



PANORAMA DE LOS ATAQUES EN LOS MODELOS 3D

(An overview of attacks on 3D models)

J. Moreno Sáenz y M. A. Molina Vilchis

ESIME Culhuacán-IPN. MÉXICO.

mamolinav@ipn.mx

RESUMEN

El uso de los modelos tridimensionales es cada vez más frecuente debido al gran desarrollo que ha habido recientemente en los software de modelado 3D. Todas estas aplicaciones se pueden encontrar desde el entretenimiento, como en el caso de las películas animadas y los videojuegos, hasta el uso de la realidad virtual en campos tan diversos como la medicina y la ingeniería. Debido a los altos costos de su producción, es necesario garantizar que el modelo no est  alterado para su uso, ya que en los procesos de distribución, en la animación o por ataques conscientes, el modelo puede resultar dañado. Por lo tanto, han surgido diversas técnicas para ocultar información dentro del modelo, de tal manera que cuando el objeto llegue al usuario, se pueda comprobar por medio de dicha información si el modelo 3D es el original o no.

Palabras clave: Modelo 3D, Ataques, Seguridad, Marca de agua.

ABSTRACT

Using three-dimensional models is increasingly common due to the great development that has recently occurred in 3D modeling software, all these applications can be found from entertainment such as animated films and video games to Virtual reality use in as diverse areas as medicine and engineering. Due to their expensive production, it is necessary to make sure that the model is not altered for its use, because during distribution processes, in animation or conscious attacks could damage the model. Therefore, a plethora of techniques have emerged in order to hide information in the model, so that when it reaches the user, this information can be checked to determine if the 3D model is the original or not.

Keywords: 3D model, Attacks, Security, Watermarking.

I. INTRODUCCIÓN

Un modelo es una representación o abstracci n te rica-práctica de los fen menos que ocurren en el entorno, contienen características esenciales que son consideradas apropiadas para imitar (1). En lo que se refiere a los modelos, se pueden encontrar diversos tipos, entre ellos: los modelos científicos como los matemáticos y físicos, que son usados para la representación de los fenómenos que ocurren en la naturaleza; otros modelos o abstracciones, hablando en términos de la computación, son los objetos y los modelos tridimensionales.

Con los avances en la realidad virtual y la animación por computadora, los modelos tridimensionales juegan un papel de suma importancia, los cuales pueden ser definidos como una colección de superficies con un tamaño y orientación arbitraria, que contienen una cantidad casi infinita de mallas que representan o se aproximan al conjunto de superficies (2). Estos objetos 3D pueden ser reproducidos mediante modelos poligonales que contienen líneas, puntos, polígonos y poliedros (3). Ver Fig. 1.

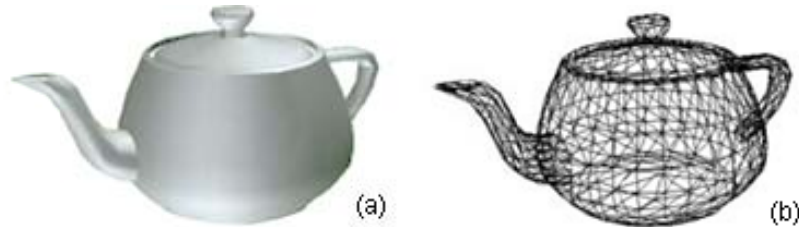


Fig. 1 (a) Modelo 3D como colección de superficies, (b) Objeto 3D representado con mallas.

Ya se ha dado a grosso modo la definición y las características de los objetos tridimensionales, este artículo tiene como finalidad dar una perspectiva completa de los objetos 3D. En la sección II se retomará el tópico de la introducción y se complementará; en la sección III se hablará de los ataques que puedan afectarlos y la importancia de brindarles seguridad; por último, en la sección IV, se muestra una definición de esteganografía y sus ramas, enfocando en especial a las marcas de agua para los modelos 3D.

II. TRABAJO PREVIO

Recientemente los modelos tridimensionales se han vuelto más accesibles a los usuarios en general, debido al auge y popularización de la realidad virtual (4), estos modelos son generados por herramientas computacionales de gran apoyo para el diseño; estas aplicaciones son conocidas como CAD (Computer-Aided Design).

Este sistema puede ser considerado desde un programa básico de dibujo bidimensional, hasta un complejo software que añade superficies y sólidos que son los que crean los modelos 3D. Se puede ver la importancia de estas tecnologías en diversas áreas, como: la ingeniería, arquitectura, diseño, entre otras. Algunas de las aplicaciones más populares y de mayor uso en la industria son: AutoCAD, Maya (Autodesk), Softimage XSI.

La creación de un modelo tridimensional sigue una serie de pasos: primero se le da la forma al objeto por medio del uso de polígonos y otros elementos geométricos, después se pasa a las etapas de la texturización e iluminación, que son propiedades visuales del comportamiento del objeto frente a la luz, fundamentales para que el gráfico sea llamado modelo 3D; y finalmente la animación y renderización del objeto en una escena.

Cabe mencionar que existen otras opciones para crear los objetos tridimensionales, como las derivadas de imágenes 2D empleando técnicas como: shape-from-shading, un

conjunto de fórmulas matemáticas cuyo principal problema es calcular la forma de una superficie por medio del brillo de una imagen blanco y negro (5) (6).

También pueden crearse con el uso de lenguajes, como: VRML (Virtual Reality Modeling Language), orientado más al uso en internet de los diseños interactivos. Ver Fig. 2, pero esto conlleva a que sean vulnerables a la transferencia, copia y/o alteración. En otros términos, un uso ilegal del modelo, por lo tanto, surge la necesidad de proteger el modelo ante estos ataques (4).

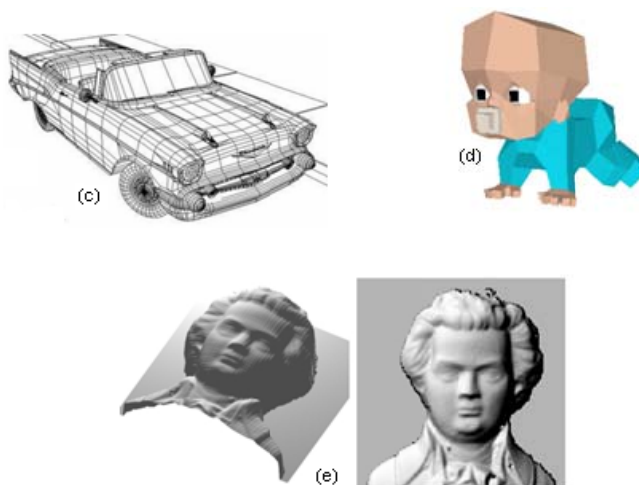


Fig. 2 (c) Modelo hecho en AutoCAD, (d) Modelo programado en VRML, (e) Modelo calculado con shape-from-shading.

II.I. MODELOS 3D

Como ya se mencionó, los modelos tridimensionales son conjuntos de mallas que pueden ser representadas geoméricamente de diversas maneras, se debe definir un sistema geométrico como el módulo de pre proceso del sistema CAD (7), el cual cuenta con las siguientes características: estructuras que representan sólidos, propiedades de los sólidos como volumen y superficie, interfaz de entrada y salida para edición o muestreo de datos. Además de los elementos ya mencionados, los modelos suelen contar con otros datos que le dan los estándares requeridos de objeto 3D, como la textura y el color.

Se llama modelo poliédrico a aquel que define al objeto tridimensional por medio de polígonos que comparten vértices y aristas, se podría decir que se trata de una variedad de un modelo bidimensional, porque los sólidos quedan determinados por los puntos que pertenecen a la frontera (7), estas representaciones pueden ser exclusivamente de un solo polígono (como por ejemplo las mallas de triángulos) Ver Fig. 3. o pueden estar conformadas por una diversidad de estos.

Todo modelo poligonal contiene dos atributos esenciales, la geometría del modelo, que pueden ser puntos y triángulos, y son llamadas primitivas poligonales; y la topología o relación que existe entre las primitivas inalteradas por transformaciones (3). Las primitivas

más comunes son: tira de cuadriláteros, tira de triángulos, abanicos, malla rectangular y malla triangular.

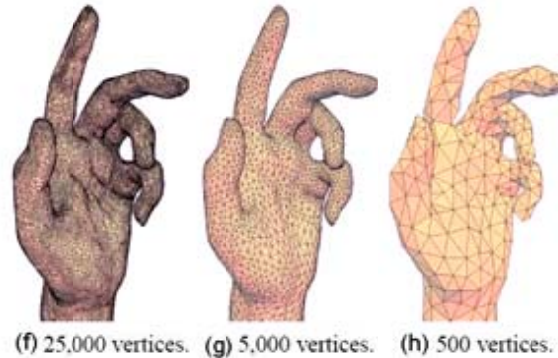


Fig. 3 Entre mayor sea el número de vértices, la imagen será más realista.

Esta representación es muy eficaz para realizar visualizaciones, sólo es necesario realizar algunas operaciones lineales sencillas y eficientes, tanto para la protección como para el rellenado de los polígonos.

Sin embargo, no todos los modelos pueden ser representados por polígonos exactos, este problema es frecuente cuando se intenta modelar algún objeto natural que está constituido por curvas y/o superficies continuas, lo que conlleva a que se representen por “trozos” o parches triangulares, permitiendo la modificación sencilla de estas pequeñas secciones (8).

Otro problema que se presenta es la dificultad de la representación de la superficie que se desea modelar, esto se logra recurriendo a los modelos matemáticos, o ecuaciones que representan superficies en el espacio. Entre las que podemos mencionar son (8):

- La ecuación de la esfera
- La ecuación del elipsoide - - -

Se pueden representar un sinnúmero de superficies en el espacio por medio de funciones reales de dos variables.

La representación matemática del esquema del modelo poliédrico requiere de mucha información, ya que necesita de cuatro listados: 1) información de las coordenadas de los vértices, 2) listado de vértices para la parte final e inicial de cada arista; 3) visto como una generalización del segundo, contiene apuntadores al listado para cada una de las aristas del polígono, y por último se tiene la información de los apuntadores al listado de polígonos. (7). Ver Fig. 4.

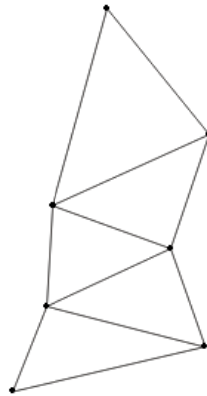


Fig. 4 Abanico de triángulos. Se pueden observar los vértices y las aristas que lo conforman.

Otro tipo de representación matemática, como una extensión del análisis de Fourier, son: la DCT (Discrete Cosine Transform) y la Transformada Wavelet para imágenes bidimensionales, que también pueden ser usadas para los modelos tridimensionales; este método es conocido como compresión espectral de una malla geométrica.

Para un simple gráfico formado por n vectores, se toman estos valores y se forma una matriz cuadrada adyacente A , que toma valores de 1 ó 0 según los vectores sean vecinos o no; después se asocia un operador Laplaciano que es análogo al segundo espacio derivativo, tal que las filas de L sumen 0.

Bajo la teoría de matrices, la transformada de Fourier del coseno en una dimensión son los eigenvectores (vectores propios que no cambian su dirección por ser transformados por el operador) de L .

Extendiendo esto al campo de los modelos 3D, de igual manera formando la matriz A con los n vértices de las malla y D como la matriz diagonal, se asocia la malla Laplaciana, los eigenvectores de L forman las bases de un espacio, los eigenvalores (valores propios) se considera frecuencias, y las proyecciones de cada coordenada de los vectores son el espectro de la geometría del modelo (9).

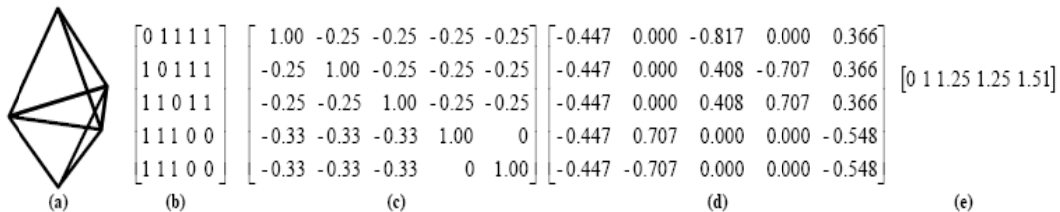


Fig. 5. Análisis de una malla de 5 vértices (a) Malla, (b) Matriz adyacente A , (c) Operador Laplaciano L , (d) Vectores propios, (e) Valores Propios (9).

III. ATAQUES Y SEGURIDAD

Con el auge en el uso de medios digitales como internet, y los CD-ROM para compartir datos, aunado con las características de fácil distribución y modificación de los

contenidos digitales como el audio, el video, las imágenes y los modelos 3D (3); y con el riesgo de que estas acciones sean efectuadas en contra o sin la autorización del autor, surge la necesidad de brindarles protección; proporcionándoles una característica que indica que se encuentran libres de cualquier ataque potencial que pueda alterarlos, dañarlos o destruirlos, haciendo que el contenido sea fiable.

En años recientes, con el aumento del uso de lenguajes de modelado de realidad virtual y dispositivos avanzados de escaneo para descripción gráfica, los modelos tridimensionales se han vuelto más accesibles, y su uso industrial, médico y entretenimiento (4) (10).

Debido a la variedad de riesgos a los que se enfrentan los modelos, se ha puesto mucha atención en desarrollar técnicas efectivas y eficientes para diversos propósitos de protección como la autenticación del modelo y el derecho de propiedad o copyright (4).

El interés de proteger los modelos 3D se debe a varias razones: en contraste con otros contenidos digitales, estos modelos requieren, sin importar el método de producción, de una cantidad mayor de recursos humanos, lo que hace que su elaboración sea costosa; además de esto, algunos objetos tridimensionales son únicos, se crean bajo contratos que no permiten su distribución para fines comerciales (10).

Como el modelo del David de Miguel Ángel, que en el 2009, después de 10 años de iniciado el proyecto, se obtuvo finalmente un objeto tridimensional de la escultura, formado por cerca de un billón de polígonos; se requiere de una licencia del gobierno italiano para su uso no comercial (11). Ver Fig. 6.

Por lo tanto, se debe asegurar que el modelo tridimensional contenga la información auténtica; Se llama seguridad al estado inalterado de la información original, es decir, se trata de garantizar que el objeto 3D no esté dañado o sufra alteraciones por su uso no permitido, o que estén fuera de los términos de la autorización.



Fig. 6 The Digital Michelangelo Project.

Los modelos tridimensionales son vulnerables debido a la creciente expansión de compartir datos, entendemos por vulnerabilidad a la exposición latente a riesgos o ataques



(intencionados o no intencionados), que puedan afectar la seguridad del modelo; un ataque intencionado es aquel que es provocado conscientemente por usuarios maliciosos que buscan modificar, dañar o destruir al objeto atacado, con diversos fines, por ejemplo, crear copias no autorizadas, falsificar el objeto o modificar el diseño.

En contraste, un ataque no intencionado se produce por los procesos de almacenamiento o transmisión inherentes al sistema de aplicación o de transmisión, las características del modelo son modificadas, como por ejemplo: el ruido, la codificación o la compresión son factores que afectan al modelo.

Sin embargo, debido al extenso uso que actualmente tienen los modelos tridimensionales, se debe asegurar que el modelo preserve su información original y que sea resistente a los numerosos ataques a los que se pueda enfrentar, sin importar que sean intencionados o no.

Uno de los principales problemas en la seguridad de los objetos 3D es la gran cantidad de ataques complejos que pueden presentarse sobre las mallas que lo representan, además, su prevención es más complicada que para otros medios digitales, ya que una malla no es una colección regular de valores, como en el caso de audio o imágenes, si no una colección de puntos desordenados en el espacio 3D con una particular topología definida entre la conexión de sus vértices. Algunos de los ataques que se pueden presentar son (12):

- Rotación, Traslación, Cambio de Escala: estas transformaciones geométricas son ampliamente usadas para la posición de un modelo 3D en una escena. Dichas modificaciones se basan en un desplazamiento de la posición original de las coordenadas de los vértices de las mallas mediante operaciones matemáticas como la suma, división, etc.

Estas alteraciones pueden ser locales (cuando se altera una sección del modelo); o globales (cuando se altera al objeto). Desde el punto de vista de la geometría, son conocidas como transformaciones afinas, que consisten en una transformación lineal entre dos espacios vectoriales.







- Ruido: este ataque es la perturbación aleatoria de los vértices de la malla, el ruido se presenta en los medios de transmisión; entre mayor sea la perturbación, mayor será el daño. Este ataque se puede presentar como una adición de números pseudo-aleatorios.


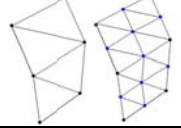



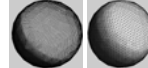
- Re-triangularización: se basa en los cambios entre la conexión de los vértices de la malla; esto sucede cuando un punto que pertenece a la misma es removido, por consiguiente, los triángulos que lo comparten, deben eliminarse también.

- Simplificaciones poligonales: esta acción es usada para transmitir u optimizar un modelo, se convierte de un objeto tridimensional a otro más simple, reduciendo el número de polígonos que conforman la malla, manteniendo una aproximación de la forma y apariencia del modelo original.

- Cortes: consiste en remover o eliminar parte o algunas partes del modelo.
- Segmentación geométrica: a diferencia del ataque de cortes, la segmentación consiste en la separación o fragmentación del modelo, sin llegar a eliminar alguno de los componentes.
- Variación de la malla: se puede describir como el remodelado del objeto seguido por un re-ordenamiento de los vértices, este último proceso también ocurre cuando el formato del modelo tridimensional es cambiado.
- Suavidad: este ataque puede ser visto como la alteración o supresión de los vértices a nivel superficie del objeto 3D, esto puede provocar que la textura del modelo se pierda.
- Subdivisión de la malla: este ataque consiste en crear nuevo triángulos a partir de los ya existentes que conforman a la malla del modelo, cada triángulo se divide en otros más; con esto se hace que el modelo tenga más vértices y, por consiguiente, que el archivo sea mayor.
- Filtros: esta modificación del objeto está relacionada con la aplicación de ruido de modelado y el análisis a través de la transformada Wavelet, aunque también puede referirse a una convolución de la matriz de la malla. Este proceso busca principalmente mejorar la calidad o eliminar el ruido, el modelo original se ve afectado.
- Deformaciones: estos ataques se presentan cuando se les da movimiento a los modelos 3D, se pueden dividir en locales y globales, y esto depende de la extensión del objeto que sea modificado para aparentar el movimiento.

Tabla 1. Ejemplos de algunos ataques de los modelos tridimensionales.

Transformaciones afines	Rotación	
	Traslación	
	Cambio de escala	
Alteraciones geométricas	Cortes	
	Segmentación geométrica (13)	
Alteraciones de la malla	Re-triangulación	

	Suavidad (14)	
	Subdivisión	
	Ruido (10)	
	Deformaciones	
	Simplificaciones poligonales	
	Filtros	

IV. PROTECCIÓN DE LOS MODELOS 3D: MARCAS DE AGUA

Existe gran cantidad de métodos para proteger los contenidos digitales, entre ellos está la esteganografía, que puede ser definida como el conjunto de procedimientos para ocultar información a simple vista, entre estas técnicas se encuentran: las marcas de agua, en las cuales todos los objetos son marcados de la misma manera; y las huellas digitales, donde cada objeto es marcado específicamente, este hecho hace que no sea factible dar a cada contenido una huella única.

Algunos de estos métodos incrustan una marca de agua fácil de remover y destruir si el archivo es modificado, pero son de gran uso para demostrar que el contenido no ha sido alterado, estas marcas son conocidas como frágiles. En contraste, se encuentran las marcas robustas, que no son fácilmente perceptibles ni se pueden destruir por simples modificaciones, estos métodos son más complejos, por lo que estas marcas tienen como finalidad la declaración de propiedad del modelo (14).

Otra división que se puede hacer de las marcas de agua va de acuerdo con el algoritmo con que son incrustadas, las espaciales ocultan información por medio de la modificación de la topología de los vértices que conforman la malla del objeto 3D, mientras que las frecuenciales se basan en el análisis de funciones matemáticas, como es el caso de la transformada Wavelet y la DCT.

También se pueden dividir las marcas de acuerdo al método de extracción en: ciegas, que son aquellas que no requieren del modelo original para su extracción, sólo del objeto

marcado; y no-ciegas que requieren del modelo original para la separación de la marca (10). Ver Fig. 8.

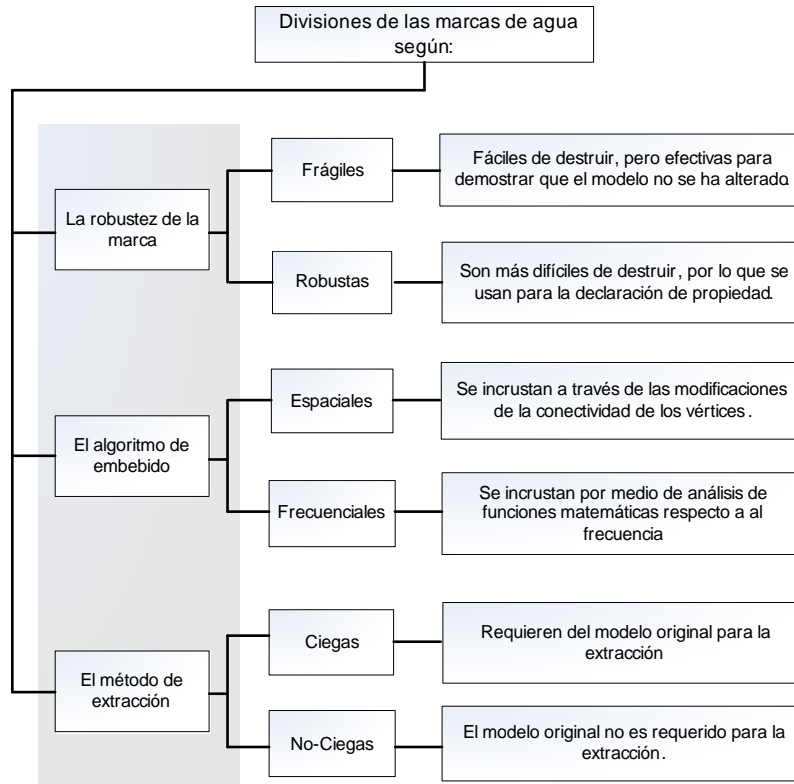


Fig. 8 Divisiones de las marcas de agua

Como se dijo anteriormente, las marcas de agua son usadas para ocultar información, son incrustadas al modelo a través de un proceso llamado embebido; el primer paso consiste en codificar el objeto 3D y la marca de agua, este paso varía dependiendo del método de embebido de la marca de agua; por ejemplo, se puede usar la compresión espectral de una malla, del cual ya se habló.

Es usual que se requiera de una llave para la inserción de la marca, la cual se genera como una secuencia de bits. Una vez que la marca ha sido embebida, se obtiene un objeto marcado, que contiene al modelo original y a la marca de agua, el objeto es distribuido a través de un medio, que lo lleva al usuario final.

Para comprobar que el objeto no ha sido alterado, se debe extraer la marca, para esto se requiere de la llave usada en el proceso de decodificación; dependiendo del método empleado para el embebido de la marca de agua, será necesario o no el modelo original.

Por último, se analiza la marca de agua, esto se puede hacer comparando la marca extraída con la original, o bien por medio de operaciones matemáticas (14). Esto se puede observar en la figura 9.



Fig. 9 Proceso genérico de embebido y extracción de una marca de agua

V. CONCLUSIONES

Las facilidades para la distribución y copiado de contenidos digitales por medios electrónicos como internet, han facilitado la incidencia de ataques que atentan contra la propiedad intelectual y la autenticidad de las obras, lacerando los intereses de sus autores o de las compa n as que los comercializan legalmente.

Los modelos 3D también son blancos de estos ataques, por lo que es importante implementar soluciones de seguridad apropiadas a cada tipo de ataque. Entre las técnicas más empleadas para este propósito destacan las marcas de agua que ayudan a ocultar información, ya sea del autor o propietario, de control de copias autorizadas o para la verificación de integridad de las mallas.

Los procesos de relacionados con el marcado deben ser eficientes en su cálculo y no deben impedir el buen funcionamiento de los modelos en las aplicaciones para las cuales fueron creados. Desde hace más de una década se han propuesto algoritmos para embeber marcas de agua en las mallas características de dichos modelos con resultados satisfactorios. También se han explorado otros métodos, como los de firmas digitales, basados en técnicas criptográficas.

AGRADECIMIENTOS

MAMV agradece el apoyo recibido de la Secretaría de Investigación y Postgrado (SIP) y de COFAA del IPN México, y al proyecto 20100682. JMS agradece el apoyo recibido por la SIP por participar en el Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI).

REFERENCIAS

1. Glosario. Red Iberoamericana para la Acreditación de la Calidad de la Educación Superior. Documento en línea. Disponible en: <http://www.riaces.net/glosariom.html>. Fecha de consulta: 20 de febrero, 2010.
2. Benedens O. Geometry-Based Watermarking of 3D Models. Computer Graphics and Applications. s.l. : IEEE, 1999. Vol. 19, 1.



3. Ohbuchi R., Masuda H. and Aono M. Watermarking three-dimensional polygonal models through geometric and topological modifications. IEEE journal on selected areas in communications. 1999. Vol. 16.
4. Chou C. M. and Tseng D. C. Technologies for 3D Model Watermarking: A Survey. International Journal of Computer Science and Network Security. 2007. Vol. 7, 2.
5. Harte T. and Bors A. G. Watermarking 3D models. International Conference on Image. 2002. Vol. 3.
6. Prados E. and Faugeras O. Shape from shading. Documento en línea. Disponible en: <http://ftp-sop.inria.fr/odyssee/Publications/2005/prados-faugeras:05.pdf>. Fecha de consulta: 14 de octubre, 2009.
7. Modelos de representación geométrica. Documento en línea. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/msp/arguelles_g_r/capitulo2.pdf. Fecha de consulta: 20 de septiembre, 2009.
8. Modelos de representación de objetos 3D. Documento en línea. Disponible en: http://informatica.uv.es/iiguia/AIG/web_teoría/tema1_nv.pdf. Fecha de consulta: 14 de octubre, 2009.
9. Karni Z. and Gotsman C. Spectral Compression of Mesh Geometry. International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. 2000.
10. Pan Z., Feng X. and Sun S. Management and Protection of 3D Content. Documento en línea. Disponible en: <http://www.jtc1dcmp.org/Doc/SGDCMP%20m016%20Management%20and%20Protection%20of%203D%20content.pdf>. Fecha de consulta: 10 de septiembre, 2009.
11. Levoy M. The Digital Michelangelo Project Archive of 3D Models. Documento en línea. Disponible en: <http://graphics.stanford.edu/data/mich/>. Fecha de consulta: 4 de agosto, 2009.
12. Corsinia M., Ucheddua F., Bartolinia F., Barnib M., Caldellia R., Cappellinia V. 3D Watermarking Technology: Visual Quality Aspects. Documento en línea. Disponible en: <http://vcg.isti.cnr.it/~corsini/publications/vsmm2003.pdf>. Fecha de consulta: 25 de octubre, 2009.
13. Eshraghi M. and Samavati F. F. 3D Watermarking Robust to Accessible Attacks. International Conference on Immersive Telecommunications. 2007. 4.
14. Cummins J., Diskin P., Lau S. and Parlett R. Steganography and digital watermarking. Documento en línea. Disponible en: <http://www.cs.bham.ac.uk/~mdr/teaching/modules03/security/students/SS5/Steganography.pdf>. Fecha de consulta: 13 de agosto, 2009.



15. Seguridad Inform  tica. Documento en l  nea. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/ciberhabitat/museo/cerquita/redes/seguridad/intro.html>. Fecha de consulta: 24 de septiembre, 2009.
16. Mao X., Shiba M. and Imamiya A. Watermarking 3D Geometric Models Through Triangle Subdivision. Security and Watermarking of Multimedia Contents III, Proceedings of SPIE. s.l. : Ping Wah Wong and Edward J. Delp III Editors, 2001. Vol. 4314.