

Comunicación presentada en el VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía  
TopCart 2004

Madrid, 19 al 22 de octubre de 2004

Organizado por el Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía

## **Modelo de representación y difusión de cavidades.**

### **Cueva de Praile Aitz I. Deba, Gipuzkoa.**

**Ane Lopetegi Galarraga**

**José Manuel Valle Melón**

**Álvaro Rodríguez Miranda**

Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio.

Grupo de Investigación en Arqueología de la arquitectura. (UPV-EHU).

Aulario de las Nieves, edificio de Institutos universitarios.

Nieves Cano, 33 01006 Vitoria-Gasteiz. Tfno: 945-013222/013264

Web: <http://www.vc.ehu.es/docarq> email: [iipvamej@vc.ehu.es](mailto:iipvamej@vc.ehu.es)

#### **RESUMEN**

*La documentación geométrica de una cueva conlleva toda una serie de problemas metodológicos (oscuridad, condiciones extremas de temperatura y humedad, difícil accesibilidad, complejidad de elementos a representar...). La complejidad morfológica de las cuevas no sólo afecta a la toma de datos sino también a la forma en que éstos son representados. Tradicionalmente, se optaba por realizar representaciones en planta y secciones casi exclusivamente. En la actualidad, el interés creciente por conocer lo que alberga nuestro subsuelo crea la necesidad de obtener información mas precisa. Para hacerla entendible tanto a técnicos como a público en general, es interesante, por lo tanto, analizar las posibilidades que ofrece la actual tecnología en forma de presentaciones multimedia aplicándolas a su representación.*

**CLAVES:** Cueva, anaglifo, animaciones, multimedia.

#### **1. INTRODUCCIÓN.**

La captura de información geométrica en cavidades subterráneas ha estado hasta tiempos cercanos limitada. Las características de los instrumentos precisos de medida (frágiles, pesados, sensibles a condiciones extremas) así como la demanda real de información, hacia que la representación de cuevas fuera realizada generalmente de forma expedita. Se trataba de representaciones en planta y secciones tipo realizadas en papel milimetrado con regla y transportador de ángulos basadas en medidas realizadas con brújula, clinómetro y cinta métrica y acompañadas por una cierta simbología indicadora de los elementos que se encuentran en la cueva.

Estas representaciones, cuya calidad en algunos casos superan escasamente la de un croquis, no están exentas de utilidad a la hora de obtener unas primeras nociones sobre la longitud y ramificaciones de una cavidad. Existen algunos casos que se pueden encontrar en Internet en los que se ha llegado a sustituir el papel milimetrado por representaciones en formato VRML en las que se pueden examinar las redes de galerías de algunas cuevas teniendo siempre en cuenta la precisión que en origen tienen los datos tomados en campo.

No obstante ante la proliferación de estudios científicos de todo tipo (arqueológicos, geológicos...) este tipo de levantamientos resultan insuficientes para servir como base geométrica para la ubicación de hallazgos científicos y la representación detallada de formaciones cársticas. Cada vez con mas frecuencia es requerida la documentación detallada, tridimensional y completa de elementos que antes eran representados cartográficamente con un símbolo. Por tanto es necesario el desarrollo de nuevos métodos de trabajo para la captura precisa de información geométrica que cubra estas necesidades que demandan los estudios científicos actuales.

Hoy en día, debido a los avances tecnológicos (fotogrametría, distanciometría láser, escáneres 3D...) es posible la captura de las características geométricas de cualquier objeto que se quiera representar. La información obtenida puede ser muy abundante y de gran precisión, pero la labor de documentación no termina con la captura, es necesario presentarla de forma que sea comprensible y útil. Dependiendo de las características del objeto a representar, la mera observación de una densa nube de puntos o una malla de triángulos, puede ser representativa en objetos de superficies convexas (MDTs, esculturas) o ser confusa en objetos constituidos por superficies cóncavas (cuevas). En el presente artículo se muestra como ejemplo la labor realizada en la representación geométrica de la cueva de Praile Aitz I.

Figura 2. Situación de la cueva respecto a la cantera. (<http://www.gipuzkoa.net>)

### 3. TRABAJO DE CAMPO.

El levantamiento de las características geométricas de las paredes de la cueva se realizó por topografía clásica enlazándose sus coordenadas a la Red Geodésica, en el sistema de referencia ED-50 utilizando la proyección UTM y altitudes ortométricas. Para conseguir dicho enlace, se realizó la observación de tres estaciones (Ex4, Ex2, Ex1) mediante el sistema de posicionamiento global, partiendo de la estación de referencia GPS propiedad de la Diputación Foral de Guipúzcoa. El equipo estaba compuesto por 3 receptores GPS, TOPCON LEGACY-H L1/L2, con un tiempo de observación de tres horas, suficiente para resolver ambigüedades y determinar sus coordenadas. Para su materialización han sido empleadas estacas de madera de 40 cm. de longitud y una sección de 4 x 4 cm. en las que se determina con un clavo el punto de estacionamiento.

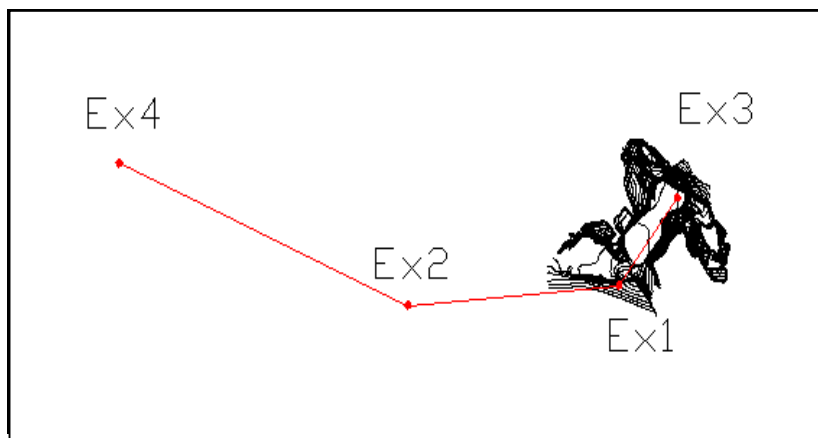


Figura 3. Distribución de las estaciones.



Figura 4. Observación GPS.

Una vez realizada la observación GPS, se procede a la observación de la red por topografía clásica así como al establecimiento de una nueva estación en el interior de la cueva (Ex3), situada de forma tal, que permita disponer de visual hacia las dos galerías internas.

Dichas estaciones, formaron parte de la poligonal que encuadró todo el trabajo y a partir de ellas se realizó la observación de dianas de puntería en el interior de la cueva que posteriormente se dotarían de coordenadas. La medición, tanto de dianas como de estaciones, se efectuó aplicando la regla de Bessel. Una vez calculadas éstas, fue posible realizar el estacionamiento en cualquier punto del interior de la cueva calculándose su posición por intersección inversa múltiple. De este modo, se dispuso de una red que aseguró la precisión de las observaciones efectuadas permitiendo una total libertad en la ubicación de la estación y por tanto el levantamiento de la totalidad de la cavidad.

En el interior de la cueva se distribuyeron un total de 36 dianas, con un tamaño de 4 x 4 cm., fijadas en las paredes mediante silicona, de forma que se aseguró su permanencia durante el periodo de tiempo necesario para realizar las observaciones. Una protección plástica, evitó el deterioro que el agua pudiera causar sobre las dianas.

Una vez establecida la red de estaciones, se procedió a radiar de las mismas, mediante una estación total dotada de distanciómetría láser, las líneas de ruptura entre las diferentes superficies que forman las paredes de la cueva así como una nube de puntos lo suficientemente densa como para representar todos sus detalles.

Finalmente, se procedió para completar la documentación del lugar a la toma de una colección de fotografías en las que quedó retratado todo el interior y la entrada a la cueva.



Figura 5. Radiación del interior de la cueva.



#### 4. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN TOMADA EN CAMPO.

Tras la toma de datos se obtuvo un modelo alambrico tridimensional en el que resulta confusa la percepción de las paredes del interior de la cueva, puesto que desde cualquier punto de vista desde el que se observan los puntos y las líneas de ruptura levantados se produce la intersección de varias de ellas.

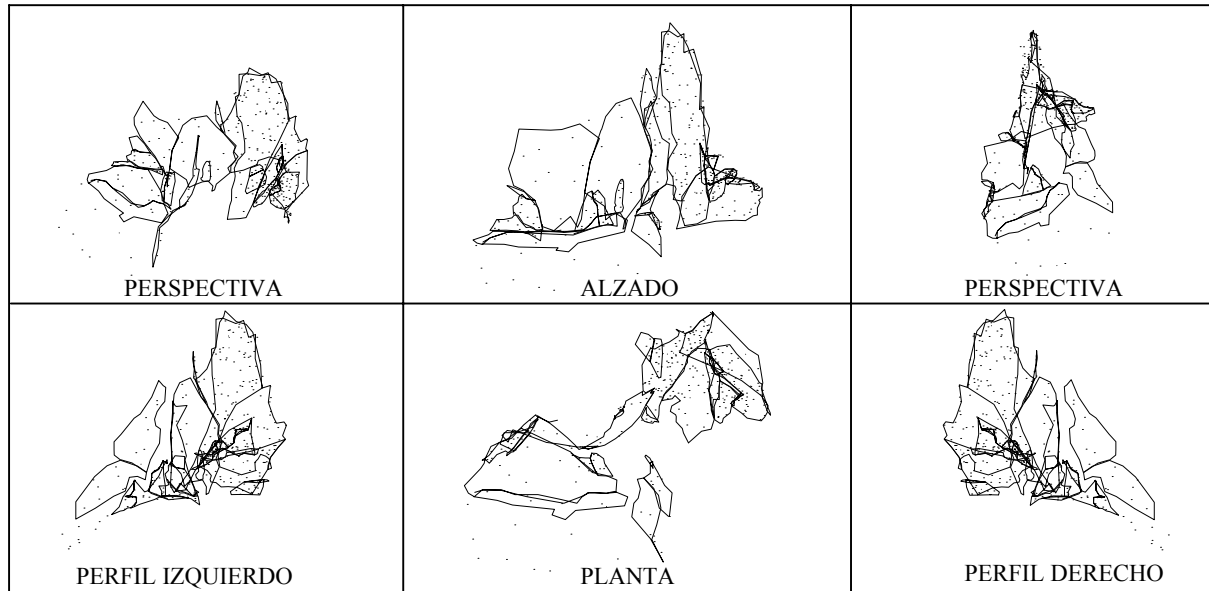


Figura 6. Modelo alambrico.

Por tanto se procedió a cubrir este “armazón” mediante mallas teselares, de forma que fuera posible sombrear el objeto y representar con mayor claridad el volumen de la cueva. Cabe señalar que los datos de campo fueron codificados en el momento de la toma de forma que el proceso de mallado resultara rápido, cómodo y efectivo. Auxiliados por la codificación de campo, el conjunto de la información fue dividida en 80 ficheros que representan 80 superficies diferentes del interior de la cueva. Cada una de estas superficies fue cubierta por una malla teselar. La creación de estas mallas se llevó a cabo mediante un software creado en el propio laboratorio.

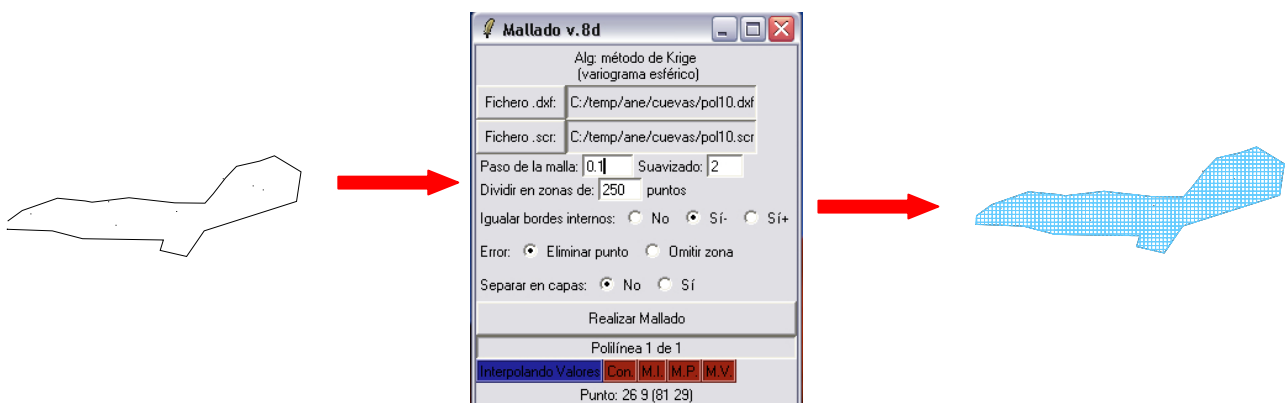


Figura 7. Proceso de mallado.

Tras la creación de cada una de las mallas por separado se reunieron todas ellas formando un único modelo.

Como se puede observar en la figura 8, se obtuvo una representación mucho más evocadora.

En esta segunda representación se puede observar el volumen ocupado por la cueva y sus dos ramales, pero con el inconveniente de que sólo se puede observar en su totalidad desde el exterior y no desde el interior, que es como se puede observar en la realidad.

Para subsanar ese inconveniente, a partir del modelo mallado se realizó una representación virtual del mismo (en formato VRML). En este modelo es posible mediante la utilización del adecuado software (Cosmo player, Cortona...) navegar por el interior de la cavidad y visualizar las formas y volúmenes de la misma.

En las figuras 9, 10 y 11 se presentan a modo de ejemplo, tres momentos en los que se navega por el interior del modelo virtual.

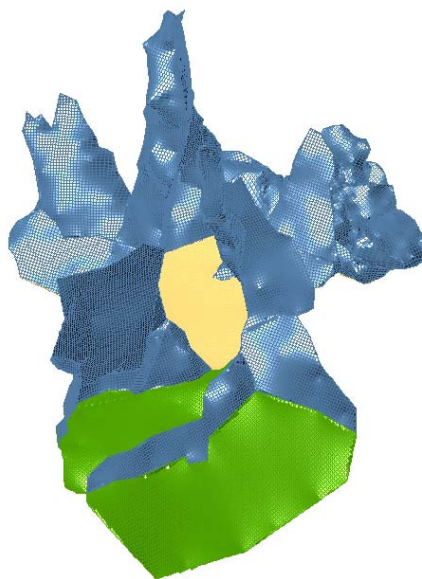


Figura 8. Modelo cubierto de mallas teselares y renderizado.

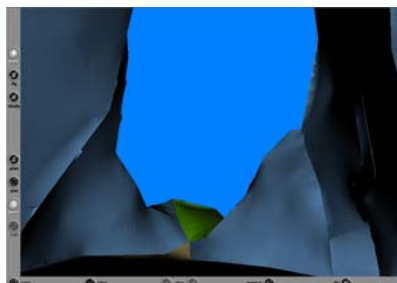


Figura 9. Entrada de la sala principal.

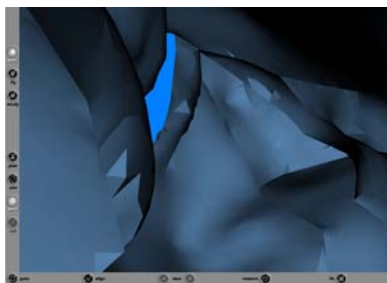


Figura 10. Techo de la sala principal.

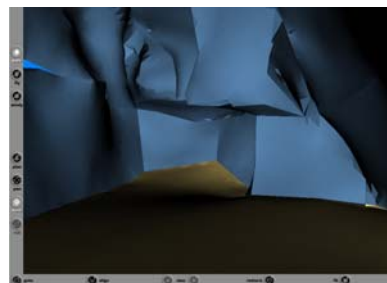


Figura 11. Galería secundaria derecha.

Con el propósito de obtener una documentación completa de las formaciones cuyo tamaño estaba por debajo de la resolución del mallado, se realizó una colección de pares estereoscópicos de diferentes zonas del interior de la cueva destinados a la obtención de imágenes 3D, anáglifos, que se visualizan por medio de unas gafas con filtros (rojo y azul).

Mediante la observación de anáglifos, se pueden visualizar los detalles de la cueva de forma tridimensional y percibir su aspecto real.

La toma de fotografías 3D se realizó con un dispositivo bicámara desarrollado para este proyecto. Se han fotografiado los elementos característicos de la Cueva de Praile Aitz, siempre que su accesibilidad lo ha permitido.

El dispositivo bicámara, facilita la toma asegurando el paralelismo entre los ejes principales de las fotografías, ya que dispone de un soporte metálico diseñado con esta finalidad.

La percepción visual tridimensional que se consigue mediante los anáglifos se fundamenta en la utilización de dos imágenes de un mismo objeto tomadas de puntos de vista ligeramente diferentes. Cada una de las dos imágenes es filtrada y posteriormente las dos imágenes se unen en una sola. Mediante la



Figura 12. Toma de pares con el dispositivo.

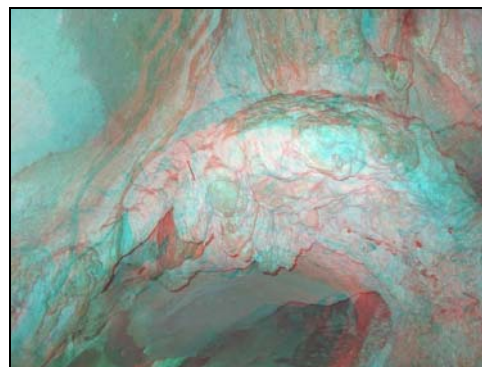


Figura 13. Anáglifo resultante.

utilización de gafas con filtros espectrales, cada ojo observará una de las dos imágenes de las que se compone el anaglifo, es decir, la fotografía izquierda, será observada con el ojo izquierdo y la derecha, con el ojo derecho produciéndose en el cerebro la sensación de ver el objeto en tres dimensiones.

Tanto la navegación por el modelo virtual como la visualización de anaglifos del lugar resultan útiles para constatar las formas y el aspecto de la cavidad pero debido a las reducidas dimensiones del lugar y a sus características morfológicas, este es observado en todo momento de forma parcial y si bien su forma y aspecto quedan documentados, no permiten por si solos obtener información sobre las dimensiones del objeto representado.

Por otra parte, el modelo mallado del que se dispone es una representación precisa de la geometría de la cueva, pero supone una gran cantidad de información que se observa de forma poco intuitiva, sobre todo para usuarios no acostumbrados a trabajar en entorno CAD. En algunos casos, es aconsejable obtener de este modelo mallado, productos derivados que faciliten la consulta de sus características.

A fin de proporcionar información precisa de la geometría y dimensiones de la cueva al equipo que realiza la investigación arqueológica que se está llevando a cabo en la cueva, se siguieron dos vías diferentes de representación y de obtención de información.

Por una parte se optó por adaptar las técnicas cartográficas tradicionales a la escala del objeto y a su peculiar geometría y se procedió a la elaboración de planos de curvas de nivel, de tintas hipsométricas y la representación de secciones.

Para realizar este tipo de representaciones, debido a la forma de las paredes (con recovecos, abombamientos, zonas extraplomadas), la utilización de programas de curvado habituales no proporcionaba resultados satisfactorios. Ante este inconveniente, se optó por crear un software específico que permitiera realizar secciones sobre el modelo mallado, indicando el plano Respecto al que se realiza dicha sección.

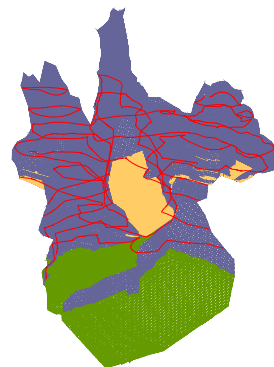
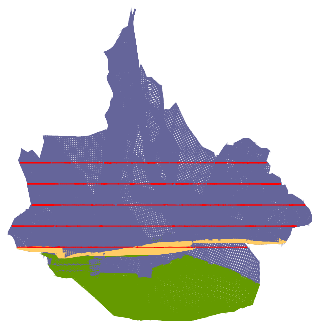
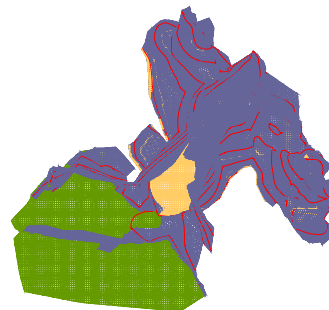


Figura 14. Ejemplo de creación de curvas de nivel.

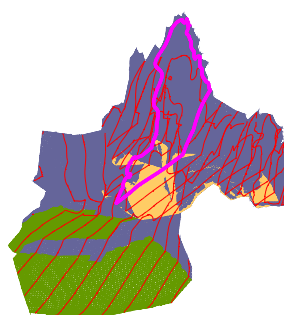
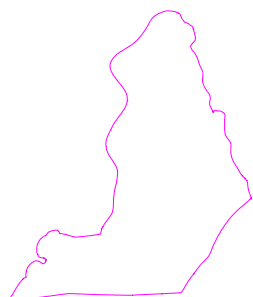
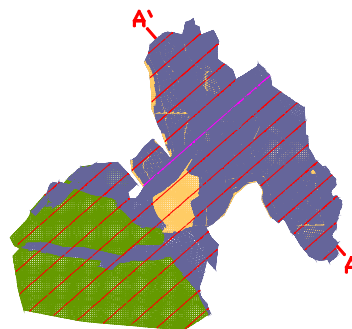


Figura 15. Ejemplo de creación de perfiles.

Este amplio abanico de posibilidades permitió la realización de una completa colección de planos: curvas de nivel, tintas hipsométricas y secciones destinada a constituir una precisa y potente herramienta geométrica para el equipo de arqueólogos que estudian la cavidad.

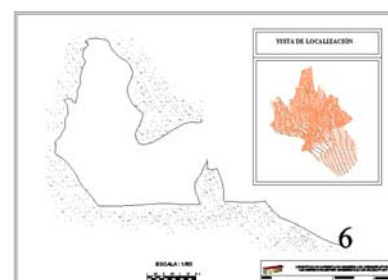
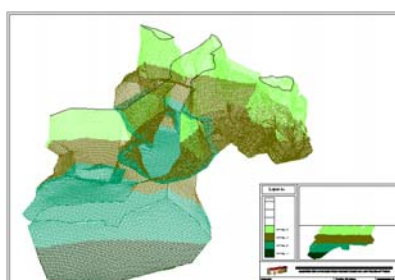
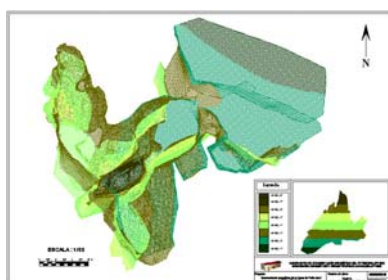
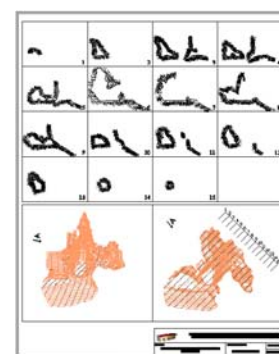
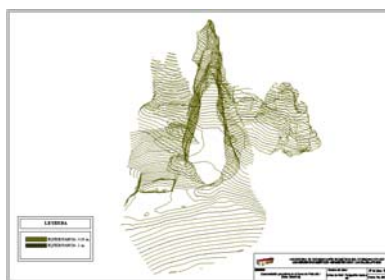
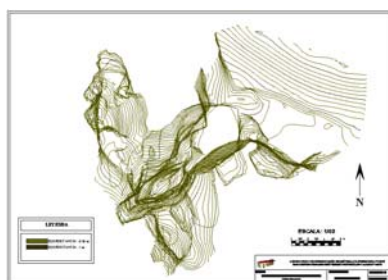


Figura 16. Muestra de planos realizados.



La segunda vía de obtención de información fue mediante el aprovechamiento de las cualidades estereoscópicas de los anaglifos para la obtención de medidas de los objetos visualizados en los mismos.

Para lograr este objetivo se elaboró un programa que permitiera, mediante la identificación de dos puntos en el modelo estereoscópico, la estimación de la distancia existente entre ellos. Para cada punto es necesario que este sea identificado mediante un puntero en las dos imágenes que forman el modelo estereoscópico anaglifo (primero en la roja y luego en la azul). Una vez realizada esta operación en los dos puntos, el software procede a la estimación de la distancia entre los dos puntos.

De esta manera, mientras se observan las diferentes zonas de la excavación arqueológica tal y como se encontraban en el momento de la toma de las fotografías se puede obtener información sobre el espesor de los diferentes horizontes excavados, o sobre las dimensiones de grietas, galerías u otros elementos en el caso de que existieran (pinturas rupestres, relieves, estalactitas...).

A modo de presentación de este amplio abanico de posibilidades de documentación se optó por reunir las en una presentación multimedia que permite la difusión del trabajo realizado.

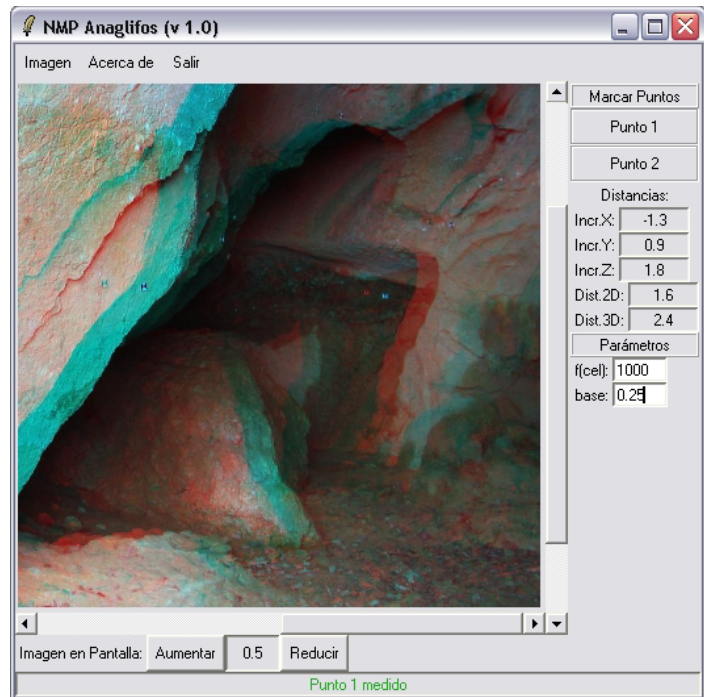


Figura 17. Software de medición de distancias sobre anaglifos.

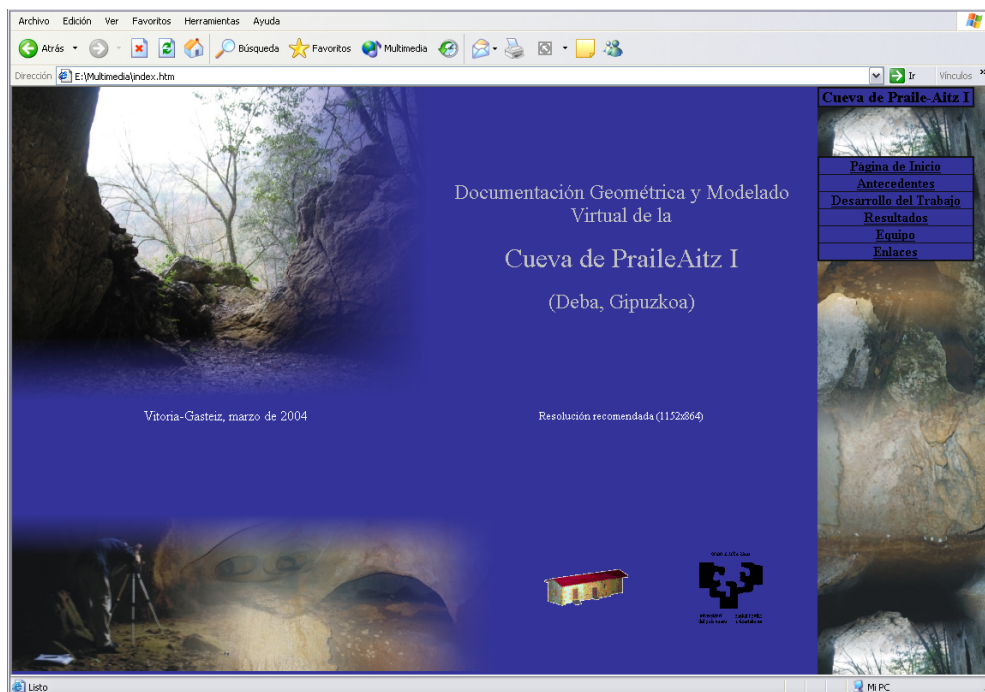


Figura 18. Pagina de presentación del documento multimedia

Esta presentación, construida en lenguaje HTML (pagina web) muestra paso a paso la labor de documentación realizada, desde el trabajo de campo hasta las distintas posibilidades creadas en gabinete.

En algunos apartados (modelo mallado y secciones) se ha incluido una documentación extra en forma de videos que facilitan la comprensión de las representaciones realizadas e ilustran la estructura de los archivos de dibujo presentados. En el caso del modelo mallado se pueden ver de forma animada y desde diferentes puntos de vista, diversos despieces en los que se representan las paredes interiores. También existe otra representación en la que se observa paulatinamente el mallado coloreado con tintas hipsométricas. En el apartado de secciones se puede ver de forma animada la geometría de la cueva representada mediante curvas de nivel y secciones.

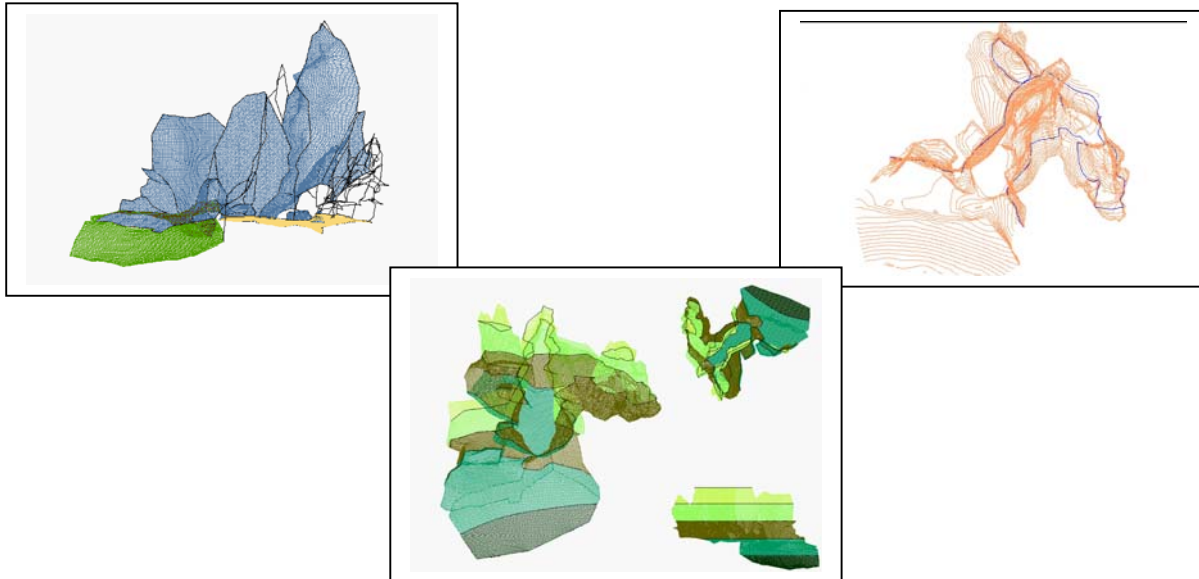


Figura 19. Diversos momentos de las animaciones

En el apartado de anaglifos estos se encuentran clasificados y ordenados con una indicación gráfica de su ubicación para una mejor comprensión del interior de la cueva.

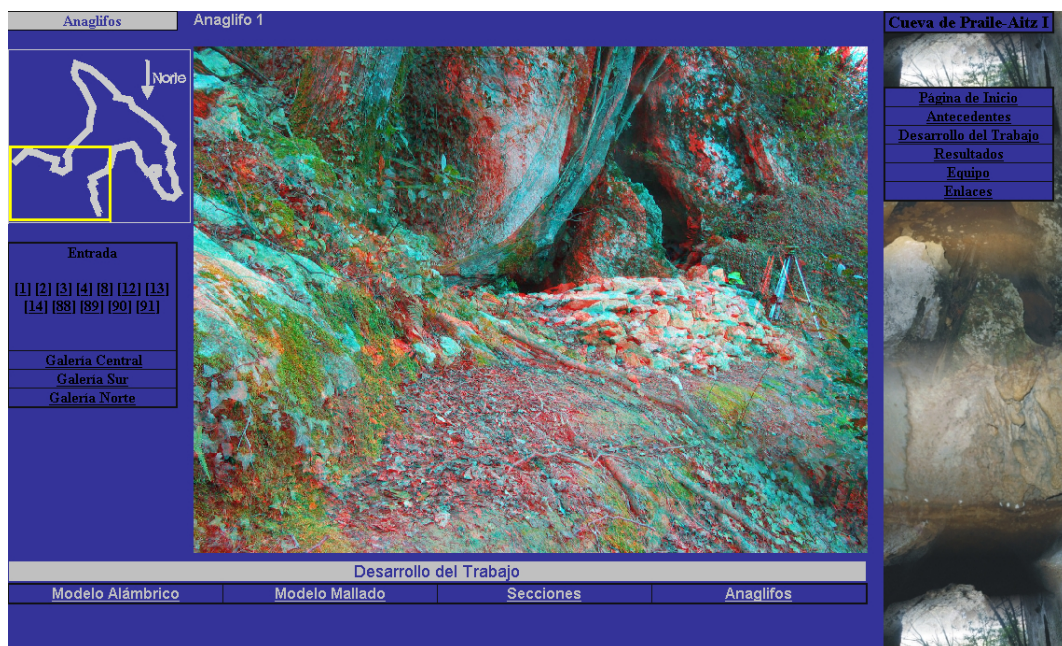


Figura 20. Apartado de anaglifos de la presentación multimedia

## 5. CONCLUSIONES

El presente artículo muestra la labor de investigación realizada en el ámbito de la representación de cavidades, concretamente a la Cueva de Praile Aitz I (Deba, Guipúzcoa). Se presenta una propuesta de documentación que combina formas de representación tradicionales: Curvas de nivel, secciones con otras más novedosas: Modelos virtuales, animaciones, anaglifs. El conjunto de todas ellas supone tanto una herramienta de trabajo para profesionales investigadores (arqueólogos, geólogos, espeleólogos...) como un medio para la difusión y el acercamiento del entorno natural y el patrimonio cultural a la población en general.

En casos como este de la cueva de Praile Aitz en los que corre peligro su existencia, la documentación creada podría resultar útil de cara a futuras investigaciones. También resulta interesante tener información gráfica de las diferentes fases de excavación del yacimiento.

Mediante los avances tecnológicos presentes y futuros es posible obtener información precisa de manera masiva, pero tan importante como la captura de información (ya sea de carácter geométrico como de otros orígenes: composición mineral, arqueológica, paleontológica, humedad, temperatura...) es una adecuada y comprensible representación y difusión de la misma.

Resultaría interesante la idea de romper la barrera geométrica y completar el modelo multimedia con contenidos de otras disciplinas científicas, en este caso concreto con información arqueológica descubierta durante su excavación.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Puch, Carlos: "Cuevas y simas: Como representarlas y localizarlas". Espeleo Club de Gràcia, 1997

Castro, P.J., López-Romero, M, Caracuel, J.E, Cardenal, J., Delgado, J., Sánchez Gómez,M., y Valderrama, J. : Ensayo de Técnicas Microtopográficas para la caracterización Morfométrica en Endokarst (Cueva del Agua, Iznalloz). Topcart 2000; 9 pags.

Web del Grupo Espeleo Kandil <http://geo.ya.com/padrecarburo/topografia/index.htm>

Web de espeleología de la Universidad de Cádiz <http://www.uca.es/huesped/giex/top.htm>

Web de Art graphique & Patrimoine [http://www.artgp.com/multi\\_accueil.htm](http://www.artgp.com/multi_accueil.htm)