

CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO VIRTUAL DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS A TRAVÉS DE LA TÉCNICA LOD – LEVEL OF DETAIL DEL LENGUAJE VRML –VIRTUAL REALITY MODELING LANGUAGE

Pedro Luis Hippolyte O.

Sector de Estudios Urbanos, Escuela de Arquitectura
Carlos Raúl Villanueva, Facultad de Arquitectura y Urbanismo,
Universidad Central de Venezuela

RESUMEN

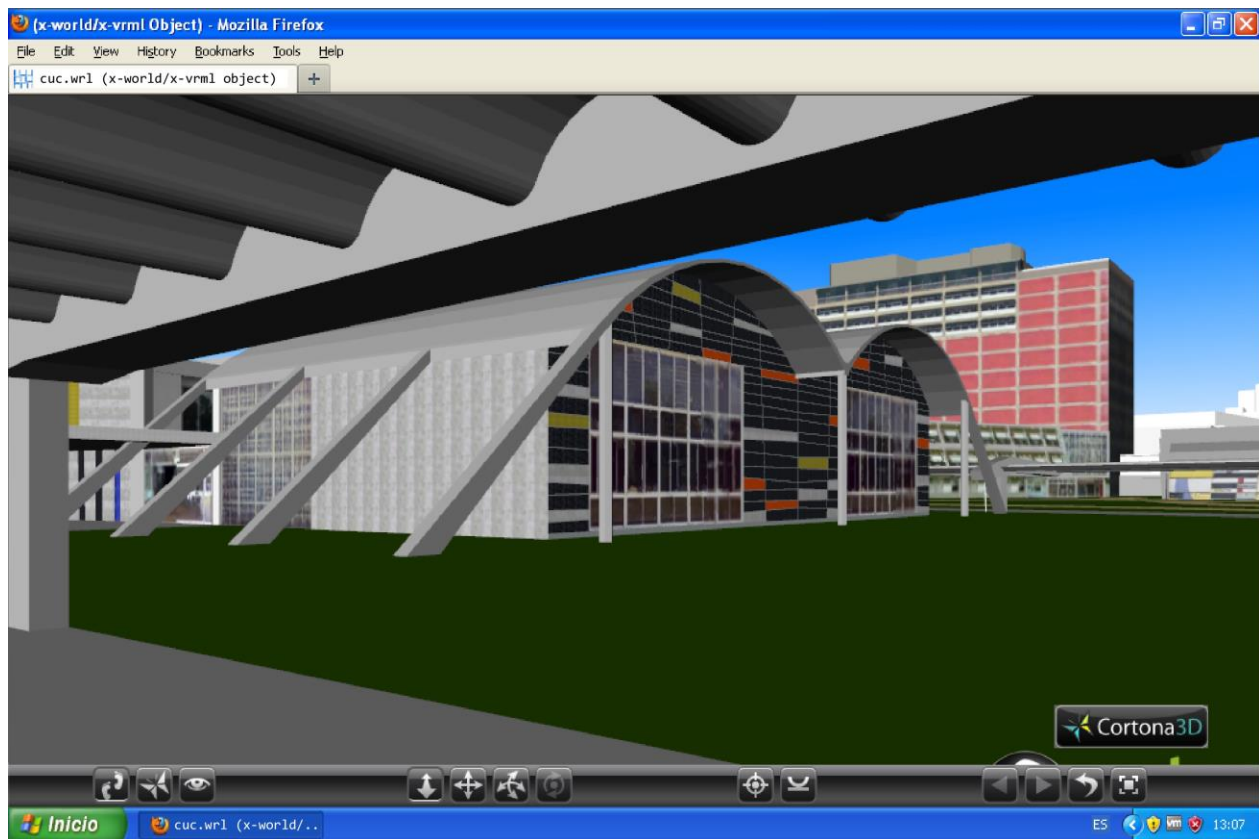
La construcción de un modelo 3D complejo –bajo tecnología VRML– de un grupo de 89 edificios declarados Patrimonio Cultural de la Humanidad por la Unesco en el año 2000, requirió la implementación de técnicas especiales durante el desarrollo del proyecto de investigación titulado “Ciudad Universitaria de Caracas, patrimonio cultural en el ciberespacio”, patrocinado por el Consejo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela –CDCH. El lenguaje VRML –Virtual Reality Modeling Lenguaje (lenguaje de modelado de la realidad virtual, creado en el año 1977 para representar objetos 3D en tiempo real en el ambiente web, cuenta con una poderosa herramienta denominada LOD –Level of Detail (Nivel de detalle). Esta herramienta permite definir un conjunto de modelos 3D simplificados de un mismo objeto, los cuales pueden ser activados de acuerdo con la distancia que se encuentre el observador. Ello reduce drásticamente la velocidad de cálculo del computador, ya que para un objeto complejo con centenares de polígonos que ocupe un espacio de 4 x 4 pixels en la pantalla, el computador necesitaría realizar numerosos cálculos que al final no podrían apreciarse. Para el desarrollo del modelo virtual de la Ciudad Universitaria de Caracas se utilizaron tres niveles de detalle, los cuales se activan a las distancias de 50 m, 150 m y más de 250 m. Cada modelo 3D fue simplificado utilizando en la construcción grupos, subgrupos, componentes y fotos reales –en baja resolución– de cada edificio, con el objeto de reducir la complejidad del modelo. Todo ello permite una navegación en tiempo real dentro del modelo de la Ciudad Universitaria de Caracas con un tiempo de respuesta aceptable para el ambiente web.

740

Palabras clave: realidad virtual, VRML, Ciudad Universitaria de Caracas, modelo 3D.

INTRODUCCIÓN

El surgimiento en el año 1977 del VRML, acrónimo del inglés Virtual Reality Modeling Language –Lenguaje de modelado de la realidad virtual, como herramienta para manejar en modelos tridimensionales dentro del ambiente web, permitió la exploración de modelos 3D en tiempo real de una manera sencilla y dinámica. Los modelos virtuales que solo podían explorarse a través de los programas con los que fueron construidos no fueron adecuados para su difusión en Internet; ahora, a través del VRML podían insertarse en una página web y recorrerse a través de un click del ratón. El navegador se apoya en un *plug-in* especial que reconoce este tipo de formato y activa un conjunto de botones que nos permiten desplazarnos dentro del modelo virtual, usando el ratón o teclas (flechas de movimiento del cursor), (véase figura 1).



741

Figura 1. Navegando en el modelo VRML de la Ciudad Universitaria de Caracas.

Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo del modelo virtual de la Ciudad Universitaria de Caracas –CUC contó con el valioso apoyo del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela –CDCH, a través de un proyecto individual N° PI 02-00-6953-2007, el cual aportó los recursos para el desarrollo de la investigación.

El modelo virtual de la CUC consta de más de 89 edificaciones, algunas muy complejas, por lo que fue necesario aplicar esta técnica para manejar todo el conjunto. La computadora debe realizar los cálculos para todos los objetos 3D sin importar su tamaño. Es decir, un edificio que ocupe medio centímetro en la pantalla que posea muchos polígonos y ejes necesita los mismos cálculos que si ocupara toda la pantalla. La recreación del modelo se logra a través de cálculos matemáticos muy complejos, por lo tanto, cuanto más objetos 3D y materiales contenga el modelo, mayor serán los cálculos y tiempo de respuesta del computador para pasar de una escena a otra, todo en tiempo real, lo que puede provocar un retardo considerable que hace inviable la exploración del modelo.

La investigación analizó en detalle la técnica LOD, al igual permitió definir un conjunto de criterios para producir diferentes versiones simplificadas del modelo 3D, apoyándose en el uso de grupos, subgrupos y componentes.

Antecedentes

La Ciudad Universitaria de Caracas (CUC) es proclamada por la Unesco patrimonio cultural de la humanidad el 02/12/2000, principalmente por:

1. Representar una obra de arte del genio creador humano.
2. Ser un ejemplo eminentemente de un tipo de construcción o de un conjunto arquitectónico o tecnológico o de paisaje, que ilustre uno o más períodos significativos de la historia humana

El conjunto de la Ciudad Universitaria de Caracas, obra del arquitecto venezolano Carlos Raúl Villanueva, representa, con una calidad sobresaliente, una gran parte de los más altos ideales y proposiciones del urbanismo, la arquitectura y el arte modernos. La CUC es la utopía moderna construida, simboliza el anhelo por alcanzar un mundo ideal de perfección para una sociedad y un hombre nuevos que habían surgido en el mundo occidental a raíz de los trascendentales cambios filosóficos, sociales, tecnológicos y estéticos ocurridos en los siglos anteriores.

Este hecho marca una pauta en la historia de la Universidad Central de Venezuela, motivando así, entre otras cosas, a preservar, desarrollar y difundir los valores culturales, arquitectónicos y artísticos que en ella se contienen.

El apoyo de Internet, para la difusión de dichos valores, es innegable, ya que se trata de un medio idóneo y público que permite llegar a todo tipo de usuario desde cualquier lugar del planeta. La posibilidad de visitar la CUC en el ciberespacio¹ pondría al alcance de un significativo número de personas los valores arquitectónicos espaciales.

En Internet, y específicamente en torno a la CUC, existen pocas propuestas que permitan explorar y conocer su espacio arquitectónico. Cabe destacar una magnífica página web denominada “Centenario de Carlos Raúl Villanueva”, la cual consta de abundante información sobre la CUC, pero no posee modelos digitales que puedan explorarse usando técnicas de realidad virtual,

¹El ciberespacio, término utilizado por primera vez por el escritor William Gibson en su novela *Neuromante* (1984), es una realidad virtual que se encuentra dentro de los computadores y redes del mundo y se refiere generalmente a los objetos e identidades que existen dentro de las redes de informática.

entendiéndose como tala un sistema o interfaz informático que genera entornos sintéticos en tiempo real, representación de las cosas a través de medios electrónicos o representaciones de la realidad; una realidad ilusoria, pues se trata de una realidad perceptiva sin soporte objetivo, sin red extensa, ya que existe solo dentro del computador.

La realidad virtual se puede percibir de dos formas: inmersiva y no inmersiva. La primera se refiere a ambientes tridimensionales creados en el computador que son apreciados a través de dispositivos electrónicos: cascos, guantes de datos, sensores de movimiento, etc. La segunda se refiere también a los ambientes tridimensionales pero con la diferencia de que los mismos son apreciados a través de los dispositivos más comunes de un computador, como son la pantalla y el ratón, lo cual disminuye costos y lo hace más accesible a cualquier usuario.

La implementación de un sistema de realidad virtual no inmersiva en Internet, se logra por medio del uso del VRML –Virtual Reality Modeling Language (Lenguaje para modelado de realidad virtual).

Los primeros intentos de acercar la realidad virtual a la Internet se produce con la reunión de dos pioneros de Word Wide Web, Tim Berners-Lee y Dave Ragget, quienes llegan a la conclusión que se debe desarrollar un lenguaje común para la descripción de los mundos en 3D. La primera versión oficial del VRML 1.0 surge en 1994, luego apareció al año siguiente VRML 2.0, que incorpora mayor número de prestaciones, siendo la más importante la capacidad de interacción con el mundo virtual. El VRML constituye un estándar para la creación de mundos virtuales en Internet, los cuales pueden ser visitados a través de Internet por un universo de 1.076.2003.987 usuarios, según estadísticas mundiales del 27/11/2006.

La investigación persigue estudiar los aspectos más sobresalientes de la CUC: edificaciones, espacios, áreas verdes,... y sintetizar los mismos en un modelo tridimensional mediante el uso de la realidad virtual no inmersiva (VRML), apoyándose diferentes niveles de detalle para simplificar el nivel de complejidad del modelo digital, de manera que pueda ser visitado por cualquier usuario sin altos requerimientos computacionales (*hardware*).

Comprendiendo el comando LOD – Level of Detail

La instrucción LOD del lenguaje VRML tiene la siguiente sintaxis:

Instrucción	Ejemplo de aplicación
<pre> LOD { range [a b c] center x y z level [#nivel c, #nivel b, #nivel a] }</pre>	<pre> LOD { range [5 15 35] center 0 0 0 level [Cono_v2.wrl, Cono_v1.wrl, Cono_v0.wrl] }</pre>

La instrucción se inicia con el comando LOD, seguidamente se especifican las distancias en las cuales deben activarse las diferentes versiones del modelo (*range*) con respecto a las coordenadas *x* y *z* (*center*) y los diferentes modelos que serán cargados (*level*). Es decir, cuando el observador se encuentre a 195 unidades de distancia –5 m, aproximadamente– se presentará el modelo llamado Cono_v2.wrl, cuando la distancia sea de 585 unidades –15 m, aproximadamente– se presentará el modelo llamado Cono_v1.wrl y cuando la distancia sea mayor de 1521 unidades –35 m, aproximadamente– se presentará el modelo Cono_v0.wrl. Los modelos que se presentan tienen diferentes geometrías y, por consiguiente, peso Kbytes. A medida que el observador se acerca aumenta el nivel de detalle de los elementos y a medida que se aleja se usa un modelo más simplificado. En la figura 2 podemos observar estas características (geometría, peso, etc.).

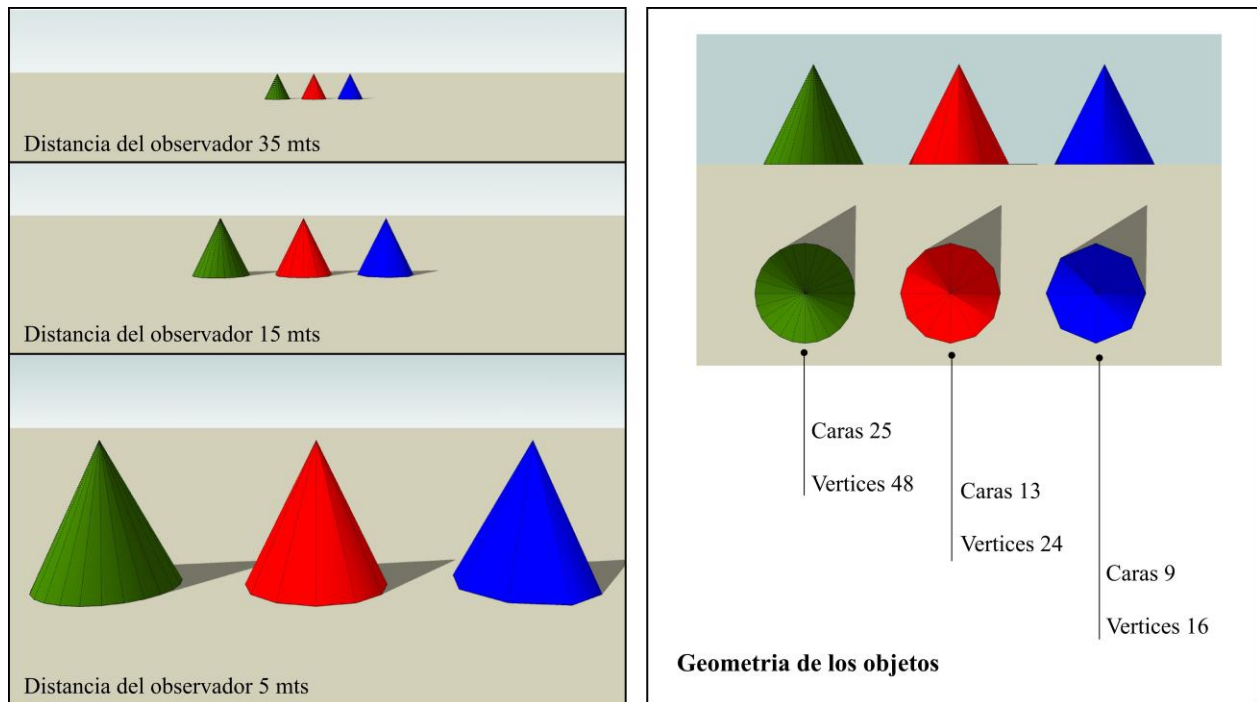


Figura 2 – Aplicando el LOD en una figura sencilla (cono). Fuente: Elaboración propia.

La aplicación del LOD en los edificios de las CUC partió como premisa que a mayor distancia no es necesario mostrar los detalles de la edificación. Se establecieron tres niveles de detalle que se activarían a una distancia de 100 m, 200 m y más de 250 m. Para ello se construyó un modelo 3D de estudio, que sirvió de referencia para simular la ubicación de un observador a las distancias antes señaladas. Se exportaron las vistas y se compararon con fotografías desde los mismos puntos de referencia.

ESTRATEGIA DE CONSTRUCCIÓN DEL MODELO VIRTUAL DE LA CUC

Modelado 3D del edificio, nivel detallado (V2)

Para el modelo 3D se utilizó el programa Google SketchUp Pro (versión 8) ahora denominado Trimble SketchUp Pro 2013, ya que es una aplicación muy versátil y de fácil uso. Los edificios fueron modelados usando técnicas de grupos, subgrupos y componentes para reducir la complejidad del modelo. Cada modelo fue texturizado usando imágenes reales del edificio, las cuales fueron editadas y simplificadas usando el programa Adobe PhotoShop.

El aspecto más importante para modelar cada edificio con el objeto de simplificar la geometría se basó en:

- Identificación de los elementos repetitivos del modelo (columnas, ventanas, etc.)
- Simplificar los componentes complejos en varios subcomponentes anidados
- Eliminar o sustituir los objetos complejos (círculos, polilíneas) con objetos más sencillos. En el caso de elementos curvos de más de 24 segmentos se simplificó a 5 o menos
- Usar imágenes reales del edificio –de poco peso Kbytes– para texturizar el modelo e imprimirle mayor realismo

En la figura 3 se analizan los aspectos geométricos del modelo digital del edificio de la Facultad de Arquitectura (torre), aplicando los criterios antes expuestos.

745

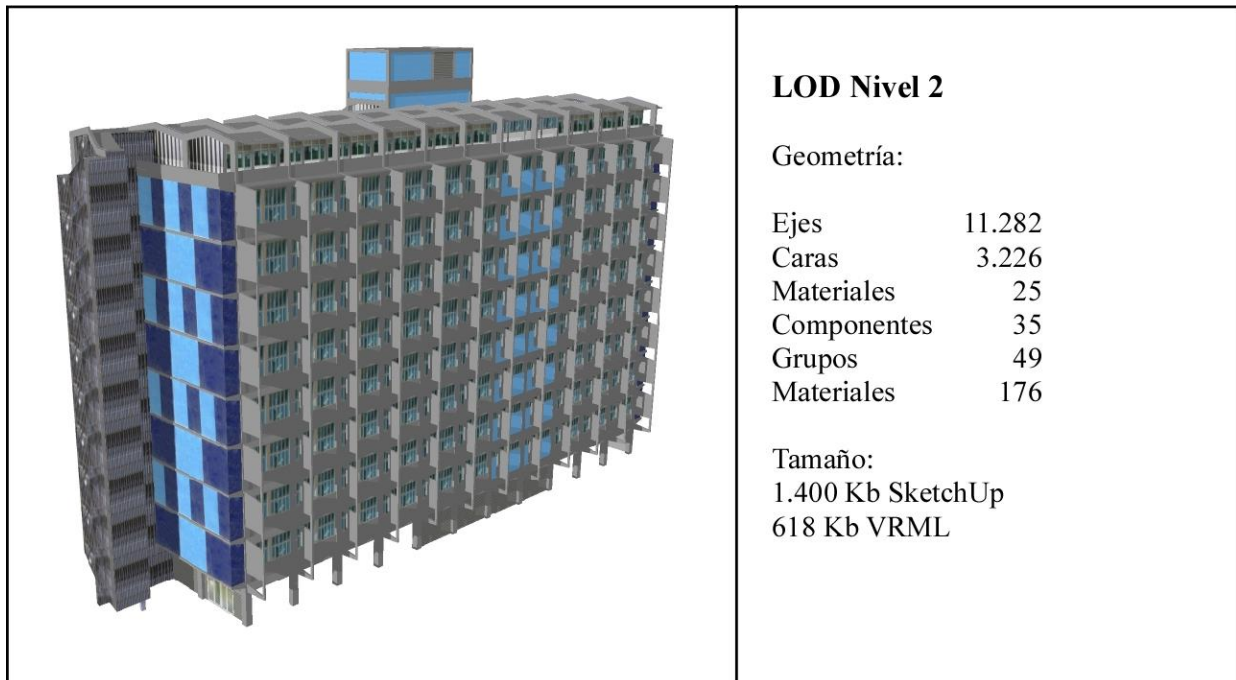


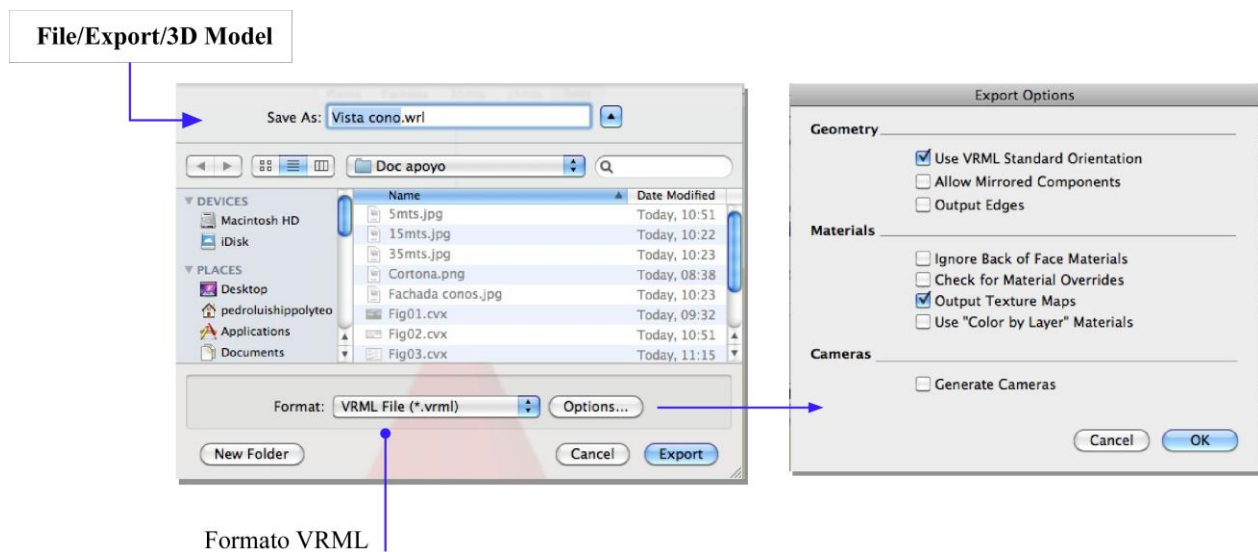
Figura 3. Características generales del modelo 3D de la Facultad de Arquitectura (v2).

Fuente: Elaboración propia.

Generación del modelo VRML

El modelo digital desarrollado en SketchUp fue transformado a lenguaje VRML mediante un proceso de exportación. El programa dispone de un comando que realiza esa función de manera muy sencilla; solo debe especificarse un conjunto de parámetros antes de iniciar el proceso de exportación (véase figura 4). El resultado final es un archivo en formato wrl (World – mundo) que puede reconocer el *plug-in* del VRML instalado en el navegador web y a través de una ventana.

En el caso del modelo denominado detallado V2, el archivo VRML ocupa 618 Kb + 21 imágenes de 782 Kb = 1400 Kb.



746

Figura 4. Exportación a VRML. Fuente: Elaboración propia.

Modelado 3D del edificio, nivel medio (V1)

Para la construcción del modelo denominado nivel medio (V1) se tomó como base el modelo V2. Se eliminaron los componentes más complejos y detalles, ya que el edificio comenzaría a visualizarse a una distancia de 250 m (8.000 unidades en VRML). Para texturizar el modelo se exportaron en formato JPG las cuatro fachadas del edificio del nivel V2. Se editaron y redujeron usando el programa PhotoShop; todas las imágenes fueron colocadas nuevamente en el modelo mediante el comando de importación, lo que redujo considerablemente el peso (Kbytes - Kb) del modelo. En el caso del modelo denominado detallado V1, el archivo VRML ocupa 41 Kb + 8 imágenes de 253 Kb = 294 Kb (véase figura 5).

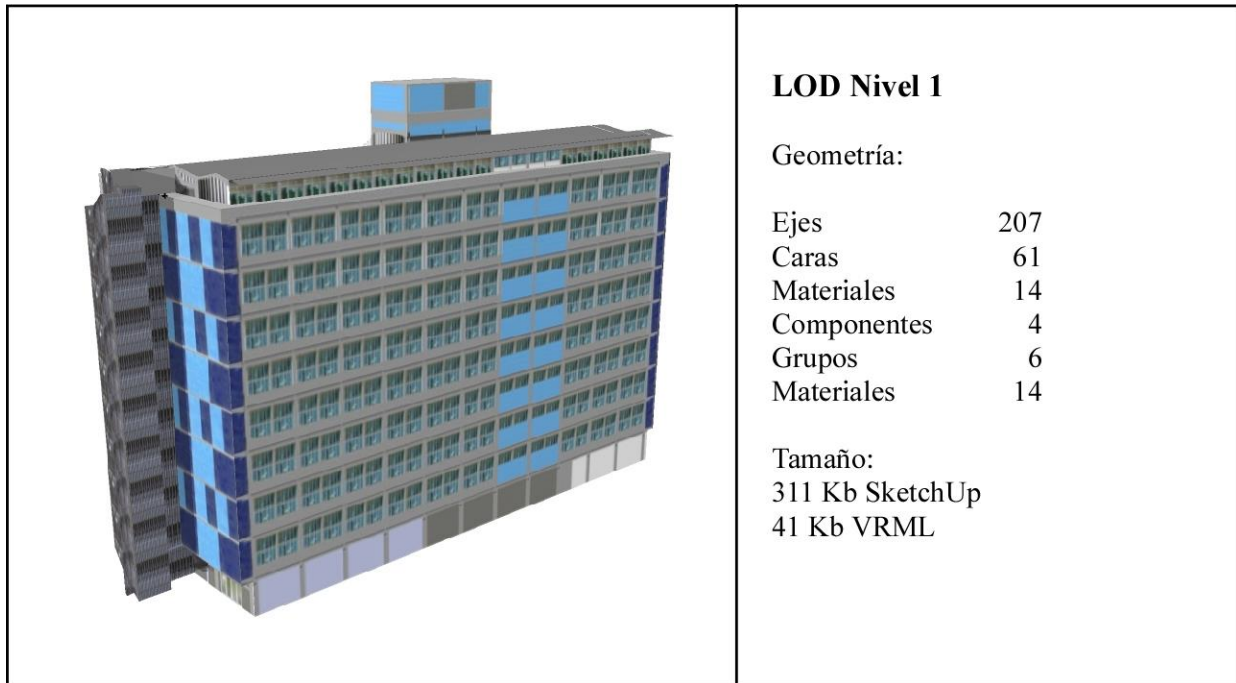


Figura 5. Características generales del modelo 3D de la Facultad de Arquitectura (v1).

Fuente: Elaboración propia.

Modelado 3D del edificio, nivel básico (V0)

Para la construcción del modelo denominado nivel básico (V0) se tomó como base el modelo V1, se simplificó aun más los elementos principales del modelo y se eliminaron todas las texturas. Este modelo es el más volumétrico y será desplegado a una distancia mayor de 250 m (10.000 unidades en VRML), (véase figura 6).

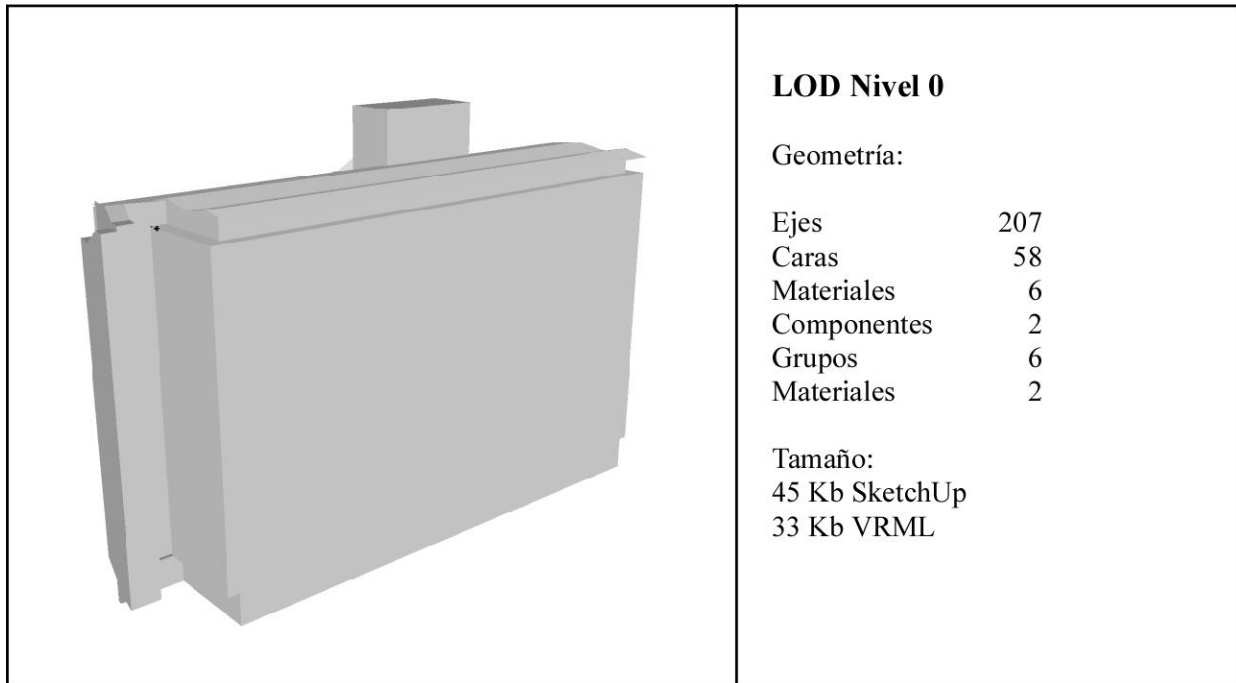


Figura 6. Características generales del modelo 3D de la Facultad de Arquitectura (v0).

Fuente: Elaboración propia.

Integrando los diferentes niveles de detalle V2, V1 y V0

Las exportaciones a VRML generaron innumerables archivos wrl y jpg. Para organizar de una manera racional, se optó por colocarlas en directorios (carpetas) para cada modelo V0, V1 y V2 del edificio. El modelo completo de la Ciudad Universitaria de Caracas –CUC, está organizado en 212 carpetas que ocupan un total de 97 Mbytes. El archivo principal se denomina 000_cuc.wrl, el cual contiene las instrucciones principales para cargar los diferentes edificios de acuerdo con la distancia en que se encuentren. Para ello se utilizó una instrucción del lenguaje VRML denominada Inline, combinada con la instrucción LOD. A continuación se describe la sintaxis de la misma.

Instrucción	Ejemplo de aplicación
<pre>LOD { range [a b c] center x y z level [#nivel c, #nivel b, #nivel a] }</pre>	<pre>LOD { range [4000 8000 10000] center 6817.835 0 6027.728 level [Inline { url "030_fac1_v2/030_fac1_v2.wrl" }, Inline { url "030_fac1_v1/030_fac1_v1.wrl" }, Inline { url "030_fac1_v0/030_fac1_v0.wrl" }] }</pre>

El ejemplo antes señalado se utilizó para cargar todos los edificios de la CUC y activar los diferentes niveles de detalle de acuerdo con la distancia al centro del edificio (centroide). La instrucción se inicia con el comando LOD, seguidamente se especifican las distancias en las cuales deben activarse las diferentes versiones del modelo (*range*) con respecto a las coordenadas x y z (*center*) y los diferentes modelos que serán cargados (*level*). Es decir, cuando el observador se encuentre a 4.000 unidades de distancia –100 m, aproximadamente– se presentará el modelo llamado fac1_v2.wrl; cuando la distancia sea de 8.000 unidades –200 m, aproximadamente– se presentará el modelo llamado fac1_v1.wrl y cuando la distancia sea mayor de 10.000 unidades –250 m, aproximadamente– se presentará el modelo fac1_v0.wrl .

Para usar adecuadamente la instrucción LOD fue necesario determinar los centroides o punto de referencia de cada edificio. Para ello se colocó un eje de referencia en el centro geométrico del edificio y se exportó a VRML, de esta manera se obtuvo las coordenadas x, y, z para colocarlas dentro de la instrucción LOD.

El control de todos los edificios de la CUC se organizó en un cuadro (véase figura 7).

CONTROL DE LEVANTAMIENTO DE MODELOS 3D												
EDIFICIOS CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS												
TOTAL PROCESADOS--> 73 de 73 ...faltan 0												
ID	Codigo ICU	Edificio	Edif.	Listo	SketchUp		VRML		Total Kb	Centroide VRML		Observaciones
					Simple	Volum	Simple	Volum	Carpeta V2	x y z		
001	-	Plaza Rectorado										
002	008	Edificio Museo	1	1	2.000	1.400	44	364	1.100	2000.432	0 -4483.207	*Incluido en terreno 3D
003	009	Edificio Rectorado	1	1	612	892	48	276	1.200	285.13	0 -2261.712	
004	007	Edificio Comunicaciones	1	1	696	1.100	28	360	988	-947.498	0 -4150.72	
005	-	Reloj UCV (campanario)	1	1	52	92	4	32	76	2786.767	0 -6297.617	
006	-	Centro directivo cultural										
007	014	Plaza cubierta	1	1	384	2.300	96	2.100	2.700	177.496	0 -567.078	
008	011	Aula Magna	1	1	632	732	236	556	1.100	1333.634	0 950.735	
009	010	Paraninfo	1	1	464	476	72	40	492	-930.288	0 -958.781	
010	012	Sala de conciertos	1	1	392	592	40	132	1.100	1401.163	0 3489.83	
011	013	Edificio biblioteca central										
011	013	Torre biblioteca central	1	1	1.000	1.700	28	160	876	802.317	0 5507.654	
011	013	Sala de lectura	1	1	144	744	32	176	472	2394.133	0 5177.914	
012	-	Torre de enfriamiento	1	1	344	288	8	92	224	-1154.997	0 4377.636	
013	-	Tierra de nadie	1	1								*Incluido en terreno 3D
014	070	Hospital clínico universitario	1	1	1.500	1.900	1.100	2.400	2.700	-13387.587	0 2689.031	
015	003	Instituto de Medicina Experimental	1	1	1.900	2.000	540	564	1.700	-4813.298	0 4537.42	
016	005	Instituto Anatómico	1	1	1.500	1.500	72	68	844	-4722.955	0 22.197	
017	006	Instituto de Medicina Tropical	1	1	1.300	1.200	120	188	780	-5318.557	0 -7375.93	
017	-	- Auditorio										
071	-	- Caseta de bombas y transformadores	1	1	213	295	53	266	446	-2416.37	0 -6589.661	
017	-	- Cafetería										
017	-	- Serpentario (este)										

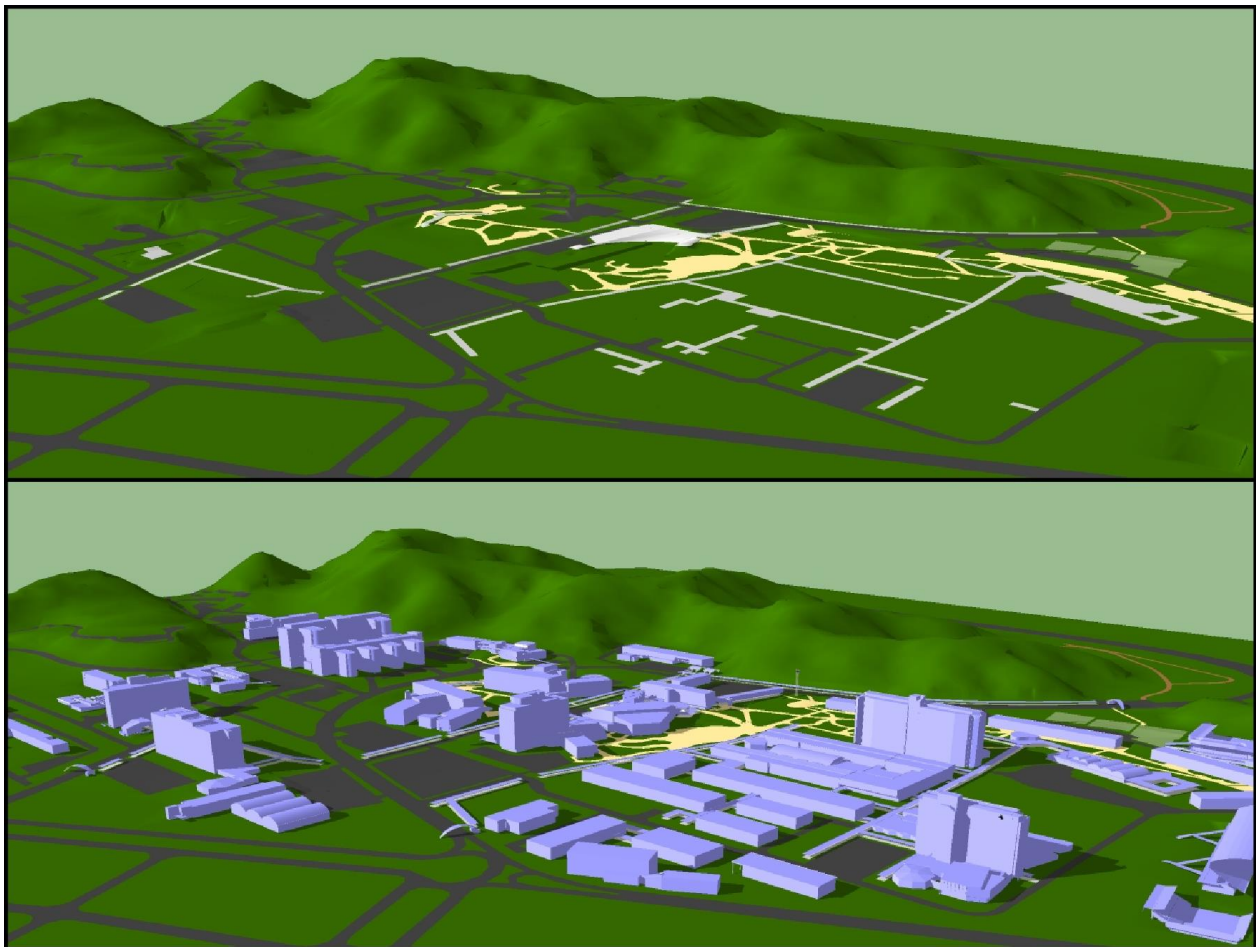
Figura 7. Organización y control del modelo VRML. Fuente: Elaboración propia.

El cuadro mostrado en la figura 7 sirvió para llevar un control de los edificios levantados, así como los tamaños de los archivos en los diferentes formatos y niveles de detalle, algo muy importante para que el modelo funcione adecuadamente.

ESTRATEGIA DE CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS COMPLEJOS

La mayoría de los edificios de la Ciudad Universitaria están constituidos por una edificación simple, pero hay otros casos como el centro directivo cultural, el cual es un conjunto de ocho edificios: Plaza Cubierta, Aula Magna, Paraninfo, Museo, Rectorado, Comunicaciones, Sala de Conciertos y Biblioteca. Este conjunto se trató como edificaciones independientes y se realizaron tres modelos en diferente nivel de detalle para cada uno. El mismo procedimiento se aplicó para el conjunto de la Facultad de Arquitectura, el cual se dividió en tres edificaciones: talleres, torre y auditorio con exposiciones.

La construcción 3D del terreno de la CUC fue una tarea compleja, ya que no se pudo implementar la técnica LOD por tratarse de un objeto difícil de separar en partes. Se optó por simplificar la topografía trabajando con curvas de nivel cada 5 m en la parte de la montaña (véase figura 8). Para ello se utilizó un plano obtenido del Consejo de Preservación y Desarrollo – Copred, Conjunto CUC N° 18a, escala 1:2000, año 1984. Además se utilizó como referencia 9 planos topográficos de la zona (I24, I25, I26, J24, J25, J26, K24, K25 Y K26) en formato Vectorworks.



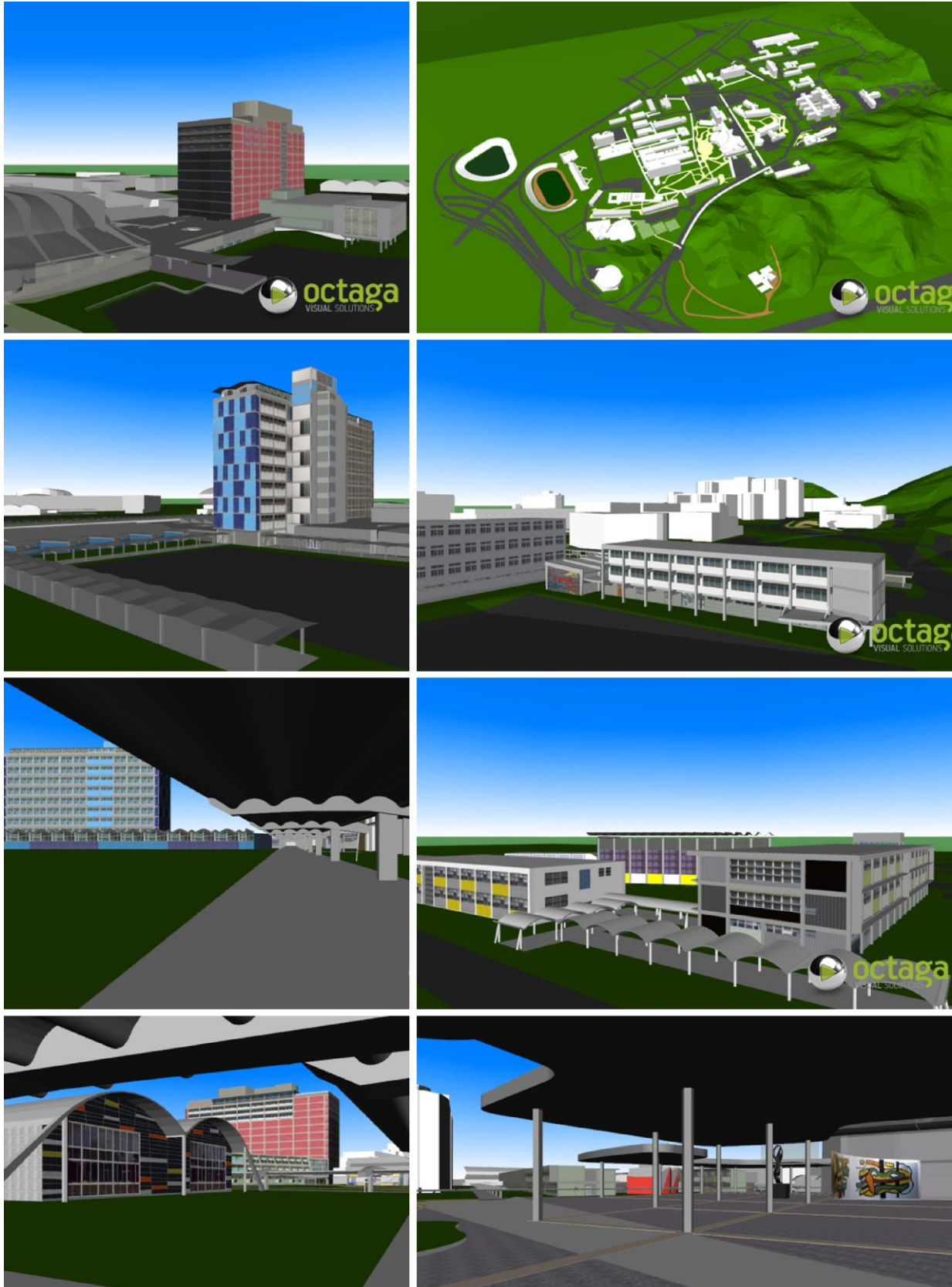
750

Figura 8. Modelo simplificado del terreno de la CUC. Fuente: Elaboración propia.

EXPLORANDO EL MODELO VRML DE LA CUC

El modelo está alojado en el servidor de Copred, por ahora solo tiene acceso restringido para pruebas de desempeño. En estos momentos se encuentra en proceso la construcción de un área dentro de la página web, por la cual se puede entrar al modelo virtual de la CUC, en la siguiente dirección: <http://www.ucv.ve/organizacion/rectorado/direcciones/consejo-de-preservacion-y-desarrollo-copred.html>

El modelo virtual puede explorarse a través de vistas predefinidas de áreas o edificios de la CUC o usando la modalidad de caminar o volar (véase figura 9). Dependiendo del *plug-in* utilizado, Cortona 3D Viewer o Octaga Player, dispondrá de diferentes opciones de navegación.



752

Figura 9. Vistas del modelo virtual de la CUC. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

La construcción de un modelo virtual tan complejo como la Ciudad Universitaria de Caracas, el cual está conformado por más de 73 edificios, solo fue posible gracias a la construcción de diferentes versiones de cada edificio que pueden visualizarse usando el comando LOD (Level of Detail) del lenguaje VRML –Virtual Reality Lenguaje. A través de esta investigación fue posible establecer un conjunto de criterios que permitió la simplificación de los modelos digitales en objetos más manejables para el ambiente de Internet, modelos más sencillos que pueden explorarse en tiempo real, logrando una experiencia muy amena e interesante. El tratamiento modular de cada edificio facilita incorporar cambios de manera rápida.

Así mismo, los modelos virtuales son representativos del original, ya que incorporan fotos reales del edificio, las cuales se usan para texturizar el modelo y simplifican muchos elementos, que usados de otra forma añadirían más complejidad y, por consiguiente, más tiempo de cálculo por parte del computador, haciéndolo pesado y tedioso.

El uso del VRML para recrear modelos virtuales complejos abre un abanico de posibilidades, ya que pueden incorporarse tantos niveles de detalle como sea necesario.

REFERENCIAS

- Bellido G., M.L. (2002). Patrimonio cultural en Internet: diseñando un modelo alternativo. Mérida.
- Carr, M. y England, L. (1995). *Simulated and virtual realities*. Londres.
- Copred. (2006). Sistema de información para la gestión patrimonial de la UCV –SigpUCV. Extraído en diciembre de 2007 de <http://www.ucv.ve/estructura/rectorado/direcciones/consejo-de-preservacion-y-desarrollo-copred/sigpucv-consulta-en-linea.html>
- Consortium W3C. Foro para la creación de standart abiertos en la Web. Extraído en febrero de 2009 de <http://www.web3d.org/realtime-3d/>
- TAL, D. (2009). *Google sketchup for site design*. ASLA. New Jersey: John Wiley & Sons.
- FAU-UCV. (2000). Centenario Carlos Raúl Villanueva 1900-2000. Extraído en febrero de 2009 de <http://www.centenariovillanueva.web.ve/#Inicio>
- Google Inc. (2011). *Google skecthup for Mac OSX. User Guide*. USA.
- Google Inc. Modeling a city. Extraído en noviembre de 2007 de http://www.google.com/intl/es/sketchup/3dwh/pdfs/modeling_a_city.pdf
- Hartman, J. y Wernecke, J. (1996). *The VRML 2.0 handbook: building moving worlds on the Web*.

- Hernández de Lasala, S. (2006). *En busca de lo sublime: Villanueva y la Ciudad Universitaria de Caracas*. Caracas.
- Hippolyte O., P.L. (2011). Técnicas de modelado 3D en SketchUp para el manejo de modelos urbanos complejos en Google Earth. Caracas: Trienal de Investigación FAU 2011.
- Jagua, M.F. (2001). Construcción de una utopía moderna. Extraído en marzo de 2009 de http://www.kalathos.com/abr2001/arquitectura/cuc/cuc_jaua.htm
- Unesco Org. (2000). Ciudad Universitaria de Caracas. Extraído en octubre de 2008 de <http://whc.unesco.org/en/list/986>
- Smith, M. y Kollock, P. (2003). *Comunidades en el ciberespacio*. Barcelona: UOC.
- Szegdy-Maszak, Z. (1997). Introduction to VRML 2.0. Extraído en marzo de 1998 de <http://www.c3.hu/cryptogram/vrmltut/>
- Vacca J.R. (1996). VRML: bringing virtual reality to the Internet. Volumen 1.