

# GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN EN VRML

**Diego González Aguilera**  
**Javier Gómez Lahoz**  
**Benjamín Arias Pérez**

Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno  
Escuela Politécnica Superior de Ávila  
Universidad de Salamanca

daguilera@usal.es; fotod@usal.es, benja@usal.es

Palabras clave: **Fotogrametría, Visualización 3D, VRML, GeoVRML, MDE, textura fotográfica.**

## Resumen

El presente artículo se enmarca en la línea de investigación destinada al desarrollo de herramientas que explotan la visualización 3D interactiva de datos fotogramétricos en Internet y constituye una de las fases principales de la línea de investigación desarrollada por parte del Equipo de Fotogrametría perteneciente al Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno de la Escuela Politécnica Superior de Ávila, destinada a la generación de modelos 3D a partir de un sólo fotograma. En concreto, este artículo se centra en el desarrollo de un algoritmo que permite la generación automática de modelos digitales de elevación (MDE) en VRML (Lenguaje de Modelado de Realidad Virtual), así como la asignación de la textura fotográfica de una imagen previamente georreferenciada. Para ello se ha desarrollado un programa: "Simulador Perspectiva 3D", consistente en un entorno de simulación tridimensional apoyado por una estructura jerárquica y topológica heredada del lenguaje VRML que nos permitirá la creación, edición y visualización de modelos 3D.

## Summary

This paper is framed in the research line destined to develop tools that exploit the 3D interactive visualization of photogrammetric data on Internet and constitutes one of the main phases of the research line for the Photogrammetry Group that belongs to the Surveying and Cartographic Department of Avila University, destined to the 3D reconstruction from a single view. Particularly, this paper is focused to the development of an algorithm that allows generating automatically Digital Elevation Models (DEM) with VRML (Virtual Reality Modeling Language), as well as to map a photographic texture of an image previously georeferenced. In this way, we have developed "Perspective 3D Simulator", a software with a 3D simulation environment supported by a topological and hierarchical structure inherited of VRML language that enables us to create, edit and visualize 3D models.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la Fotogrametría e incluso hasta nuestros días, la Fotogrametría ha mantenido en un papel privilegiado la importancia del propio dato, a través de rigurosos y exhaustivos análisis de precisión y fiabilidad que sacaban partido, sobre todo en el caso de la Fotogrametría Digital, al lema "*Cantidad frente a Calidad*". No obstante, se han dejado en segundo término aspectos importantes como la propia visualización tridimensional de los resultados. Teniendo en cuenta que actualmente vivimos en una Sociedad del Conocimiento donde la documentación y popularización del Patrimonio Cultural representa una herramienta básica para el desarrollo histórico-cultural y económico de sus habitantes, la Fotogrametría tiene el deber de luchar por dos objetivos: la popularización de sus resultados y la popularización de su propia técnica hasta lograr que el dato fotogramétrico sea preciso, fiable, accesible y utilizable para cualquier tipo de usuario. El primero de los objetivos parece ser el más demandado hoy en día, desde que la proliferación de cierto tipo de software ha permitido que todo el mundo pueda hacer Fotogrametría: "*Fotogrametría para todos*". Sin embargo, en el contexto de la visualización 3D, la Comunidad Fotogramétrica e incluso los propios Fotogrametas apenas han hecho progresos, ya que la propia calidad del dato monopolizaba cualquier esfuerzo de investigación en este contexto. De hecho la mayoría de las herramientas de visualización 3D existentes hoy en día no han sido desarrolladas por Fotogrametas, sino por otras disciplinas afines como la Visión Computacional y la Arquitectura. Por lo tanto, es de esperar que en los próximos años la Fotogrametría tenga que explotar la visualización de datos 3D a través del desarrollo de herramientas y paquetes flexibles que permitan conectar íntegramente los datos fotogramétricos con la visualización 3D bajo una plataforma común: Internet. En este sentido, el lenguaje VRML parece consolidarse como la mejor herramienta, más aún desde que GeoVRML, una de las extensiones de VRML, permite explotar las posibilidades de VRML en el mundo geográfico, estableciendo una comunicación eficiente y de calidad entre el dato geográfico y la

visualización 3D en Internet. Bajo toda esta perspectiva, las herramientas a desarrollar en el campo de la Fotogrametría nos permitirán lograr la unicidad del objeto, sacando partido a sus capacidades de análisis y representación, así como la integración bajo un mismo entorno del rigor métrico, calidad de visualización y estética.

## 2. VRML vs. GeoVRML

VRML fue diseñado inicialmente para satisfacer las necesidades de la Comunidad de usuarios del Computer Graphics, con el objetivo de obtener una representación 3D interactiva en la Web. Sin embargo, la progresiva y creciente proliferación de VRML provocó que disciplinas afines al Computer Graphics comenzasen a utilizar dicho lenguaje, con lo que la propia demanda llevó a que en 1997 la Organización Internacional de Estandarización estableciera el lenguaje VRML como un formato de fichero estándar según la norma ISO/IEC 14772 para la descripción interactiva y multimedia en Internet. Hoy en día, VRML es considerado un formato de intercambio universal para integrar gráficos 3D con capacidades ilimitadas en pleno proceso de expansión, una de las cuales apunta hacia la visualización 3D interactiva de datos geográficos en Internet. En este sentido, entra en escena GeoVRML 1.0, una extensión del conocido y popular lenguaje VRML97 para la representación y visualización de datos geográficos, que surge con el objetivo de minimizar las deficiencias del formato VRML97 a la hora de gestionar datos geográficos bajo Internet. GeoVRML a través de 10 nuevos nodos, solventa serios problemas que se tenían hasta el momento con el almacenamiento y gestión de la información en tiempo real.

**Sistemas de Coordenadas Geográficos: “mundos georreferenciados”.** Hasta ahora, VRML97 empleaba un sistema de coordenadas cartesiano local con la dirección del eje Z+ perpendicular a la pantalla y en dirección al usuario. Obviamente, dentro del mundo Geográfico y más concretamente en la Comunidad Cartográfica esto resulta poco asequible, ya que la inmensa mayoría de los datos deben estar georreferenciados con respecto a un sistema de coordenadas geográfico, cartesiano o geocéntrico. De esta forma, la unicidad del dato geográfico adquirirá la dimensión necesaria para posibilitar una representación global así como un intercambio y fusión de información geográfica. En este sentido, GeoVRML 1.0 permite trabajar con 3 Sistemas de Coordenadas: Geográfico, Cartesiano Local y Cartesiano Geocéntrico, así como con una amplia variedad de elipsoides y proyecciones.

**Doble precisión: “representación de datos geográficos”.** Antes de hablar de precisión en VRML, habría que reseñar que dicho lenguaje presenta una estructura sencilla apoyada en la generación de SCRIPTS, es decir en la generación de etiquetas (similar al tradicional formato HTML). Es por tanto su propia estructura la que le condena a una limitación en la precisión: precisión simple. Pero, si GeoVRML es una extensión de VRML, ¿cómo se puede lograr precisión doble con una estructura a base de SCRIPTS?. La solución a este problema, aunque pueda parecer complicada, se encuentra en el empleo de Java. El lenguaje de programación Java soporta doble precisión y es ideal para trabajar en el entorno Web, con lo que la solución consistirá en generar un paquete software o clase de Java con las funciones necesarias para dotar a VRML de capacidad geográfica e insertarlo en los SCRIPTS de VRML (de la misma forma en que se introduce un applet de Java en HTML). De esta forma, GeoVRML permitirá trabajar con doble precisión, aspecto fundamental cuando manejamos coordenadas geográficas o cartesianas de gran magnitud. Sirvan de ejemplo las coordenadas UTM habitualmente empleadas en Cartografía o las propias coordenadas WGS84 arrojadas por un GPS de bolsillo.

**Escalabilidad: “visualización de datos geográficos”.** Constituye la característica más valiosa y complicada de GeoVRML. No hay que olvidar que estamos en Internet, y estar bajo el entorno Web supone tomar en consideración una serie de limitaciones importantes hoy por hoy en cuanto a la capacidad de gestión de la información geográfica on-line. Por tanto, GeoVRML se enfrenta a dos grandes barreras: el gran peso del dato geográfico y las limitaciones físicas de la propia red.

La primera limitación constituye una tarea totalmente resuelta y consolidada en disciplinas como la Fotogrametría Digital y la Cartografía, a través de la aplicación de algoritmos que permiten visualizar imágenes de grandes dimensiones y generalizar datos cartográficos dependiendo de la escala respectivamente. No obstante, presentan la limitación del cálculo en tiempo real, requisito vital para GeoVRML y la visualización interactiva de datos geográficos en Internet. Esta limitación desemboca a su vez en la segunda, la cual constituye hoy en día una de las principales líneas de investigación destinadas a la optimización de algoritmos y que aspiran a la implantación de los Sistemas de Información Geográficos 3D en Internet.

El grupo de trabajo de GeoVRML perteneciente al consorcio Web3D ha logrado una eficiente visualización de la información geográfica apoyándose en el concepto de multi-resolución también conocido como LoD (Level of Detail); una técnica que permite cambiar de forma dinámica y en tiempo real la complejidad de un modelo de datos en función de la distancia del punto de vista. La sofisticada aplicación de dicha técnica se realiza siguiendo una doble estructura, en función de que el dato a simplificar sea vector o raster. En este sentido, la optimización de datos vectoriales se llevará a cabo según algoritmos de simplificación poligonal, que simplificarán la geometría del objeto dependiendo de su tamaño o distancia del observador, mientras que la optimización de datos raster se seguirá a través de un proceso de visualización multi-resolución piramidal apoyado por técnicas Quad-tree de acceso a datos.

Sirvan de ejemplo modelos digitales de elevación con un gran volumen de datos (más de 1 millón de puntos) y sus correspondientes texturas fotográficas (más de 6 millones de píxeles), que hacen totalmente inviable su carga y descarga bajo un entorno Web y aun menos la posibilidad de interactuar por parte del usuario en tiempo real.

**Metainformación: “información del dato geográfico”.** Los metadatos son datos altamente estructurados que describen información acerca del contenido, la calidad, la condición y otras características de los datos geográficos. Es "Información sobre información" o "datos sobre los datos". GeoVRML 1.0 permite la definición de metadatos para la descripción de los objetos geográficos, estructurándolos de la siguiente manera:

- Identificación: título, área, zona, etc.
- Calidad de los datos: precisión, fiabilidad, etc.
- Organización de los datos espaciales: vector, raster.
- Referencia espacial: proyección, datum, sistemas de coordenadas, etc.
- Entidad y atributos: información acerca de entidades, atributos, dominio de valores de los atributos, etc.
- Distribución: distribuidor, formatos, precio, etc.
- Referencia de los metadatos: nivel de actualización, institución o persona responsable, etc.

### 3. SIMULADOR PERSPECTIVA 3D

El éxito y futuro de la Fotogrametría pasa por explotar y sacar partido a las diferentes vías abiertas por la Era de la Visualización, de forma que puedan minimizarse los problemas y limitaciones existentes en la visualización de datos fotogramétricos, principalmente en el paso del 2D al 3D. Con este propósito, se ha desarrollado el software *Simulador Perspectiva 3D*, un programa creado bajo un entorno de simulación tridimensional interactivo que permite crear, editar y visualizar modelos 3D.

*Simulador Perspectiva 3D* está constituido en base a una estructura en nodos jerárquica apoyada por criterios topológicos similar a la estructura del lenguaje VRML que satisface los siguientes requerimientos y características:

#### Requerimientos

- Flexibilidad: Permite la importación de ficheros 3D para su conversión a ficheros VRML.
- Extensibilidad: Proporciona la posibilidad de desarrollar nuevas herramientas para mejorar el programa.
- Escalabilidad: Permite la combinación de diferentes modelos 3D dentro de la escena VRML con el objetivo de generar escenas complejas 3D.

#### Características

- Conversión de los datos fotogramétricos al lenguaje VRML. Los datos fotogramétricos constituidos por: sistema de coordenadas, nube de puntos, líneas de fuga, entidades geométricas, constreñimientos geométricos, información de la cámara y Metadatos como colores y materiales, serán automáticamente convertidos al lenguaje VRML apoyándose en una estructura jerárquica de nodos.
- Definición del Datum. El programa permite la definición de un sistema de coordenadas, el cual puede estar asociado a un determinado modelo 3D: Sistema Local, o a un grupo de modelos 3D: Sistema Global, que nos permitirán cualquier manipulación espacial: rotación, escalado y traslación de los mismos.

- Crear y editar diferentes tipos de geometría. Desde las entidades geométricas más simples: primitivas básicas, hasta entidades geométricas complejas generadas en base a una topología de puntos, líneas y caras y que cumplen diferentes niveles de jerarquía.
- Renderizado de materiales y texturas fotográficas rectificadas. Los materiales definidos por su color y propiedades radiométricas, así como las texturas fotográficas previamente rectificadas son proyectadas sobre la geometría del modelo 3D.
- Completado de la escena. Creación y edición de diferentes entornos: desde fondos artificiales con una determinada iluminación, hasta entornos reales construidos en base a modelos de elevación directamente transformados a VRML y que representan fielmente la orografía del terreno.
- Cámara fotográfica virtual. La inmersión en la escena de una cámara virtual y la manipulación de sus diferentes parámetros: focal, eje fotográfico y punto de vista nos permitirá obtener fotografías virtuales desde cualquier posición en la escena 3D. El fotograma virtual resultante podrá ser almacenado y utilizado en posteriores análisis de perspectiva.

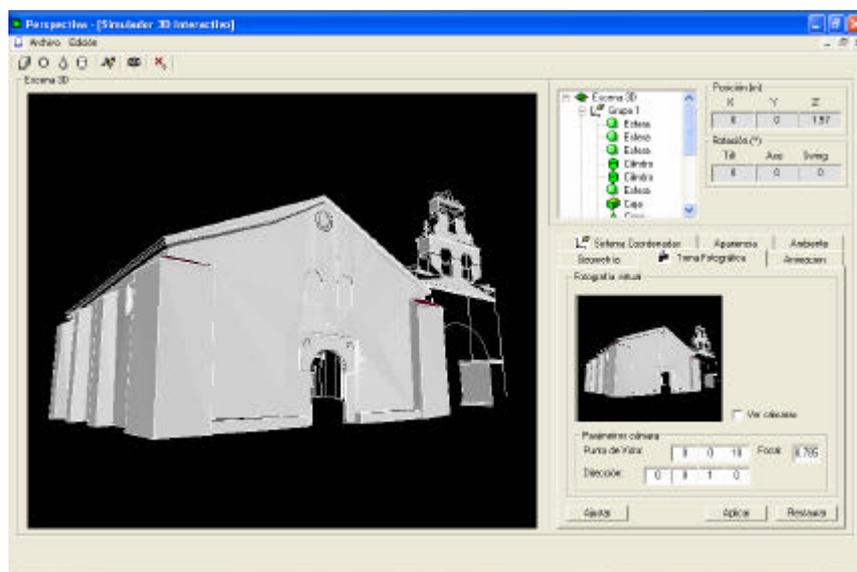


Figura 1: Simulador Perspectiva 3D

#### 4. ALGORITMO DE GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE MDE CON TEXTURA FOTOGRÁFICA EN VRML

El siguiente algoritmo pretende transformar de forma automática ficheros tridimensionales de puntos [ID X Y Z] obtenidos en campo por métodos topográficos, geodésicos o fotogramétricos a Modelos Digitales de Elevación (MDE) regulares e irregulares en VRML. Para ello el algoritmo ha sido diseñado con una doble estructura: en primer lugar, se aplicará una estrategia de triangulación de puntos conocida como Triangulación de Delaunay, a continuación una fase de análisis topológico y transformación a VRML nos permitirá determinar el número de caras que componen el MDE junto con sus coordenadas y obtener una estructura nodal jerárquica respectivamente, obteniendo una visualización 3D interactiva de los MDE.

##### 4.1. TRIANGULACIÓN DE DELAUNAY

La fase de triangulación de Delaunay se apoyará en el método conocido como **Método Incremental** o **Método del Supertriángulo**, en el que se partirá de un triángulo ficticio lo suficientemente grande como para englobar a toda la nube de puntos que se desea triangular. A continuación se comienza a triangular los puntos de la nube desde el primero hasta el último, tomando el triángulo ficticio como parte de la triangulación ya realizada. Una vez realizada toda la triangulación tan sólo resta descartar todas las aristas que contengan en algún extremo a alguno de los puntos del triángulo ficticio inicial.

El siguiente esquema recoge los pasos en pseudo-código de la fase de triangulación.

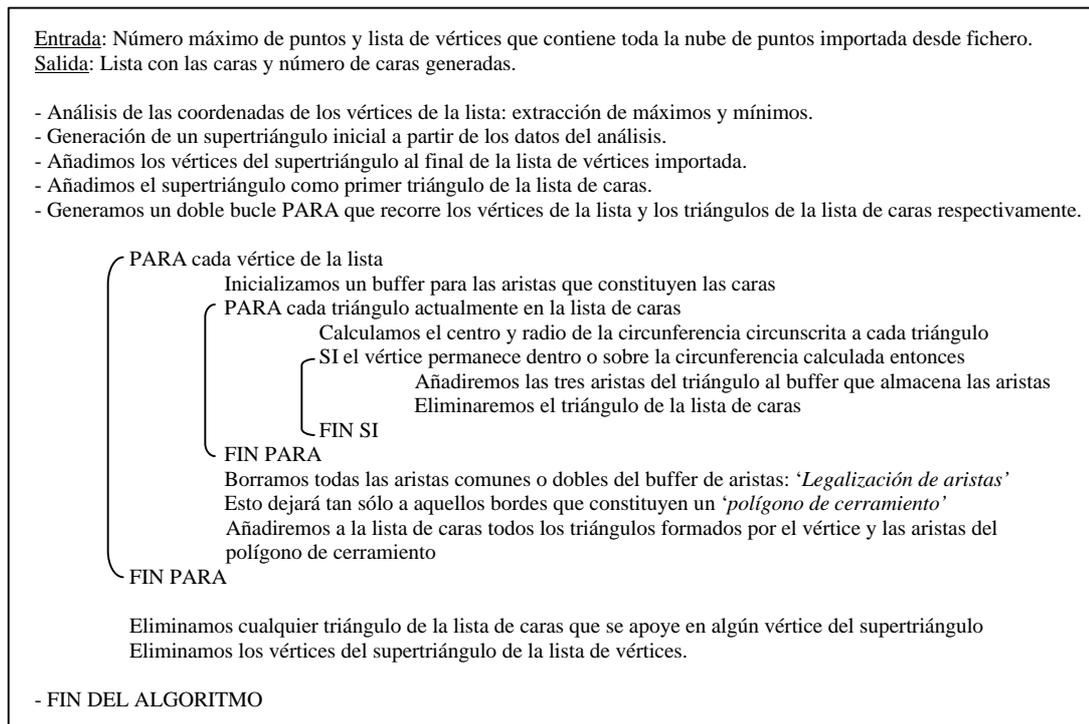


Figura 2: Esquema del algoritmo en pseudo-código

La siguiente figura ilustra gráficamente los pasos del algoritmo de la fase de triangulación:

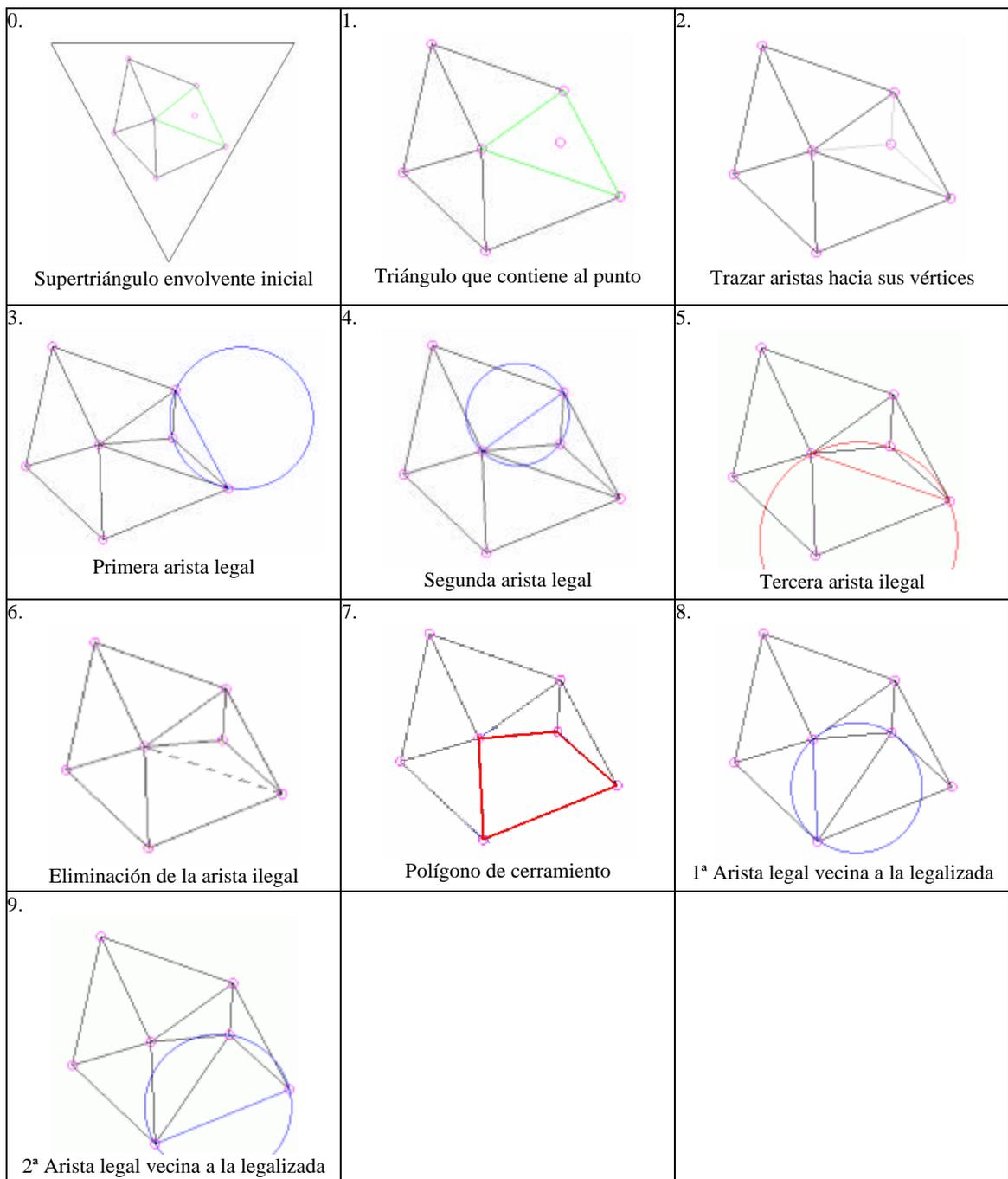


Figura 3: Fases de la Triangulación de Delaunay

#### 4.2. ANÁLISIS TOPOLÓGICO Y TRANSFORMACIÓN A VRML

**Generación de un MDE irregular: topología de caras.** Para poder obtener un MDE irregular en VRML con una estructura de caras que permita el mapeo de texturas, nos apoyaremos en el nodo IndexedFaceSet, el cual incorpora una estructura en topología de caras. El paso a nodo IndexedFaceSet tiene tres fases:

1º Fase - Generación de una lista de coordenadas 3D que constituyen todos los vértices de la malla en el Sistema de Coordenadas de VRML [X, Z, Y] y que se corresponderá con el campo *point* del nodo *Coord Coordinate* en VRML: arrayPtos [Vertice(i).x ; Vertice(i).z ; Vertice(i).y]

2º Fase - Generación de una lista de las caras en sentido horario (VV0, VV1, VV2) y que se corresponderán con el campo *coordIndex* en VRML: arrayCaras [Cara(i).vv0; Cara(i).vv1; Cara(i).vv2 ]

3º Fase - A continuación transformaremos y añadiremos las listas a nodos de VRML mediante la clase *node*, para finalmente incorporarlos a la jerarquía de nodos con estructura de árbol creada.

**Generación de un MDE irregular: topología de líneas.** Para poder obtener un MDE irregular en VRML con estructura de malla de alambre nos apoyaremos en el nodo *IndexedLineSet*, el cual incorpora una estructura en topología de líneas. Siguiendo un planteamiento similar al anterior tendremos que el paso a nodo *IndexedLineSet* se realiza en tres fases:

1º Fase - Generación de una lista de coordenadas 3D que constituyen todos los vértices de la malla de alambre en el Sistema de Coordenadas de VRML [X, Z, Y] y que se corresponderá con el campo *point* del nodo *Coord Coordinate* en VRML: arrayPtos [Vertice(i).x ; Vertice(i).z ; Vertice(i).y]

2º Fase - Generación de una lista de polilíneas que constituyen cada cara. Al tratarse de caras triangulares tendremos que cada polilínea tiene 4 vértices (VV0, VV1, VV2, VV0) y que se corresponderán con el campo *coordIndex* en VRML: arrayLíneas [Cara(i).vv0; Cara(i).vv1; Cara(i).vv2; Cara(i).vv0 ]

3º Fase - A continuación transformaremos y añadiremos las listas a nodos de VRML mediante la clase *node*, para finalmente incorporarlos a la jerarquía de nodos con estructura de árbol creada.

**Generación de un MDE regular: topología de caras.** Es el algoritmo que más tiempo de cómputo consume. La justificación está en la propia estructura del nodo *ElevationGrid*, ya que el algoritmo debe transformar una nube de puntos (ID, X, Y, Z) obtenida en campo y que presenta una estructura irregular a una malla regular equiespaciada.

1º Fase - Determinar las dimensiones y paso de la malla. Extrayendo las coordenadas máximas y mínimas de la malla estableceremos la superficie de la zona y en función de esta determinaremos el paso de malla.

2º Fase - Recorrer la malla generada con un doble bucle a la vez que se triangula e interpola las alturas resultantes de cada Cara de la nube de puntos, de forma que cada punto de la malla pueda tener una altura interpolada. Además, la interpolación de alturas se realizará a través de una media ponderada en función de la distancia. Dicha distancia resultará del cálculo de la distancia espacial entre los puntos de la malla definida previamente y los puntos de la nube capturados en campo.

3º Fase - Finalmente se obtendrá una lista de alturas interpoladas el cual se transformará y añadirá a VRML a través de la clase nodo: arrayAlturas = Vertice(tPuntos).Z

#### 4.3 GENERACIÓN DE UNA ORTOFO EN VRML

Una vez generado el MDE regular o irregular por medio de los nodos *ElevationGrid* o *IndexedFaceSet* respectivamente, resulta posible asignar a la superficie una textura fotográfica con carácter métrico en los vértices del MDE (ortofoto) empleando el, así llamado, método de los “Anchor Points” (Kraus [7]).

1º Fase - El método consta de tres partes: en primer lugar, en proceso por completo externo a VRML, se calcula las coordenadas imagen de todos y cada uno de los vértices del MDE “visto” mediante una determinada cámara, desde una determinada posición y bajo una determinada orientación, es decir, desde unos determinados parámetros de orientación interna y de orientación externa que deben ser obtenidos en un proceso de cálculo fotogramétrico (condición de colinealidad) mediante los correspondientes Puntos de Apoyo. Las coordenadas imagen obtenidas deben quedar recogidas en el campo *texCoord* (que comprende el nodo *TextureTransform*) del nodo *IndexedFaceSet* o *ElevationGrid*.

2º Fase - A continuación se establece la correspondencia entre cada una de las caras del MDE y cada una de las caras de la imagen. Para ello debe trasladarse la topología empleada en el MDE a la imagen lo que se realiza repitiendo en el campo *texCoordIndex* la relación de caras establecida en el campo *coordIndex*.

3º Fase - Finalmente, se calcula y se lleva a cabo una proyección de la textura fotográfica entre cada cara de la imagen y su homóloga en el MDE. Esta transformación se obtiene poniendo en relación las coordenadas imagen de los vértices de cada cara con las correspondientes coordenadas en el MDE, de forma que cada cara recibe un modelo de transformación específico. En el caso de triángulos el modelo

geométrico que permite establecer esta operación es la Transformación Afín (seis parámetros independientes). En el caso de caras con cuatro vértices suele emplearse un modelo bilineal (ocho parámetros independientes). Este último paso es efectuado por el intérprete de escenas WRL integrado (como “PlugIn” adicional) en el navegador de la Web.

El conjunto de pasos queda recogido en el esquema siguiente (Figura 4) referido al nodo *IndexedFaceSet* (el nodo *ElevationGrid* es una particularización de éste):

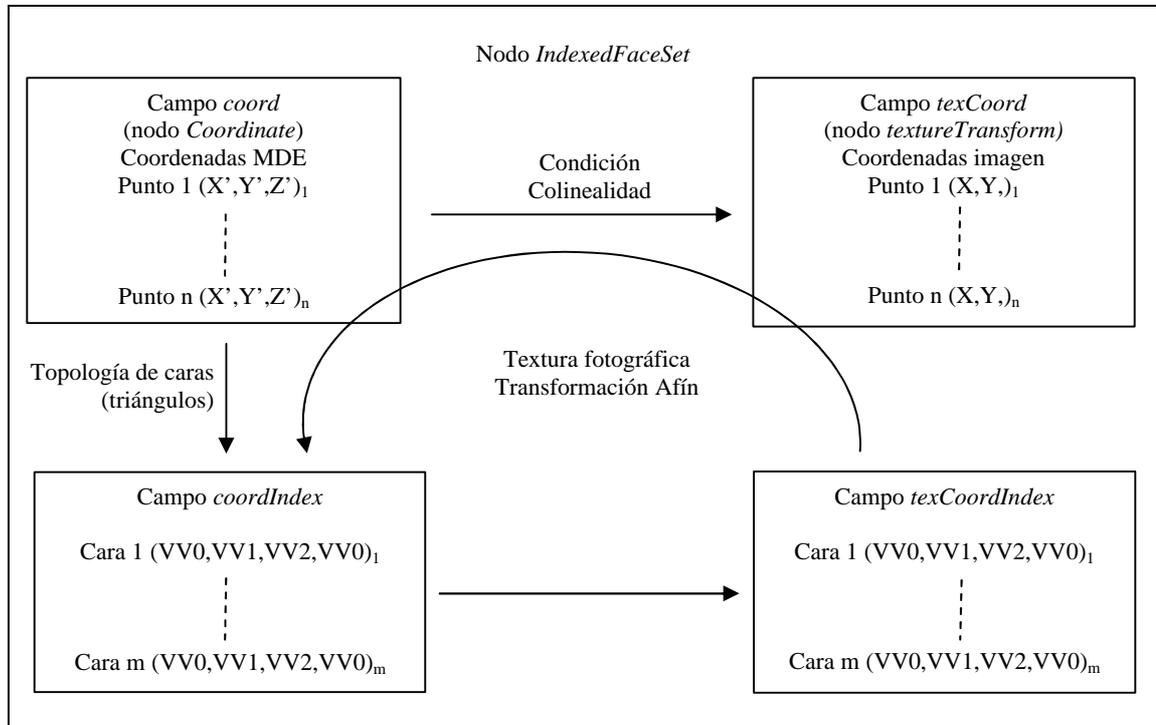


Figura 4: Fases de la generación de una Ortofoto en VRML

## 5. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Con el fin de poder ilustrar el funcionamiento de nuestros algoritmos así como del propio programa: *Simulador Perspectiva 3D*, a continuación se muestran diversos MDE correspondientes a dos zonas emblemáticas desde el punto de vista del Patrimonio Arquitectónico y Arqueológico de la provincia de Ávila. Los datos de partida para la obtención de los MDE han sido obtenidos de diferentes fuentes tanto topográficas como fotogramétricas. En cualquier caso, los resultados del algoritmo han servido para recrear con precisión y exactitud la orografía de dichas zonas sirviendo a su vez como complemento a la reconstrucción 3D de los distintos monumentos y yacimientos. Finalmente y de forma meramente ilustrativa mostraremos las diferencias existentes entre dos MDE con texturas fotográficas; uno resultante de aplicar nuestro algoritmo de generación de ortofotos en VRML y el otro de aplicar simplemente el renderizado de la imagen.

MDE obtenido en VRML perteneciente a los alrededores de la Ermita de Sonsoles (Ávila)

*Fuente de datos: Topografía clásica*

*Número de puntos: 900*

*Sistema de Coordenadas: Locales*

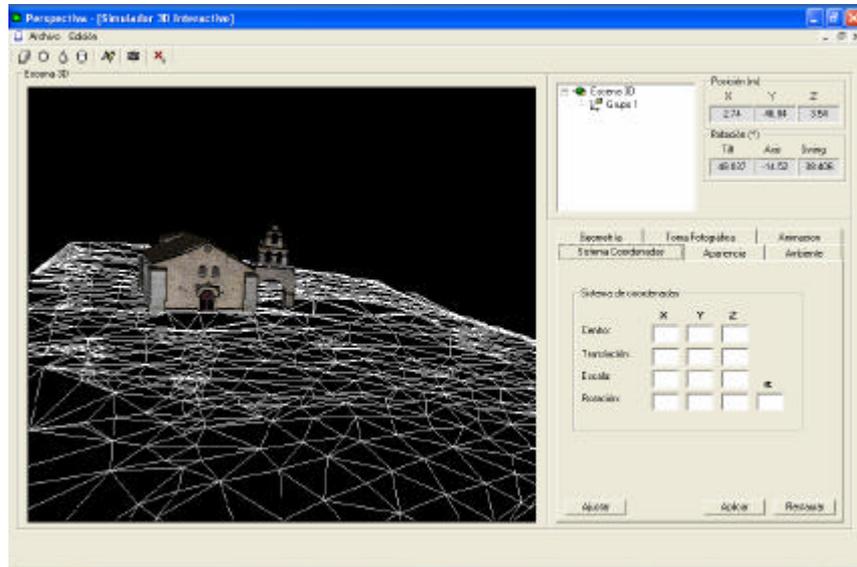


Figura 5: MDE irregular en malla de alambre de los alrededores de la Ermita de Sonsoles

MDE obtenido en VRML perteneciente al Yacimiento del Castro Celta de las Cogotas (Ávila)

*Fuente de datos: GPS y Fotogrametría*

*Número de puntos: 1300 puntos*

*Sistema de Coordenadas: UTM*

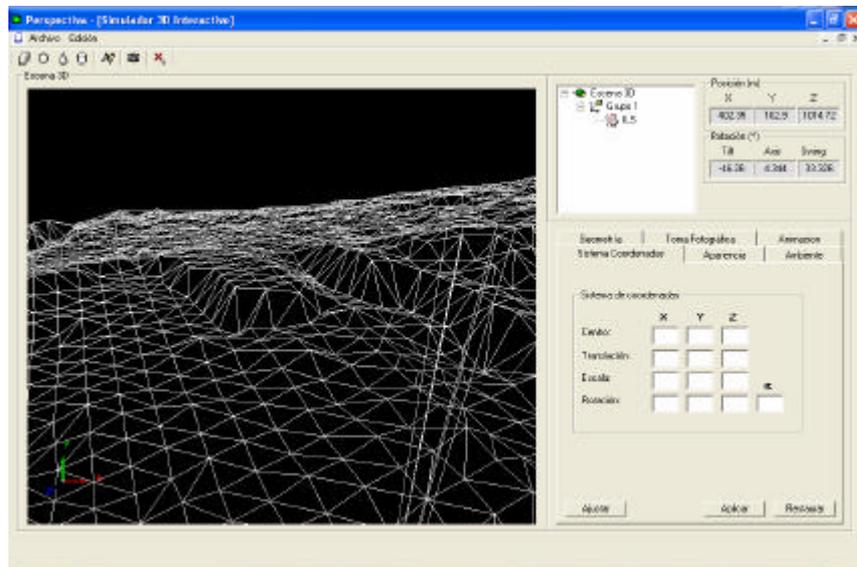


Figura 6: MDE irregular en malla de alambre del Castro de las Cogotas

## Diferencias entre los MDE con textura fotográfica obtenidos en VRML

A continuación se muestran dos MDE con textura fotográfica (Figuras 7-8) correspondientes al Castro Celta de las Cogotas (Ávila), que ilustran perfectamente las diferencias existentes entre el renderizado resultante de proyectar la textura fotográfica como ortofoto (método de los Anchor Points) y el renderizado resultante de realizar una proyección de la imagen sin tratamiento alguno.

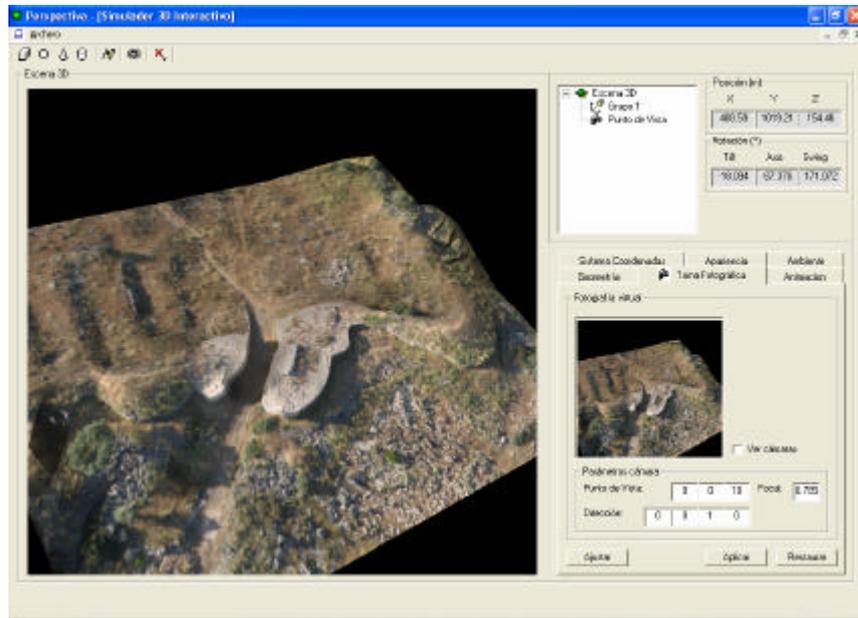


Figura 7: Proyección de la imagen como ortofoto

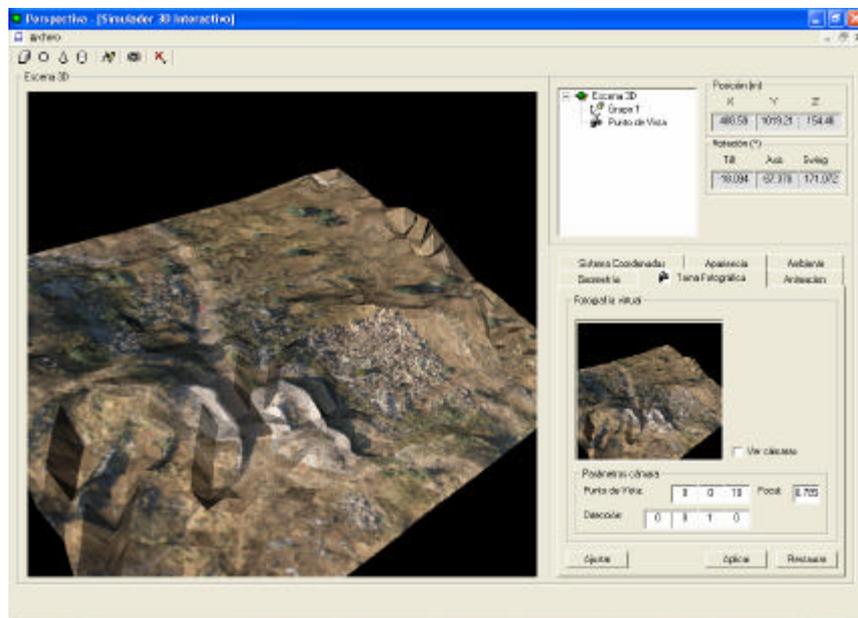


Figura 8: Proyección de la imagen sin tratamiento alguno

## **6. DISCUSIÓN Y PERSPECTIVAS FUTURAS**

Después de analizar nuestro programa, consideramos que hemos dado un paso al frente en la etapa de la Visualización 3D de los datos fotogramétricos. Nuestro esfuerzo se ha centrado en la fusión de información geométrica y radiométrica sobre modelos 3D. No obstante, esto es sólo el principio de un largo viaje a través de la

Era de la Visualización, en la que los Fotogrametas deberemos adaptarnos mediante la participación en el desarrollo de herramientas que permitan explotar los datos, así como la popularización de la propia técnica. En este sentido, se vislumbra que VRML con su actual extensión de GeoVRML ofrece una plataforma excelente para fusionar información adicional aparte de la geometría y textura sobre modelos 3D. Estas capacidades de VRML potenciarán la aplicabilidad de las herramientas de Visualización, minimizando el salto existente hoy en día entre el 3D y la tecnología de los Sistemas de Información Geográficos (SIG). Hasta estos momentos, VRML tan sólo da la posibilidad de enlazar información (texto, sonido y vídeo) en determinados puntos de la escena, así como la posibilidad de animación en tiempo real; pero no está preparado para responder a posibles consultas sobre una base de datos relacional. En el momento que consigamos esto, podremos considerar a VRML como el núcleo de un SIG 3D interactivo.

## 7. REFERENCIAS

- [1]. Aguilera D. G., Gómez Lahoz J., Arias Pérez B., Sánchez Martín N., From 2D to 3D through VRML: 3D visualization from a single view. Workshop CIPA 2004, Lisboa (Portugal).
- [2]. Boochs, F., C. Garnica and F. Wolter, (1998), *Determination and interactive visualization of 3D objects*, IAPRS, Vol. 32, Part 5 "Real-Time Imaging and Dynamic Analysis", Hakodate, pp. 316-322.
- [3]. Cartwright, W. (1997). New media and their application to the production of map products. *Computers & Geosciences*, special issue on Exploratory Cartographic Visualization 23(4): 447-456.
- [4]. Fairbairn, D. and Parsley, S. (1997). The use of VRML for cartographic presentation. *Computers & Geosciences*, special issue on Exploratory Cartographic Visualization 23(4): 475-482.
- [5]. Gemenetzis, D., H. Georgiadis and P. Patias, (2001), *Virtuality and Documentation: Recreating the Byzantine Heritage*, Proc. of International Workshop on Recreating the Past -Visualization and Animation of Cultural Heritage, Ayutthaya, Thailand.
- [6]. Ivana Sainovi (2004), "Geovrml of bakar bay - visualization of ecological hazard", State Geodetic Administration, Gruska 20, HR-10 000 Zagreb, Croatia.
- [7]. Kraus, K. (1997), *Photogrammetry. V2. Advanced methods and applications*. ÜMMER. BONN.
- [8]. Narushige Zooide (2001), 3D urban models: recent developments in the digital modelling of urban environments in three-dimensions. *Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, Torrington Place, London WC1E6BT, UK*.
- [9]. Reddy, M., Leclerc, Y. G., Iverson, L., Bletter, N., and Vidimce, K. (1998), *Modeling the Digital Earth in VRML*, AIC Technical Report No. 559. SRI International, Menlo Park, CA.
- [10]. Reddy, M., Iverson, L., Leclerc, Y. G. (2000). "Under the hood of GeoVRML 1.0". *Web3D-VRML 2000. Fifth Symposium Proceedings*. ACM. 23-28.
- [11]. Rhyne, T.-M. (1997), Going virtual with geographic information and scientific visualization. *Computers & Geosciences*, special issue on Exploratory Cartographic Visualization 23(4): 489-492.
- [12]. T.W. Foresman (2004), "Digital earth visualization and web-interface capabilities utilizing 3D geobrowser technology", International Center for Remote Sensing Education, P.O. Box 18285, Baltimore, Maryland 21227 USA.
- [13]. URL 1: <http://www.web3d.org/>
- [14]. URL 2: <http://www.vrml.org/>
- [15]. URL 3: <http://www.geovrml.com/>
- [16]. URL 4: <http://www.vrml.at/vrmlworlds/tutorials/>
- [17]. URL 5: <http://www.geocomm.com/>
- [18]. URL 6: <http://www.opengis.org/>
- [19]. URL 7: <http://www.Java.sun.com/>
- [20]. URL8: <http://www.blaxxun3D.com>