Dpto. de Lenguajes y Sistemas Informáticos
Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y Telecomunicación

Prácticas de Informática Gráfica

Autores:
Antonio López
Domingo Martín
Francisco J. Melero
Alejandro Rodríguez
Celia Romo
Carlos Ureña

Curso 2016/17

La Informática Gráfica

La gran ventaja de los gráficos por ordenador, la posibilidad de crear mundos virtuales sin ningún tipo de límite, excepto los propios de las capacidades humanas, es a su vez su gran inconveniente, ya que es necesario crear toda una serie de modelos o representaciones de todas las cosas que se pretenden obtener que sean tratables por el ordenador.

Así, es necesario crear modelos de los objetos, de la cámara, de la interacción de la luz (virtual) con los objetos, del movimiento, etc. A pesar de la dificultad y complejidad, los resultados obtenidos suelen compensar el esfuerzo.

Ese es el objetivo de estas prácticas: convertir la generación de gráficos mediante ordenador en una tarea satisfactoria, en el sentido de que sea algo que se hace "con ganas".

Con todo, hemos intentado que la dificultad vaya apareciendo de una forma gradual y natural. Siguiendo una estructura incremental, en la cual cada práctica se basará en la realizada anteriormente, planteamos partir desde la primera práctica, que servirá para tomar un contacto inicial, y terminar generando un sistema de partículas con animación y detección de colisiones.

Esperamos que las prácticas propuestas alcancen los objetivos y que sirvan para enseñar los conceptos básicos de la Informática Gráfica, y si puede ser entreteniendo, mejor.

Índice general

Práctica 1

Introducción. Modelado y visualización de objetos 3D sencillos

1.1. Objetivos

Con esta práctica se quiere que el alumno aprenda:

- A crear estructuras de datos que permitan representar objetos 3D sencillos
- A utilizar las primitivas de dibujo de OpenGL para dibujar los objetos

1.2. Desarrollo

Para el desarrollo de esta práctica se entrega el esqueleto de una aplicación gráfica basada en eventos, mediante GLUT, y con la parte gráfica realizada por OpenGL. Para facilitar su uso, la aplicación permite abrir una ventana, mostrar unos ejes y mover una cámara básica.

El alumno deberá crear y visualizar un tetraedro y un cubo. Para ello, creará las estructuras de datos que permitan representarlos mediante sus vértices y caras. Usando dicha información y las primitivas de dibujo de OpenGL los visualizará con los siguientes modos:

- Puntos
- Alambre
- Sólido
- Ajedrez

Para poder visualizar en modo alambre (también para el modo sólido y ajedrez) lo que se hace es mandar a OpenGL como primitiva los triángulos, `GL_TRIANGLES`, y cambiar la forma en la que se visualiza el mismo mediante la instrucción `glPolygonMode`, permitiendo el dibujar los vértices, las aristas o la parte sólida.

Para el modo ajedrez basta con dibujar en modo sólido pero cambiando alternativamente el color de relleno.

1.3. Evaluación

La evaluación de la práctica, sobre 10 puntos, se hará del modo siguiente:

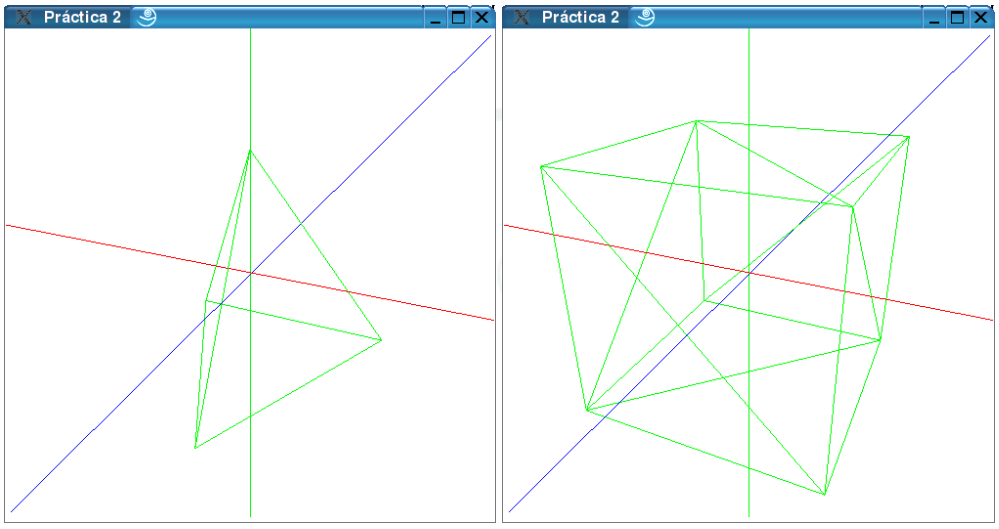
- Creación de las estructuras de datos para modelar un tetraedro y un cubo mediante vértices. Visualización en modo puntos (6 pt.)

- Creación del código que permite visualizar en los modos alambre, sólido y ajedrez. (4pt)

1.4. Extensiones

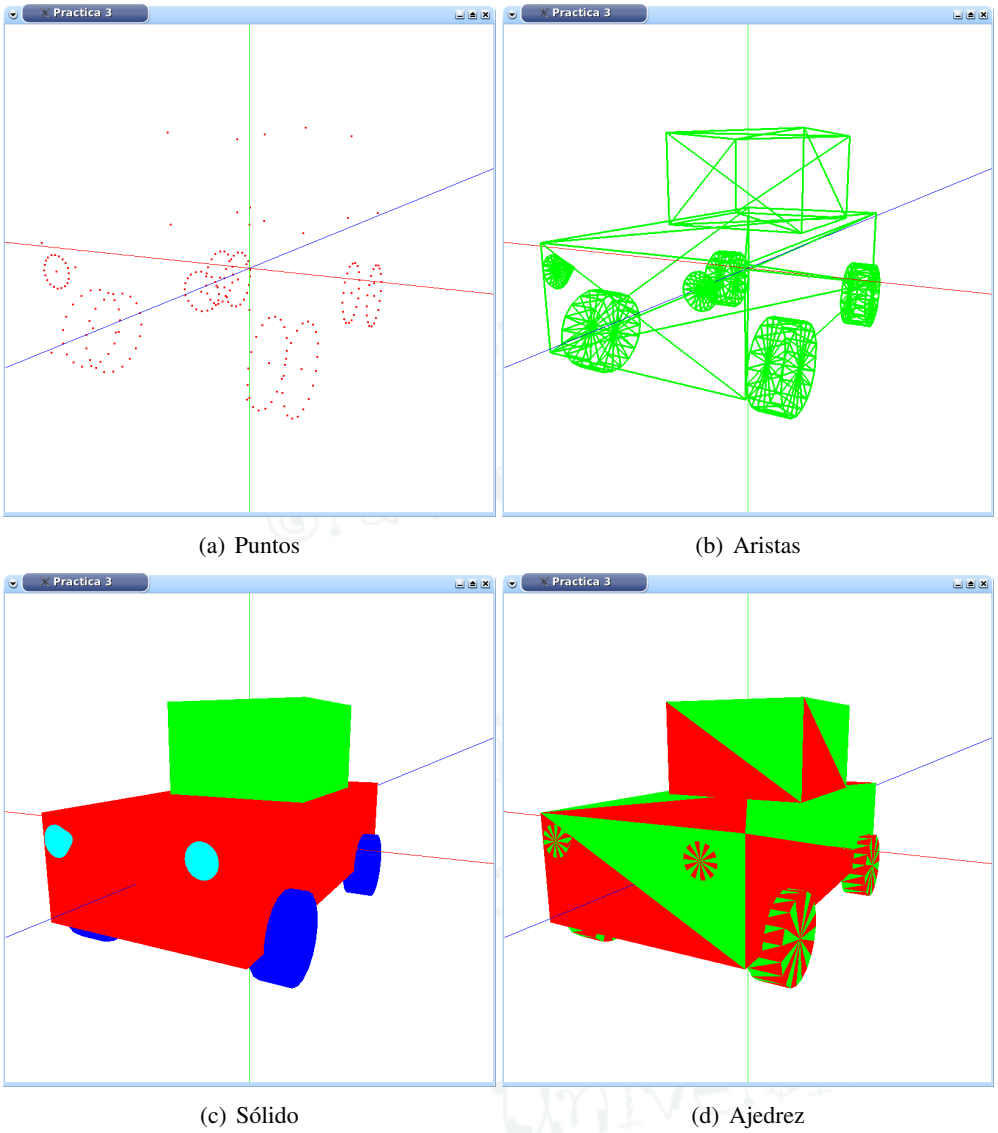
1.5. Duración

La práctica se desarrollará en 1 sesión



(a) Tetraedro (b) Cubo

Figura 1.1: Tetraedro y cubo visualizados en modo alambre.



(a) Puntos (b) Aristas

(c) Sólido (d) Ajedrez

Figura 1.2: Coche mostrado con los distintos modos de visualización.

1.6. Bibliografía

- Mark Segal y Kurt Akeley;*The OpenGL Graphics System: A Specification (version 4.1)*; http://www.opengl.org/
- Edward Angel;*Interactive Computer Graphics. A top-down approach with OpenGl*; Addison-Wesley, 2000
- J. Foley, A. van Dam, S. Feiner y J. F. Hughes; *Computer Graphics: Principles And Practice, 2 Edition*; Addison-Wesley,1992

- M. E. Mortenson; *Geometric Modeling*; John Wiley & Sons,1985

Práctica 2

Modelos PLY y Poligonales

2.1. Objetivos

Aprender a:

- A leer modelos guardados en ficheros externos en formato PLY (Polygon File Format) y su visualización.
- Modelar objetos sólidos poligonales mediante técnicas sencillas. En este caso se usará la técnica de modelado por revolución de un perfil alrededor de un eje de rotación.

2.2. Desarrollo

PLY es un formato para almacenar modelos gráficos mediante listas de vértices, caras poligonales y diversas propiedades (colores, normales, etc.) que fue desarrollado por Greg Turk en la universidad de Stanford durante los años 90. Para más información consultar:
http://www.dcs.ed.ac.uk/teaching/cs4/www/graphics/Web/ply.html

Para la realización de la práctica, en primer lugar, se visualizarán modelos de objetos guardados en formato PLY usando los modos de visualización implementados en la primera práctica. Para ello, se entregará el código de un lector básico de ficheros PLY para objetos únicamente compuestos por vértices y caras triangulares, que devuelve un vector de coordenadas de los vértices y un vector de los índices de vértices que forman cada cara. Se creará una estructura de datos que guarde los vectores anteriores (se recomienda usar STL y el fichero auxiliar vertex.h).

En segundo lugar, se ha de crear un código que a partir del conjunto de puntos que representen un perfil respecto a un plano principal ($X = 0$ ó $Y = 0$ ó $Z = 0$), de un parámetro que indique el número de lados longitudinales del objeto a generar por revolución y de un eje de rotación, calcule el conjunto de vértices y el conjunto el caras que representan el sólido obtenido.

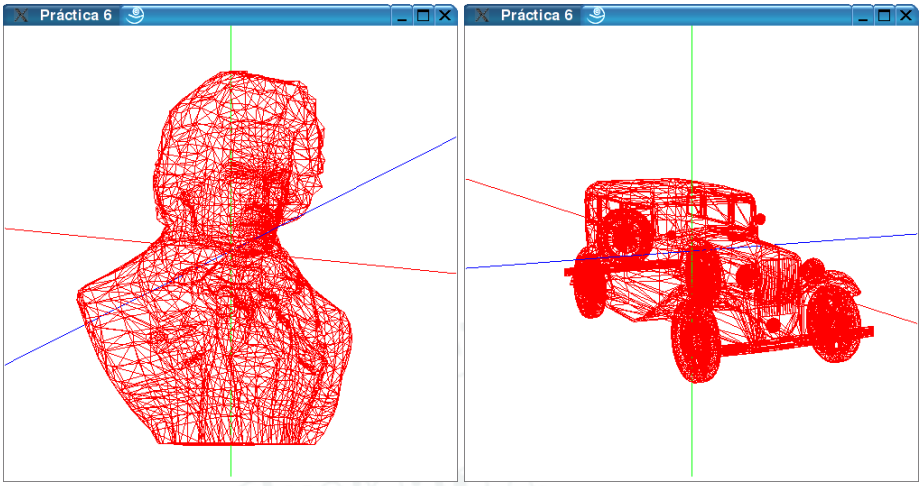
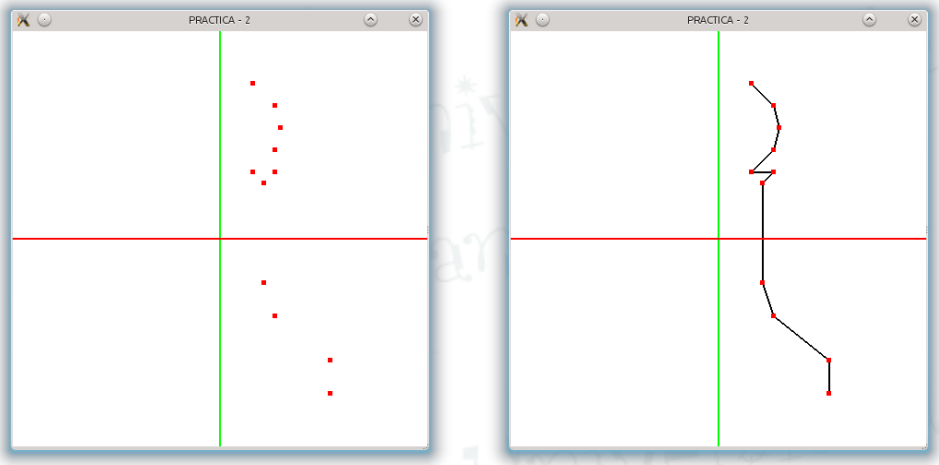


Figura 2.1: Objetos PLY.



(a) Puntos (b) Polilínea

Figura 2.2: Perfil inicial.

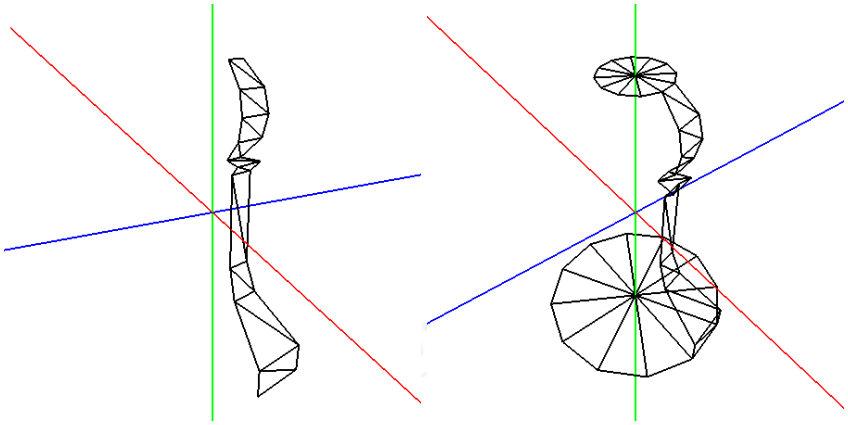
Los pasos para crear un sólido por revolución serían:

- Sea, por ejemplo, un perfil inicial Q_1 en el plano $Z = 0$ definido como:

$$Q_1\left(p_1(x_1, y_1, 0), ..., p_M(x_M, y_M, 0)\right),$$

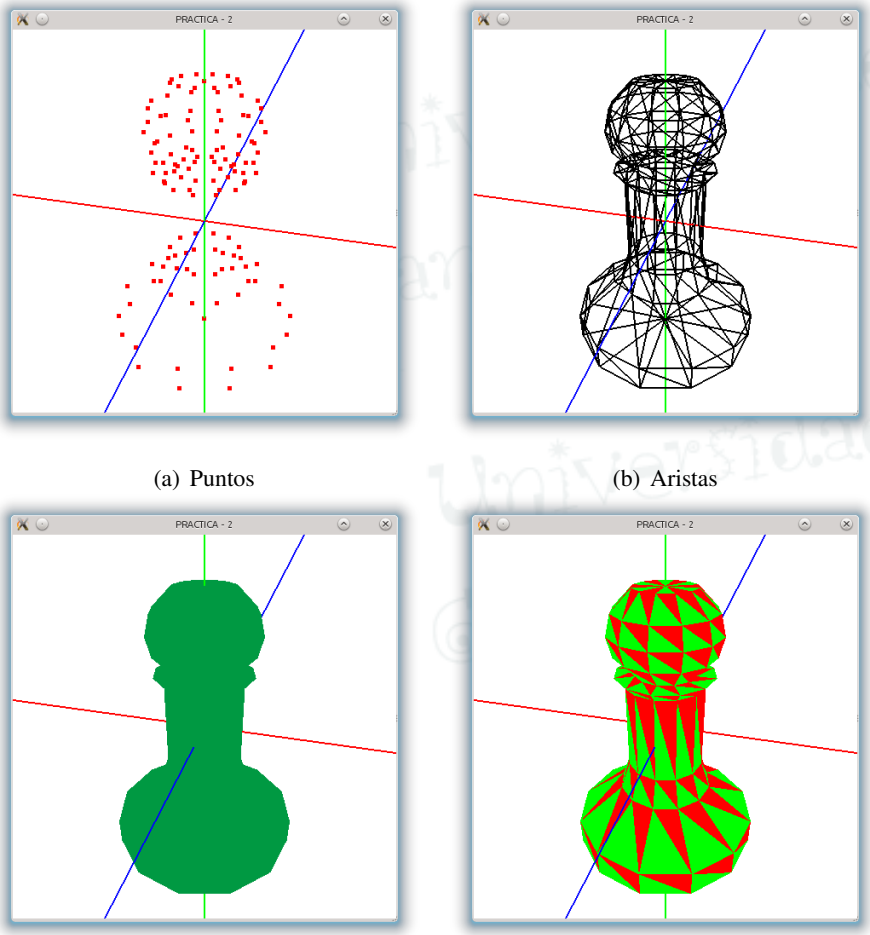
  siendo $p_i(x_i, y_i, 0)$ con $i = 1, ...M$ los puntos que definen el perfil (ver figura 2.2).

- Se toma como eje de rotación el eje Y y si N es número lados longitudinales, se obtienen los puntos o vértices del sólido poligonal a construir multiplicando Q_1 por N sucesivas transformaciones de rotación con respecto al eje Y, a las que notamos por



(a) (b)

Figura 2.3: Caras del sólido a construir: (a) logitudinales (solo un lado es mostrado) y (b) incluyendo las tapas superior e inferior.



(a) Puntos (b) Aristas

(c) Sólido (d) Ajedrez

Figura 2.4: Sólido generado por revolución con distintos modos de visualización.

$R_Y(\alpha_j)$ siendo α_j los valores de N ángulos de rotación equiespaciados. Se obtiene un conjunto de $N \times M$ vértices agrupados en N perfiles Q_j, siendo:

$$Q_j = Q_1 R_Y(\alpha_j), \quad \text{con } j = 1, \ldots, N$$

- Se guardan $N \times M$ los vértices obtenidos en un vector de vértices según la estructura de datos creada en la práctica anterior.
- Las caras longitudinales del sólido (triángulos) se crean a partir de los vértices de dos perfiles consecutivos Q_j y Q_{j+1}. Tomando dos puntos adyacentes en cada uno de los dos perfiles Q_j y Q_{j+1} y estando dichos puntos a la misma altura, se pueden crear dos triángulos. En la figura 2.3(a) se muestran los triángulos así obtenidos solamente para un lado longitudinal para una mejor visualización. Los vértices de los triángulos tienen que estar ordenados en el sentido contrario a las agujas del reloj.
- A continuación creamos las tapas del sólido tanto inferior como superior (ver figura 2.3(b)). Para ello se han de añadir dos puntos al vector de vértices que se obtienen por la proyección sobre el eje de rotación del primer y último punto del perfil inicial. Estos dos vértices serán compartidos por todas las caras de las tapas superior e inferior.
- Todas las caras, tanto las longitudinales como las tapas superior e inferior, se almacenan en la estructura de datos creada para las caras en la práctica anterior.

El modelo poligonal finalmente obtenido también se podrá visualizar usando cualquiera de los distintos modos de visualización implementados para la primera práctica (ver figura 2.4).

Dos consideraciones sobre la implementación del código para el objeto por revolución: primera, se puede hacer un tratamiento diferenciado cuando uno o ambos puntos extremos del perfil inicial están situados sobre el eje de rotación y segunda, el perfil inicial se puede leer de un fichero PLY cuyo contenido sólo ha de tener las coordenadas de los puntos de éste (no es difícil crear manualmente un perfil con un fichero PLY, véase el siguiente ejemplo, donde hay 11 vértices y una sola cara que no se utilizará)

```
ply
format ascii 1.0
element vertex 11
property float32 x
property float32 y
property float32 z
element face 1
property list uchar uint vertex_indices
end_header
1.0 -1.4 0.0
1.0 -1.1 0.0
0.5 -0.7 0.0
0.4 -0.4 0.0
0.4 0.5 0.0
```

```
0.5 0.6 0.0
0.3 0.6 0.0
0.5 0.8 0.0
0.55 1.0 0.0
0.5 1.2 0.0
0.3 1.4 0.0
3 0 1 2
```

2.3. Evaluación

La evaluación de la práctica, sobre 10 puntos, se hará del modo siguiente:

- Lectura y visualizaciónde ficheros PLY. y en modo puntos (3 pts.).
- Creación del código para el modelado de objetos por revolución (7 pts.).

2.4. Extensiones

Se propone como extensión modelar sólidos por barrido a partir de un contorno cerrado.

2.5. Duración

La práctica se desarrollará en 3 sesiones

2.6. Bibliografía

- Mark Segal y Kurt Akeley; *The OpenGL Graphics System: A Specification (version 4.1)*; http://www.opengl.org/
- P. Shirley y S. Marschner; *Fundamentals of Computer Graphics, 3rd Edition*; A K Peters Ltd. 2009.
- J. Vince; *Mathematics for Computer Graphics*; Springer 2006.

Práctica 3

Modelos jerárquicos

3.1. Objetivos

Con esta práctica el alumno aprenderá a:

- Diseñar modelos jerárquicos de objetos articulados.
- Controlar los parámetros de animación de los grados de libertad de modelos jerárquicos usando OpenGL.
- Gestionar y usar la pila de transformaciones de OpenGL.

3.2. Desarrollo

Para realizar un modelo jerárquico es importante seguir un proceso sistemático, tal y como se ha estudiado en teoría, poniendo especial interés en la definición correcta de los grados de libertad que presente el modelo.

Para modificar los parámetros asociados a los grados de libertad del modelo utilizaremos el teclado. Para ello tendremos que escribir código para modificar los parámetros como respuesta a la pulsación de teclas.

Las acciones a realizar en esta práctica son:

1. Diseñar un modelo jerárquico con al menos 3 grados de libertad distintos (al menos deben aparecer giros y desplazamientos). Puedes tomar como ejemplo el diseño de una grúa semejante a las del ejemplo (ver figura 3.1). En el ejemplo, estas gruas tienen al menos tres grados de libertad: ángulo de giro de la torre, giro del brazo y altura del gancho.

2. Diseñar el grafo del modelo jerárquico del objeto diseñado, determinando el tamaño de las piezas y las transformaciones geométricas a aplicar (tendrás que entregar el grafo del modelo en papel, o en formato electrónico: pdf, jpeg, etc, cuando entregues la práctica).

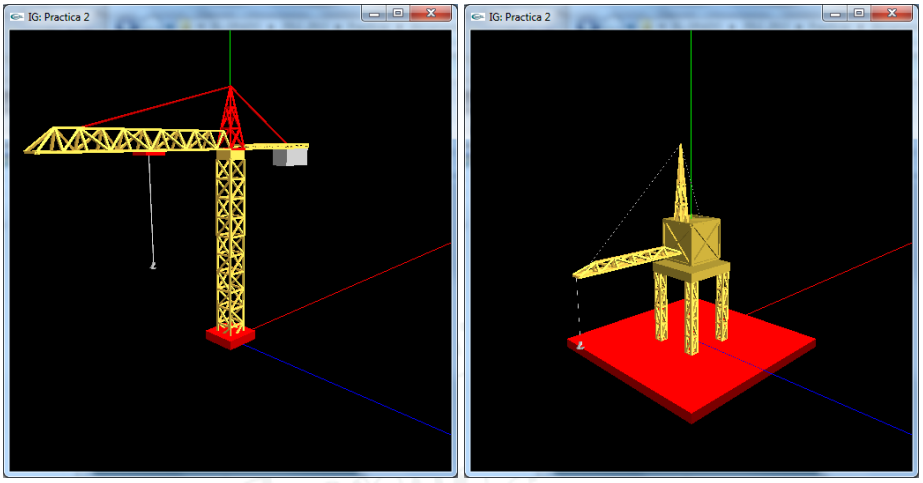


Figura 3.1: Ejemplos del resultado de la práctica 3.

3. Crear las estructuras de datos necesarias para almacenar el modelo jerárquico. El modelo debe contener la información necesaria para definir los parámetros asociados a la construcción del modelo (medidas de elementos, posicionamiento, etc.) y los parámetros que se vayan a modificar en tiempo de ejecución (grados de libertad, etc.). Hay que tener en cuenta que un modelo jerárquico esta formado por otros objetos, normalmente más sencillos, entre los que existen relaciones de dependencia hijo-padre, por lo que se deberá poder almacenar en la estructura de datos los distintos componentes que lo forman , asi como las transformaciones que le afectan a cada uno con su tipo de transformación y sus parámetros.

   Si el modelo no almacena explícitamente el grafo jerárquico, sino que dicha jerarquía se contruye en base objetos ya creados y a la gestión de la pila de transformaciones de OpenGL, se deberá crear el código que permite representar el modelo jerárquico en base a los parámetros de construcción y grados de libertad que se definan en el modelo.

4. Inicializar el modelo jerárquico diseñado para almacenar en la estructura de datos los componentes y parámetros necesarios para su construcción.

5. Crear el codigo necesario para visualizar el modelo jerárquico utilizando los valores de los parámetros del modelo almacenado en la estructura de datos. El alumno podra utilizar las funciones de visualización implementadas en las anteriores practicas que permiten visualizar los modelos con las distintas técnicas implementadas.

6. Incorporar código para cambiar los parámetros modificables del modelo y para controlar su movimiento. Añadir la ejecución de dicho código en las funciones de control de pulsación de teclas para modificar el modelo de forma interactiva. Hay que tener presente los límites de cada movimiento.

7. Ejecutar el programa y comprobar que los movimientos son correctos.

3.2.1. Reutilización de elementos

En esta práctica para construir los modelos jerárquicos se deben utilizar otros elementos más sencillos que al combinarse mediante instanciación utilizando las transformaciones geométricas necesarias, nos permitirán construir modelos mucho más complejos. Se puede partir de cualquier primitiva que nos ofrezcan las propias librerías de OpenGL, o reutilizar los elementos implementados en las prácticas anteriores.

3.2.2. Resultados entregables

El alumno entregará un programa que represente y dibuje un modelo jerárquico con al menos tres grados de libertad, cuyos parámetros se podrán modificar por teclado. Para esta práctica se deberá incorporar el control con las siguientes teclas para activar/desactivar cada acción posible de las realizadas en las 3 primeras prácticas:

- Tecla p: Visualizar en modo puntos
- Tecla l: Visualizar en modo líneas/aristas
- Tecla s: Visualizar en modo sólido
- Tecla a: Visualizar en modo ajedrez
- Tecla 1: Activar objeto PLY cargado
- Tecla 2: Activar objeto por revolución
- Tecla 3: Activar objeto jerárquico
- Tecla Z/z: modifica primer grado de libertad del modelo jerárquico (aumenta/disminuye)
- Tecla X/x: modifica segundo grado de libertad del modelo jerárquico (aumenta/disminuye)
- Tecla C/c: modifica tercer grado de libertad del modelo jerárquico (aumenta/disminuye)

3.3. Evaluación

La evaluación de la práctica, sobre 10 puntos, se hará del modo siguiente:

- Diseño del modelo jerárquico y del grafo correspondiente que muestre las relaciones entre los elementos (2 puntos)
- Creación de las estructuras necesarias para almacenar el modelado jerárquico (4 puntos)
- Creación del código para poder visualizar de forma correcta el modelo (1 punto)

- Control interactivo del cambio de los valores que definen los grados de libertad del modelo (3 puntos)

3.4. Extensiones

Como extensión optativa se propone la incorporación de animación automática de los componentes del modelo. Para ello:

- Añade al modelo lo que estimes necesario para almacenar una velocidad de movimiento para cada uno de los parámetros.
- Añade opciones en el control de teclas para fijar la velocidad de cada parámetro a un valor positivo, negativo o cero.
- Ahora puedes animar el modelo haciendo que el valor del parámetro que modifica cada grado de libertad se modifique segun su velocidad.

Para animar el modelo utiliza una función de fondo que se ejecute de forma indefinida en el ciclo de ejecución de la aplicación OpenGL, en la que puedes realizar la actualización de cada parámetro en función de su velocidad. La función de fondo estará creada en el fichero principal y se activa desde el programa principal con:

```
glutIdleFunc( idle );
```

siendo ”void idle()” el nombre de la función que se llama para modificar los parámetros. Esta función de animación debe cambiar los parámetros del modelo en función de la velocidad y para que se redibuje, llamar a:

```
glutPostRedisplay();
```

Cambia finalmente el procedimiento de entrada para que desde el teclado se pueda cambiar también las velocidades de modificación de los grados de libertad:

- Tecla B/b: incrementa/decrementa la velocidad de modificación del primer grado de libertad del modelo jerárquico
- Tecla N/n: incrementa/decrementa la velocidad de modificación del segundo grado de libertad del modelo jerárquico
- Tecla M/m: incrementa/decrementa la velocidad de modificación del tercer grado de libertad del modelo jerárquico

3.5. Duración

Esta tercera práctica se desarrollará en 3 sesiones.

3.6. Bibliografía

- Mark Segal y Kurt Akeley; *The OpenGL Graphics System: A Specification (version 4.1)*; http://www.opengl.org/
- Edward Angel;*Interactive Computer Graphics. A top-down approach with OpenGl*; Addison-Wesley, 2000
- J. Foley, A. van Dam, S. Feiner y J. F. Hughes; *Computer Graphics: Principles And Practice, 2 Edition*; Addison-Wesley,1992
- P. Shirley y S. Marschner; *Fundamentals of Computer Graphics, 3rd Edition*; A K Peters Ltd. 2009.

3.7. Algunos ejemplos de modelos jerárquicos

En las figuras 3.2 y 3.3 podéis ver algunos ejemplos de modelos jerárquicos que se pueden construir para la práctica (simplificando todo lo que se quiera los distintos elementos que los componen).

Estudiar con detalle cada uno y seleccionar el que os interese, o diseñar otro que tenga al menos 3 grados de libertad similares a los de las gruas que tenéis en el ejemplo.

Figura 3.2: Ejemplos de posibles modelos jerárquicos.

Figura 3.3: Ejemplos de posibles modelos jerárquicos.

Práctica 4

Materiales, fuentes de luz y texturas

4.1. Objetivos

Con esta práctica el alumno aprenderá a:

- Incorporar a los modelos de escena información de aspecto, incluyendo las nomales de las mallas y modelos sencillos de fuentes de luz, materiales y texturas.
- Visualizar, usando la funcionalidad fija de OpenGL, escenas incluyendo varios objetos con distintos modelos de aspecto.
- Permitir cambiar de forma interactiva los parámetros de los modelos de aspecto de la escena anterior.

4.2. Desarrollo

En esta práctica incorporaremos a las mallas de triángulos información de las normales y las coordenadas de textura, así como crearemos estructuras de datos para representar modelos de fuentes de luz, materiales y las texturas, posibilitando la visualización de objetos con distintos modelos de aspecto. El código descrito aquí debe añadirse al código existente para las prácticas desde la 1 hasta la 3, sin eliminar nada de la funcionalidad ya implementada.

4.2.1. Cálculo y almacenamiento de normales.

A partir de la tabla de coordenadas de vértices y la tabla de caras de una malla, se deben calcular las dos tablas de normales (normales de caras y normales de vértices). Cada tabla de normales es un array que en cada entrada contiene una tupla de 3 reales que representa (en coordenadas maestras o de objeto) el vector perpendicular a la cara o a la superficie de la malla en el vértice. Las dos tablas de normales quedarán almacenadas en la estructura o instancia de clase que representa la malla, junto con el resto de tablas (coordenadas de vértices, de textura, etc...).

Para el cálculo de las tablas de normales se puede seguir este procedimiento:

1. En primer lugar se calcula tabla de normales de las caras. Para ello se debe de recorrer la tabla caras que hay en la malla. En cada cara se consideran las posiciones de sus tres vértices, sean estas, por ejemplo $\vec{p}$,$\vec{q}$ y $\vec{r}$. A partir de estas coordenadas se calculan los vectores $\vec{a}$ y $\vec{b}$ correspondientes a dos aristas, haciendo $\vec{a} = \vec{q} - \vec{p}$ y $\vec{b} = \vec{r} - \vec{p}$. El vector $\vec{m}_c$, perpendicular a la cara, se obtiene como el producto vectorial de las aristas, es decir, hacemos: $\vec{m}_c = \vec{a} \times \vec{b}$. Finalmente, el vector normal $\vec{n}_c$ (de longitud unidad) se obtiene normalizando $\vec{m}_c$, esto es: $\vec{n}_c = \vec{m}_c / \|\vec{m}_c\|$.

   Hay que tener en cuenta que, para objetos cerrados, es necesario que todas las normales apunten hacia el exterior del objeto, y que en los objetos abiertos, todas ellas apunten hacia el mismo lado de la superficie. Para ello la selección de los tres vértices $\vec{p}$,$\vec{q}$ y $\vec{r}$ de la cara debe hacerse de forma coherente, es decir, siempre en orden de las agujas del reloj, o siempre en el contrario (visto desde un lado de la superficie). Aunque se haga de forma coherente, las normales pueden quedar todas ellas apuntando al lado equivocado, si este fuese el caso, se puede cambiar el orden del producto vectorial, es decir,hacer $\vec{m}_v = \vec{b} \times \vec{a}$ en lugar del originalmente descrito, ya que el producto vectorial es anticonmutativo.

2. Una vez calculadas las normales de caras, se obtienen las normales de los vértices. Para cada vértice, el vector $\vec{m}_v$, es un vector aproximadamente perpendicular a la superficie de la malla en la posición del vértice. Se puede definir como la suma de los vectores normales de todas las caras adyacentes a dicho vértice, es decir:

$$\vec{m}_c = \sum_{i=0}^{k-1} \vec{u}_i$$

   donde $\vec{u}_i$ es el vector perpendicular a la i-ésima cara adyacente al vértice (suponemos que hay k de ellas). Al igual que con las caras, el vector normal al vértice $\vec{n}_v$ se define como una versión normalizada de $\vec{m}_v$, es decir: $\vec{n}_v = \vec{m}_v / \|\vec{m}_v\|$.

   Una implementación básica (derivada directamente de esta definición de $\vec{n}_v$) requeriría recorrer la lista de vértices (en un bucle externo), y en cada uno de ellos buscar sus caras adyacentes, recorriendo para ello la lista de caras completa (en un bucle interno). Esta implementación, por tanto, tiene complejidad en tiempo en el orden del producto del número de caras y de vértices (o cuadrática con el número de vértices, que es proporcional al de caras para la inmensa mayoría de las mallas). Se recomienda diseñar e implementar un método más eficiente con complejidad en tiempo en el orden del número de caras, método basado en recorrer las caras en el bucle externo, en lugar de los vértices, ya que obtener los vértices de una cara se puede hacer de forma inmediata (en $O(1)$) sin más que consultar la entrada correspondiente de la tabla de caras.

4.2.2. Almacenamiento y visualización de coordenadas de textura

El siguiente paso será aumentar las estructuras de datos que representan las mallas en memoria y extender el código de visualización para calcular y visualizar las coordenas de textura.

Para ello, se añadirá a las mallas la tabla de coordenadas de textura, que será un array con n_v pares de valores valores de tipo `GLfloat`, donde n_v es el número de vértices. Esta tablas se usarán para asociar coordenadas de textura a cada vértice en algunas mallas. En las mallas que no tengan o no necesiten coordenadas de textura, dicha tabla estará vacía (0 elementos) o será un puntero nulo.

Se crearán el código para dos nuevos modos de visualización (*modos con iluminación*), adicionales a los que se indican en el guión de la práctica 1. En ambos modos (y para las mallas que dispongan de ellas) se enviarán junto con cada vértice sus coordenadas de textura, pero no se enviarán los colores de los vértices ni de los triángulos. Respecto a las normales, se deben usar las tablas calculadas con el mismo código de las prácticas anteriores. Se procede según el modo:

- *modo con iluminación y sombreado plano*: se activa el modo de sombreado plano de OpenGL, y se envían con *begin/end* los triángulos, usando la tabla de normales de triángulos.
- *modo con iluminación y sombreado de suave (Gouroud)*: se activa el modo de sombreado suave, y se envían los vértices usando la tabla de normales de vértices.

4.2.3. Asignación de coordenadas de textura en objetos obtenidos por revolución.

Una vez definidas las tablas de coordenadas de textura, se creará una nueva versión modificada del código o función que crea **objetos por revolución** de la práctica 3. En los casos que así se especifique, dicho código nuevo incluirá la creación de la tabla de coordenadas de textura.

Supongamos que el el perfil de partida tiene M vértices, numerados comenzando en cero. Las posiciones de dichos vértices serán: $\{p_0, p_1, \ldots, p_{M-1}\}$. Si suponemos que hay N copias del perfil, y que en cada copia hay M vértices, entonces el j-ésimo vértice en la i-ésima copia del perfil será $q_{i,j}$, con $i \in [0 \ldots N-1]$ y $j \in [0 \ldots M-1]$ y tendrá unas coordenadas de textura (s_i, t_j) (dos valores reales entre 0 y 1. La coordenada S (coordenada X en el espacio de la textura) es común a todos los vértices en una copia del perfil.

El valor de s_i es la coordenada X en el espacio de la textura, y está entre 0 y 1. Se obtiene como un valor proporcional a i, haciendo $s_i = i/(N-1)$ (la división es real), de forma que s_i va desde 0 en el primer perfil hasta 1 en el último de ellos.

El valor de t_j es la coordenada Y en el espacio de la textura, y también está entre 0 y 1. Su valor es proporcional a la distancia d_j (medida a lo largo del perfil), entre el primer vértice del mismo (vértice 0), y dicho vértice j -ésimo. Las distancia se definen como sigue: $d_0 = 0$ y $d_{j+1} = d_j + \|p_{j+1} - p_j\|$, y se pueden calcular y almacenar en un vector temporal durante la creación de la malla. Conocidas las distancias, la coordenada Y de textura (t_j) se obtiene como $t_j = d_j/d_{M-1}$

Hay que tener en cuenta que en este caso, la última copia del perfil (la copia $N-1$) es la que corresponde a una rotación de 2π radianes o 360^o. Esta copia debe ser distinta de la primera copia, ya que, si bien sus vértices coinciden con aquella, las coordenadas de textura no lo hacen (en concreto la coordenada S o X), debido a que en la primera copia

necesariamente dicha coordenada es $s_0 = 0$ y en la última es $s_{N-1} = 1$. Este es un ejemplo de duplicación de vértices debido a las coordenadas de textura.

4.2.4. Fuentes de luz

El siguiente paso será diseñar e implementar las **fuentes de luz** de la escena (al menos dos). Al menos una de las dos fuentes será direccional y tendrá su vector de dirección definido en coordenadas esféricas por dos ángulos α y β , donde β es el ángulo de rotación en torno al eje X (latitud), y α es la rotación en torno al eje Y (longitud). Cuando α y β son ambas 0, la dirección coincide con la rama positiva del eje Z. el vector de dirección de la luz se considerará fijado al sistema de referencia de la camara (la luz se "mueveçon el observador).

Para implementar las fuentes se definen en el programa las variables globales, estructuras o instancias de clase que almacenan los parámetros de cada una de las fuentes de luz que se planean usar. Para cada fuente de luz, se debe guardar: su color S_i (una terna RGB), su tipo (un valor lógico que indique si es direccional o posicional), su posición (para las fuentes posicionales), y su dirección en coordenadas esféricas (para las direccionales). Al menos para la fuente dada en coordenadas esfñericas, se guardarán asimismo los valores α y β

Para cada fuente de luz, se definirá una función (o habrá método de clase común) que se encargue de activarla. Aquí *activar* una fuente significa que en OpenGL se habilite su uso y que se configuran sus parámetros en función del valor actual de las variables globales que describen dicha fuente.

4.2.5. Carga, almacenamiento y visualización de texturas.

A continuación se diseñarán e implementarán las **texturas** de la escena. Se incluirán en el programa las variables o instancias que almacenan los parámetros de cada una de las texturas que se planean usar. Para cada textura, se debe guardar un puntero a los pixels en memoría dinámica, el identificador de textura de OpenGL, un valor lógico que indique si hay generación automática de coordenadas de textura o se usa la tabla de coordenadas de textura, y finalmente los 8 parámetros (dos arrays de 4 flotantes cada uno) para la generación automática de texturas.

Después se definirán en el programa las funciones o métodos para *activar* cada una de las texturas que se planean usar. *Activar* significa habilitar las texturas en OpenGL, habilitar el identificador de textura, y si la textura tiene asociada generación automática de coordenadas, fijar los parámetros OpenGL para dicha generación.

Hay que tener en cuenta que, la primera vez que se intente activar una textura, se debe *crear* la textura, esto significa que se deben leer los texels de un archivo y enviarlos a la GPU o la memoria de vídeo, inicializando el identificador de textura de OpenGL. Es importante no repetir la creación de la textura una vez en cada cuadro, sino hacerlo exclusivamente la primera vez que se intenta activar.

Para la lectura de los texels de un archivo de imagen, se puede usar, entre otras, la funcionalidad que se proporciona en la clase `jpg::Imagen`, que sirve para cargar JPGs y

se usa con el siguiente esquema:

```
#include "jpg_imagen.hpp"
   ....
// declara puntero a imagen (pimg)
jpg::Imagen * pimg = NULL ;
   ....
// cargar la imagen (una sola vez!)
pimg = new jpg::Imagen("nombre.jpg");
   .....
// usar con:
tamx = pimg->tamX(); // num. columnas (unsigned)
tamy = pimg->tamY(); // num. filas (unsigned)
texels = pimg->leerPixels(); // puntero texels (unsigned char *)
```

En memoria, cada texel es una terna rgb (`GL_RGB`), y cada componente de dicha terna es de tipo `GL_UNSIGNED_BYTE`.

Para poder usar estas funciones, es necesario tener estos archivos fuente:

- Cabeceras:
  - `jpg_imagen.hpp` (métodos públicos)
  - `jpg_jinclude.hpp`
- Unidades de compilación (se deben compilar y enlazar con el resto de unidades):
  - `jpg_imagen.cpp`
  - `jpg_memsrc.cpp`
  - `jpg_readwrite.cpp`

Este código usa la librería `libjpeg`, que debe enlazarse tambien (con el *switch* `-ljpeg` en el enlazador/compilador de GNU). Esta librería puede instalarse en cualquier distribución de linux usando paquetes tipo rpm o o debian. Al hacer la instalación se debe usar la versión de desarrollo (incluye las cabeceras).

4.2.6. Materiales.

El siguiente paso será diseñar e implementar los **materiales** de la escena, entendiendo como un *material* a un conjunto de valores de los parámetros del modelo de iluminación de OpenGL relativos a la reflectividad y brillo de la superficie de los objetos.

Será necesario definir en el programa las variables o instancias que almacenan los parámetros de cada uno de los materiales que se planean usar. Para cada material, se almacenará la reflectividad ambiental (M_A) la difusa (M_D), la especular (M_S) y el exponente de brillo (e). Cada reflectividad es un array con 4 valores `float`: las tres componentes RGB más la cuarta componente (opacidad) puesta a 1 (opaco). Asimismo, un material puede llevar asociada una textura o no llevarla. Si la lleva, junto con el material se almacenan los parámetros de dicha textura (un puntero a ellos), descritos más arriba en el documento. Si el material no lleva textura, el citado puntero será nulo.

Después se definirán funciones o métodos para activar cada uno de los materiales. Cuando se activa un material, se habilita la iluminación en OpenGL, y se configuran los parámetros de material de OpenGL usando las variables o instancias descritas en el párrafo anterior. Para los materiales que lleven asociada una textura, se llamará a la función o método para activar dicha textura, descrita anteriormente. Si el material no lleva textura, se deben deshabilitar las texturas en OpenGL.

4.2.7. Escena completa

Figura 4.1: Vista de la escena completa.

El último paso será definir la **función principal de visualización** de la escena para esta **práctica 4**. La primera vez que se invoque, se crearán en memoria las variables o instancia de clase que representan los objetos geométricos, las fuentes de luz, y los materiales y texturas de la escena. La escena estará compuesta de varios objetos (ver figura 4.1), en concreto los siguientes:

- Objeto **lata** (ver figura 4.2). Este objeto está compuesto de tres sub-objetos. Cada uno de ellos es una malla distinta, obtenida por revolución de un perfil almacenado en un archivo ply. En concreto:
  - `lata-pcue.ply` : perfil de la parte central, la que incorpora la textura de la lata (archivo `text-lata-1.jpg`). Es un material difuso-especular.
  - `lata-psup.ply` : tapa superior metálica. No lleva textura, es un material difuso-especular de aspecto metálico (ver figura 4.3, derecha).

- `lata-pinf.ply` : base inferior metálica, sin textura y del mismo tipo de material (ver figura 4.3, izquierda).

- Objetos **peón**: son tres objetos obtenidos por revolución, usando el mismo perfil de la práctica 2. Los tres objetos comparten la misma malla, solo que instanciada tres veces con distinta transformación y material en cada caso:

  - Peón **de madera**: con la textura de madera difuso-especular, usando generación automática de coordenadas de textura, de forma que la coordenada *s* de textura es proporcional a la coordenada X de la posición, y la coordenada *t* a Y (ver figura 4.4, izquierda). La textura está en el archivo `text-madera.jpg` (ver figura 4.4, derecha).
  - Peón **blanco**: sin textura, con un material puramente difuso (sin brillos especulares), de color blanco (ver figura 4.5, izquierda).
  - Peón **negro**: sin textura, con un material especular sin apenas reflectividad difusa (ver figura 4.5, izquierda).

Figura 4.2: Objeto lata obtenido con tres mallas creadas por revolución partir de tres perfiles en archivos ply (izquierda). La malla correspondiente al cuerpo incorpora la textura de la imagen de la derecha.

4.2.8. Implementación

Para esta práctica se pueden seguir básicamente dos estrategias de diseño alternativas:

- Asociar cada textura, material o fuente de luz con una función C/C++ específica que se encarga de activarla (la primera vez que se intente activar una textura, se cargará en memoria). En este caso, el código de la práctica sirve únicamente para visualizar

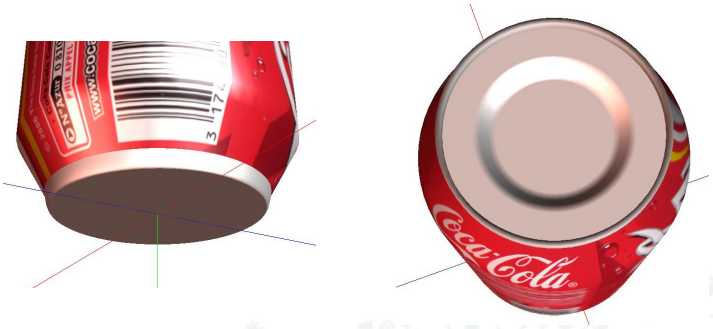


Figura 4.3: Vista ampliada de las tapas metálicas inferior (izquiera) y superior (derecha) de la lata (ambas sin textura)

Figura 4.4: Vista del objeto tipo peón (izquierda) y la textura de madera que se le aplica (derecha). La textura se aplica usando generación automática de coordenadas de textura (la textura se proyecta en el plano XY).

los modelos de aspecto que están implicitamente definidos en dicho código, al estar unidos modelos y código.

- Asociar cada textura, material o fuente de luz con una instancia de una clase o con una variable `struct` que contiene los parámetros que la definen. Se deben definir clases o tipos `struct` para cada tipo de elemento. Para la activación, se usará un método de clase o bien una función que acepta como parámetro un puntero a la struct. Por tanto, este código será más flexible que con la opción anterior, ya que se separa la definición de los modelos de aspecto de su visualización, al igual que ya hicimos con el modelo geométrico, en las cual se separa el almacenamiento de la malla en tablas del código que las visualiza.

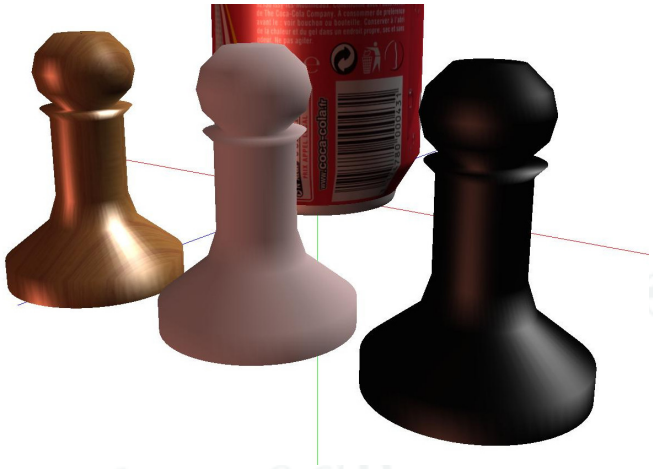


Figura 4.5: Vista ampliada de los tres objetos tipo peón.

4.2.9. Resultados entregables

El alumno entregará un programa que represente y dibuje la escena compuesta por la lata y los tres peones con los materiales y texturas especificados en la sección 4.2.7.

El programa permitirá, pulsando la tecla 4, entrar y salir del *modo práctica 4*. En modo práctica 4, la función gestora (*callback*) de redibujado llamará a la función principal de visualización descrita en la sección 4.2.7. Cuando no se está en el modo de la práctica 4, el programa se comporta igual que en la práctica anterior, la práctica 3, visualizando el objeto jerárquico o los objetos de las prácticas 1 y 2.

En el modo de la práctica 4, se pueden usar las teclas para mover la cámara (igual que en las anteriores prácticas), y además se procesarán teclas adicionales para mover la dirección de una de las fuentes de luz (la fuente direccional expresada en coordenadas polares con dos ángulos α y β, según se describe en la sección 4.2.4). Las teclas son:

- Tecla `A` : aumentar el valor de β
- Tecla `Z` : disminuir el valor de β
- Tecla `X` : aumentar el valor de α
- Tecla `C` : disminuir el valor de α

(da igual pulsarlas en mayúsculas o minúsculas)

4.3. Evaluación

La evaluación de la práctica, sobre 10 puntos, se hará del modo siguiente:

- Cálculo de las tablas de normales de caras y vértices (1,5 puntos).

- Incorporación de la tabla de coordenadas de textura a las mallas y su visualización (1,5 puntos)
- Código de asignación de coordenadas de textura al objeto de revolución (1,5 puntos)
- Código de carga y visualización de texturas (1,5 puntos)
- Definición correcta de materiales y su código de activación (2 puntos)
- Definición de fuentes de luz, del código de activación, y de la modificación interactiva de la dirección de una de ellas (2 puntos)

4.4. Extensiones

Como extensión, se propone incorporar texturas y fuentes de luz al objeto jerárquico creado para la práctica 3. A dicho objeto se le pueden aplicar distintas texturas y/o materiales a las distintas partes de forma que se incremente su grado de realismo, así como definir fuentes de luz.

Para llevar a cabo esta tarea, hay que tener en cuenta que el código que visualiza las mallas debe enviar las normales, y en los casos que corresponda las coordenadas de textura. Si se usa alguna librería para visualizar las mallas (como `glu`, `glut` u otras), debemos de asegurarnos que la librería envía normales y cc.tt., si esto no es así habrá que considerar otra librería o escribir el código de visualización de esas mallas.

4.5. Duración

Esta tercera práctica se desarrollará en 3 sesiones.

4.6. Bibliografía

- Mark Segal y Kurt Akeley; *The OpenGL Graphics System: A Specification (version 4.1)*; http://www.opengl.org/
- Edward Angel;*Interactive Computer Graphics. A top-down approach with OpenGl*; Addison-Wesley, 2000
- J. Foley, A. van Dam, S. Feiner y J. F. Hughes; *Computer Graphics: Principles And Practice, 2 Edition*; Addison-Wesley,1992
- P. Shirley y S. Marschner; *Fundamentals of Computer Graphics, 3rd Edition*; A K Peters Ltd. 2009.

Práctica 5

Interacción

5.1. Objetivos

El objetivo de esta práctica es:

- Aprender a desarrollar aplicaciones gráficas interactivas, gestionando los eventos de entrada de ratón
- Aprender a realizar operaciones de selección de objetos en la escena.
- Afianzar los conocimientos de los parámetros de la cámara para su correcta ubicación y orientación en la escena.

5.2. Desarrollo

Partiendo de las prácticas anteriores, se añadirá la siguiente funcionalidad:

1. Colocar varias cámaras en la escena
2. Mover la cámara usando el ratón y el teclado en modo *primera persona*.
3. Seleccionar objetos de la escena usando el ratón de forma que la cámara pase a funcionar en modo *examinar*.

Adicionalmente, como funcionalidad extra, se podrá implementar:

1. Una cámara en *tercera persona* que siga un objeto en movimiento (aleatorio o guiado por teclado) en la escena.
2. la función de zoom para una cámara con una proyección ortogonal

5.2.1. Colocar varias cámaras en la escena

Se añadirá al código un vector de cámaras (objetos de una clase `Camara` si se está programando en C++), y se incluirá en la escena un mecanismo de control para saber qué cámara de las existentes está activa. Al menos se habrán de colocar tres cámaras, ofreciendo las vistas clásicas de frente, alzado y perfil de la escena completa. Al menos una de ellas deberá tener proyección ortogonal y al menos otra proyección en perspectiva. Se activarán con las teclas F1, F2 y F3.

5.2.2. Mover la cámara usando el ratón y el teclado en modo *primera persona*

Con las teclas A,S,D y W se moverá la cámara activa por la escena (W: avanzar, S: retroceder, A: desplazamiento a la izquierda, D: desplazamiento a la derecha, R: reiniciar posición), conservando la dirección en la que se está mirando. Para ello será necesario modificar únicamente el punto VRP o *eye*.

Por otro lado, girar la cámara a derecha o izquierda, arriba o abajo (modificar el VPN o el *lookAt* se realizará siguiendo los movimientos del ratón con el botón derecho pulsado.

Para controlar la cámara con el ratón es necesario hacer que los cambios de posición del ratón afecten a la posición de la cámara, y en *glut* eso se hace indicando las funciones que queremos que procesen los eventos de ratón (en el programa principal antes de la llamada a *glutMainLoop*();):

```
glutMouseFunc( clickRaton );
glutMotionFunc( ratonMovido );
```

y declarar estas funciones en el código.

La función *clickRaton* será llamada cuando se actúe sobre algún botón del ratón. La función *ratonMovido* cuando se mueva el ratón manteniendo pulsado algún botón.

El cambio de orientación de la cámara activa se gestionará en cada llamada a *ratonMovido*, que solo recibe la posición del cursor, por tanto debemos comprobar el estado de los botones del ratón cada vez que se llama a *clickRaton*, determinando que se puede comenzar a mover la cámara sólo cuando se ha pulsado el botón derecho. La información de los botones se recibe de *glut* cuando se llama al callback:

```
void clickRaton( int boton, int estado, int x, int y );
```

por tanto bastará con analizar los valores de *boton* y *estado*, y almacenar información que nos permita saber si el botón derecho está pulsado y la posición en la que se encontraba el cursor cuando se pulsó

```
if ( boton == GLUT_RIGHT_BUTTON )
{  if ( estado == GLUT_DOWN ){
// Se pulsa el botón, por lo que se entra en el estado "moviendo cámara"
   }
   else{
// Se levanta el botón, por lo que se sale del estado "moviendo cámara"
   }
}
```

En la función *ratonMovido* comprobaremos si el botón derecho está pulsado, en cuyo caso actualizaremos la posición de la cámara a partir del desplazamiento del cursor

```
void ratonMovido( int x, int y )
{  ......
   ......
   if ( estadoRaton==MOVIENDO_CAMARA_FIRSTPERSON)
   {
      escena.camaras[camaraActiva].girar(x-xant,y-yant);
                        xant=x;yant;=;
  }
  glutPostRedisplay();
```

En el método `Camara::girar`, cada cámara recalcula el valor de sus parámetros (VPN o `lookAt`) en función del incremento de x e y recibido.

Si hasta ahora en la práctica la transformación de visualización se hacía, por ejemplo, en

```
void change_observer()
{
   // posicion del observador
   glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
   glLoadIdentity();
   glTranslatef(0,0,-Observer_distance);
   glRotatef(Observer_angle_x,1,0,0);
   glRotatef(Observer_angle_y,0,1,0);
}
```

ahora habrá que hacer

```
void change_observer()
{
   // posicion del observador
   glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
   glLoadIdentity();
   escena.camaras[camaraActiva].setObservador();
}
```

de forma que en cada posicionamiento de la cámara se invoque la cámara con los parámetros adecuados.

5.2.3. Seleccionar objetos de la escena usando el ratón de forma que la cámara pase a funcionar en modo *examinar*

Se incluirán en la escena los objetos generados en las prácticas 2, 3 y 4, y cualquier otro objeto que se desee. El usuario, al hacer clic con el botón izquierdo del ratón sobre uno de los objetos de la escena, centrará el foco de atención sobre el centro de dicho objeto (calculado como el centro de su caja envolvente). A partir de ese momento, la cámara entrará en modo EXAMINAR, y el movimiento del ratón con el botón derecho pulsado permitirá observar el objeto seleccionado desde cualquier ángulo.

Movimiento de la cámara en modo EXAMINAR

En el método `Camara::girar`, cuando se está en modo examinar, la cámara recalcula el valor de sus parámetros (VRP o `eye`) en función del incremento de x e y recibido, de forma que orbite en torno al punto `lookAt`, que es el centro del objeto seleccionado.

En el modo EXAMINAR, las teclas A,S,D y W no tienen efecto sobre la cámara, salvo que se implemente la funcionalidad extra de zoom, que se realizará con las teclas W y S.

Selección

Para seleccionar se debe crear una función de selección (*pick*). Hay dos formas de hacerlo: usando el modo GL_SELECT de OpenGL, o usando una codificación de colores en el buffer trasero.

Selección modo GL_SELECT

Cuando se pulse el botón izquierdo desde la función *clickRaton* se debe llamar a una función que gestione el `pick`:

```
int pick( int x, int y)
```

siendo, x, y la posición del cursor que se va a usar para realizar la selección, y devuelve el ID del objeto que se ha seleccionado (-1 si no se ha seleccionado nada).

Para poder seleccionar los distintos componentes de la escena se deben añadir identificadores (*names*) al dibujarlos.

El procedimiento de selección (*pick*), debe realizar los siguientes pasos:

```
// 1. Declarar buffer de selección
      glSelectBuffer(...)
// 2. Obtener los parámetros del viewport
      glGetIntegerv (GL_VIEWPORT, viewport)
// 3. Pasar OpenGL a modo selección
      glRenderMode (GL_SELECT)
// 4. Fijar la transformación de proyección para la seleccion
      glMatrixMode (GL_PROJECTION);
      glLoadIdentity ();
      gluPickMatrix (x,(viewport[3] - y),5.0, 5.0, viewport);
      MatrizProyeccion(); // SIN REALIZAR LoadIdentity !
// 5. Dibujar la escena con Nombres
      dibujarConNombres();
// 6. Pasar OpenGL a modo render
      hits = glRenderMode (GL_RENDER);
// 7. Restablecer la transformación de proyección (sin gluPickMatrix)
// 8. Analizar el contenido del buffer de selección
// 9. Devolver el resultado
```

Interpretación del buffer de selección

En el buffer devuelve, para cada primitiva intersecada (la variable `hits` devuelta al hacer `glRenderMode(GL_RENDER)` nos dice el número de primitivas intersecadas con el clic del ratón):

- el número de identificadores o nombres asociados a la primitiva
- el intervalo de profundidades de la primitiva: zmin y zmax.
- los nombres asociados a la primitiva.

Se deberá crear un método en la escena o una función que gestione el buffer de nombres, y devuelva el identificador del objeto más cercano al observador.

Nombres

Para distinguir un objeto de otro, OpenGL utiliza una pila de enteros como identificadores. Dos primitivas se considera que corresponden a objetos distintos cuando el contenido de la pila de nombres es distinto. Para ello proporciona las siguientes funciones:

```
glLoadName(i) // Sustituye el nombre activo por i
glPushName(i) // Apila el nombre i
glPopName() // Desapila un nombre
glInitNames() // Vacia la pila de nombres
```

El método o función `dibujarConNombres` difiere del dibujar normal en que hace uso de la pila de nombres, por lo que es el que se invoca en el modo GL_SELECT. Antes de ponerte a codificar, debes decidir cómo colocar los identificadores y añadirlos a los objetos, teniendo en cuenta lo que necesitas seleccionar.

Procura gestionar bien la pila de nombres, asegurándote de que está vacia al comienzo del ciclo de dibujo y que los `glPushName` y `glPopName` están balanceados

Selección por codificación de colores

Hay un mecanismo más simple aún para determinar qué primitiva ha sido seleccionada. Se trata de usar un código de color para cada objeto seleccionable. Se trata de crear una función de dibujado distinta para cuando queremos seleccionar, y cuando el usuario hace clic, se pinta la escena "para seleccionar" en el buffer trasero y se lee el color del pixel donde el usuario ha hecho clic. Si no se hace un intercambio de buffers, el usuario jamás verá esa escena "rara", y el programa seguirá su proceso natural.

En resumen, los pasos a seguir son:

- Llamar a la función o método dibujaSeleccion()
- Leer el pixel (x,y) dado por la función gestora del evento de ratón
- Averiguar a qué objeto hemos asignado el color de dicho pixel
- **No intercambiar buffers**

Un código de ejemplo, que dibuja cuatro patos cada uno de un color sería:

```
    void Escena::dibujaSeleccion() {

    glDisable(GL_DITHER); // deshabilita el degradado
    for(int i = 0; i < 2; i++)
```

```
          for(int j = 0; j < 2; j++) {
               glPushMatrix();
               switch (i*2+j) { // Un color para cada pato
                       case 0: glColor3ub(255,0,0);break;
                       case 1: glColor3ub(0,255,0);break;
                       case 2: glColor3ub(0,0,255);break;
                       case 3: glColor3ub(250,0,250);break;
               }
               glTranslatef(i*3.0,0,-j * 3.0);
               pato.dibuja();
               glPopMatrix();
          }
        glEnable(GL_DITHER);
        }
```

Para comprobar el color del pixel, usaremos la función glReadPixels:

```
void glReadPixels(GLint x, GLint y, GLsizei width, GLsizei height,
                  GLenum format, GLenum type, GLvoid *pixels);
```

donde

- x,y : la esquina inferior izquierda del cuadrado a leer (en nuestro caso el x,y, del pick)
- width,height: ancho y alto del área a leer (1,1 en nuestro caso)
- format: Tipo de dato a leer (coincide con el format del buffer, GL_RGB o GL_RGBA).
- type: tipo de dato almacenado en cada pixel, según hayamos definido el glColor (p.ej. GL_UNSIGNED_BYTE de 0 a 255, o GL_FLOAT de 0.0 a 1.0)
- pixels: El array donde guardaremos los pixels que leamos. Es el resultado de la función.

En el caso del procesamiento del pick, una vez dibujado el buffer, llamaríamos a un método o función que, en función del color del pixel nos miraría en la tabla de asignación de colores a objetos qué objeto estaríamos seleccionando.

Para que esto funcione, hay varias cosas a tener en cuenta:

- Los colores se han de definir con glColor3ub, es decir, como enteros de 0 a 255
- Es posible que el monitor no esté en modo trueColor y no devuelva exactamente el valor que pusimos (hay que tenerlo en cuenta si no funciona bien).
- Hay que desactivar el GL_DITHER, GL_LIGHTING, GL_TEXTURE

5.3. Evaluación

La evaluación de la práctica, sobre 10 puntos, se hará del modo siguiente:

- Posicionar varias cámaras (2 punto)
- Gestión con ratón y teclado de cámara en primera persona (3 puntos)
- Selección de objeto (2 puntos)
- Gestión con ratón de cámara en modo examinar (3 puntos)

5.4. Extensiones

Se podrá realizar una animación de un objeto (p.ej. un animal que se mueva por el suelo) y se le pondrá una cámara que le realice un seguimiento desde atrás, lo que viene a ser una cámara en *tercera persona*. El movimiento del objeto podrá ser automático o controlado por teclado. En este caso, tanto la posición `eye` como `lookAt` vienen determinadas, de forma directa o indirecta, por el objeto que se persigue.

Como debe haber al menos una cámara en modo ortogonal, se podrá implementar la función zoom para dicha cámara, pues sabemos que la imagen resultante es independiente de la distancia del observador al plano de proyección. Para ello habrá que modificar los parámetros del frustum.

5.5. Duración

La práctica se realizará durante 3 sesiones.

5.6. Bibliografía

- Mark Segal y Kurt Akeley;*The OpenGL Graphics System: A Specification (version 4.1)*; http://www.opengl.org/
- Edward Angel;*Interactive Computer Graphics. A top-down approach with OpenGl*; Addison-Wesley, 2000
- J. Foley, A. van Dam, S. Feiner y J. F. Hughes; *Computer Graphics: Principles And Practice, 2 Edition*; Addison-Wesley,1992
- M. E. Mortenson; *Geometric Modeling*; John Wiley & Sons,1985
- http://www.lighthouse3d.com/opengl/picking/index.php