de la ciudad; qué fábricas o almacenes ubicados en sus polígonos industriales; qué carreteras o caminos, del área comprendida entre la denominada Ronda Intermedia (zona Oeste de la ciudad) y el río Guadalhorce quedarían cortados; qué parcelas de utilización agrícola se verían afectados en cada uno de los supuestos de desbordamiento de las aguas. Igualmente, se puede calcular en cualquier momento el espacio afectado y las posibles vías alternativas de comunicación con las zonas aisladas.

Igualmente el proyecto trata de localizar cartográficamente las zonas que se verían afectadas, en momentos de grandes avenidas del Río Guadalhorce, según diversos supuestos, conforme a una previsión de que las aguas alcancen, sobre el lecho del río, diferentes alturas, que hemos denominado como "relativas".

Sobre la llanura aluvial que forman el río Guadalhorce y el río Guadalmedina y arroyos cercanos se construyó el sector occidental de la ciudad de Málaga sin previsión de encauzamiento o con encauzamiento parcial o insuficiente de los mismos, que lo atraviesan en dirección al mar. Asimismo, la mayor parte de los polígonos industriales de la ciudad se ubican a una altitud que no supera los 6 metros sobre el nivel del mar.

El peligro de inundación de esta zona oeste de la ciudad de Málaga proviene de su emplazamiento entre dos ríos de acentuada torrencialidad. Entre ambos, una llanura aluvial, desembocadura natural de tres pequeños arroyos, que vienen a ampliar sobre ella los efectos de las crecidas de los ríos principales: Arroyo Teatinos, Arroyo de las Cañas y Arroyo del Cuarto. El Guadalhorce está regulado en su curso alto por el Pantano de el Conde del Guadalhorce, pero no lo está aguas abajo donde desembocan otra serie de ríos y arroyos. Por otro lado, el río Guadalmedina vio mermado gran parte de su poder de inundación con la construcción de la presa del Limonero. Por todo ello, el riesgo de inundación

se ha trasladado a la zona comprendida entre el río Guadalhorce y el Guadalmedina, donde se combinan los efectos del río principal (el Guadalhorce) con los arroyos situados entre ambos ríos (Cañas, Teatinos y del Cuarto). La zona afectada de unos 100 km<sup>2</sup>, se extiende, no sólo por amplios espacios de los polígonos industriales de la ciudad, sino por buena parte de la zona residencial oeste de la ciudad.

Con el objetivo planteado anteriormente y con la intención de obtener unos resultados lo más satisfactorios posibles a los medios modestos de que disponemos, decidimos la utilización de un Sistema de Información Geográfica y establecimos las etapas que a continuación describiremos.

Pero antes de ello, queremos mencionar el Hardware y el Software utilizado, ya que consideramos como fundamental disponer de una "infraestructura informática" aceptable a la hora de emprender un proyecto S.I.G. La presentación de resultados, sobre todo en cuanto a tiempos y capacidad de trabajo se refiere, será directamente proporcional a la potencia de los equipos informáticos y de los programas utilizados. En el Departamento de Geografía no disponemos de los medios que desearíamos para la proyectos que estamos emprendiendo; no obstante, consideramos que con medios modestos se obtienen resultados importantes. En este sentido, en cuanto a hardware, hemos utilizado cuatro ordenadores personales (pcs): dos 30386 con coprocesador matemático 30387, 2 MB de memoria RAM, placa VGA, de los cuales uno posee disco duro de 220 MB, y el otro, de 120 MB; y dos ordenadores de apoyo, 30286 con coprocesador matemático 30327, 2 MB de memoria RAM, placa VGA, con disco duro de 40 MB. Y como periféricos un plotter de plumas DIN A1 y una tableta digitalizadora DIN A0. El Software utilizado ha sido para la digitalización: Autocad Versión 11 (Computer-Aided Design/Drafting de Autodesk Inc.); para la elaboración de contornos o curvas de nivel Quick-Surf Versión 2.92 (Digital Terrain Modeling -Generic Contouring Utility para Autocad- de Schreiber Instruments, Inc.); como S.I.G. ArcInfo 3.4D (E.S.R.I., Inc.); los datos alfanuméricos han sido elaborados

y manejados con DBASE IV (Ashton-Tate Corporation) y LOTUS Versión 3 (Lotus Development Corporation).

Retomando el hilo de esta comunicación, exponemos las etapas seguidas para la elaboración del proyecto mencionado. En una **PRIMERA ETAPA**, teníamos que obtener los datos espaciales digitalizados que conformarían la cartografía que hemos denominado como "original". Así pues, se procedió a digitalizar con Autocad los 50 planos (Escala 1:2.000) de la cuenca baja del río Guadalhorce y del sector Oeste de la ciudad de Málaga sujeto a posibles inundaciones.

De los 50 planos mencionados: 32 - pertenecientes a la cuenca baja del Guadalhorce - provienen de la cartografía recientemente elaborada por la Confederación Hidrográfica del Sur (1991); 11 - pertenecientes al sector oeste de la ciudad entre la denominada Ronda Intermedia y la Ronda Oeste - fueron cedidos por el Servicio de Cartografía del Excmo. Ayuntamiento de Málaga (1987), aunque también son de elaboración reciente, hemos considerado preferible revisar y actualizar agregando las nuevas naves que se hayan construido en los polígonos industriales (al ser zonas de crecimiento muy dinámico), aunque la finalidad del proyecto en esos momentos no fuese precisamente esa. Y por último, los 7 planos restantes - correspondientes a la zona universitaria de Teatinos, sector de los depósitos de Campsa y prolongación hasta el mar - fueron proporcionados por el Servicio de Cartografía ya digitalizados.

Para tal fin y como paso fundamental previo se identificaron las capas de información requeridas para nuestro proyecto. Cada capa indicará la naturaleza, la forma, la posición relativa y el tamaño de una serie de atributos del área geográfica estudiada. En este sentido, el proyecto incluiría inicialmente trece capas de información digital: 1. Marcos o Cajas de localización geográfica de cada una de las hojas; 2. Edificios; 3. Lindes de edificios y solares; 4. Vegetación; 5. Cotas de altura del terreno; 6. Anotaciones; 7. Límites de parcelas de usos no urbanos; 8. Curvas de nivel; 9. Carreteras; sendas, ferrocarril y curvas de depresión; 10. Límites de término municipal; 11. Cauce de río y arroyos,

límite marítimo, atributos del fondo del río Guadalhorce; 12. Tendido eléctrico; y, por último, 13. Taludes del terreno.

Una vez introducidos en la difícil tarea de la digitalización de los planos necesarios debemos mencionar que esta etapa se constituyó en fundamental ya que de la perfección con que se digitalice depende gran parte del éxito del proyecto.

En una **SEGUNDA ETAPA**, combinando el S.I.G. (Arc/Info) con el Modelo Digital del Terreno utilizado (Quick Surf -Generic Contouring Utility para Autocad-), una vez digitalizada y corregida la cartografía básica, se extrajeron la totalidad de las cotas de altitud (8.920) para la realización de nuestras propias curvas de nivel. De esta ingente cantidad de cotas seleccionadas y de la homogeneidad de su distribución espacial dependió la exactitud de los contornos o curvas de nivel que se construyeron, aunque el proceso se tornó difícil y lento en el entorno de los ordenadores personales. De este modo, por un lado, se realizaron curvas de nivel absolutas, esto es, sobre el nivel del mar; y, por otro, se procedió a convertir las alturas absolutas en alturas relativas sobre el lecho del río tomando las alturas de su cauce como nivel de base.

El estudio de las curvas de nivel absolutas es fundamental para comprender cómo actúan las aguas en el caso de inundación; así, hay que tener presente, además de los materiales que componen la zona por donde ésta discurre y que son responsables del relieve resultante, la topografía del terreno. Igualmente, la distribución de las curvas de nivel a partir de las cotas de alturas absolutas suministradas por la cartografía originaria permite la percepción de la organización del microrelieve de toda la zona, pues los pequeños desniveles son decisivos ante el desarrollo de una avenida, dado que de hecho marcan cauces por los que discurren las aguas.

Del mismo modo, al ser el supuesto de alturas relativas sólo aplicable hasta una cierta distancia de los márgenes del río Guadalhorce, y dado que existen una serie

de arroyos en el resto de la llanura aluvial, los cuales marcan notablemente la inundación de toda esta zona con sus aportaciones torrenciales, e igualmente, dado que en el delta terminal del río Guadalhorce, con alturas de menos de 3 metros, el mar adquiere una papel fundamental al bloquear con su oleaje la evacuación de las avenidas, creemos que la elaboración de las alturas absolutas estaba totalmente justificada.

El proceso de realización de las curvas de nivel relativas al lecho del río Guadalhorce se describe a continuación. En este sentido, se procedió a compartimentar el lecho del río Guadalhorce cada medio metro según la altitud de su lecho, desde el nivel mínimo de 0 metros junto al mar, aproximadamente, hasta el nivel máximo de 8.5 metros aguas arriba, en el límite NO. del área estudiada, según marcaban las anotaciones de este fondo y las cotas de altitud que en él se sitúan.

Posteriormente, y en primer lugar, se localizaron todas las cotas de altitud que se encontraron en cada segmentación mencionada (15 particiones del lecho en total).

En segundo lugar, al valor real de cada segmentación del lecho (esto es, de 0 metros hasta 0.5 metros sobre el nivel, de 0.5 a 1, así hasta 8-8.5 metros) se les sumó un valor constante de incremento de altitud, según los diferentes supuestos de elevación relativa que hemos considerado oportunos e interesantes para nuestro proyecto (desde 3.5 metros mínimo de altitud relativa hasta 10.5 metros máximo con un incremento constante de 0.5 metros).

En tercer lugar, con el resultado de esta operación a la vista, se localizaron todas las cotas de altitud situadas próximas a este valor.

Y por último, en cuarto lugar, se construyeron los contornos relativos al lecho del río a lo largo de su recorrido.

Pongamos un ejemplo: si a 1.5 metros de altitud del lecho le sumamos un valor de 3.5 metros, esto supone un incremento hasta 5 metros, así pues, es conveniente buscar



todas las cotas de altitud entre 4.75 y 5.25 metros, dado que mientras mayor sea la cantidad de cotas seleccionados más óptimo será el contorno generado. No obstante, en consonancia con lo dicho anteriormente, este intervalo se puede aproximar a 5 metros, por ejemplo, si el número disponible de cotas próximas a este valor fuese mayor.

Este proceso tiene su justificación en el sentido de que las zonas inundables lo son en función de su altura relativa respecto al lecho del río a lo largo de su curso.

Las curvas de nivel relativas diferencian al conjunto de las tierras circundantes al lecho del río, en diferentes niveles, teniendo como base el mencionado lecho en una serie de puntos seleccionados cada medio metro desde su desembocadura o nivel del mar hasta el punto determinado como fin del área de estudio, aguas arriba. Todo ello debe entenderse en sentido estricto: "diversos niveles de altitud sobre el lecho del río, a lo largo de su recorrido". Por tanto, sería erróneo entender que se trata de niveles de inundación, dado que influyen una cantidad importante de factores a la hora de establecer alcance de las aguas en un momento determinado: volúmen, velocidad, vaso por el que discurren, etc...

Por otra parte, la finalidad de este proyecto ha tenido como objeto el determinar el nivel que alcanzarán las aguas en momento de inundación en cada sector, ya que el Servicio de Protección Civil dispondrá de la previsión de ese nivel en caso de alerta roja, proporcionado por la Confederación Hidrográfica del Sur. Sabiéndose pues, que nivel van a alcanzar las aguas, nuestra cartografía tiene la finalidad de señalar -distribuyendo el espacio en diferentes sectores de alturas relativas sobre el lecho del río- las zonas que en cada sector van a quedar afectadas, si en ese sector, las aguas subiesen un determinado nivel.

Como **TERCERA ETAPA**, se procedió a tratar a través de S.I.G. toda la información digital y alfanumérica obtenida, procediendo a señalar mediante tramas de color los diferentes espacios comprendidos en el área de estudio según

las diferentes alturas. Igualmente se creó una base de datos con la información correspondiente a cada parcela y edificación recogida, mediante trabajo de campo: identificándose cada una de las empresas de los polígonos industriales, cada uno de los comercios de la zona más urbana y cada una de los núcleos de población que se vieron afectadas por la inundación de 1989.

De este modo, relacionando las bases de datos creada con la cartografía digitalizada, las alturas absolutas y relativas y las bases de datos alfanuméricas mediante superposición de capas, se produjo una cartografía con todo el conjunto de información. Esta etapa ha supuesto un proceso en el cual los datos geográficos que habían sido organizados y manipulados como capas de información independientes: solares, parcelas, carreteras, edificaciones, alturas relativas, etc., pero de acuerdo a una base cartográfica común, se relacionan entre sí. De esta forma, con la existencia de capas que pueden ser recuperadas selectivamente y transformadas gráficamente, se han generado otras nuevas con las características más importantes de resaltar de nuestra área de estudio.

El proyecto se ha detenido oficialmente en esta tercera etapa, aunque pretendemos continuar con los objetivos marcados al principio y que quedaron temporalmente fuera del proyecto inmediato. Así en cuanto dispongamos de datos sobre precipitación sobre la cuenca del río Guadalhorce, niveles de escorrentía, etc... realizaremos simulaciones de las posibles alturas y zonas afectadas que alcanzarían las aguas con determinada intensidad de precipitación.

En conclusión, consideramos que, además de la aportación fundamental con unos resultados cartográficos satisfactorios, como ha sido la obtención de una cartografía básica y necesaria para el Servicio de Protección Civil de la provincia de Málaga, el proyecto nos ha servido para observar las enormes posibilidades de conseguir con equipo modesto unos resultados importantes mediante la aplicación de tecnologías S.I.G., aunque con un proceso abrumadoramente lento en el entorno de los ordenadores

personales, dada la cantidad de información procesada, tanto alfanumérica como digital.

El proyecto, en la práctica de su elaboración ha servido, del mismo modo, para poner de manifiesto las limitaciones y posibilidades del hardware en entorno "pc"; la potencialidad y capacidad de los softwares utilizados; y la fidedignidad de los datos geográficos manejados; todo ello conjuntado para capturar eficientemente, ordenar, poner al día, manipular, analizar y presentar resultados de una serie de información geográficamente referenciada.

#### **NOTAS BIBLIOGRAFICAS**

RHIND, DAVID: "Els Sistemes D'Informació Geogràfica: Situació Actual i Perspectives de Futur". Treballs de Geografia, núm. 43, pp. 11-21. Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de las Islas Baleares. Palma, 1990.

TOMLIN, C. DANA: "Geographic Information Systems and Cartographic Modeling". Prentice Halls, Englewood Cliffs, N.J., 1989.