

# Cartografía digital y Espeleología

José Lorenzo Herrero Rico ([jlorenzo@apdo.com](mailto:jlorenzo@apdo.com))  
Grupo de Espeleología Mediterráneo  
Marzo del 2000

Artículo escrito para la revista espeleológica “Lapiaz” numero 27  
de la Federación de Espeleología de la Comunidad Valenciana.

## Índice

|                                                                              |          |
|------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Introducción .....</b>                                                    | <b>2</b> |
| <b>Capítulo 1 “Cartografía Digital de superficie, GPS y Utilidades”.....</b> | <b>2</b> |
| 1. GIS (Graphic Information System) .....                                    | 2        |
| 2. Mapas Digitales .....                                                     | 2        |
| ▪ Mapas Vectoriales .....                                                    | 2        |
| ▪ Mapas DRG (Digital Raster Graphics) .....                                  | 3        |
| ▪ Comparación entre mapas Vectoriales y DRG .....                            | 3        |
| ▪ Conclusión .....                                                           | 4        |
| 3. GPS, Datum y Coordenadas UTM .....                                        | 5        |
| 4. Mejoras de precisión con GPS .....                                        | 7        |
| 5. Utilizando mapas digitales .....                                          | 8        |
| ▪ Utilización de Mapas tipo Raster .....                                     | 8        |
| ▪ Utilización de Mapas Vectoriales .....                                     | 10       |
| ▪ Utilización de Mapas DEM ( Digital Elevation Model) .....                  | 11       |
| ▪ Utilización de Mapas Vectoriales de Carreteras .....                       | 14       |
| ▪ Utilización de otras Aplicaciones .....                                    | 15       |
| 6. Utilidades .....                                                          | 17       |
| 7. Perspectivas de Futuro .....                                              | 19       |
| 8. Bibliografía .....                                                        | 20       |
| ▪ Bibliografía en Internet .....                                             | 20       |
| ▪ Agradecimientos .....                                                      | 21       |

## Introducción

La rápida evolución de la tecnología nos obliga a intentar estar al día de los acontecimientos para poder ser más productivos y hacer más fáciles tareas que hace unos años eran meras utopías. Este es el objetivo de esta serie de artículos. Quiero intentar, con un lenguaje y explicaciones asequibles para el profano en la materia, mostrar el potencial informático del que podemos disponer para conseguir mejores resultados e interpretaciones en determinadas tareas de la espeleología. Con la utilización de herramientas informáticas usadas en cartografía podemos, entre otras cosas, interpretar, calcular, situar y representar las cavidades en un formato digital. Soy consciente que cualquier artículo relacionado con aplicaciones informáticas queda desfasado en un periodo muy corto de tiempo (a los dos años puede hasta hacernos reír) pero si estas líneas sirven para despertar inquietudes y empezar a trabajar en un tema no muy conocido, mi objetivo estará más que cumplido. Iremos introduciendo los temas en un orden progresivo de dificultad empezando con explicaciones de conceptos básicos. En este primer capítulo se analizarán herramientas orientadas a la parte exterior de las cavidades, pero que, como veremos en próximas entregas, se podrán interrelacionar con la cartografía interior de la cavidad, es decir, con nuestra clásica topografía.

## Capítulo 1 “Cartografía Digital de superficie, GPS y Utilidades”

### 1. GIS (Graphic Information System)

Bajo el acrónimo de GIS (sistemas de información geográfica) se engloba un conjunto de software, hardware, datos geográficos, personas y procedimientos para el análisis, almacenamiento, organización, etc. de información referenciada geográficamente. Como vemos, el concepto de GIS abarca un campo extensísimo. Nosotros analizaremos solo una pequeña parte muy interesante para la espeleología, como puede ser, asociar una base de datos de situación de cavidades a un mapa digital. La georeferencia se puede hacer automáticamente, viendo las cavidades de la base de datos en el mapa de manera instantánea. Los sistemas GIS (SIG en castellano) se aplican en todas las actividades donde se requiera la utilización de bases de datos asociadas a mapas. Es normal su utilización por profesionales tan dispares como estadistas, geólogos, biólogos, historiadores, geógrafos, físicos, sociólogos, ingenieros, etc.

### 2. Mapas Digitales.

Cuando hablamos de mapas que tienen un soporte digital, debemos diferenciar inmediatamente si se trata de tipo Vectorial o de tipo DRG (Digital Raster Graphics). Las diferencias entre ambos formatos son muy importantes. Lo primero que debemos hacer es conocer ambos tipos.

- Mapas Vectoriales: utilizan el método de gráficos vectoriales. Es decir, cada objeto del mapa como puede ser una curva de nivel, un símbolo, texto, etc. guarda la definición geométrica y atributos del objeto que permiten generar la figura. Esta definición geométrica la representa mediante vectores y los atributos son el grosor, color, etc.

En la figura 1 podemos observar un ejemplo de cómo almacenaría este formato el contenido de una figura geométrica simple, que consta de dos líneas. Las instrucciones para generarla serían algo así: “traza un vector del píxel (la unidad más pequeña en que se puede subdividir la pantalla) de coordenadas (0,0) al píxel de coordenadas (30,20), a continuación traza otro vector del píxel de coordenadas (10,7) al píxel de coordenadas

(35,-40)”. Los atributos en este caso serían el valor del grosor de la línea y el color. En definitiva, es un formato que almacena la geometría de los objetos matemáticamente. Hemos visto una representación muy simplificada del proceso ya que, en realidad, para crear dibujos vectorizados más complejos se utilizan entidades matemáticas superiores, como curvas de Bezier, Polilíneas y B-splines entre otras.

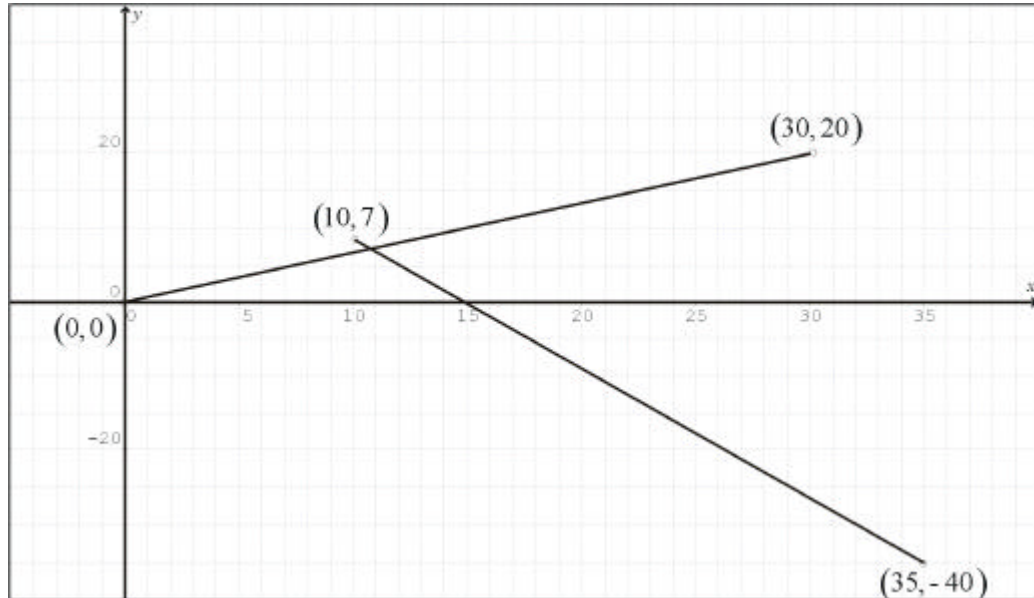


Figura 1

- Mapas DRG (Digital Raster Graphics): utilizan el método gráfico de mapas de bits, es decir, cada píxel del gráfico está identificado con una posición y un color.

En la figura 2 vemos un trozo de línea que podría ser de un mapa, ampliada a nivel de píxel. El funcionamiento es guardar la información secuencialmente de la forma: fila 1 y columna 1 es blanco, fila 1 y columna 2 es blanco, fila 1 columna 3 es blanco, ... , fila 1 y columna 9 es negro, fila 1 columna 10 es blanco; así hasta finalizar todas las filas. Podemos elegir las distintas profundidades de color (cantidad de colores) que necesitemos.

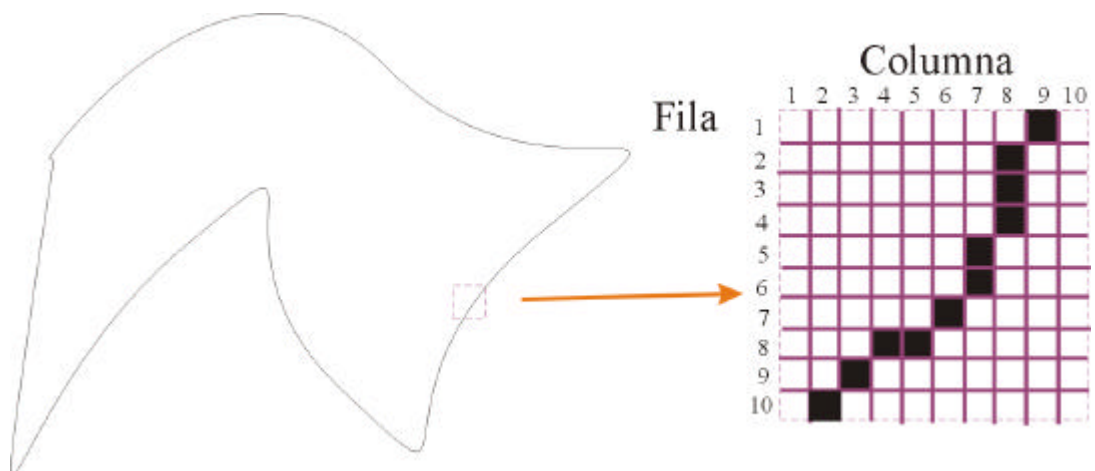


Figura 2

- Comparación entre mapas Vectoriales y DRG

| Característica                  | Mapa Vectorial                                                                                                                                                                                    | Mapa DRG (Raster)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Geométricas                     | Mejor cuando son imágenes de geometrías sencillas como la mayoría de objetos de un mapa. Solo guardamos el objeto y no todos los píxeles que no representan nada como un fondo blanco de un mapa. | Mejor para geometrías complejas con mucha variación de colores o escalas de grises. Normalmente no suelen haber mapas con estas características.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Edición                         | Podemos mover, copiar, eliminar y modificar un objeto del mapa.                                                                                                                                   | Solo podemos mover, copiar, eliminar y modificar regiones del mapa y no objetos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Escalado                        | Los objetos definidos matemáticamente no tienen ninguna pérdida de fidelidad. Por ejemplo, redimensionar un cuadro no es ningún problema si conocemos su geometría.                               | Cuando redimensionamos una región de un mapa, estamos añadiendo o quitando píxeles que hacen que pierda la fidelidad inicial.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Visión ampliada                 | Los objetos se pueden ampliar para verlos en pantalla sin pérdida de resolución, como pasaba con el escalado                                                                                      | Cuando queremos ampliar una zona del mapa para verlo mejor, llega un momento que se pierde la definición                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Tamaño de Archivo               | Pequeño, ya que son instrucciones matemáticas.                                                                                                                                                    | Grande, tenemos que guardar el valor de cada píxel.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Recurso de memoria y procesador | Pequeño. Trabaja directamente con los vectores que tiene que modificar o mostrar en la pantalla.                                                                                                  | Grande. Aunque utilicemos un formato que soporte un algoritmo de compresión (jpg, tiff, png, etc.), cuando está en la memoria debe descomprimirse con el trabajo extra del procesador. El compresor solo sirve para ocupar menos espacio en la memoria de almacenamiento. Como es demasiado grande el archivo que se genera, el ordenador recurre al método de paginación de memoria, que consiste en borrar y dibujar la parte que queremos ver cuando nos desplazamos con los cursores. Esto ralentiza mucho el sistema. |

- Conclusión.

En definitiva, el sistema de mapa de bits es como un cuadro pintado al óleo y el sistema vectorial un puzzle con piezas independientes.

Como podemos observar es mucho más interesante el formato vectorial, pero como veremos más adelante, el vectorial es más difícil de conseguir mientras que para el tipo raster sólo necesitamos un plano impreso y un escáner. Existe un tercer formato que tiene una base vectorial pero admite mapas de bits (bitmaps) es el Metafile. Veremos en un futuro si es utilizado por los programas cartográficos.

### 3. GPS, Datum y Coordenadas UTM

Hoy día es frecuente la utilización del GPS para situar una cavidad. Si tenemos la suerte de que el error intencionado (SA) que introduce el departamento de defensa de los EEUU está inactivo en ese momento o la degradación sea muy pequeña, podemos obtener una precisión de unos 15 a 30 m, suficiente cuando trabajamos con planos de escalas 1:50.000 o 1:25.000.

Lo normal es utilizar las coordenadas UTM para situar una cavidad. Al estar basadas en unidades métricas es muy fácil hacer cálculos como direcciones y distancias entre cavidades. Debemos saber que un punto determinado se puede dar con distintas precisiones, no sólo como en el ejemplo de los 100 m que suele venir en los mapas militares. En la tabla vemos el mismo punto con varias precisiones.

| Coordenadas del Punto | Precisión             |
|-----------------------|-----------------------|
| 30TVL603027           | Al hectómetro (100 m) |
| 30TVL60360271         | Al decámetro (10 m)   |
| 30TVL6036702717       | Al metro (1m)         |

Un problema típico que suelo observar cuando se utiliza el GPS y un plano topográfico es el error de la configuración del datum del GPS.

Vamos a intentar definir el Datum de una manera simple y sencilla. Como todos sabemos, la tierra esta achatada por los polos, por tanto, no es una esfera perfecta sino que se parece más a un elipsoide de revolución. Una sección plana del elipsoide puede ser modificable en sus dos semiejes provocando distintos aplanamientos, como vemos en la figura 3.

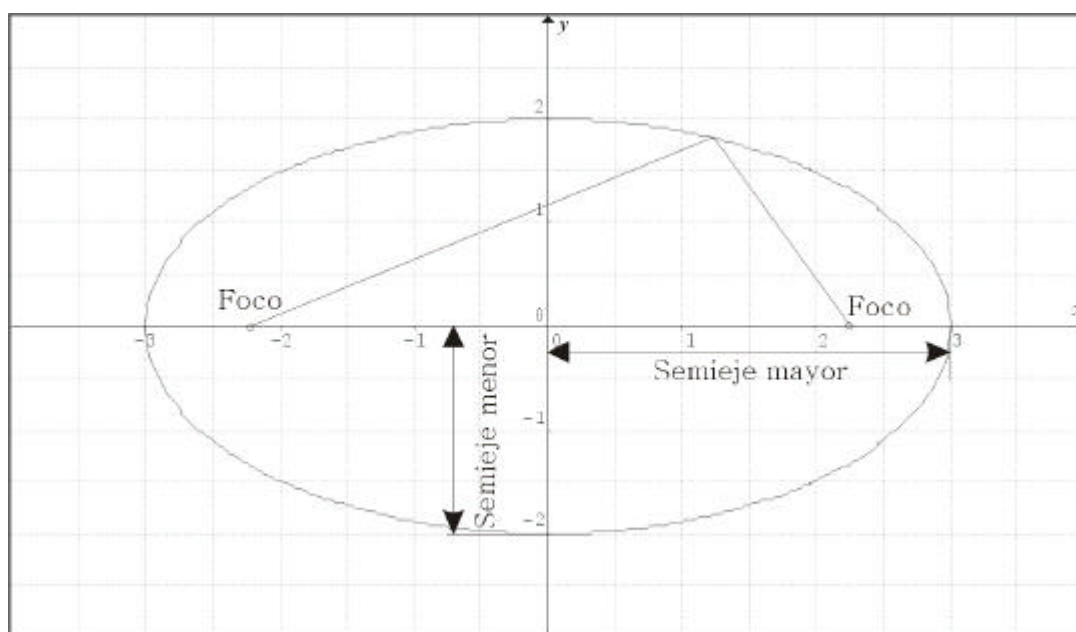
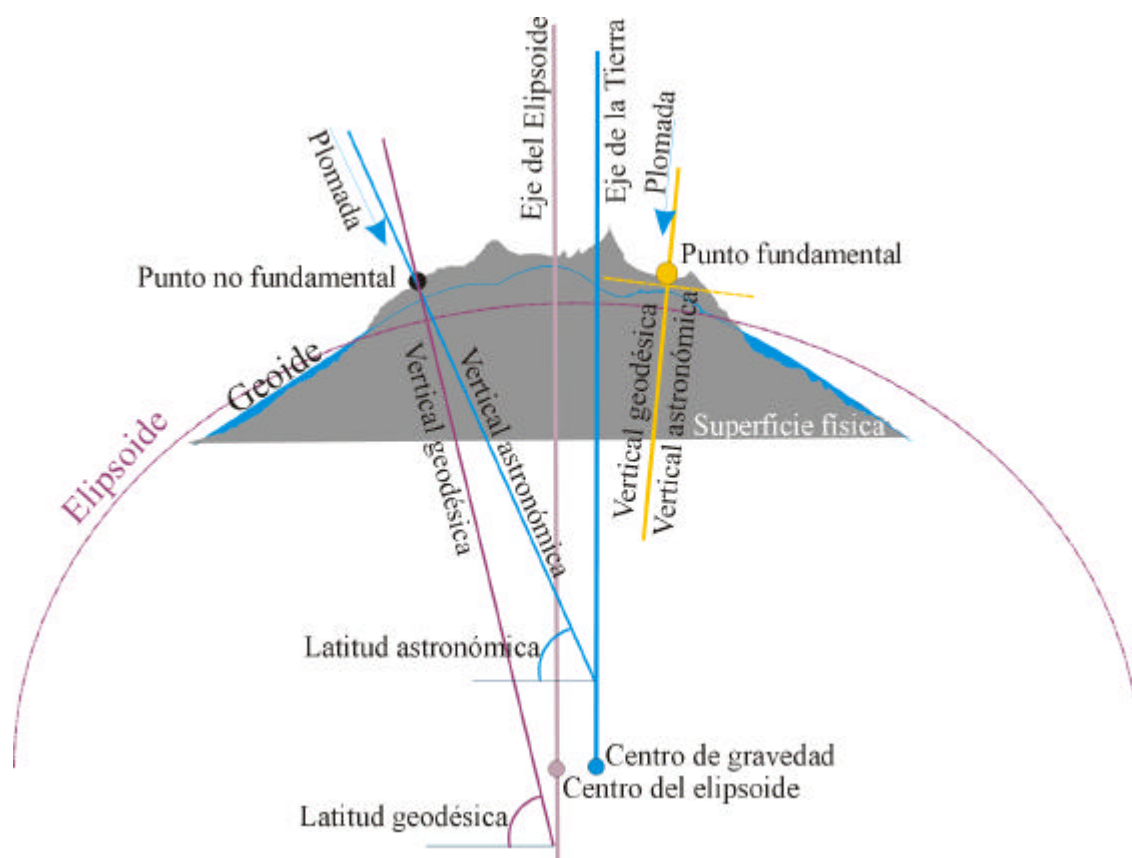


Figura 3

Dependiendo de la forma de cada región terrestre se escoge un elipsoide particular que se adapte lo mejor posible a esa zona (es decir, que se adapte aproximadamente al geoide). El geoide es la verdadera forma de la tierra y coincide aproximadamente con la de las aguas oceánicas prolongadas imaginariamente por debajo de los continentes. Para hallar el geoide se mide en muchos puntos de la tierra la dirección de la gravedad, materializada por el hilo en tensión de la plomada. También se busca un punto de referencia llamado “Fundamental” donde son tangentes la tierra (geoide) y el elipsoide. Este punto se utilizará como referencia para situar geográficamente el resto de puntos del mapa. Ese punto “fundamental” y el elipsoide (como modelo matemático) escogido forman el Datum. En la figura 4 tenemos el ejemplo de un punto fundamental y otro que no puede ser. Como observamos el Datum siempre está compuesto por estos dos elementos.



**Figura 4**

Los GPS por defecto utilizan el Datum mundial WSG-84. En los mapas españoles del Servicio Geográfico del Ejército (<http://www.ejercito.mde.es/publicaciones/sge.html>) y el Instituto Geográfico Nacional (<http://www.geo.ign.es/>) se utiliza el Datum Europeo 1950 o Europeo 1979. Si el mapa no especifica el Datum debemos mirar en el lateral de la hoja y ver en qué año está formada (que no es lo mismo que el año de edición). Si es posterior a 1979 utilizará el Europeo 1979 y en caso de ser anterior, el Europeo 1950 (ambos definidos por el elipsoide de Hayford y punto fundamental Postdam en Alemania).

Cuando se proyectan coordenadas UTM sobre un mapa, un mismo punto puede tener coordenadas diferentes en función del Datum escogido. Por ello es importante configurar el GPS con el Datum del mapa; así nos aseguraremos que las coordenadas que indica el GPS coinciden con el mapa.

Las diferencias de coordenadas entre el Datum Europeo de 1950 y el Europeo 1979 son despreciables (aproximadamente un metro en uno de los ejes). Sin embargo, entre el Europeo 1979 y el WSG-84 pueden haber diferencias de 100 metros en el eje X y 200 metros en el eje Y, dependiendo de la zona.

Los últimos mapas del ejército de los que dispongo (1996) traen por detrás la conversión del Datum Europeo 1979 al Mundial WSG-84. No me extrañaría que los futuros mapas utilicen el Datum mundial WSG-84. Sería un sano ejercicio que cuando se publique una cavidad y se especifiquen las coordenadas UTM, a partir de ahora pongamos el Datum del mapa de donde las hemos extraído. Imaginad el caos que podría ocurrir si una misma cavidad tiene diferentes coordenadas UTM debido al Datum. Si la cavidad está situado en un paraje de mucha vegetación, relieve accidentado y una entrada pequeña, con 150 m de diferencia podemos perder una mañana para encontrarla.

#### 4. Mejoras de precisión con GPS

Como comentábamos en el apartado anterior, el SA (error intencionado) en teoría distorsiona la señal el 95% del tiempo unos 100 m el posicionamiento horizontal, aunque la realidad es que la mayoría de ocasiones suelen ser entre 30 y 50 metros. En altura, debido a la SA y por cuestiones geométricas, la imprecisión es muy grande, siendo aconsejable recurrir a un buen altímetro.

Aparte del sistema GPS de Estados Unidos que utiliza la constelación de satélites NAVSTAR con la famosa SA, existe el sistema ruso con la constelación GLONASS que no introduce el error intencionado. También hay un proyecto europeo de posicionamiento que se supone estará listo antes de una década.

Partiendo de la base de que casi todos los receptores GPS que utilizamos trabajan con la constelación NAVSTAR, debemos emplear métodos para la mejora de la precisión a la hora de situar cavidades o rutas de accesos.

Un primer método para eliminar el SA es utilizar las señales de corrección de un DGPS (Diferencial GPS). Estas son señales emitidas por emisoras que están en una posición fija y comprueban la diferencia entre su posicionamiento real y la emitida por los satélites. Ayudados por un receptor DGPS podemos introducirlas en nuestro GPS y corregir el efecto SA.

Un inconveniente del sistema es que en España existen pocas estaciones, con coberturas limitadas y orientadas más a la navegación marina. Otro inconveniente es el gran coste del receptor.

Actualmente existe un interesante proyecto llamado “Record” que consiste en enviar las señales correctoras en formato Rasant a través de las emisoras RDS (sistema de radio digital) de Radio Nacional de España (<http://www.rtve.es/rne/areas/serframe.htm>). Este sistema es muy interesante para la espeleología, ya que la cobertura es mucho mayor y el receptor Rasant es más barato. Con ambos sistemas podemos conseguir precisiones de hasta 2 metros.

Mientras se define el futuro de la precisión del GPS os propongo un método manual para conseguir mayor precisión al situar bocas de cavidades en el caso de no disponer de aparatos



topográficos de alta calidad y cuando sea importante situar bien las entradas de cavidades, por ejemplo, por tratarse de un sistema con varias entradas.

### **Sistema Diferencial Manual**

- 1) Utilizaremos dos GPS's de la misma marca y modelo que se supone tendrán el mismo error a nivel de componentes electrónicos (alrededor de 1 m).
- 2) Formaremos dos grupos y subiremos a dos vértices geodésicos próximos, que en los mapas topográficos vienen indicados en un cuadro aparte con una precisión de un metro, en la cuadrícula kilométrica UTM.
- 3) Una vez en los vértices, nos comunicamos por medio de emisoras de tal modo que vayamos indicando al que está en el otro vértice la desviación en metros del eje "x" e "y" respecto de lo que indica el cuadro del mapa. Entonces comprobamos si coincide la misma desviación. Los del otro vértice harían lo mismo pero a la inversa.
- 4) Si coinciden las desviaciones y el método funciona con esos dos GPS's habremos calibrado el sistema. Ahora podemos subirnos a un vértice con la emisora y el otro GPS estaría en la boca de la cueva. Con las rectificaciones que le vaya diciendo el operador situado en el vértice podremos posicionar la cueva con mucha precisión.

#### **Conclusión**

Antes de realizar la prueba deberíamos verificar los siguientes puntos:

- 1) Que los GPS's estén relativamente cerca para coger exactamente los mismos satélites.
- 2) Que tengamos buena recepción con bastantes satélites para que el error de degradación geométrica no sea distinto por la distancia entre los GPS's.

Los errores serían (suponiendo que tenemos un buen receptor):

- 0.5 cm reloj del satélite.
- 0.5 cm efemérides.
- 1 m Errores del receptor.
- 3 m Atmósfera / Ionosfera.
- 25 m el Error intencionado.

Los dos primeros errores podemos prescindir de ellos, el de Atmósfera / Ionosfera en teoría afectarán a los dos GPS's por igual y el del error intencionado también. Por tanto, en teoría nos queda el metro de los receptores, pero si conseguimos entre 3 y 5 m reales el esfuerzo merece la pena. La prueba se puede hacer con receptores de diferentes marcas y variar alguna de las condiciones anteriores, el supuesto se ha descrito en condiciones ideales.

#### **5. Utilizando mapas digitales.**

Una de las aplicaciones más interesantes para el espeleólogo es poder situar con un GPS la boca de una cavidad en un mapa y su ruta de acceso (Track en inglés). Ambas podemos dibujarlas en un mapa con puntos indicativos intermedios (Waypoints en inglés). Todo esto se puede hacer de manera automática en formato digital. Para ello necesitamos descargar por medio de un cable (fácil de conseguir o construir; ver la página <http://www.uco.es/~bb1rofra/gps.html>) los datos del GPS en un ordenador.

- Utilización de Mapas tipo Raster

Existen aplicaciones como “OziExporer” (<http://www.powerup.com.au/~lornew/oziexp.html>) o “TrackMaker” (<http://www.geocities.com/Baja/Canyon/5201/port/index2.htm>) que son gratuitas (freeware) o de prueba para posterior compra (shareware). Estas aplicaciones tienen la peculiaridad de poder introducir un mapa escaneado y generar un mapa tipo Raster. Esto es muy importante ya que actualmente los mapas vectoriales, aunque más interesantes como dijimos anteriormente, son difíciles de conseguir a pequeña escala. Sin embargo, los mapas del Instituto Geográfico o

del Ejército a escala 1:50.000 o 1:25.000 solemos utilizarlos todos los espeleólogos. Una vez hemos escaneado la parte del mapa que nos interesa, la introducimos en el programa y a continuación lo calibramos. La calibración consiste en marcar varios puntos del mapa con coordenadas conocidas, como pueden ser los vértices que suelen venir en los mapas topográficos con las coordenadas afinadas a un metro de precisión. También debemos de introducir el Datum del mapa en cuestión. Una vez calibrado, cuando arrastremos el cursor sobre la pantalla, nos mostrará en un recuadro las coordenadas del punto sobre el que está situado el cursor en ese momento (figura 5). A continuación, podemos introducir puntos de coordenadas de cavidades y situarlas con nombres, iconos, etc. Es fácil situar rutas de acceso a la cavidad, que previamente habremos guardado en el GPS y descargado en el programa. Con estas aplicaciones, entre otras cosas, realizamos mediciones de distancias entre puntos, dibujamos iconos, escribimos comentarios sobre el mapa, Grids (rejillas o cuadrículas personalizadas), calculamos áreas para limitar las zonas de absorción del macizo cárstico y realizamos un moving map, que consiste en conectar en tiempo real un GPS a un ordenador portátil y marcar la ruta por donde vamos pasando en ese momento.

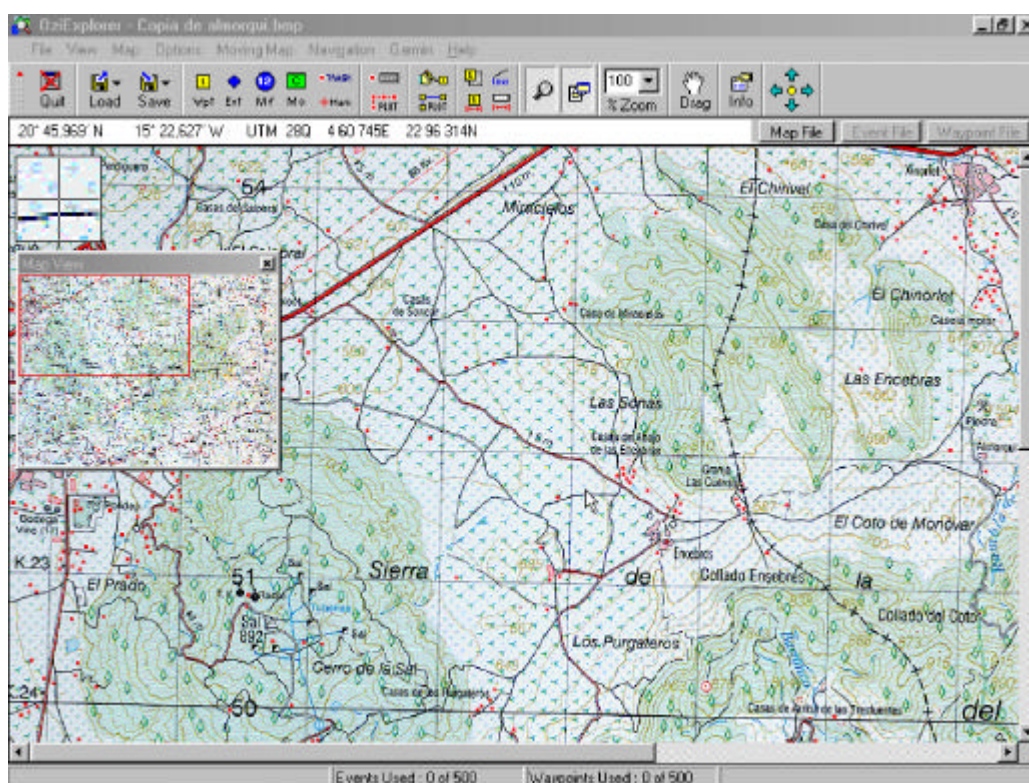


Figura 5

La siguiente tabla indica a nivel orientativo con que resolución debemos escanear los planos dependiendo del uso que vayamos a hacer de ellos.

| Resolución en puntos por pulgada | Uso                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 72 ppp                           | Es la resolución normal de pantalla. Útil si solo queremos visualizar y no deseamos utilizar el zoom, ni imprimir. Aunque aumentemos la resolución lo veremos igual. |
| 300 ppp                          | Para poder realizar varios zoom y no perder detalle, además de poder imprimir con una buena calidad.                                                                 |

Respecto a la profundidad de color, depende del mapa si tiene sombreados o sólo son líneas de colores. Debemos buscar un equilibrio entre resolución, colores y tamaño en memoria. Si el mapa es rico en colores podemos utilizar formatos comprimidos con pérdidas como el JPG, pero si tiene pocos colores mejor utilizar formatos comprimidos sin pérdidas tipo Tiff o Gif.

El IGV (Instituto Geográfico Valenciano) ha tenido la maravillosa idea de poner toda la cartografía valenciana a 1:10.000 para descargar por Internet la hoja que nos interese de una manera gratuita (<http://www.gva.es/icv/index.html>). Hay que utilizar un visualizador (figura 6) para poder ver e imprimir tales hojas. Este visualizador es muy básico y no permite calibrar el mapa, además de ser un formato propietario que impide exportar los mapas a otras aplicaciones. Si queremos hacer esto último siempre nos queda el recurso de imprimir el mapa y escanearlo posteriormente. De todas formas, es una gran iniciativa que debe servir de ejemplo a otras instituciones. Si es posible adquiriera un formato vectorial con todas sus capas para poder ser retocado con programas de CAD “Microstation”.

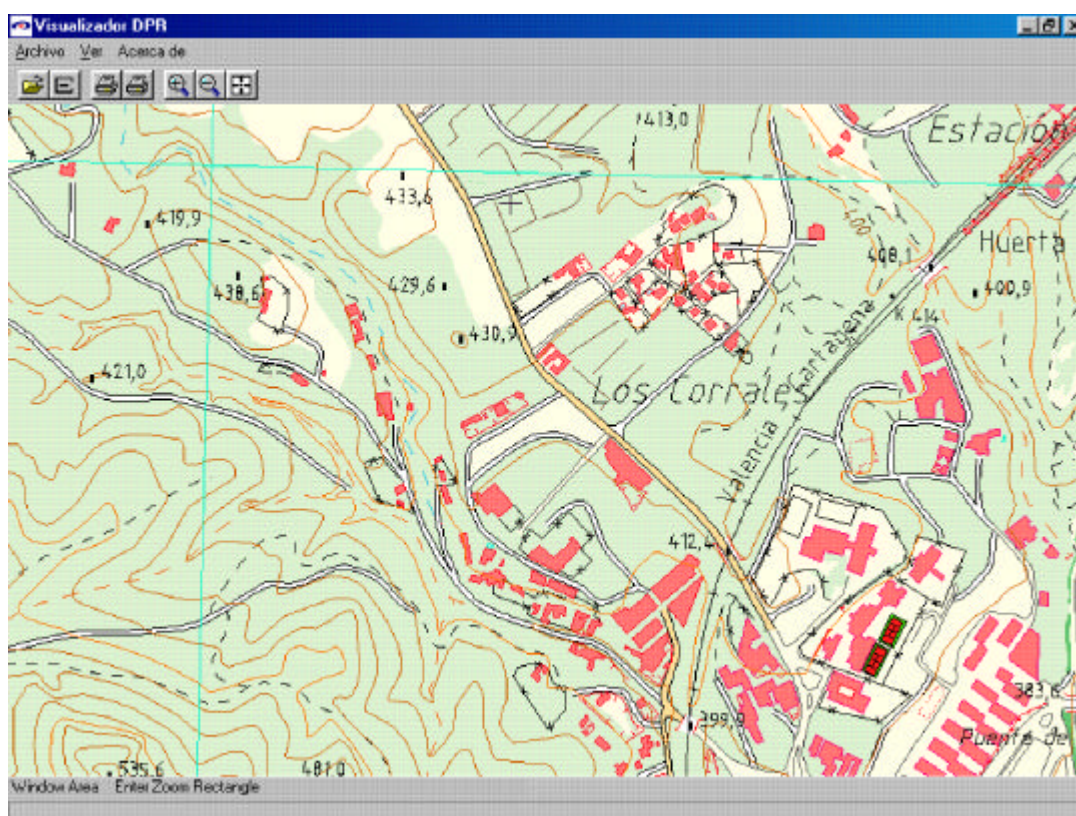


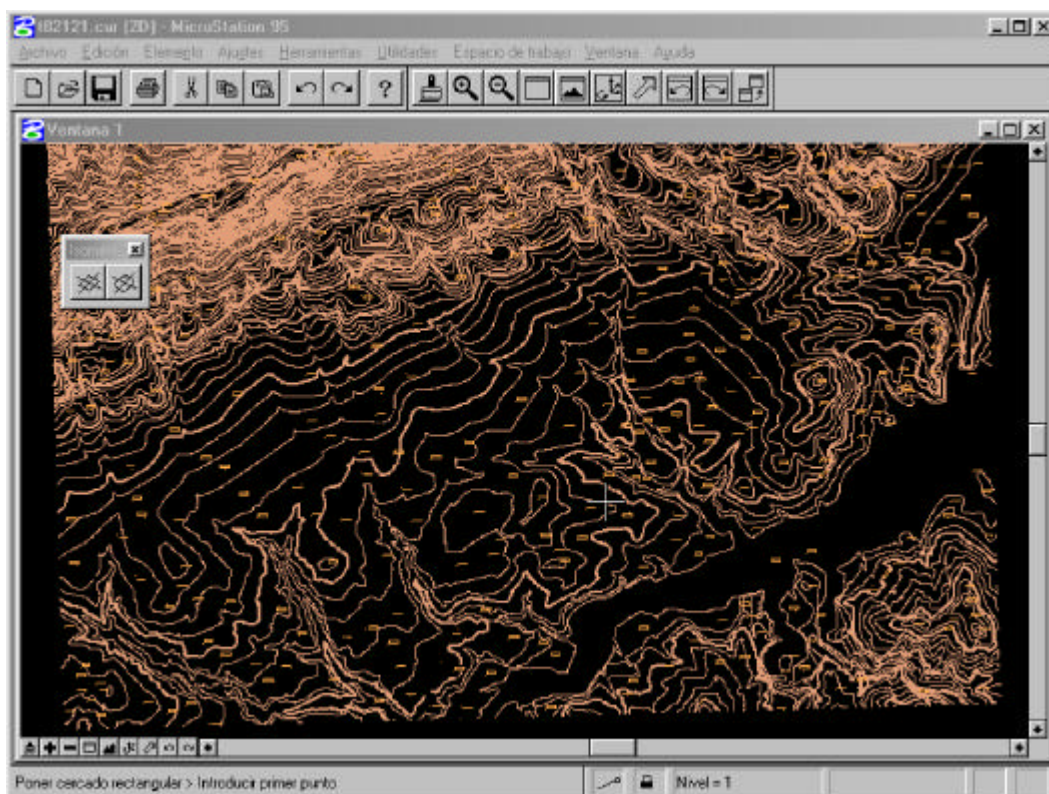
Figura 6

- Utilización de Mapas Vectoriales.

Los mapas vectoriales no podemos como en el caso de los Raster “construirmoslos nosotros mismos”, sino que necesitamos tenerlos en un archivo que normalmente se vende en CD-ROM. Este tipo de archivos son utilizados en muchas aplicaciones de ingeniería civil. Tanto los archivos como las aplicaciones son muy caras, no estando al alcance de los grupos de espeleología; en el apartado de esta misma revista “El Gour de la meditación” realizo una crítica sobre este tema.



Las ventajas de disponer de cartografía vectorial (figura 7) son muy grandes; podemos hacer cortes longitudinales del terreno, vistas en 3 dimensiones y, como cada objeto del mapa es independiente, se pueden editar, quitar, etc. objetos como curvas de nivel, ríos, casas, o cualquier otro símbolo que aparezca en el mapa. Para hacernos una idea con solo 3 CD-ROM podemos tener toda la Comunidad Valenciana a escala 1:10.000 a todo lujo de detalles. Por cierto, en cartografía digital la escala se refiere al nivel de detalle equivalente en un mapa impreso, ya que con la herramienta zoom podemos verlo a la escala que queramos.



**Figura 7**

Para este tipo de mapas existen visualizadores gratuitos o económicos, pero cuando queremos hacer algún tipo de diseño se utilizan aplicaciones de diseño general con alguna librería extra como en el caso de “Autocad” (<http://www.autodesk.es>) o “Microstation” (<http://www.microstation.com>). Con programas de CAD (Diseño asistido por ordenador) también es posible realizar animaciones o paseos virtuales a través de los mapas, para poder realizar presentaciones multimedia.

El servicio Geográfico del Ejército (<http://www.ejercito.mde.es/publicaciones/sge.html>) tienen publicado en 3 CD-ROM el mapa de España a escala 1:800.000 y 1:250.000 acompañado de una aplicación que es capaz de representarnos secciones y perspectivas de lugares de una manera muy realista. El inconveniente es que la escala es muy grande y el formato de los mapas es propietario, con los consiguientes problemas para exportarlos a otras aplicaciones, siendo imposible la conexión de GPS.

- Utilización de Mapas DEM ( Digital Elevation Model)

Los modelos digitales del terreno MDT, que tienen su principal referencia en los mapas tipo DEM, son un modelo digital de elevaciones muy interesante. Podemos verlos con una

aplicación adecuada como el “TerraBase II” (<http://www.wood.army.mil/TVC/>) o el visualizador “Dem3D” (<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/Data/Datos.html>), programas que además son gratuitos. Los archivos son creados por sistemas de Fotogrametría, Radargrametría etc. y algoritmos adecuados de transformación hacen que podemos ver el relieve del terreno desde la perspectiva que más nos interesa (figura 8), movimientos en 3D, histogramas de altitudes, cortes de perfiles (figura 9), vuelos virtuales (figura 10) por la zona que no interese o por la ruta que hayamos andado (que se registrará en el GPS y la descargaremos en el ordenador). Estos vuelos se pueden transformar en películas de video avi, mpeg, etc. En “TerraBase” siempre que queramos definir sobre el mapa alguna operación debemos dar dos golpes de ratón y arrastrar. En “Dem3D” con el botón izquierdo del ratón movemos la imagen y con el derecho hacemos zoom. En la figura 11 podemos ver el relieve de la Mammoth Cave. La utilidad para el espeleólogo es magnífica para el estudio de un macizo, presentación de trabajos, donde podemos integrar la cavidad en el relieve del terreno. Nos pueden dar una visión muy intuitiva de la cuenca de absorción del macizo. En esta dirección ([http://edcwww.cr.usgs.gov/glis/hyper/guide/1\\_dgr\\_demfig/states.html](http://edcwww.cr.usgs.gov/glis/hyper/guide/1_dgr_demfig/states.html)), nos podemos bajar los ficheros DEM de todo Estados Unidos gratuitamente a escala 1:250.000. En el caso de España la cosa es más difícil, vuelvo a remitirme a la sección de “El Gour de la Meditación” de esta misma publicación. Las posibilidades de trabajo con modelos digitales del terreno en espeleología son muy grandes, os recomiendo la lectura del texto “La utilización de los MDT en los estudios del medio físico” de Ángel Manuel Felicísimo (<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>). Existen otros visualizadores tipo DEM como “Microdem” (<http://www.usna.edu/Users/oceano/pguth/website/microdem.htm>) o “Basic DEM” (<http://home.europa.com/~gp/software/download.htm>).

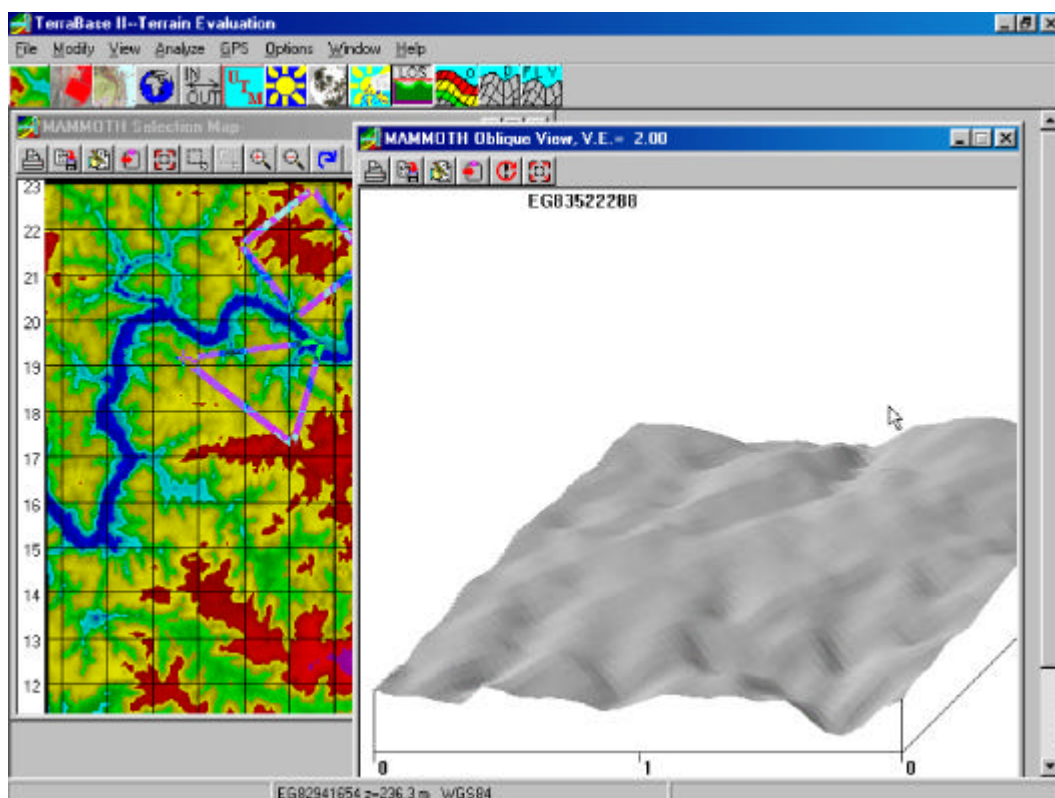


Figura 8

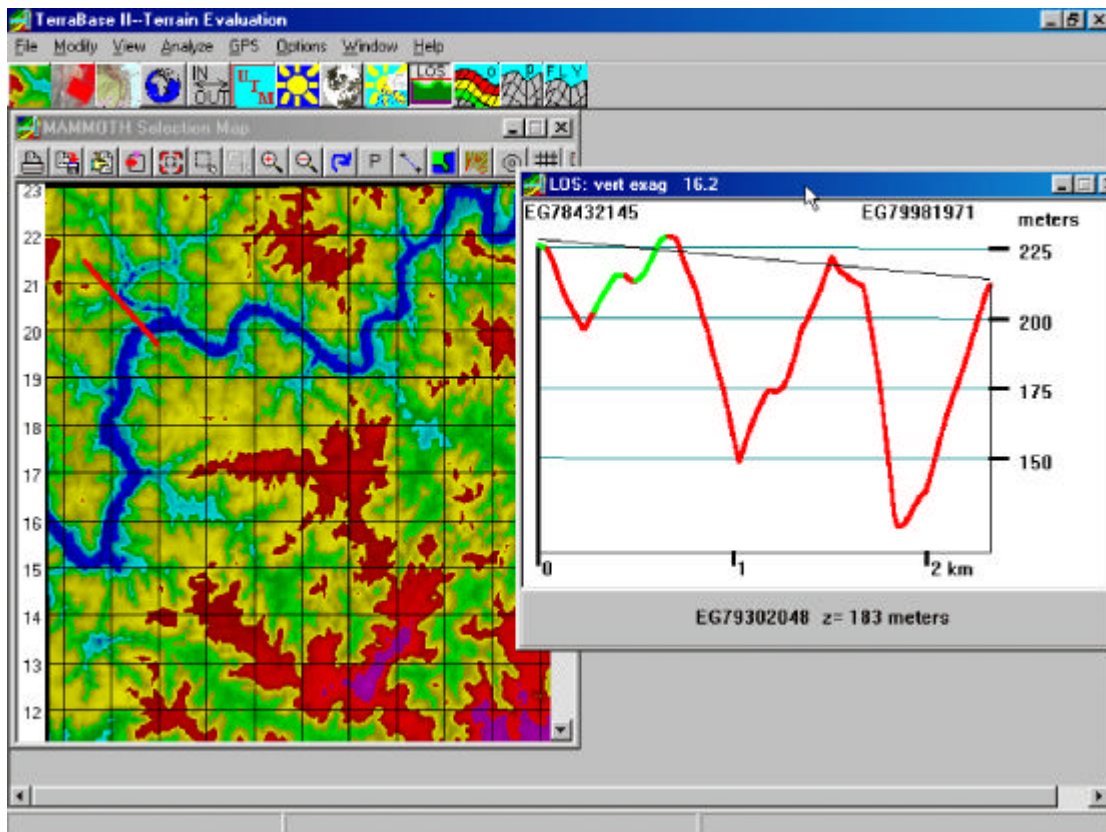


Figura 9

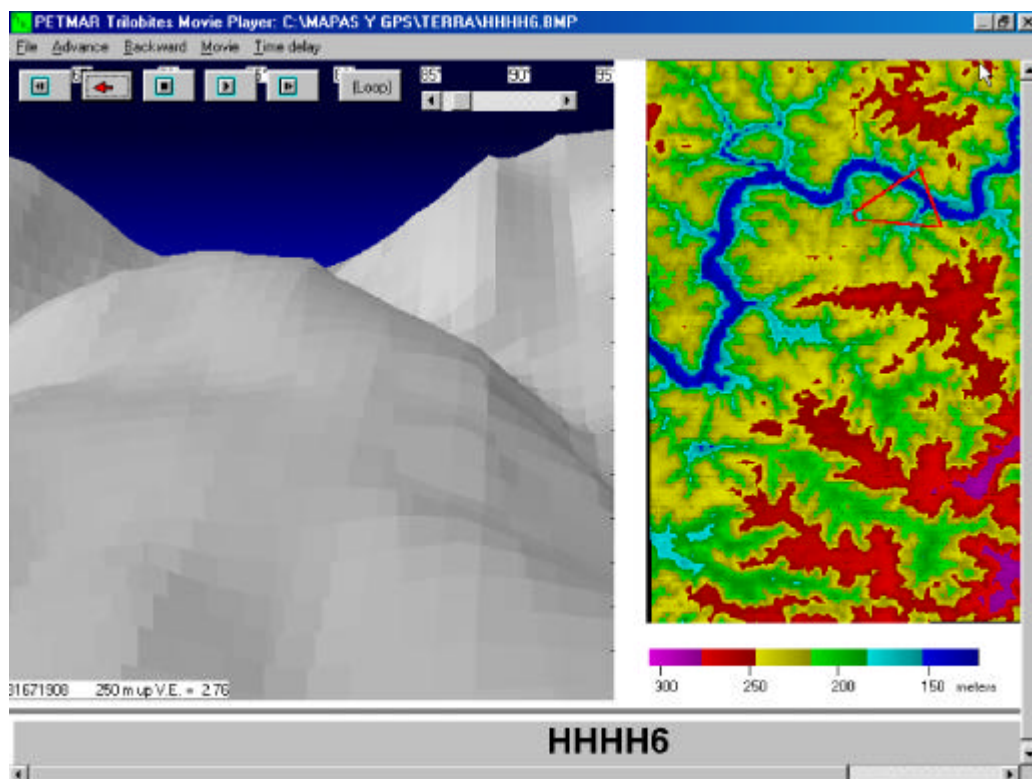
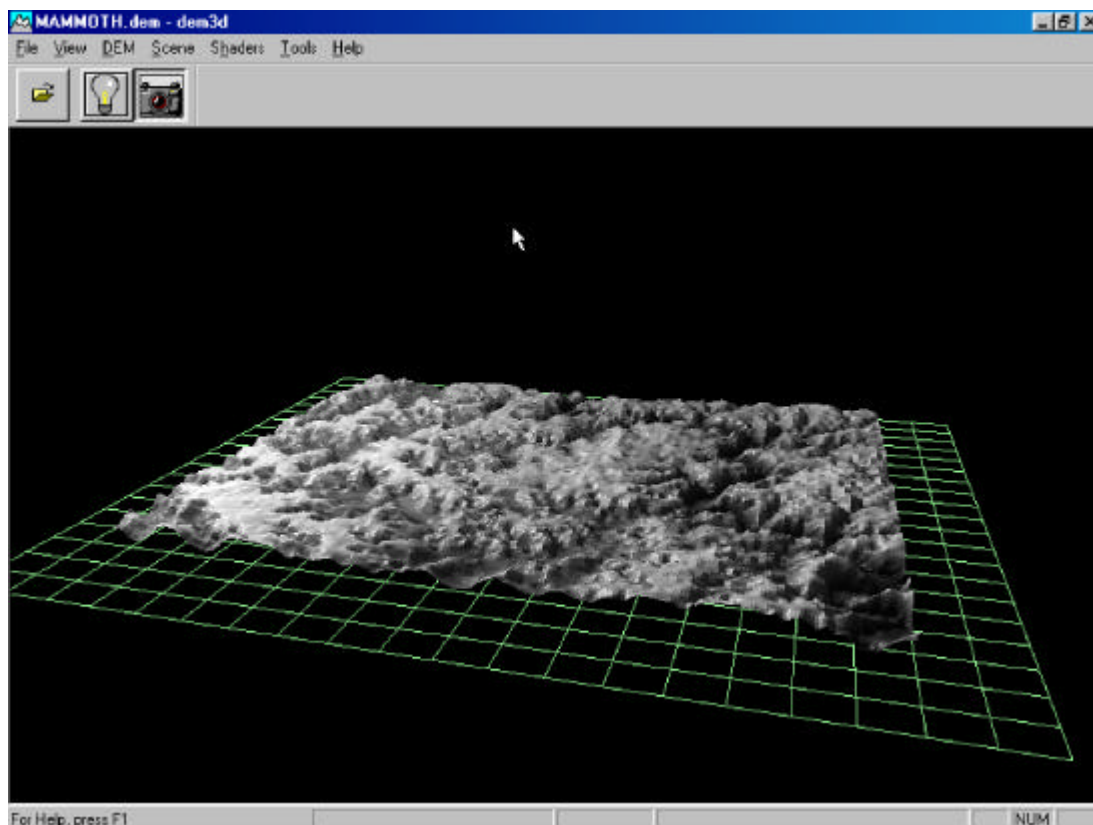


Figura 10





**Figura 11**

- Utilización de Mapas Vectoriales de Carreteras.

Existen mapas vectoriales de carreteras de Europa como “Autoroute Express Europa 2000” de Microsoft (figura 12) o modelos más generales como atlas digitales tipo Microsoft Encarta. Su utilidad para el espeleólogo se limita a proyectos de expedición en los que haya de calcular costes de viaje, tiempo de viaje, listados de itinerarios, coordenadas geográficas de lugares o para la publicación de trabajos que requieran situar la zona de trabajo en un mapa con una gran escala. En este tipo de mapas se pueden editar para resaltar y anotar las cosas que nos interesen, además de poder conectar un GPS (solo en algunas aplicaciones) y utilizar el moving map, opción muy interesante cuando estamos aproximándonos a la zona y no tenemos la certeza de nuestra situación. También a nivel del territorio español el MOPU (<http://www.mfom.es/>) vende en CD-ROM el equivalente al mapa de carreteras impreso, con conexión a GPS, pero no especifica el Datum empleado.

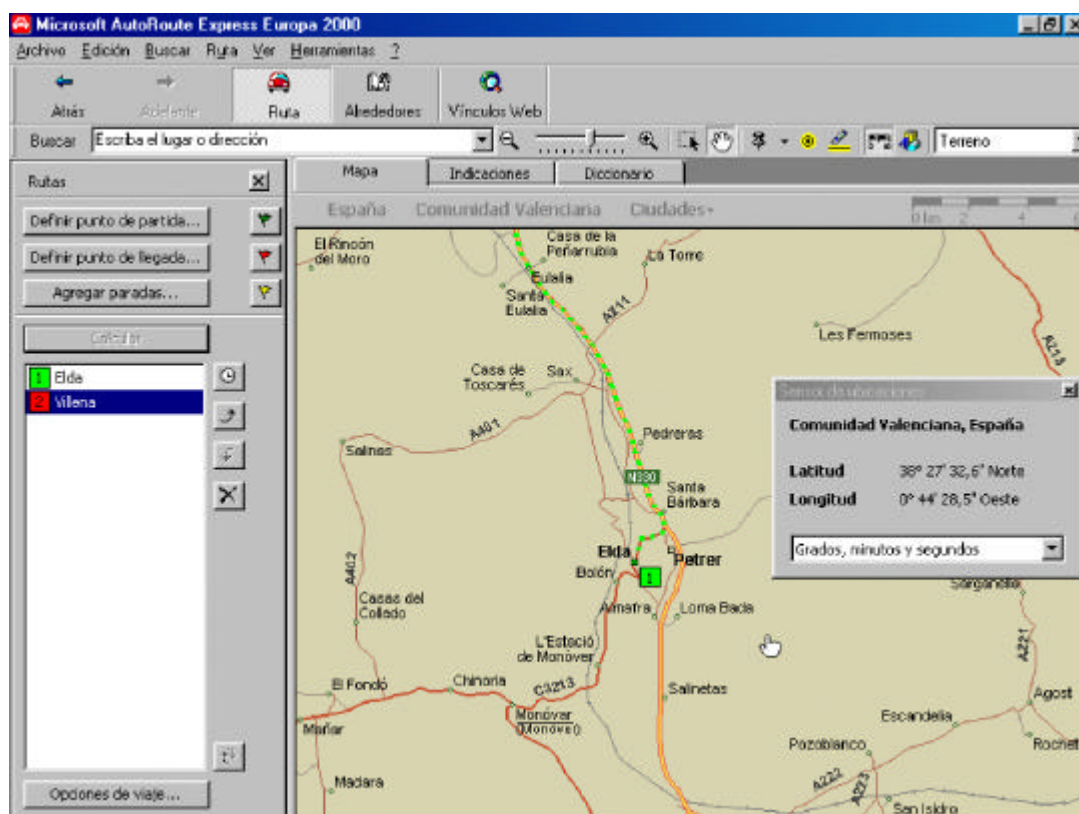


Figura 12

- Utilización de otras Aplicaciones

Nos resta comentar dos tipos de aplicaciones gratuitas de las Naciones Unidas. La primera “MapScan” (<http://ubs1.ubs.ulst.ac.uk/~unfpa/index.htm>) consiste en un programa que crea mapas vectoriales a partir de imágenes escaneadas (figura 13) y puede exportarse a aplicaciones GIS conocidas como “Arc/info” de Esri (<http://www.esri.com>), “IDRSI” (<http://www.idrisi.com>) o “MapInfo” (<http://www.mapinfo.com>). La segunda “PopMap” (<http://ubs1.ubs.ulst.ac.uk/~unfpa/index.htm>) es una aplicación típica GIS donde si disponemos de una base de datos de cavidades nos la georeferencia en el mapa automáticamente (figura 14). Esa base de datos podemos filtrarla para que nos represente solo cavidades con unas dimensiones determinadas o una zona concreta.



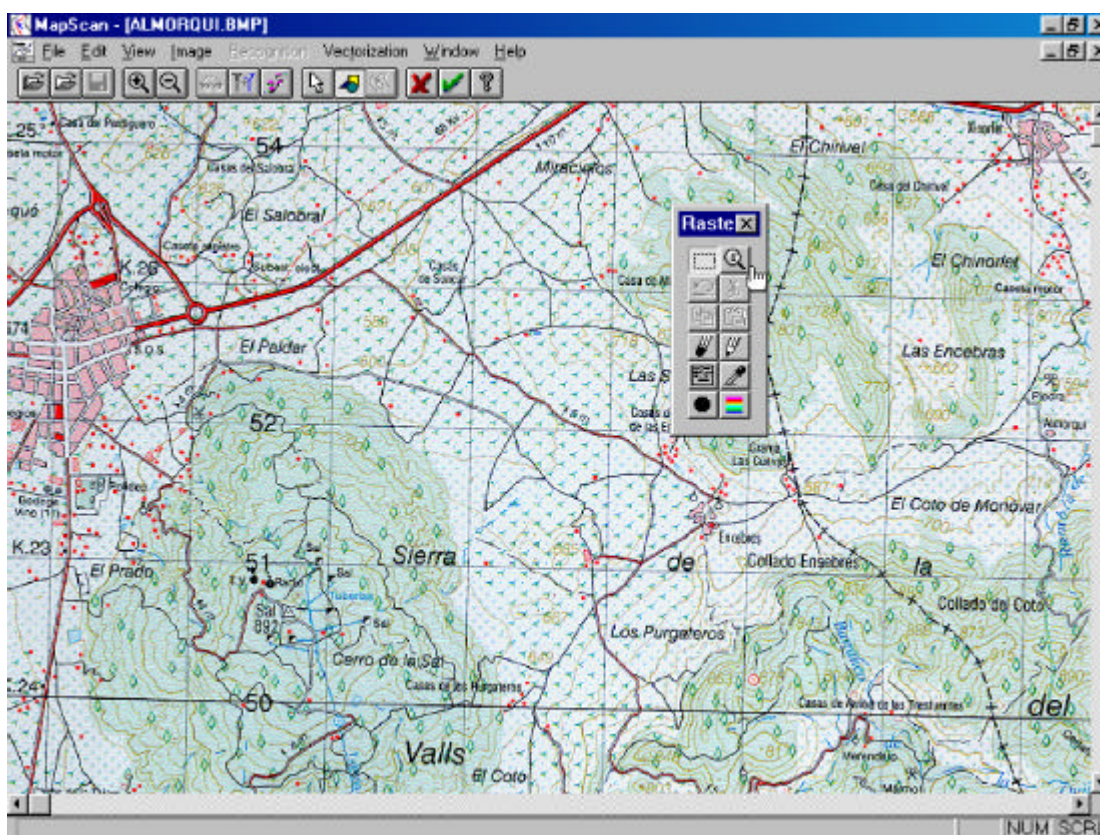


Figura 13

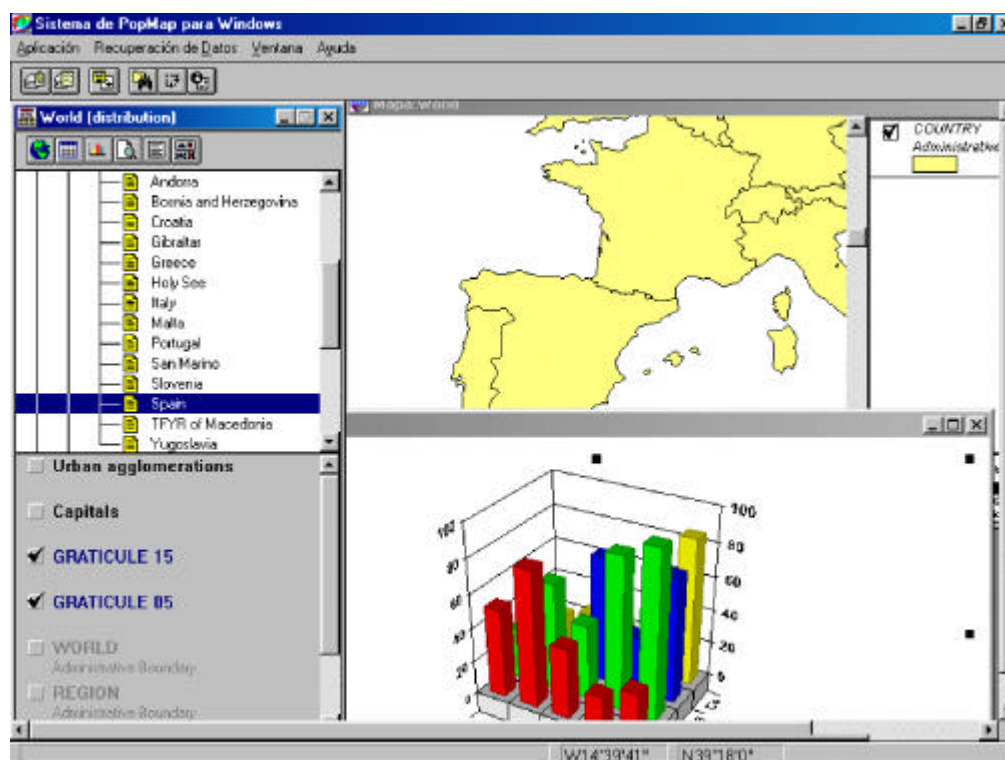


Figura 14

Quiero hacer hincapié en la importancia de las aplicaciones GIS, que no se suelen utilizar en espeleología pero que en un futuro pueden ser unas herramientas interesantísimas para realizar estudios de zonas, catálogos de cavidades, presentaciones, etc. Pensemos en las posibilidades que tiene la unión de bases de datos de todo tipo interactuando con ficheros gráficos de mapas, topografías, gráficos estadísticos, etc.

Para ampliar más el tema recomiendo la lectura del texto “Sistemas de Información Geográfica” de Álvaro de J. Carmona y Jhon Jairo el cual puede descargarse en [www.monografias.com](http://www.monografias.com). En este texto se explican conceptos utilizados en GIS como objetos, atributos, categorías, etc.

Tenemos algunos visualizadores de aplicaciones GIS como “ArcExplorer” (<http://www.esri.com/arcexplorer>) o “Geomedia Viewer” (<http://www.intergraph.com/geomedia/viewer>), ambos gratuitos.

## 6. Utilidades

En muchas ocasiones podemos encontrarnos cavidades referenciadas con coordenadas geográficas o UTM. Para la transformación de coordenadas (figura 15) es posible utilizar el “TerraBase II” (<http://www.wood.army.mil/TVC/>), “Convers” (<http://www.multimania.com/vtopo>), “Geographics Calculator” ([ftp://ciebbmsrv.uco.es/Utilidades\\_GPS/Geocal.zip](ftp://ciebbmsrv.uco.es/Utilidades_GPS/Geocal.zip)) o “GENCOORD” (<http://www.eosgis.com>). Todos estos programas son gratuitos.

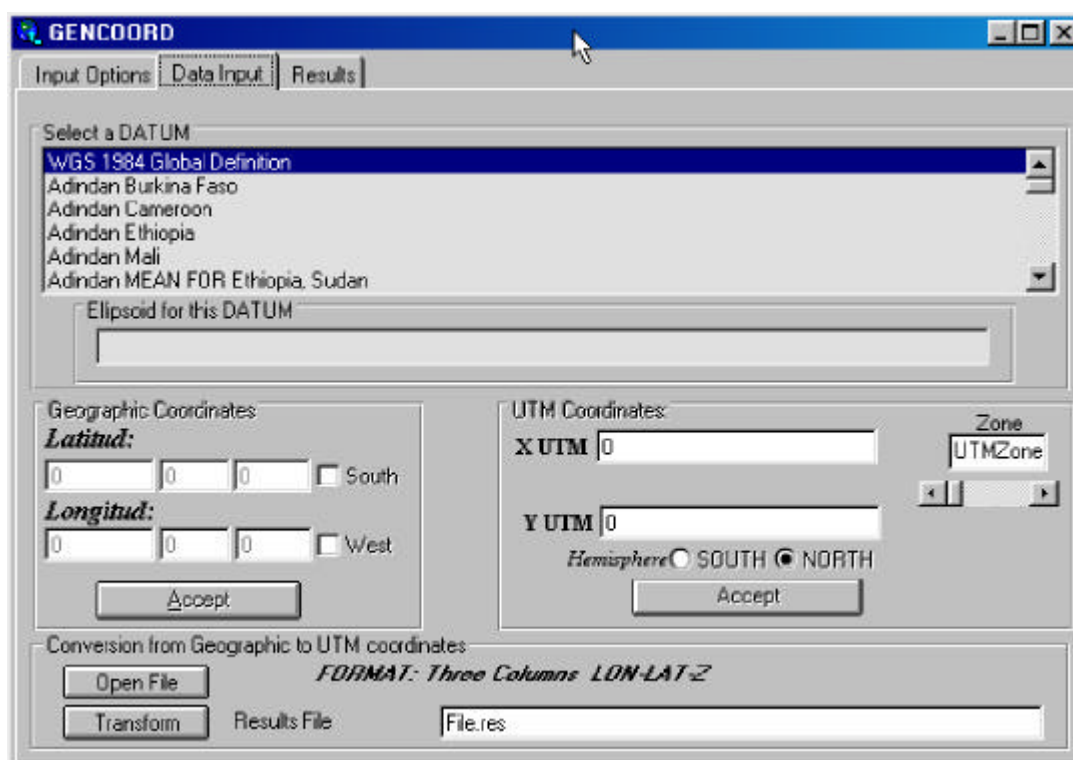


Figura 15

Cuando necesitemos saber la declinación magnética en un punto se puede visitar la página Web (figura16) del NOAA (<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/potfld/java/GeoMag.shtml>) o utilizar aplicaciones gratuitas (figura 17) como “Geomag” (<http://home.europa.com/~gp/software/download.htm>) o “Declimag” (<http://www.multimania.com/vtopo>). Tanto en conversión de coordenadas como en declinación sólo debemos introducir las coordenadas y el Datum, además de la fecha en la declinación.

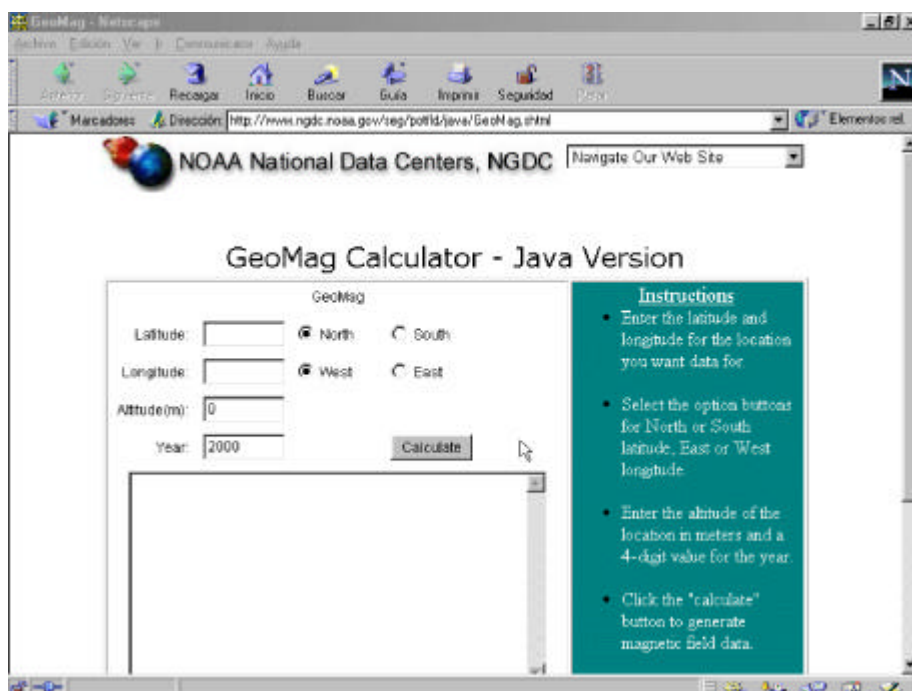


Figura 16

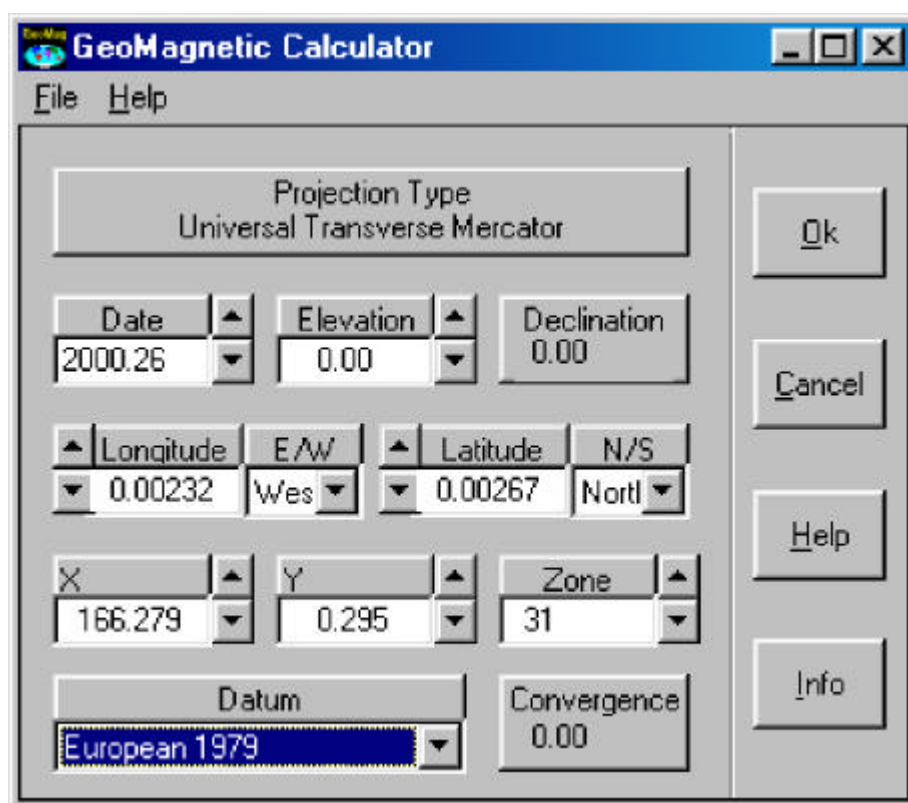


Figura 17

Por ultimo, en cuanto a utilidades tenemos “VisualStitcher” (<http://www.panavue.com>) que nos une automáticamente mapas (figura 18) que al tener grandes dimensiones han de escanearse en varias veces y las utilidades de la casa “MapTools” (<http://www.maptools.com/>) para construimos reglas cartográficas de todo tipo, las cuales podemos imprimir en papel transparente adhesivo y pegarlas en plástico trasparente o trabajar directamente en papel poliéster, aunque por supuesto también podemos cómpralas hechas.



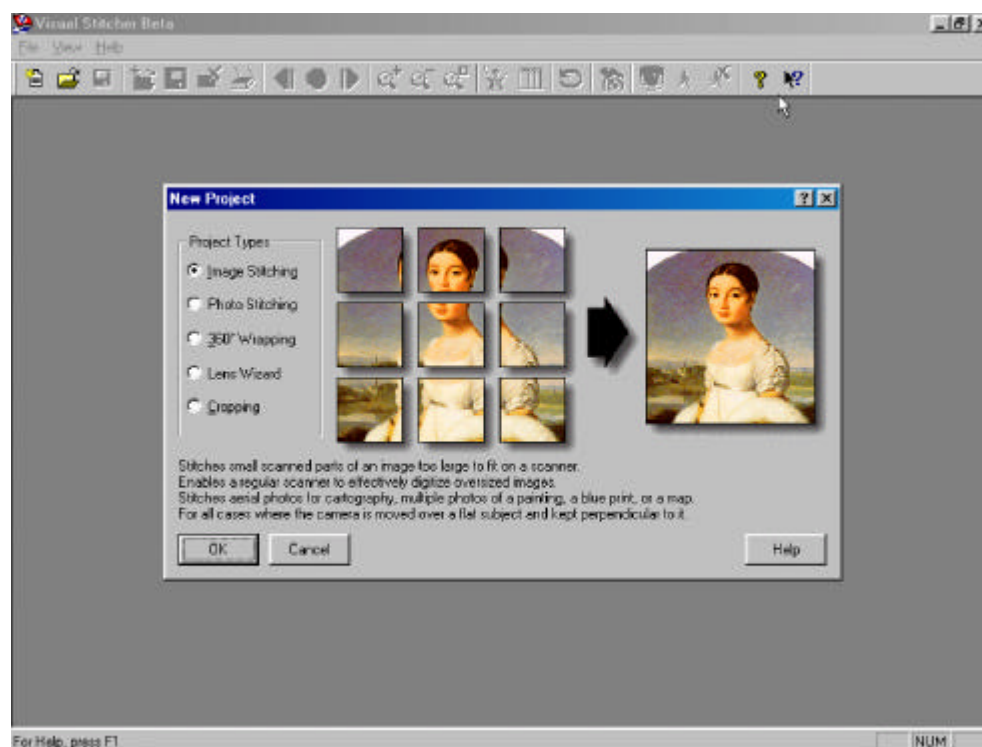


Figura 18

## 7. Perspectivas de Futuro

Después de analizar las ventajas de la cartografía digital, no sería de extrañar que muy pronto por correo electrónico, en las páginas webs de grupos y federaciones o en revistas de espeleología que regalen un CD-ROM, tuviéramos la posibilidad de obtener el archivo del GPS o el mapa calibrado para acceder a una cavidad, además de la topografía. Solo tendríamos que descargar los datos en un GPS por medio del ordenador y nos iría marcando la ruta (track) de mejor acceso para llegar a la boca de la cavidad o bien con el mapa calibrado observaríamos en tiempo real nuestro ascenso hasta la cueva. Podría ser interesante crear una base de datos a nivel Internacional en Internet donde estuvieran accesibles este tipo de archivos.

Cada día los dispositivos GPS o mini ordenadores como la PDA (Personal Digital Assistant) tienen más prestaciones, son más pequeños y su precio es menor. Creo que en el futuro se impondrá la PDA (figura 19) para sustituir el cuaderno de topografía (ya que estos dispositivos tienen reconocimiento de escritura y se puede dibujar en ellos mediante una pantalla táctil) y para navegar con GPS viendo el mapa sin necesidad de utilizar un ordenador portátil.





**Figura 19**

En este capítulo hemos dado un repaso general al dilatado campo de la cartografía digital y sus derivaciones, la intención ha sido intentar aclarar conceptos básicos en una disciplina poco utilizada en la espeleológica. Ahora es el momento en que el usuario debe profundizar y elegir las herramientas más adecuadas para sus proyectos.

En la próxima entrega analizaremos las aplicaciones de topografía espeleológica destinadas a la visualización, análisis y edición en 3 dimensiones de las cavidades.

## 8. Bibliografía

(1979). Comité Valenciano de Espeleología. Revista Lapiaz Monografía 1.

(1980). Estado Mayor del Ejército. Escuela de Geodesia y Topografía. Manual de Topografía y lectura de planos.

(1997). Carlos Puch. Cuevas y Simas como representarlas y localizarlas. Espeleoclub de Gracia.

- Bibliografía en Internet

Página de GPS Española (<http://www.uco.es/~bb1rofra/gps.html>) dirigida por Antonio Rodríguez Franco. Muy recomendable, mucha información de este artículo ha sido posible gracias a esta magnífica Web.

Página personal de Ángel Manuel Felicísimo Pérez  
(<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/index2.html>)

AeroTerra (<http://www.aeroterra.com/index.htm>)

- Agradecimientos:

Antonio Luis Martínez Rico

Enrique Aparicio

Jerónimo García