



# Aplicación de técnicas de iluminación para obtención de cuencas visuales en estudios de impacto ambiental

Luis Hernández Ibáñez, Antonio Seoane Nolasco, Alberto Jaspe Villanueva, Javier Taibo Pena

VideaLAB – Universidad de A Coruña

{lhernandez,aseoane,jaspe,jtaibo}@udc.es

**Resumen.** El análisis de las cuencas visuales cobra cada vez más interés en los estudios de impacto ambiental en proyectos de nueva obra para determinar la integración de la acción en el paisaje. Los SIG, herramientas habituales utilizadas para este fin, permitir extraer las cuencas visuales considerando exclusivamente el modelo digital del terreno, sin tener en cuenta volumetrías complejas como edificaciones o vegetación, que pueden estar presentes en el área. En este artículo se propone una metodología para generar estas cuencas visuales utilizando métodos clásicos de iluminación del ámbito de los gráficos por ordenador, mediante el uso de mapas de sombras, considerando cualquier geometría tridimensional sobre el terreno, y permitiendo su implementación en aplicaciones de visualización en tiempo real. Se presenta también en este artículo una aplicación de la metodología en un caso real.

**Palabras Claves.** Cuenca visual, iluminación, impacto ambiental, mapa de sombras.

## I. INTRODUCCIÓN

La visualización por computador del paisaje constituye una técnica valiosa para la determinación de la afectación visual que producirá una intervención proyectada en el mismo. En los estudios de impacto ambiental, uno de los requisitos suele ser el análisis del impacto visual de la nueva obra. Tradicionalmente el problema se ha abordado mediante el uso de técnicas variadas que dependen de la finalidad de la representación, que puede ser puramente técnica, de difusión pública, de toma de decisiones políticas, etc. Estas técnicas van desde el uso de imágenes estáticas retocadas a la animación 3D o la simulación en tiempo real.

La representación en movimiento del proyecto en el entorno natural es especialmente compleja, dado que requiere el

modelado de todos los elementos que rodearán la obra en un radio que puede llegar hasta donde alcance la vista. Ello implica representar el terreno, el arbolado, las edificaciones, viales, etc., dando lugar a modelos extensos que requieren de un tratamiento especial para su visualización [1]. La sensibilidad del proceso de visualización al tamaño, organización, volumen de texturas y otras características del modelo es especialmente elevada en el caso de la simulación en tiempo real.

La obtención de las cuencas visuales, esto es, el área geográfica visible desde un punto dado, es de vital importancia en los estudios de impacto ambiental requeridos para la aprobación de proyectos de implantación de nuevas construcciones que afectan a un ámbito territorial. Las cuencas visuales determinan si la nueva obra será visible desde un lugar en concreto cuyo entorno paisajístico no debe ser alterado -cuenca visual directa-, o bien indican desde qué zonas el nuevo elemento será visible afectándolas por tanto visualmente -cuenca visual inversa- [2].

El planteamiento tradicional para la determinación de la visibilidad de un nuevo proyecto parte de utilizar perfiles de terreno en las direcciones de observación requeridas, trazando sobre ellos líneas visuales desde los puntos de examen y analizando si estas trayectorias alcanzan a la construcción, o por el contrario se ven interrumpidas por el propio terreno, masas forestales u otros elementos. Con un número suficiente de líneas visuales es posible determinar el contorno de la cuenca visual correspondiente [3].

Los GIS suelen contar con herramientas para la representación de la cuenca visual correspondiente a un entorno territorial desde un punto de vista dado, considerando

únicamente el terreno. Ello es de gran utilidad para el diseño de redes de comunicaciones o la ubicación de torres de vigilancia contra incendios. Para ello desarrollan algoritmos de determinación de intervisibilidad entre un conjunto de puntos en torno al punto deseado o foco generándose perfiles del terreno radialmente en torno a dicho punto en los que se analiza su intersección con la visual. Sin embargo, estos sistemas no poseen herramientas para incluir en el problema modelos CAD complejos, que pueden incluir además una modificación sustancial del terreno, como es el caso de implantación de viales con el consiguiente y significativo movimiento de tierras ni el efecto de las masas boscosas o las edificaciones. Es por ello que, tradicionalmente, los estudios de impacto ambiental suelen presentar una serie de perfiles del terreno que cubren el punto de interés y la zona de proyecto, trazando las visuales correspondientes para la determinación de la visibilidad.

## II. OBJETIVOS

El planteamiento del trabajo que aquí se expone consiste en considerar que la obtención de cuenca visual de un punto sobre el terreno, incluyendo el proyecto construido, puede obtenerse no ya por métodos topográficos, sino derivados de las técnicas de iluminación utilizadas en gráficos por computador. El problema de la cuenca visual de un punto no es sino el problema recíproco al del cálculo de sombras de una luz teórica ubicada en dicho punto; sombras producidas por el propio terreno, las masas forestales y las construcciones intermedias. Así, el dominio abarcado por la cuenca visual en un punto es el complementario del mapa de sombra correspondiente a una luz ubicada en ese mismo punto. Denominaremos aquí mapa de sombra a la imagen asociada a la proyección en planta del terreno en el que cualquiera de sus pixels puede tener dos valores, dependiendo de si el punto topográfico correspondiente está iluminado o no.

Mediante gráficos por computador, resulta sencillo la obtención de un mapa de sombras una vez se cuente con un modelo digital tridimensional del terreno suficientemente preciso, un modelo de vegetación que se ajuste lo suficiente a la foresta real y el modelo del proyecto a imbricar en la topografía. Una vez obtenido, el mapa de sombras puede ser proyectado sobre la propia textura del terreno, permitiendo así la visualización del mismo para cualquier punto dado del entorno. Por lo que se refiere a la obtención de la cuenca visual inversa, esta puede obtenerse como el dominio unión de mapas procedentes de un conjunto de luces que cubran las edificaciones y área de proyecto cuya afectación se deseé comprobar.

De esta manera, el diseño del proyecto puede ser modificado para obtener un impacto visual mínimo mediante la actuación sobre la geometría de los objetos construidos, el movimiento de tierras previo o la forestación posterior, todo ello llevándose a cabo en un programa de CAD convencional.

El ejemplo concreto que nos ocupa requirió la obtención de cuencas visuales para la determinación de la visibilidad de una

granja de acuicultura en la costa y el desarrollo posterior de una aplicación informática que permitiese la inspección del entorno desde cualquier punto de vista, y el chequeo desde determinados puntos sensibles predeterminados.

Para ello fue necesario trabajar siguiendo un proceso de modelado enfocado a la muestra final en tiempo real, con la posibilidad de alternar entre diferentes modos de visualización (con o sin edificios, con o sin arbolado, con o sin representación de cada una de las cuencas visuales, etc.) Ello conlleva implicaciones en cuanto a organización del modelo en forma de grafo de escena, complejidad geométrica del mismo, cantidad y complejidad de las texturas y mapas utilizados, diseño de modelos de arbolado de detalle variable, etc.

## III. METODOLOGÍA

La metodología de trabajo se dividió en dos fases: Generación de modelos y mapas y desarrollo de la aplicación de visualización:

### A. Generación de modelos y mapas.

#### 1) Generación del modelo digital del terreno (MDT) y la piscifactoría.

A partir de las curvas de nivel y las líneas de rotura se generaron los modelos tridimensionales del terreno. Se generaron dos conjuntos de modelos tridimensionales, uno para el terreno sin la piscifactoría y otro para el terreno con la piscifactoría construida.

En el caso del terreno sin la piscifactoría se generó un solo modelo correspondiente al terreno original sin la obra de la piscifactoría, mientras que en el caso del terreno con la piscifactoría se prepararon cuatro modelos: uno para el terreno original sin la parcela donde se realizaría la obra, uno para el terreno que adaptaría el terreno original a la zona de la obra, otro para los taludes generados a partir de dicha obra y finalmente otro para la plataforma donde se situaría la piscifactoría. Además, se generó un quinto modelo 3D correspondiente a los edificios de la piscifactoría que estarían ubicados sobre la parcela.

Todos estos modelos fueron generados siguiendo una topología de TIN utilizando AutoCAD Civil3D 2007 y exportados en formato DXF. Posteriormente dichos modelos obtenidos se convirtieron al formato de intercambio dotXSI de Softimage XSI, software sobre el que se realizarán el resto de etapas.

#### 2) Texturizado y materiales.

Los modelos del terreno original, el terreno sin la parcela y el modelo de la parcela de la piscifactoría se texturizaron proyectando de forma ortogonal una imagen aérea de la zona correspondiente con una resolución aproximada de 2 metros por pixel. El resto de modelos se texturizaron a mano y se asignaron los materiales adecuados en cada caso.

### 3) Ubicación de los puntos críticos para el cálculo de visibilidad.

Para el cálculo de visibilidad se seleccionaron aquellos puntos más críticos del terreno en torno a la piscifactoría. En ellos se ubicaron cámaras una altura aproximada de 2 metros sobre el terreno, por encima de la altura aproximada de una persona. Estas cámaras se incluyeron en la aplicación final permitiendo al usuario seleccionarlas y ubicarse en dichos puntos con el fin de tener una referencia visual de la visibilidad de la piscifactoría.

### 4) Obtención de mapas de sombras.

El cálculo de visibilidad se realizó mediante el cálculo de la iluminación directa obtenida a partir de luces puntuales ubicadas en la posición de las cámaras localizadas en los puntos críticos. De esta forma, la zona iluminada por una luz corresponde a la zona visible desde ese punto de cámara concreto. En la Fig. 1; se aprecian ejemplos de los mapas obtenidos.

Además se situaron un conjunto de luces unos pocos centímetros por encima de los edificios de la piscifactoría y siguiendo los perfiles de éstos. El objetivo de estas luces era calcular la visibilidad inversa, es decir, la zona desde la que sería visible alguna parte de los edificios de la piscifactoría.



Figura 1. Mapas de sombra correspondientes a diferentes puntos del terreno. Las áreas blancas corresponden con las cuencas visuales

### 5) Generación del modelo de oclusión de la vegetación.

Como el impacto de la vegetación en la visibilidad es importante se generaron modelos 3D para los bosques. Para ello primero se delimitaron los bosques trazando curvas desde una vista superior ortogonal del terreno. Dichas curvas generadas en plano, se proyectaron sobre el terreno para ajustarlas a la volumetría del mismo. Una vez proyectadas, se generó el modelo 3D extruyendo el área proyectada en vertical hasta la altura máxima estimada de los árboles de dicha zona. Estos modelos se utilizaron sólo como geometría que simulara la vegetación durante el cálculo de la visibilidad.

### 6) Cálculo de visibilidad y generación de las texturas preiluminadas.

Una vez ubicadas las luces y todos los modelos necesarios se realizaron los cálculos de visibilidad para cada uno de los

puntos de vista y para la visibilidad inversa desde la piscifactoría.

El cálculo de la visibilidad desde los puntos de vista críticos se obtuvo realizando el cálculo de iluminación directa de los modelos con cada una de las luces de los puntos de vista críticos por separado, permaneciendo el resto de las luces apagadas. El cálculo de la visibilidad inversa se realizó apagando todas las luces anteriores y activando todas las luces de visibilidad inversa situadas encima de la piscifactoría. En total, un proceso de iluminación por punto de vista y uno adicional para la visibilidad inversa. El resultado de cada proceso de iluminación se almacenó para cada uno de los modelos como una textura preiluminada.

Además, para el caso en el que no se estuviera haciendo ningún cálculo de visibilidad se realizó una iluminación general de toda la escena que también se almacenó como texturas preiluminadas. Todo el proceso de cálculo de iluminación se automatizó mediante scripts.

### 7) Exportación de modelos.

Utilizando un exportador propio, los modelos se almacenaron en el formato de OpenScenegraph, para su posterior incorporación al scenegraph de la aplicación de visualización en tiempo real.

## B. Desarrollo del generador de modelos de vegetación con Niveles de Detalle (LODs).

Ya que la vegetación de la zona con la que se trabaja cobra gran relevancia en la generación de las cuencas visuales, su representación tridimensional es igualmente importante para que los usuarios comprendan de una forma visual lo que sucede. Para ello, se ha desarrollado un software que, dadas unas máscaras de densidad, las coordenadas UTM de la zona con la que se trabaja y un MDT, genera modelos de bosque basados en distintos tipos de árboles, con parámetros aleatorios en cuanto a su distribución y dimensiones (dependiendo de cada especie), para evitar patrones. Además los organiza en distintos LODs para poder renderizarlos eficientemente en tiempo real, aumentando o disminuyendo su densidad en función de la cercanía de la cámara.

## C. Desarrollo de la aplicación de visualización en tiempo real.

Para representar las cuencas visuales se integraron todos los datos producidos en una aplicación diseñada para el usuario final. Mediante el uso de una colección de librerías software propias con diversos fines (interacción, interfaces, controladores de dispositivos, etc.) y un runtime propio, podemos construir aplicaciones con un conjunto de ficheros XML de configuración que definen el esqueleto y comportamiento de la aplicación.

En un caso como el contemplado en este artículo, una piscifactoría con cuencas visuales, el proceso vendría definido por las dos siguientes etapas:

### 1) Definición y diseño de la interfaz de usuario y de la interacción.

Un diseñador crea los elementos visuales de la interfaz (controles de vuelo, botones, sliders, etc.) almacenándolos por capas, así como sus posiciones relativas en pantalla. Se define también la colocación de la capa del visualizador. Después, otra configuración crea los propios componentes virtuales interactivos asociados a los creados por el diseñador, y se les asigna comportamientos como respuesta a acciones del usuario, basándose en eventos, de la misma forma que la mayor parte de los sistemas de escritorio.

Actualmente el sistema soporta una gran variedad de acciones, desde volar a un punto concreto del terreno, cambiar una textura o activar un vídeo.

### 2) Diseño del scenegraph.

El scenegraph que utiliza el visualizador de terreno debe ser construido a partir de todos los datos provenientes del proceso anterior (geometría y texturas preiluminadas, MDT y modelos de vegetación generados), siguiendo una estructura lógica que permita mostrar todas las combinaciones posibles, utilizando switches, grupos y shaders. Cobra pues gran importancia ser estricto con la nomenclatura de los ficheros de geometría y textura, de forma que realizar pequeñas modificaciones, o añadir nuevas cuencas visuales sea lo menos costos posible. El encargado de este ensamblaje es un script, cuya salida es un grafo como el de la Fig. 2;

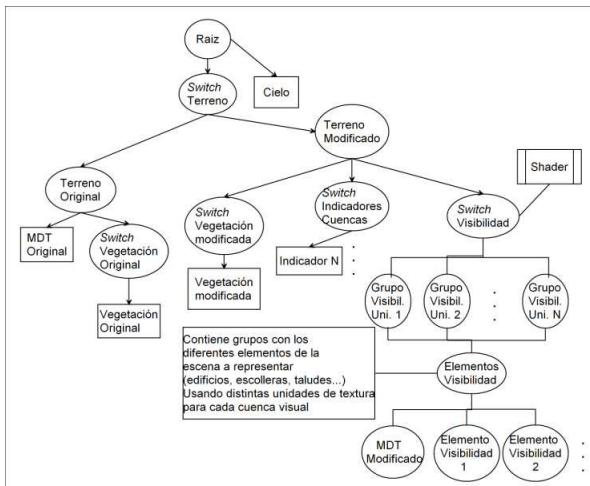


Figura 2. Representación esquemática del scenegraph de la aplicación.

La parte del scenegraph con mayor interés es el "Switch Visibilidad", donde se asignan las texturas de cada cuenca visual a unidades de textura de la tarjeta gráfica. Después éstas se mezclarán con la original gracias a un shader controlado desde la interacción de la aplicación, desde donde se decide qué cuenca visual enseñar en cada momento. El resto de opciones de visualización permitidas al usuario se consiguen gracias a los distintos switches repartidos por el grafo.

## IV. RESULTADOS

La aplicación de lo expuesto permitió a los autores desarrollar una herramienta informática que demostró su utilidad al ser usada tanto por proyectistas como por responsables políticos para su mejora, toma de decisiones y difusión pública.

El visualizador, basado en el sistema SANTI [4], permite navegar sobre el terreno y ubicarse en localizaciones sensibles, eligiendo combinaciones de cuencas visuales, edificaciones, vegetación, etc. A continuación se muestran algunas capturas de la aplicación (Figs. 3,4,5,6,7).



Figura 3. Aplicación final, con vistas de la zona de actuación original. Se observa en el navegador el MDT y la vegetación generada.



Figura 4. Actuación prevista, con los volúmenes representativos de los distintos edificios y movimientos de tierra proyectados.



Figura 5. Representación de la cuenca visual inversa, calculada sobre el proyecto original.



Figura 6. Representación de la cuenca visual inversa, después de las modificaciones pertinentes para minimizar el impacto visual.



Figura 7. Vista de la zona de actuación desde uno de las ubicaciones sensibles, correspondiente a un núcleo urbano de las cercanías.

## V. CONCLUSIONES

El uso de técnicas de iluminación clásicas de gráficos por computador es válido para la determinación de cuencas visuales, y especialmente indicado cuando al modelo digital de

terreno se le añade edificaciones, arbolado, movimientos de tierra, etc. Los mapas de sombras producidos por este procedimiento pueden ser empleados en aplicaciones de visualización en tiempo real.

En este artículo se ha demostrado la viabilidad de la metodología y su aplicación en un caso práctico.

## REFERENCES

- [1] Hernández, L. "Una metodología para la visualización por computador de modelos extensos en arquitectura, ingeniería civil y urbanismo" Ph.D. dissertation, Dept. métodos matemáticos y de representación, Universidade da Coruña, A Coruña, Spain, 2001.
  - [2] Tomlin, D. (1990) *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, pp. xi-xiv, 14-22, 96-99, 119-122.
  - [3] Fisher, P.F. (1996) Extending the applicability of viewsheds in landscape planning. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62: 297-302.
  - [4] L.Hernández, J.Taibo, and A.Seoane. Una aplicación para la navegación en tiempo real sobre grandes modelos topográficos. In *IX Congreso Español de Informática Gráfica, CEIG 1999.*, 1999.