

# Uso de una técnica de visión en la evaluación de métodos de reconstrucción

Cagnina Leticia Cecilia, Guerrero Roberto Ariel

Lab. de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional (LIDIC) \*

Dpto. de Informática - Universidad Nacional de San Luis

Ejército de los Andes 950

5700 - San Luis - Argentina

*{lcagnina, rag}@unsl.edu.ar*

## Resumen

Existe una diversidad de situaciones prácticas en las cuales la reconstrucción tridimensional de un objeto se realiza a partir de un stack de capas o rebanadas en las cuales el objeto fue descompuesto, denominadas contornos planares. Una aplicación concreta es la reconstrucción de la superficie de un terreno a partir de curvas de nivel. No obstante, debido a la variedad de situaciones particulares, propias de cada terreno, y la excesiva cantidad de información para analizar, es necesaria la evaluación de diferentes métodos de reconstrucción. La presente propuesta tiene como objetivo el análisis de diferentes técnicas de reconstrucción de un terreno a partir de curvas de nivel, a través de la visualización de los mismos en 3D mediante la técnica de visión estereográfica.

**Palabras claves:** Modelos Digitales de Elevación, Métodos de Reconstrucción de terrenos, Estereografía, Triangulación de Delaunay, Triangulación del Radial Sweep.

---

\*El laboratorio es dirigido por el Dr. Raúl Gallard y subvencionado por la Universidad Nacional de San Luis

# 1. Antecedentes

La generación de imágenes ha evolucionado ampliamente en los últimos años, particularmente en áreas tales como el tratamiento de información de tipo geológico. Los datos geológicos pueden ser utilizados para el análisis, diseño y evaluación de recursos naturales, planeamientos regionales, etc.. Los datos superficiales de un terreno frecuentemente constituyen la información más relevante con la que se cuenta, por consiguiente, el estudio de la superficie del terreno y la inferencia de información que se pueda realizar a partir de ella juegan un rol fundamental.

El desarrollo y análisis de la información geológica está comúnmente sustentado en diversos tipos de representaciones gráficas que muestran conceptualmente un significado geológico particular. Se puede definir un Modelo Digital de Terreno (MDT) como una representación digital de la variación continua del relieve en el espacio. Los MDT son fundamentales para el cálculo de las variaciones del terreno, para la evaluación del mismo en áreas montañosas, y la generación de visualizaciones que permitan tener una idea completa del relieve de la zona en estudio [4].

En la cartografía convencional la descripción de las elevaciones del terreno a través del mapa topográfico constituye la infraestructura básica de los mapas. El papel equivalente de los MDT en computación gráfica lo desempeña el Modelo Digital de Elevaciones (MDE), que describe la altimetría de una zona mediante un conjunto de cotas. Estas entidades describen áreas o polígonos donde la localización de un elemento está representada por una cadena de coordenadas espaciales  $(x,y,z)$ . Los datos poligonales entonces están asociados con áreas superficiales sobre un espacio definido.

Siguiendo la analogía cartográfica, es posible construir un conjunto de modelos derivados, elaborados a partir de la información contenida explícita o implícitamente en el MDE. Los modelos derivados más sencillos pueden construirse exclusivamente con la información del MDE y reflejan características morfológicas simples (pendiente, orientación, etc.). Uno de ellos es el método de *curvas de nivel* [11]. El mismo consiste en registrar una sucesión de contornos planares que representan la intersección de la superficie del terreno con una serie de planos horizontales que la cortan.

## 1.1. El problema de la Reconstrucción

El proceso de reconstrucción de un terreno consiste en conectar contornos adyacentes por medio de una malla cuyos elementos constituyentes pueden ser ya sea triángulos, o bien rectángulos [5] [12]. No obstante, y dependiendo de las características del terreno analizado pueden surgir una variedad de subproblemas (el problema de seccionado, de la correspondencia, etc.) que dificultan la formulación de un único método automático general a todas las situaciones. Existen actualmente diferentes métodos de reconstrucción de objetos a partir de datos desorganizados que solucionan un subconjunto de dichos problemas pero no todos al mismo tiempo [9] [6] [7]. Una vez obtenida dicha malla, se cubre de textura para otorgarle mayor realismo al modelo. Si bien para algunos propósitos puede resultar adecuada la utilización de una cobertura, puede que para otros casos no sea necesario, eso dependerá del objetivo final. Esta tarea también involucra una serie de subproblemas que son consecuencia de un no muy adecuado proceso de reconstrucción, con lo cual al apoyar el manto de textura sobre el modelo, se concluye en una superficie errónea. En consecuencia, al momento de la visualización de la superficie, ésta reflejará en mayor o menor medida las características morfológicas del terreno dependiendo de los subproblemas específicos solucionados.

Bajo este contexto, una técnica de visualización debe crear representaciones gráficas de datos críticos, difíciles de interpretar a partir de mediciones, que destacan relaciones entre los datos. Sabiendo que las técnicas de reconstrucción son altamente certeras, que existen problemas obvios en el tratamiento de los datos y que agregar textura al modelo obtenido oculta deficiencias propias de la reconstrucción, se hace necesaria la visualización minuciosa de los resultados obtenidos.

La utilización de un método de visualización en blanco y negro no contribuye a la detección de problemas particulares. Por ello, se recurre a una técnica de visión tridimensional para que ayude a resaltar problemas que de otra manera pasarían desapercibidos para el usuario y, más aún, que destaquen aquellas áreas donde el análisis de los datos debe ser reevaluado [2] [16].

La estereografía es un método para la visualización de la información en 3D que intenta mejorar la percepción de la profundidad y perspectiva. Si bien éste es adecuado para la representación de datos complejos, se caracteriza por la dificultad en la generación de las imágenes y el costo inherente en la interpretación por parte de un usuario común. No obstante, existen diferentes técnicas que intentan reproducir el efecto visual de la estereografía mediante el uso de simulaciones [1].

El presente trabajo pretende evaluar distintos métodos de reconstrucción de mapas geográficos mediante su simulación a través de la técnica estereográfica. Para ello el proceso se divide en dos partes: una primer etapa de reconstrucción del terreno utilizando diferentes técnicas de reconstrucción las cuales son explicadas brevemente a continuación, en la sección 2. La segunda etapa involucra la visualización del modelo reconstruido en 3D mediante la simulación de la técnica estereográfica. En la sección 3 se detalla en qué consiste dicha simulación. La sección 4 muestra algunos de los casos de prueba seleccionados y en la sección 5 se relatan los resultados iniciales obtenidos, como así también los problemas que surgieron en el tratamiento de los datos, detectados mediante el uso de la técnica de visión. Este trabajo finaliza con una serie de conclusiones generales de los métodos implementados y al mismo tiempo se relatan algunos de los campos de aplicación de la reconstrucción a través de contornos planares.

## 2. Métodos de Reconstrucción de Superficies

La reconstrucción de superficies provee un poderoso paradigma para el modelado de figuras, a partir de un conjunto de datos. Existen numerosos algoritmos de reconstrucción de superficies [6] [9] [7] [8]. Todos ellos se basan en procesar un conjunto de puntos  $\{x_1, \dots, x_n\} \subset R^3$  que representan una copia de un objeto desconocido  $M$  y producen como salida una superficie simple que aproxima a  $M$ . Se asume no poseer ningún tipo de conocimiento respecto de la topología, la presencia de límites o la geometría de  $M$ ; todo ello debe ser inferido automáticamente a partir de los datos. Y es precisamente ésta la principal dificultad que conlleva la reconstrucción de superficies; se supone que la nube de puntos datos no tiene una organización establecida, por lo que se dice que se debe realizar un tratamiento de puntos desorganizados. Los métodos de reconstrucción deben proveer una forma correcta de conectar dichos puntos para lograr una buena aproximación de la topología real.

Se trabaja con datos reales relevados en el terreno que constituyen una serie de polígonos cerrados determinando contornos planares del mismo, denominados curvas de nivel. Parecería entonces óptimo, utilizar como metodología para este propósito una triangulación.

Una triangulación  $T$  de un conjunto  $P$  de puntos, es un conjunto de segmentos cuyos extremos son los puntos de  $P$  y sólo se cortan entre sí en esos puntos. Si bien existen diversas triangulaciones, en el presente trabajo se han seleccionado la **Triangulación de Delaunay** conocida por su gran popularidad en el ámbito de la geometría computacional, y la **Triangulación del Radial Sweep** [3], elegida por la simplicidad en el procesamiento de los datos y muy útil para el tratamiento de grandes cantidades de puntos sin restricciones, para reconstruir la superficie de terreno a partir de un conjunto de puntos desorganizados.

## 2.1. Triangulación de Delaunay

Dado un conjunto  $P$  de  $n$  puntos en el plano, este método se basa en la incorporación gradual de los puntos a un conjunto de puntos triangulados ya existente. Cada vez que se incorpora un nuevo punto a la nube triangulada, se debe calcular el triángulo en el cual este queda contenido. Posteriormente se une dicho punto por medio de segmentos con los puntos-vértices del triángulo continente; de manera que se forman tres nuevos triángulos. Delaunay establece como condición primordial de su triangulación que los ángulos interiores de cada triángulo posean la menor amplitud angular posible, es decir, que el vector angular de la triangulación sea minimal [14]. Por lo que luego de la creación de los nuevos triángulos, se debe chequear esta condición. Si no se cumple, entonces se debe hacer un reemplazo de aristas, para validar el requerimiento. A este reemplazo se lo conoce con el nombre de “flip” y consiste del intercambio de la arista de un triángulo por otra. No obstante es muy posible que dicha acción invalide otros triángulos que antes cumplían con la condición angular, por lo que el chequeo debe ser expandido a todos los triángulos existentes. En la Fig. 1 se puede observar este proceso. En una triangulación existente de tres triángulos (a) se incorpora el punto  $p_r$  (b) y se crean tres nuevos triángulos. Se detecta que el lado de vértices  $p_i$  y  $p_j$  viola la condición angular, por lo tanto es necesario un flip. Se intercambia la arista  $p_i p_j$  por la  $p_i p_k$  (c) y se debe propagar el flip para validar la condición de los restantes triángulos (d).

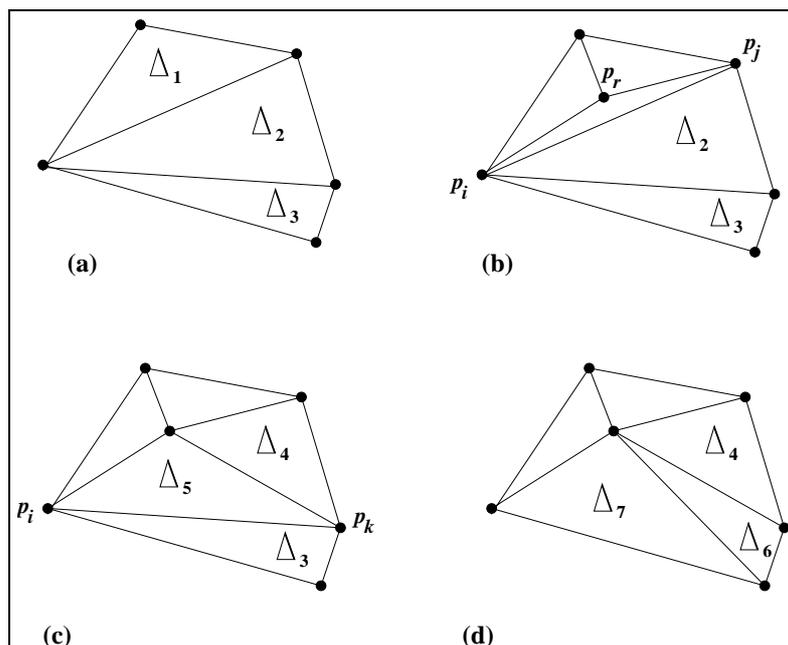
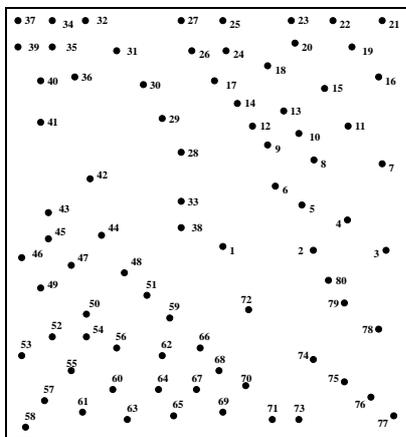


Figura 1: Triangulación de Delaunay

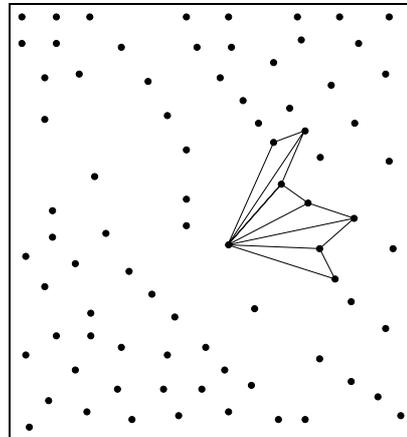
## 2.2. Triangulación del Radial Sweep

Dado un conjunto  $P$  de  $n$  puntos en el plano, la idea subyacente se basa en un punto centroide a la nube de puntos a triangular. Inicialmente se determina el punto centroide (perteneciente a la nube). Posteriormente, los puntos restantes se ordenan angularmente respecto de este punto encontrado. Luego, utilizando al centroide como pivote, se recorren los puntos ordenados formando triángulos. En la triangulación resultante todos los triángulos comparten un mismo vértice (centroide), lo que produce una estrella de triángulos mayormente delgados y de gran longitud. En consecuencia, será necesario un reajuste de los triángulos a modo de eliminar esta característica.

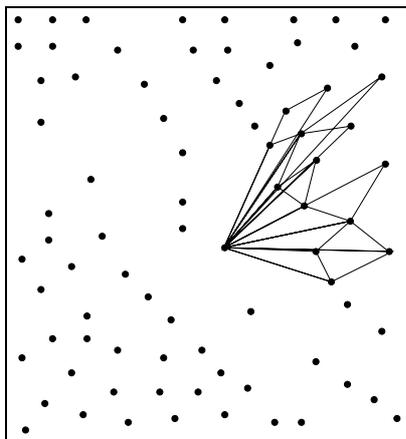
La Fig. 2 muestra los pasos fundamentales involucrados en esta triangulación.



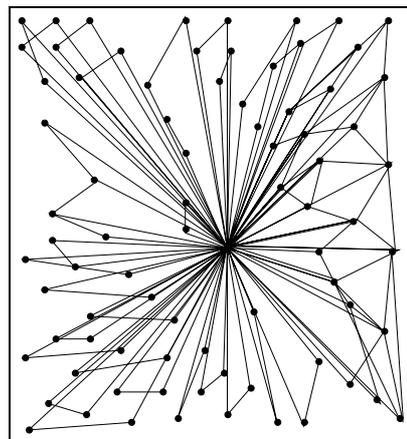
(a) Determinación del centroide y Ordenamiento angular de los puntos.



(b) Utilización del centroide para la creación de los triángulos



(c) Se continúa la formación de triángulos recorriendo los puntos angularmente.



(d) Triangulación obtenida, luego del procesamiento de todos los puntos.

Figura 2: Triangulación del Radial Sweep

### 3. La Técnica Estereográfica

La mayoría de las veces una fotografía captura información acerca del mundo como si éste fuera visto desde un único punto de vista. La lente de una cámara de fotos estática registra una escena tal cual ésta sucede en un instante preciso de tiempo, mientras que una filmadora captura una secuencia de imágenes que varían en el tiempo. En la vida real, nuestros ojos, debido a que están colocados con una cierta distancia de separación, no ven exactamente la misma vista. Los ojos perciben dos vistas similares pero no iguales de la misma escena y luego es el cerebro quien las compone. En el proceso de composición el cerebro recupera la profundidad de la imagen observada por medio de una triangulación. A este proceso se le denomina visión Estereoscópica.

Los algoritmos de computación gráfica se han concentrado mayormente en producir imágenes desde un único punto de vista, análogas a fotos estáticas registradas fotográficamente. Es decir, una gran parte de ellos modelan cámaras de un único ojo [2]. Nuestra propia experiencia como organismos de dos ojos confirma el beneficio del uso de la coherencia de perspectiva en escenas típicas. Surge entonces la propuesta de explotar la coherencia espacial y temporal de una escena a modo de beneficiar la visualización de imágenes fijas y más aún, de animaciones. La explotación de la coherencia espacial de dos imágenes permite la generación de una tercer imagen, denominada imagen Ciclopeana que permite crear una ilusión de profundidad, es decir, de tercera dimensión. A este proceso se le denomina visión Estereográfica.

Los modelos reconstruidos a través de las diferentes técnicas son testeados mediante una simulación de la técnica estereográfica. Dicha simulación tiene por objeto brindarle al usuario un modelo en 3D que le permita detectar los problemas de la reconstrucción del terreno, que no pueden ser visualizados directamente.

Existen numerosos métodos para la generación de imágenes estereográficas que explotan ya sea la coherencia espacial o temporal de diferentes maneras [15] [1] [10] [13]. Entre ellos se encuentran el *Sistema de Lentes Polarizados* que utiliza filtros individuales para cada ojo de modo que cada uno pueda observar una imagen polarizada distinta, la *Imagen Entrelazada* que mediante el uso de lentes de cristal líquido bloquea la visión de un ojo a la vez para ver una imagen de un campo visual diferente, el *Sistema Cromatek* utiliza una rejilla de difracción para que cada ojo perciba una profundidad distinta, y el *Método por Anaglifo* que juega con la superposición de imágenes. Algunos de ellos son computacionalmente costosos de implementar, otros reducen la calidad de las imágenes resultantes.

#### 3.1. Método por Anaglifo

Esta técnica se logra dibujando dos veces la misma imagen, pero con un ligero desplazamiento entre ellas y utilizando un color distinto para cada una. En general se utiliza el color azul y el rojo, aunque pueden utilizarse otros. Cada ojo percibe una de las imágenes; por convención la azul es para el ojo izquierdo y la roja para el derecho. Mediante el uso de lentes especiales, ambas vistas se funden en una única imagen color magenta, que está en aparente relieve.

La ventaja de este método es el bajo costo de implementación, ya que es muy fácil el trazado de la misma imagen dos veces con distinto color, también lo es la adquisición del par de lentes. Si bien la calidad de la imagen en 3D obtenida no es excelente, es una técnica sencilla y rápida de crear, y permite recrear la tercera dimensión mediante el uso de la profundidad cromática, es decir, utilizando el color como inductivo de la profundidad.

La Fig. 3 muestra un ejemplo de la técnica estereográfica utilizando el método por anaglifos.

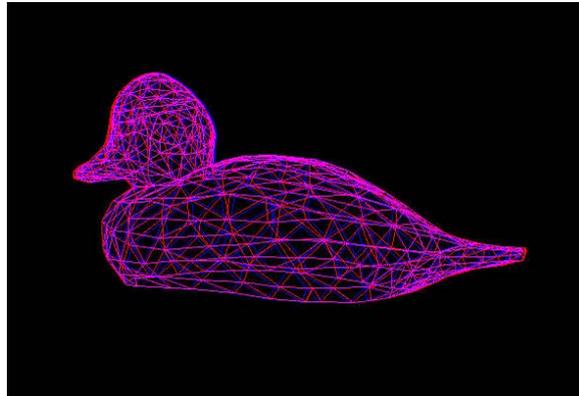


Figura 3: Simulación de Estereografía con anaglifo

#### 4. Datos Evaluados

Los métodos seleccionados para la reconstrucción de superficies se han evaluado con un conjunto de archivos reales de datos relevados en campo, pertenecientes a terrenos de distintas áreas.

La única información aportada por los puntos datos son las coordenadas  $x$ ,  $y$  y  $z$ ; esta última representando la altitud del terreno en cada punto.

En las Fig. 4 y 5 se muestran dos de las superficies tratadas. Las figuras de la izquierda corresponden a los contornos planares de los terrenos (visualización  $z=0$ .) y en las de la derecha se observan vistas laterales de los mismos (en elevación).

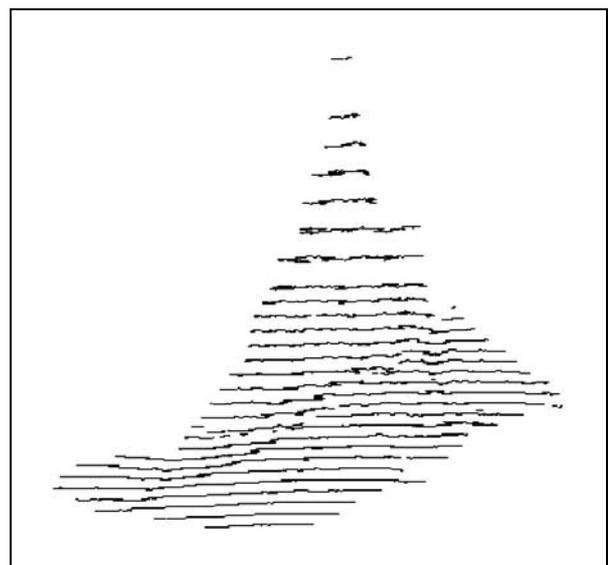
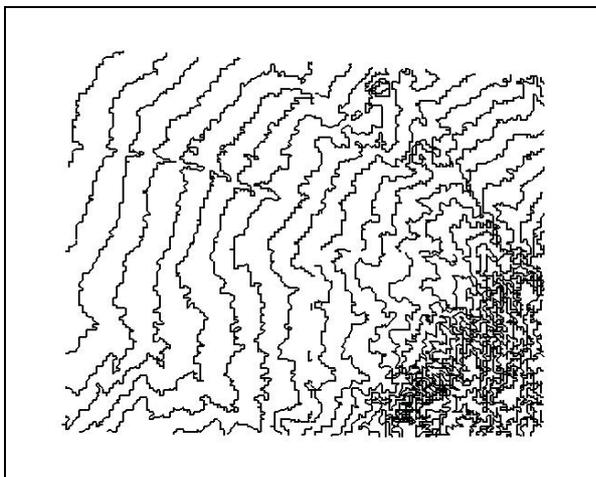


Figura 4: Diferentes vistas del Terreno1

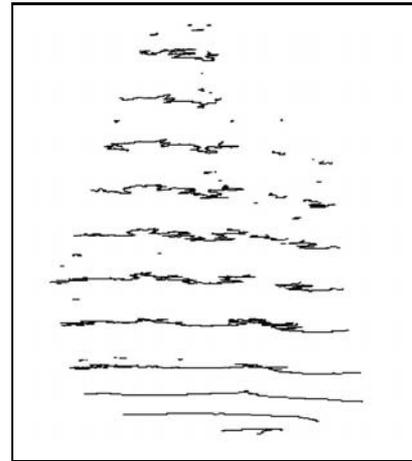
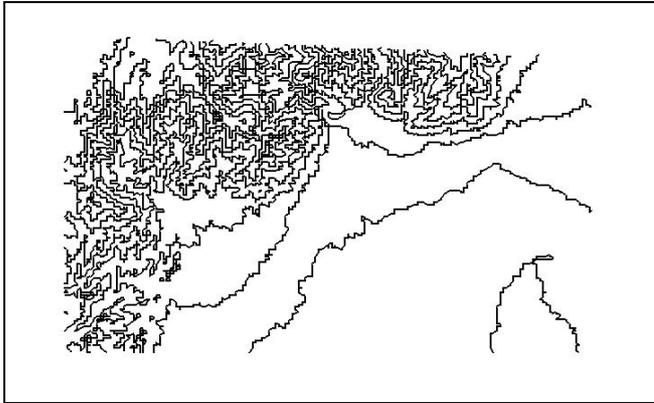
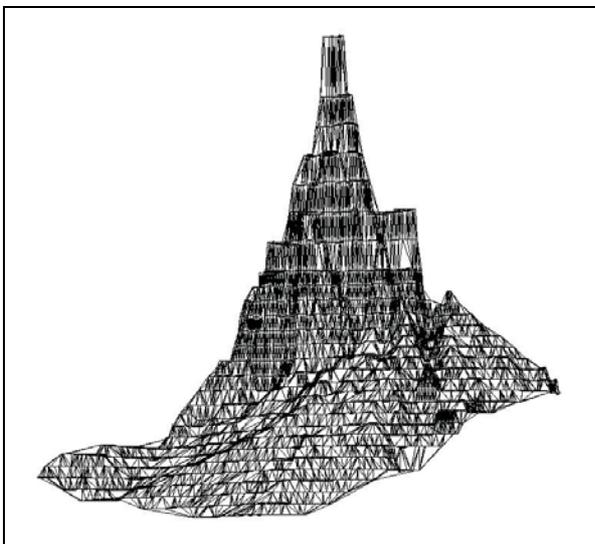


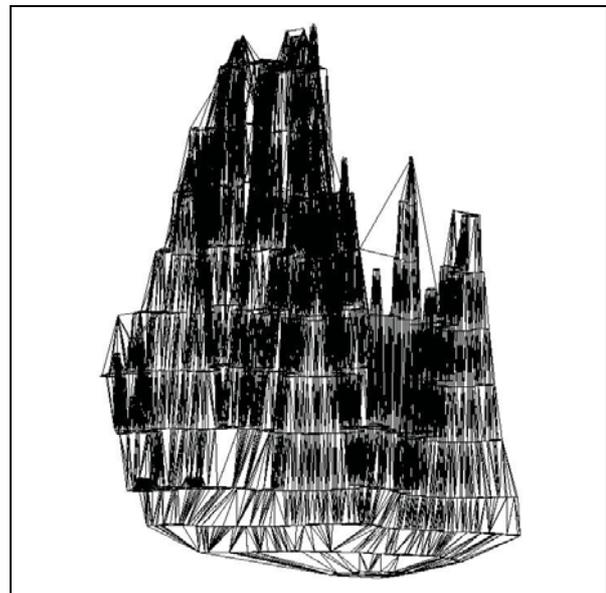
Figura 5: Diferentes vistas del Terreno2

## 5. Resultados Preeliminares

En las Fig. 6 y 7, se pueden visualizar los modelos reconstruidos aplicando la triangulación de Delaunay y la del Radial Sweep a los archivos dato seleccionados.



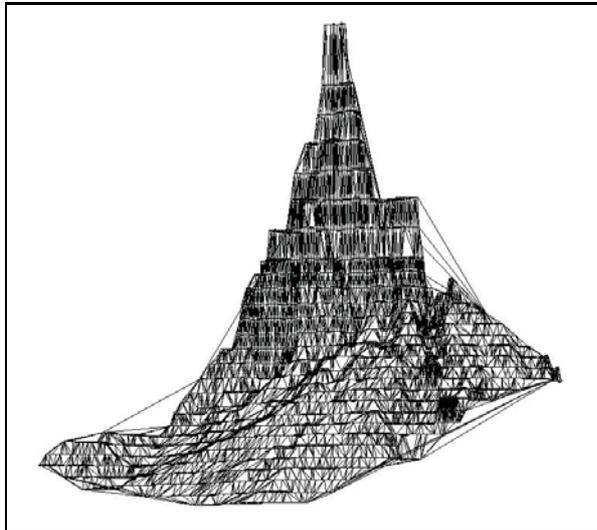
(a) Terreno1



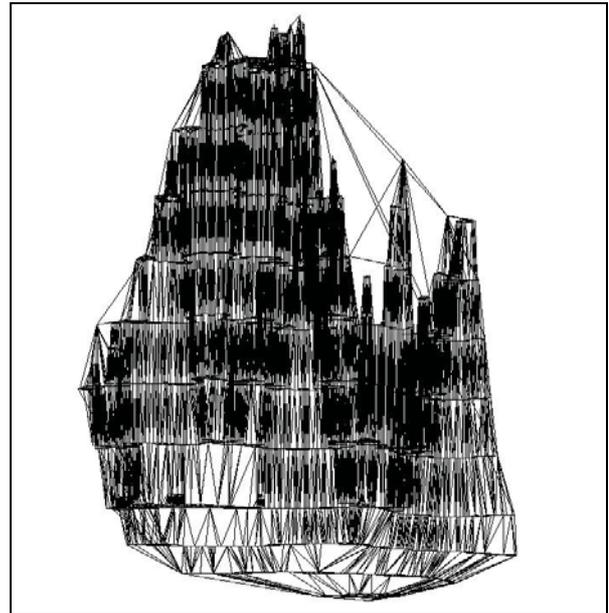
(b) Terreno2

Figura 6: Resultados obtenidos con la Triangulación de Delaunay

A continuación se detallan algunos inconvenientes particulares propios de deficiencias en la recolección de los datos, lo que constituye un problema de preprocesamiento. También problemas de tipo general asociados a la reconstrucción de datos de estas características morfológicas, presentes como consecuencia de la escasa información con la que se trabaja. Algunos de ellos deben ser tratados en detalle, ya que no pueden ser detectados a simple vista. Para ello es necesaria la utilización de alguna herramienta que permita la detección visual de los mismos, como vía rápida de evaluación.



(a) Terreno1



(b) Terreno2

Figura 7: Resultados obtenidos con la Triangulación del Radial Sweep

## 5.1. Problemas Particulares

Repetición de datos: se ha detectado que una misma curva de nivel incluye el mismo punto repetidas veces. Si bien no parecería importante, estas repeticiones concluyen en un procesamiento incorrecto de los datos, sobre todo utilizando estas triangulaciones, por lo que es necesaria una depuración de los archivos.

Contornos Planares Desordenados: si bien para la triangulación del Radial Sweep esto no involucra un problema debido a la forma en la que realiza el procesamiento de los datos, no sucede lo mismo con la triangulación de Delaunay. Se ha podido observar que trabaja mejor y se obtienen mejores resultados cuando las capas están ordenadas.

Curvas de Nivel Abiertas: este problema, emergente quizás de relevamientos incompletos de terrenos, o de características propias de la superficie, encuentra inconvenientes en la conexión de los extremos de dichas curvas de nivel con otras, provocando la unión incorrecta de las mismas.

## 5.2. Problemas Generales

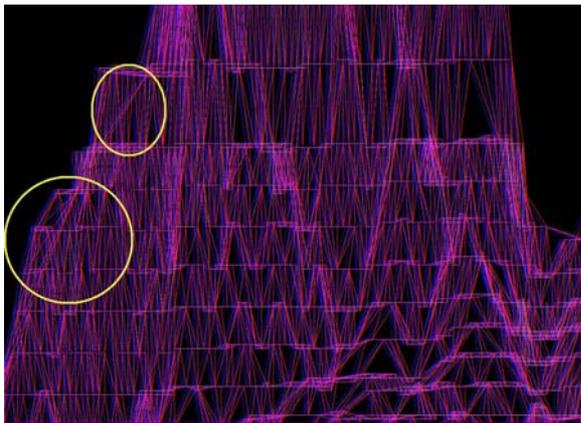
Problema de la correspondencia: surge como consecuencia de la utilización de un conjunto de contornos planares para representar al objeto. Es necesario poder determinar qué contornos deben ser conectados. Algunas veces será correcta la unión de dos que sean adyacentes, pero otras veces no. Este problema se puede observar principalmente en accidentes tales como quebradas y valles.

Problema de selección: es muy común en terrenos que poseen ciertas características en el relieve como cuencas y depresiones profundas. Una vez determinadas qué capas adyacentes conectar, es preciso reevaluar cómo deben ser unidas, de tal forma que respeten la topología del lugar sin

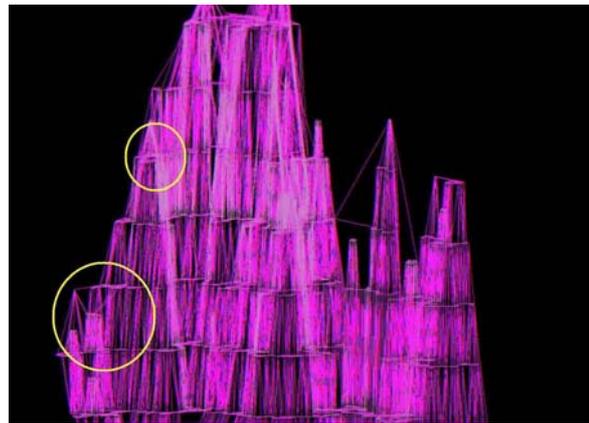
ocultar las características propias. La triangulación en este punto es el aspecto fundamental ya que es la encargada de la conexión de los contornos. Éste es un problema difícil de solucionar y posiblemente se requiera la asistencia manual para su resolución.

Problema de ramificación: como su nombre lo indica, este problema encuentra sus bases en la presencia de ramificaciones que no deben ser conectadas entre sí. Este caso se identifica claramente en cadenas montañosas y superficies que presentan quebradas. Si se encuentran dos elevaciones separadas por una quebrada, sería incorrecta la conexión de las cimas de estas elevaciones.

Si bien este problema puede ser identificado fácilmente en áreas descubiertas, la técnica estereográfica permite la detección de los triángulos involucrados en áreas del terreno no identificables a través de una visión global del modelo reconstruido. En las Fig. 8 y 9 se pueden observar vistas aumentadas de las figuras 6 y 7, que muestran el problema de la ramificación. Tanto el modelo reconstruido por la triangulación del Radial Sweep, como el que utiliza Delaunay, demuestra la mala conexión de los contornos planares, identificados con un círculo sobre la imagen.



(a) Terreno1



(b) Terreno2

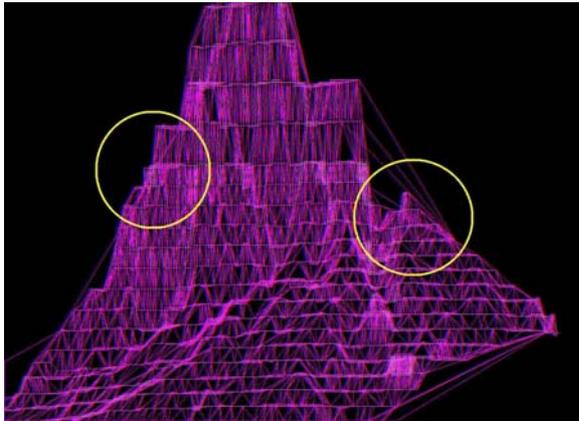
Figura 8: Problema de ramificación con Delaunay

El resultado obtenido solucionando los problemas anteriores, es una malla triangular que aproxima a una superficie. El próximo paso sería incorporar una textura para obtener un modelo más real del objeto reconstruido. En la medida en que no se eliminen todos aquellos segmentos que unen puntos erróneos el modelo texturado no será representativo (ver picos de la figura 9(b)). Existen diferentes métodos para solucionar el problema de la texturización, que van desde la interpolación de vértices en los triángulos o simplemente encontrar aproximaciones a estos, hasta la utilización de algoritmos más avanzados que realizan este proceso automáticamente.

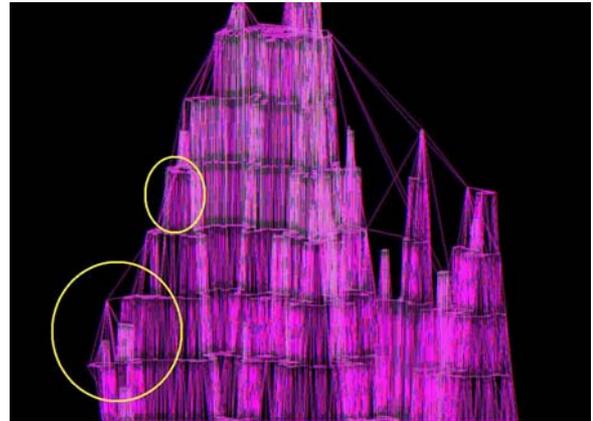
## 6. Conclusiones

La reconstrucción de un objeto a partir de un conjunto de contornos que lo representan, es una forma muy utilizada de trabajo en distintas disciplinas.

Los biólogos por medio de microscopios especializados obtienen una serie de fotografías de contornos seriales de diferentes organismos.



(a) Terreno1



(b) Terreno2

Figura 9: Problema de ramificación con Radial Sweep

Los paleontólogos son capaces de reconstruir desde antiguos objetos hasta seres vivos que algún día existieron, a través de cortes transversales de fósiles encontrados en excavaciones.

Los radiólogos obtienen información muy valiosa de estudios tales como las tomografía axial computarizada, el ultrasonido y las imágenes de resonancias magnéticas, los cuales utilizan el concepto de contornos planares de las superficies en cuestión.

En cada uno de estos casos, se desea reconstruir la superficie desde la cual los datos fueron recolectados.

En el presente trabajo se ha bosquejado la necesidad de un permanente análisis y testeo de los datos de una superficie a ser reconstruida. Independientemente de los métodos de reconstrucción utilizados, existen problemas de índole común a todos ellos que pueden ser tratados en forma “directa” como resultado de una primer reevaluación de los mismos. Otros problemas no pueden ser solucionados en forma mecánica, por lo que surge la necesidad de un tratamiento manual de los mismos.

No obstante este es un proceso cíclico, los datos deben ser reevaluados reiterativamente hasta conseguir eliminar los problemas. Este ciclo aumenta su nivel de refinamiento acorde con el nivel de detalle de los problemas. La técnica de estereografía ha mostrado ser de gran utilidad, constituyéndose en un gran soporte al proceso de reevaluación de datos.

## Referencias

- [1] Noll Mitchel A. Stereographic projections by digital computer. In *Computers in Automation*, page 32, May 1965.
- [2] Watt A. and Policarpo F. *The Computer Image*. Addison-Wesley, 1998.
- [3] Mirante Anthony and Weingarten Nicholas. The radial sweep algorithm for constructing triangulated irregular networks. In *Proc. IEEE Computer Graphics and Applications*, number 2, pages 11–21, 1982.
- [4] Tomlin D. *Geographic Information System and Cartographic Modeling*. Prentice-Hall, 1990.

- [5] Meyers David. *Reconstruction of Surfaces From Planar Contours*. Dissertation for Doctor of Philosophy, University of Washington, 1994.
- [6] Tamal K. Dey and Naven Leekha. *Surface Reconstruction Simplified*. Manuscrito, December 1999.
- [7] Bernardini Fausto, Bajaj Chandrajit L., Chen Jindong, and Schifore Daniel R. A triangulation-based object reconstruction method. In *6th Annual Video Review of Computational Geometry*, 1998. Proceeding of the 13th Annual ACM Symposium on Computational Geometry.
- [8] Bartels R. H., Beatty John C., and Barsky Brian A. *An Introduction to the Use of Splines in Computer Graphics and Geometric Modeling*. Morgan Kaufmann Publishers, Palo Alto, CA, 1987.
- [9] Hope Huges, De Rose Tony, Duchamp Tom, McDonald John, and Stuetzle Werner. Surface reconstruction from unorganized points. In *Computer Graphics*, pages 71–78. ACM, July 1992.
- [10] Adelson Stephen J., Bentley Jeffrey B., Chong In Seok, Hodges Larry F., and Winograd Joseph. Simultaneous generation of stereoscopic views. In *Computers Graphics Forum*, pages 3–10, May 1991.
- [11] Wood J. and Fisher P. Assessing interpolation accuracy in elevation models. In *Proc. IEEE Computer Graphics and Applications*, volume 13, pages 48–56, March 1993.
- [12] De Berg M., Van Kreveld M., Overmars M., and Schwarzkopf O. *Computational Geometry*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1997.
- [13] Hall Michel. Holographic stereograms as discrete imaging systems. In *Proc. SPIE on Practical Holography VIII*, Feb 1994.
- [14] Canales S. Geometria computacional 1. *Curso de Doctorado*, 1998-1999. Cap. II.
- [15] Love Shaun and McAllister David F. Computer generated lenticular stereograms. In *Three-dimensional visualization and display technologies, SPIE Proceeding*, page 102, 1989.
- [16] Strothotte T., Preim B., Schuman J. Raab A., and Forsey D. How to render frames and influence people. *Computer Graphics Forum*, 13:455–466, Sept. 1994.