

SIMPLIFICACIÓN DE ESCENARIOS EXTERIORES BASADA EN LA PERCEPCIÓN VISUAL

Maria V. Cifuentes, Juan P. D'Amato, Lucas Lo Vercio y Alejandro Clause

*CNEA-CONICET-CIC and Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 7000
Tandil, Argentina, <http://www.pladema.net>, pladema@exa.unicene.edu.ar.*

Palabras Clave: Simplificación Topográfica, Visualización, Percepción.

Resumen. Se propone una metodología que encuentra un balance entre la calidad visual y la conservación de la topología para generar aproximaciones de terrenos. Concebida para entornos donde el cambio de iluminación es poco frecuente, el concepto propuesto es atenuar el detalle en regiones suaves y/o escasamente iluminadas donde la distorsión geométrica resulta casi inadvertida comparada con regiones abruptas y/o muy iluminadas. El algoritmo simplificador propuesto utiliza una métrica geométrica basada en la curvatura local combinada con la intensidad lumínica recibida por cada primitiva gráfica. Las mallas obtenidas son manejables y de renderizado eficiente, mientras su calidad se evalúa calculando el volumen encerrado entre la aproximación y el modelo originario, y balanceando la diferencia integrada con la iluminación.

1 INTRODUCCIÓN

Los juegos online, los simuladores de vuelo y de operaciones militares, los mapas electrónicos, son (entre otros) ejemplos de aplicaciones de realidad virtual en las que resulta esencial la visualización de escenarios exteriores. La inmersión de un observador, la selección del nivel de detalle, la inclusión del punto de vista y los modelos perceptuales usados para optimizar el muestreo en algoritmos de *ray tracing* constituyen efectivas métricas perceptuales offline propuestas en las últimas décadas para mejorar la tasa de *frames* manteniendo una calidad visual aceptable (Bolin y Meyer, 1998; Cohen y otros, 1998; Luebke y Hallen, 2001; Lindstrom y Turk, 2000; Zhang y Turk, 2002).

En la actualidad, se adopta mayormente la tecnología basada en la selección del nivel de detalle otorgada por algoritmos de simplificación guiados por criterios geométricos (Álvarez y otros, 2007; Cifuentes y otros, 2009; Cohen y otros, 1998; Garland y Heckbert, 1997; Hoppe, 1996; van Kaick y Pedrini, 2006; Lindstrom y Turk, 1998; Vo y Callahan, 2007) por lo que inducen una clase de efectos de suavizado en el modelo que le producen cierta degradación. Una manera de atemperar este problema es el uso de máscaras que ocultan la degradación geométrica identificando aquellas regiones en las cuales la distorsión es menos perceptible. Un criterio que ha demostrado buenos resultados en este sentido es la curvatura local de la región, que mide la desviación de la geometría intrínseca de esa superficie respecto a la geometría del plano (Cifuentes y otros, 2009).

Las distorsiones percibidas por un observador de un terreno amplio dependen tanto de su ubicación como de las condiciones de luz imperantes. En general un observador humano no puede percibir alteraciones del terreno localizadas sobre áreas escasamente iluminadas (Campbell y Kulikowski, 1966; Harmon y Julesz, 1973). Nuestro interés son las aplicaciones de tiempo real basadas en escenarios exteriores, tales como simuladores de vuelo o de navegación, donde la iluminación no varía mucho en la escala de tiempos de interés, *e.g.* mientras aterriza un avión (Vénere y otros, 2005). Por otro lado, en esos simuladores es necesario disponer de mallas de pocos elementos, para poder priorizar el poder de cálculo para los modelos numéricos del movimiento de objetos en la escena y para la visualización de otros elementos complejos (Vénere y Boroni, 2002).

Básicamente, nuestra motivación consiste en construir una máscara que identifique regiones donde las distorsiones geométricas producidas por la simplificación podrían ser casi invisibles y demostrar que la perturbación percibida es menos visible cuando el ruido es aplicado sobre regiones muy accidentadas y/o escasamente iluminadas. El indicador de error basado en la curvatura local propone que las zonas con cambios abruptos en la pendiente sean modelados con mayor cantidad de polígonos mientras que las regiones con cambios suaves puedan representarse con unos pocos polígonos. Además, el criterio de sombreado incrementará la simplificación debido a que las zonas menos iluminadas se modelarán con unos pocos polígonos mientras que las zonas muy iluminadas mantendrán la densidad de polígonos establecida por el criterio geométrico.

Por otra parte, es difícil cuantificar la fidelidad visual de la aproximación resultante del criterio propuesto debido a que el modelo poligonal original se sustituye por un modelo con menos polígonos. Para obtener una evaluación factible del efecto de enmascaramiento, se simplificó un modelo de elevación real con diferentes valores de tolerancia para obtener el mismo error cuadrático medio en cada caso, este error refleja la cantidad total de energía adicional al ruido. En particular, se propone un algoritmo que mide la fidelidad geométrica en base al volumen de la distorsión generada por la simplificación. Tales medidas son necesarias en aplicaciones científicas, especialmente en medicina.

A continuación se describe la metodología desarrollada para construir máscaras perceptuales que guiarán la selección del nivel de detalle en cada sector de la triangulación. Así, la sección 2 presenta el algoritmo original de simplificación geométrica del terreno basada en la curvatura local. En la sección 3 se describe la construcción de la máscara perceptual a partir del mapa de normales y de la intensidad de iluminación en cada elemento de la aproximación. La calidad de la aproximación se estima mediante el volumen o error cuadrático medio ponderados por el porcentaje de iluminación recibida por cada elemento. La sección 4 presenta aplicaciones de la máscara perceptual sobre topografía real.

2 ALGORITMO ORIGINAL DE SIMPLIFICACIÓN

El concepto propuesto en este trabajo es completar el refinamiento geométrico de un modelo poligonal basándose en la iluminación impuesta por una fuente puntual a cada primitiva gráfica con la que se representa al terreno. El algoritmo de simplificación adoptado construye representaciones simplificadas de un terreno mediante un proceso bottom-up. El proceso parte de una matriz bidimensional de curvaturas derivadas directamente del campo escalar de alturas que representa al terreno (MDE). La aproximación base se logra fusionando progresivamente en grupos de a cuatro aquellas regiones ortogonalmente adyacentes que acumulan curvatura por encima de una tolerancia T . Con las sucesivas fusiones se va generando una jerarquía de mallas con complejidades diferentes organizadas en un quadtree. Los nodos del quadtree son cuadrados de longitud de lado 2^k , donde k identifica el nivel de refinamiento. De acuerdo a la estructura de bloques en el quadtree, cada cuadrado en la jerarquía poseerá un error determinado, que puede ser mayor o igual al error de todos sus descendientes (Cifuentes y otros, 2007).

El proceso de simplificación por fusiones generalmente inserta vértices indeseables que ocasionan la formación de mallas no conformes (con huecos). Para evitar este inconveniente, debe imponerse la restricción de que todas las regiones quadtree ortogonalmente adyacentes no difieran en más de un nivel de recursión, lo cual reduce el conjunto de vértices problemáticos a sólo 15 situaciones posibles que tienen solución standard (Cifuentes y otros, 2009).

El algoritmo resultante tiene un costo proporcional a la cantidad de elementos de la malla (simplificar una malla de 10k triángulos tarda aproximadamente 250 ms con un procesador de 2.4 GHz). Una manera de atemperar este costo es el uso de máscaras que ocultan la degradación geométrica identificando aquellas regiones en las cuales la distorsión es menos perceptible. Un criterio que ha demostrado buenos resultados en este sentido es la curvatura local de la región, que mide la desviación de la geometría intrínseca de esa superficie respecto a la geometría del plano (Cifuentes y otros, 2009):

$$\kappa_{ij}^2 = (G_{x_{i+1,j}} - G_{x_{i-1,j}})^2 + (G_{y_{i+1,j}} - G_{y_{i-1,j}})^2 + (G_{x_{i,j+1}} - G_{x_{i,j-1}})^2 + (G_{y_{i,j+1}} - G_{y_{i,j-1}})^2 \quad (1)$$

donde $G_{x_{ij}}$ y $G_{y_{ij}}$ son las componentes del gradiente en cada dirección aproximadas por:

$$G_{x_{ij}} = \frac{1}{2\Delta} (h_{i+1,j} - h_{i-1,j}) \quad \text{y} \quad G_{y_{ij}} = \frac{1}{2\Delta} (h_{i,j+1} - h_{i,j-1})$$

Así, la curvatura acumulada en un dado conjunto S de vértices vecinos se define como:

$$K(S) = \sum_{(i,j) \in S} \kappa_{ij} \quad (2)$$

Una región de alta curvatura acumulada debe ser descripta con más triángulos por unidad de área que una región de baja curvatura [4] (ver Fig. 1).

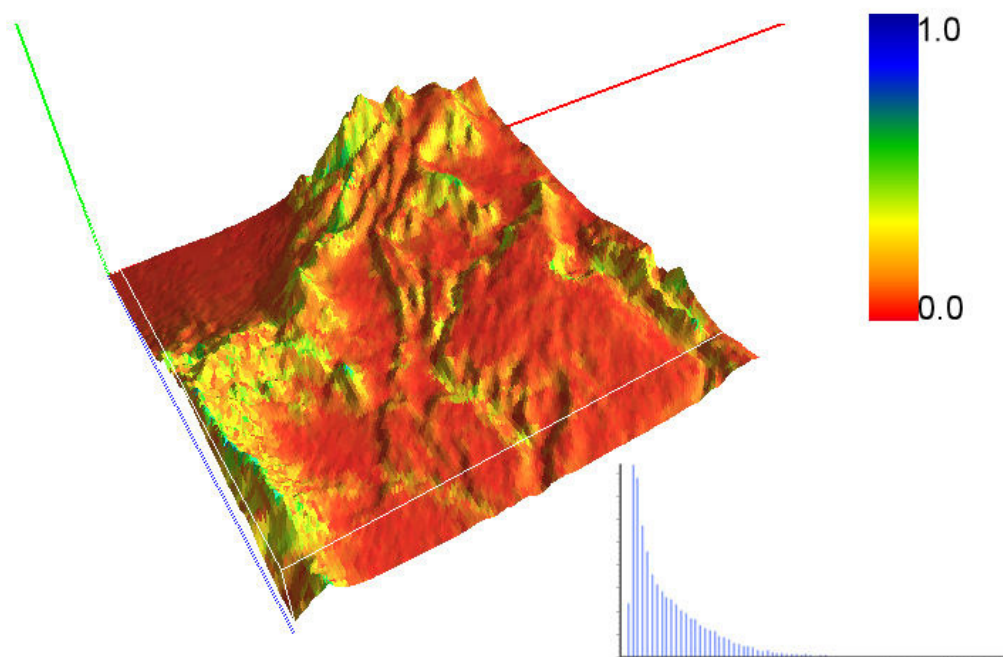


Fig. 1. Distribución uniforme del indicador geométrico basado en la curvatura local. Las regiones rojas son valores bajos y los verdes altos.

3 ENMASCARAMIENTO PERCEPTUAL PARA OTORGAR NIVEL DE DETALLE

El criterio de simplificación basado en la curvatura local resulta una buena formulación cuando se aplica a topografías suavemente onduladas. Permite generar buenas aproximaciones del modelo que agrupan muestras representativas esparcidas irregularmente, reduciendo el volumen de datos del MDE original. No obstante, en las superficies esféricas la curvatura es constante; por lo que, la complejidad geométrica no se reduce cuando se aplica tal indicador.

Considerando esta geometría, nuestra propuesta complementa la simplificación geométrica con indicadores basados en modelos de iluminación donde, a igual cantidad de curvatura acumulada las regiones poco iluminadas se modelan con un nivel de detalle menor que las más iluminadas. En el caso de la esfera ideal de la Fig. 2, el criterio combinado prioriza los sectores pobremente iluminados frente al criterio basado en curvatura local, constante en cada punto.

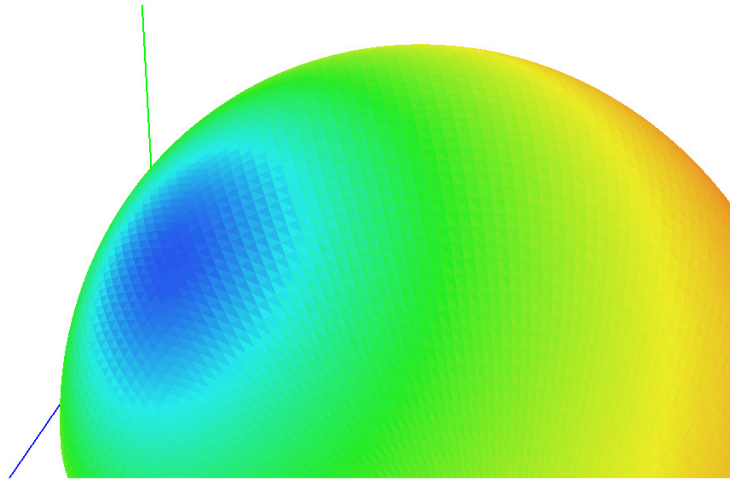


Fig. 2. Zoom en una porción de una esfera indicando la norma del vector normal con respecto a la luz

En nuestra propuesta, la iluminación de cada vértice del quadtree se calcula a partir de la orientación local de la superficie respecto de la fuente de luz (Fig. 3, a la izquierda). La intensidad resultante en cada polígono resulta de la interpolación lineal de las intensidades de los vértices (Fig. 3, a la derecha).

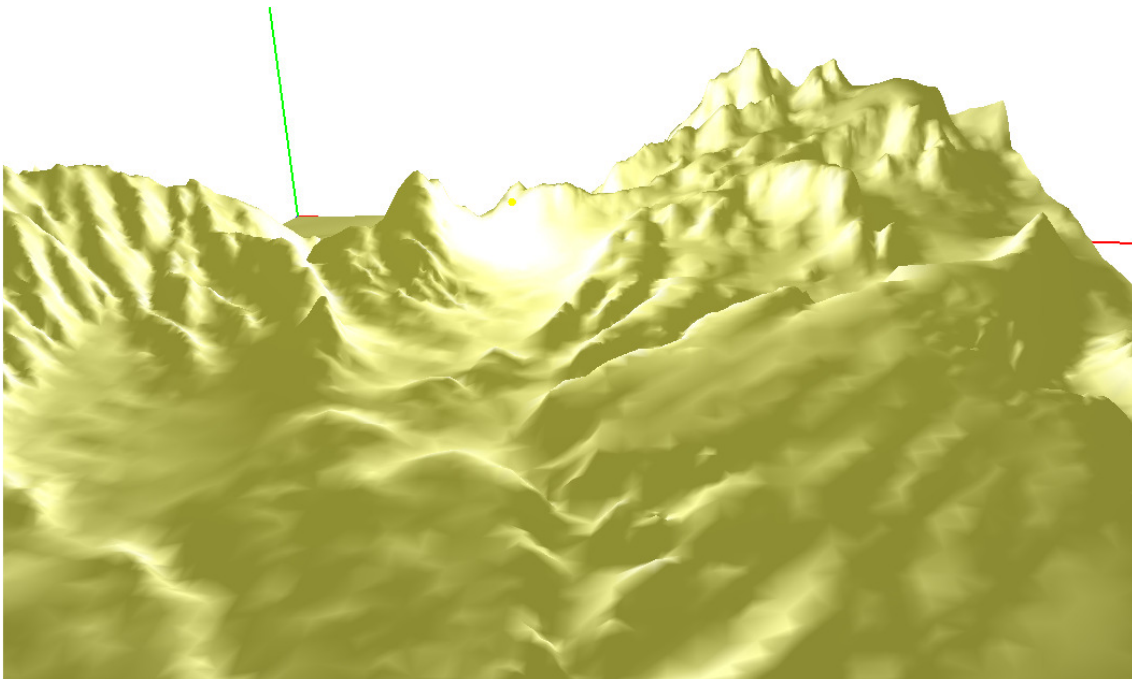


Fig. 3. Vista alejada de la malla sin textura con una única fuente de luz.

El nuevo indicador de error para la simplificación poligonal de un dado conjunto S de vértices vecinos se define como:

$$T \leq \alpha \cdot K(S) + (1 - \alpha) \cdot I \quad (3)$$

donde T es la tolerancia permitida por el usuario y α es el factor de importancia normalizado ($0 \leq \alpha \leq 1$) asignado a la curvatura local y a la fracción I de luz incidente en el elemento, según la siguiente ecuación:

$$I = \vec{N} \bullet \vec{L} = \cos \theta \quad (4)$$

donde θ es el ángulo formado entre el vector normal a la superficie \vec{N} y la fuente de iluminación puntual \vec{L} . Es posible extender dicho criterio para incluir múltiples fuentes de luz. Para este caso, se debe tomar como indicador de I la fuente que más afecte a cualquiera del grupo de vértices.

Además, para estimar la calidad de la aproximación se implementó un algoritmo en $O(n)$ que estima la calidad de la simplificación como el volumen encerrado entre la versión aproximada y la malla regular primitiva compuesta por n triángulos. Tal estimador se reduce a la suma ponderada de los volúmenes aportados por cada triángulo en los que se encuentra subdividida cada región quadtree, el factor de ponderación está relacionado con la intensidad de luz recibida por cada polígono. Por otra parte, también se ha calculado el error medio cuadrático como indicador de calidad de la aproximación obteniendo valores similares.

4 EVALUACIÓN Y APLICACIÓN DE LA MÁSCARA PERCEPTUAL

Para la evaluación de la propuesta se introdujo una única fuente de iluminación en las simplificaciones de grandes modelos digitales de elevación reales con complejidad geométrica variada. En la Fig. 4 se muestran dos versiones simplificadas de una misma porción de terreno. Si bien ambas se componen por la misma cantidad de polígonos, aproximadamente 35000 triángulos, difieren substancialmente en apariencia. En la primera simplificación mostrada ($\alpha = 1$) la malla poligonal reduce únicamente la complejidad geométrica debido a que se destinan mayor densidad de triángulos para modelar regiones montañosas mientras que en las regiones planas se asignan unos pocos polígonos. Ese es el comportamiento buscado en el algoritmo original, donde el criterio de curvatura permite reducir el número de triángulos de una malla en un orden de magnitud tal como se ha estudiado en investigaciones previas (Cifuentes y otros, 2009).

Cuando $0 \leq \alpha < 1$, el criterio combinado (ec.3) redistribuye los triángulos, incrementando el detalle en las regiones con iluminación alta y reduciéndolo en aquellas de iluminación baja. El criterio de iluminación beneficia la apariencia percibida del modelo debido a que es posible obtener la misma relación conservando aún más los detalles (ver Fig. 4, derecha). Al superponer las mallas generadas con los distintos criterios y con la misma cantidad de triángulos, se percibe que los contornos de regiones montañosas preservan la apariencia real del modelo.

Se puede cuantificar el grado de error producido por una simplificación de malla calculando la diferencia en volumen con el modelo original. En la Fig. 5 se observa que el criterio de Ec.3 siempre genera mallas con más triángulos para el mismo error volumétrico. A medida que aumenta la tolerancia del error, el criterio balancea mejor la diferencia, distribuyendo adecuadamente los elementos entre detalles y zonas oscuras, tal como se mostraba en la Fig. 4.

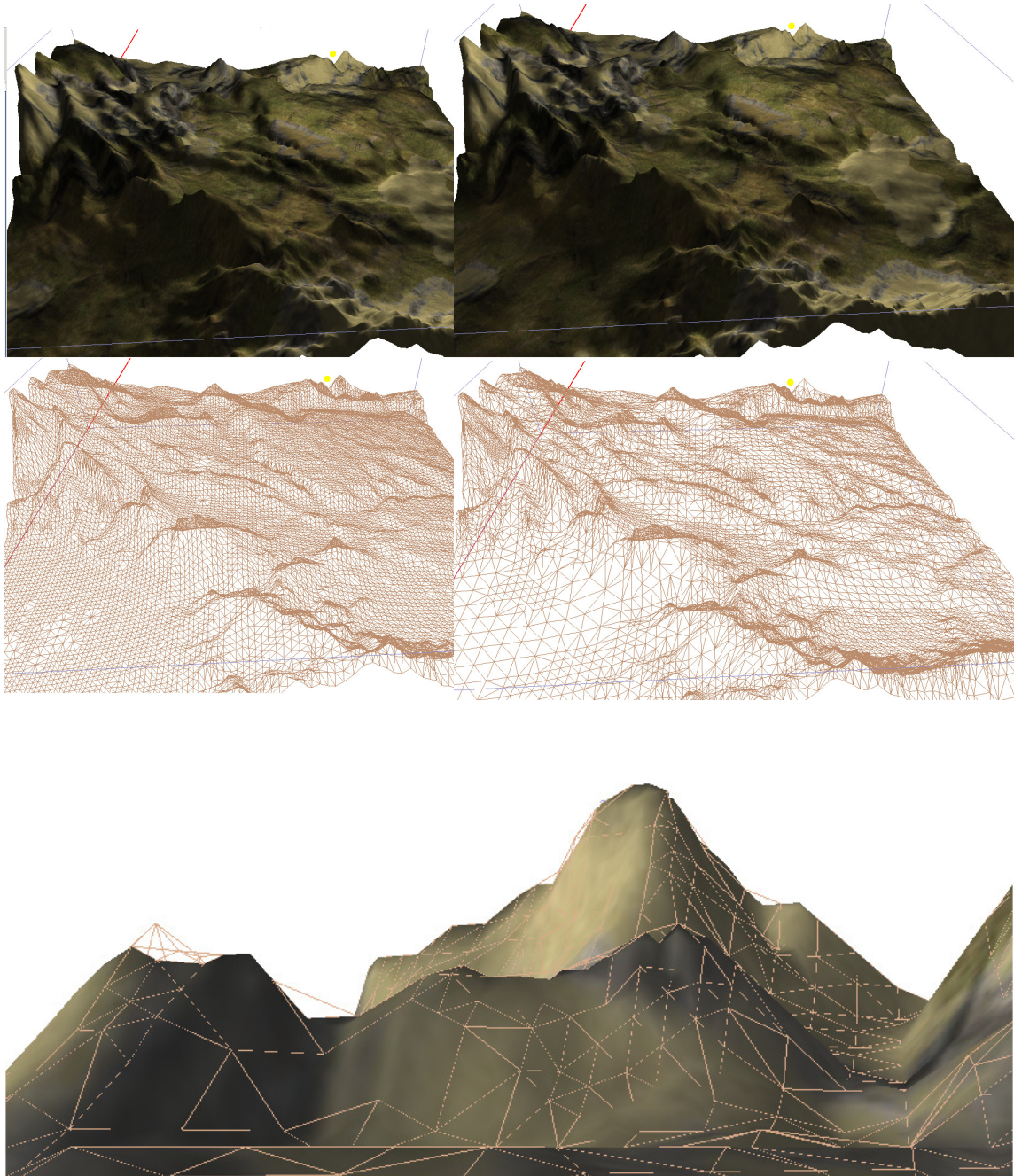


Fig. 4. Criterio de curvatura ($\alpha=1$, arriba izq) y criterio combinado con la iluminación (arriba der). Diferencias entre las mallas, donde la malla simplificada por curvatura (dibujada en modo Líneas) generó picos más abruptos

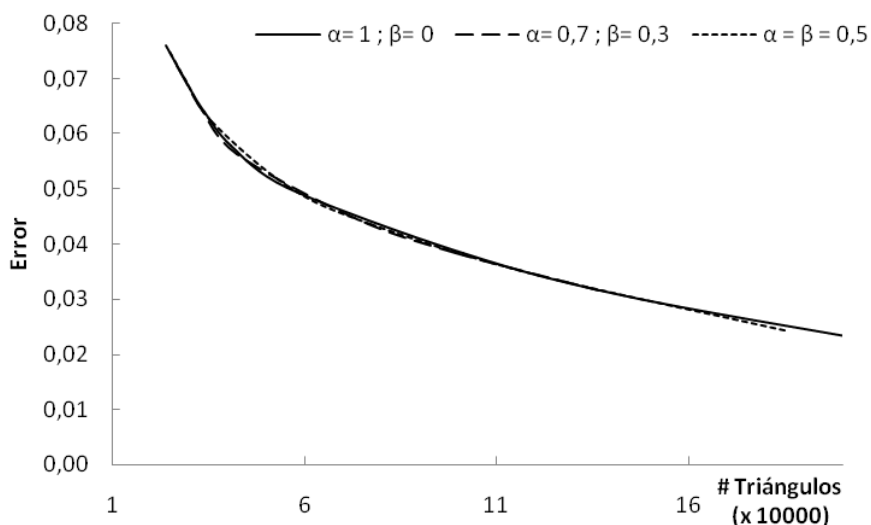


Fig. 5. Diferencia de volumen entre la malla original y la aproximada usando el criterio de curvatura y el combinado.

5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Combinando criterios geométricos y de iluminación se propuso un algoritmo de simplificación poligonal de mallas para el renderizado eficiente de grandes grillas de elevación. El algoritmo es útil en casos donde los parámetros de iluminación varían poco durante la visualización, ya que el costo de simplificación compite con el de rendering. Esta estrategia es fácilmente combinable con estrategias dinámicas de simplificación, como son la clasificación geométrica por ángulo de vista o la simplificación por distancia al espectador.

Como trabajo futuro se planea analizar el comportamiento del parámetro α e incorporar criterios para ajustar el nivel de detalle dinámicamente a partir de indicadores que trabajen con el ángulo de visión.

REFERENCIAS

- Álvarez, R., Noguera, J.V., Tortosa, L. and Zamora, A. A mesh optimization algorithm based on neural networks, *Information Sciences*, 177 (23): 5347–5364, 2007.
- Bolin, M., Meyer, G.A perceptually based adaptive sampling algorithm. *ACM SIGGRAPH*, 299–309, 1998.
- Campbell, R., Kulikowski, J. Orientation selectivity of the human visual system, *Journal of Physiology*, 187: 437–445, 1966.
- Cifuentes, M., Vénere, M., Clausse, A. Interactive Resampling for large landscapes, *International Journal of Latin American Applied Research*, ISSN: 0327-0793, en prensa, 2009.
- Cifuentes, M., Dottori, J., Lo Vercio, L., Clausse, A. Visualización interactiva anisotrópica de modelos topográficos. *Mecánica Computacional*, vol. 26 : 739-746, 2007.

- Cohen, J., Olano, M., Manocha, D. Appearance preserving simplification, *ACM SIGGRAPH*, 32: 115–122, 1998.
- Garland, M., Heckbert, P.S. Simplification using quadric error metrics, *ACM SIGGRAPH*, 31: 209–216, 1997.
- Harmon, L., Julesz, B. Masking in visual recognition: effects of two-dimensional filtered noise, *Science*, 180: 1194–1197, 1973.
- Hoppe, H. Progressive meshes, *ACM SIGGRAPH, Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, New York, USA, pp. 99–108, 1996.
- van Kaick, O.M., Pedrini, H. A comparative evaluation of metrics for fast mesh simplification, *Computer Graphics Forum*, 25: 197–210, 2006.
- Luebke, D., Hallen, B. Perceptually-driven simplification for interactive rendering, *Proceedings of the 12th Eurographics Workshop on Rendering Techniques*, London, UK, pp. 223–234, 2001.
- Lindstrom, P., Turk, G. Fast and memory efficient polygonal simplification, *Proceedings of IEEE Visualization*, pp. 279–286, 1998.
- Lindstrom, P., Turk, G. Image-driven simplification, *ACM TOG* 19 (3): 204–241, 2000.
- Véneré M., Cifuentes M.V., D’Amato J.P., García Bauza C. Editor de Escenarios para Aplicaciones de Realidad Virtual, *34° Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa*, 2005.
- Véneré M., Boroni G. Un simulador distribuido para entrenamiento de operarios, *VIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, 2002.
- Vo, H.T., Callahan, S.P. Streaming simplification of tetrahedral meshes, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 13 (1): 145–155, 2007.
- Zhang, E. and Turk, G. Visibility-guided simplification, *Proceedings of IEEE Visualization*, 31:267–274, 2002.