Videojuegos 2D

Jesús Alonso Alonso

P07/B0053/02686

UOC
www.uoc.edu

Índice

Introducción

En este módulo trataremos los aspectos involucrados en la realización del que será nuestro primer videojuego. Con este propósito se establecerán las bases de la programación de videojuegos ofreciendo su estructura principal, se describirá el motor *tile based engine*, daremos a conocer cómo realizar la gestión de eventos y ventanas y unos módulos iniciales de física y programación gráfica. De este modo seremos capaces de implementar un videojuego completo en su versión 2D.

La tecnología que utilizaremos a tal efecto se basará en la herramienta de desarrollo Visual Studio .net y las librerías GLUT para la gestión de ventanas y eventos, así como OpenGL como API gráfica. La elección de la primera herramienta viene dada por su amplia aceptación y utilización en el ámbito del videojuego de carácter profesional. Las librerías escogidas responden a una línea de programación basada en la filosofía multiplataforma y libres.

Para acabar, mostraremos la solución que nos brinda DirectX para la programación de videojuegos 2D.

Objetivos

En este módulo didáctico se presenta al alumnado los conocimientos necesarios para conseguir los siguientes objetivos:

1. Entender la estructura de un videojuego.

2. Distinguir y clasificar los diferentes tipos de videojuegos 2D basados en celdas.

3. Entender los diferentes módulos de física que intervienen en un videojuego 2D: cinemática, fuerza, gravedad, resorte, respuesta a colisiones y proyectiles.

4. Conocer las diferentes técnicas que se pueden utilizar para la detección de colisiones en este ámbito.

5. Implementar un videojuego 2D haciendo uso de un *tile based engine*.

6. Gestionar ventanas y eventos con la librería GLUT.

7. Conocer las API gráficas más importantes.

8. Conocer al detalle las funcionalidades básicas de OpenGL para implementar un videojuego 2D.

9. Tener una aproximación de la solución que proporciona DirectX mediante la interfaz ID3DXSprite.

1. Estructura de un videojuego

Cuando hablamos de videojuegos hacemos referencia a una forma completamente diferente de programar software. La diferencia principal entre una aplicación convencional y un videojuego radica en la gestión de eventos: un programa ofrece respuestas a eventos y, una vez son servidos, permanece a la espera de una nueva orden; en cambio, un videojuego es un programa que debe actuar en tiempo real, tiene que estar haciendo cálculos y dibujando en pantalla constantemente. No se puede esperar a que suceda un evento para poder actuar: aunque el jugador no haga nada, no presione una sola tecla, no mueva el ratón, el juego tiene que calcular el tiempo que lleva jugando en ese nivel, si le va a atacar algún enemigo, si está cargando energía y, por supuesto, dibujar en pantalla todo lo que va sucediendo.

La mayoría de videojuegos están construidos bajo una misma estructura básica sobre la cual corre el programa. Esta estructura puede variar, pero por lo general se presenta de la siguiente manera:

- **Inicialización**. Es la primera etapa y en ella el juego se sitúa en un estado inicial predefinido. Para ello deben efectuarse las inicializaciones por lo que respecta a las librerías o motores que vayan a utilizarse, de variables y estructuras de datos referentes a los atributos de las entidades o personajes, escenarios, configuraciones, etc., y de los diferentes recursos físicos que vayan a emplearse, tales como gráficos o sonidos.

- **Ciclo de juego**. Es la parte donde está toda la acción y es un punto que se irá repitiendo una y otra vez hasta que el jugador pierda, gane o se salga del juego. En general podríamos dividir esta sección en tres partes:
  - **Entrada.** Es donde se captura todo lo que hace el jugador, como presionar los botones del control, mover el ratón, presionar las flechas del teclado y el resto de información que recibe el juego.

  - **Proceso**. Es la parte donde se procesa toda la información que se recibió de entrada y tiene lugar la lógica del videojuego. Es donde se efectúan los módulos más importantes del videojuego junto al tratamiento gráfico. Se llevan a cabo los cálculos de la física del juego y la inteligencia artificial.

  - **Salida**. Se encarga de enviar al jugador toda la información que se procesó en el paso anterior, es decir, se le muestra la respuesta a lo que hizo. Se visualiza en pantalla el estado actual, se hacen sonar músicas o efectos sonoros, etc.

- **Finalización**. Es el último punto y consiste en liberar los recursos y memoria utilizada durante el juego, dejando el sistema en un estado óptimo, esto es, tal y como lo habíamos encontrado. Previamente, también podremos realizar algunas tareas tales como el registro de la tabla de puntuaciones u otros valores.

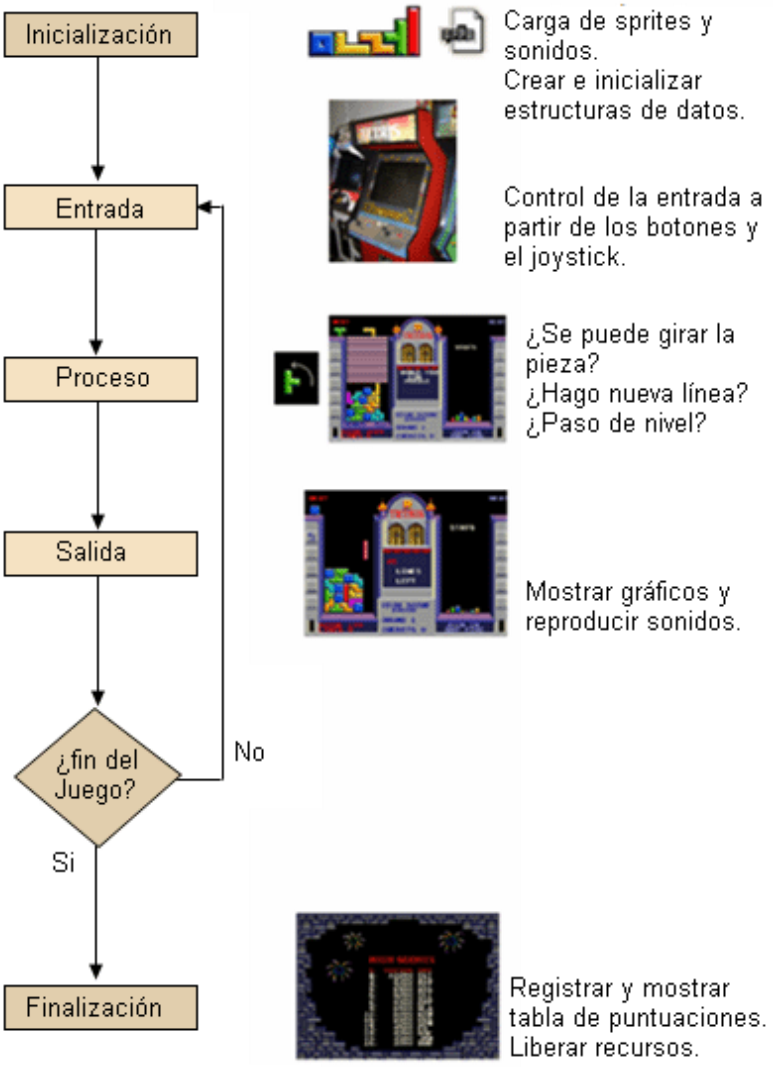
Es importante diferenciar las tres etapas del ciclo del videojuego y ver qué tarea se delega en cada una de ellas: en la entrada tan sólo nos ocupamos de captar los posibles eventos; el proceso se encarga en primer lugar de procesar la entrada y más adelante de la lógica del videojuego, y, por último, la capa de salida se encarga de visualizar y reproducir la música.

Con los puntos anteriormente comentados ya podemos confeccionar lo que será la estructura principal de nuestro primer videojuego. Haremos uso de la notación inglesa, que es la utilizada por las librerías y motores en su inmensa mayoría.

```
void main()
{
   bool end = false;

   Initialization();

   do {

      Input();
      Process();
      Output();

   } while( !end );

   Finalization();
}
```

Tetris

Veamos un ejemplo de cada uno de los módulos de esta estructura haciendo uso de un juego conocido por todos: Tetris.


Inicialización
Entrada
Proceso
Salida
¿fin del Juego?
No
Si
Finalización
Carga de sprites y sonidos.
Crear e inicializar estructuras de datos.
Control de la entrada a partir de los botones y el joystick.
¿Se puede girar la pieza?
¿Hago nueva línea?
¿Paso de nivel?
Mostrar gráficos y reproducir sonidos.
Registrar y mostrar tabla de puntuaciones.
Liberar recursos.

2. *Tile based engine*

Para explicar la tecnología utilizada en los videojuegos de dos dimensiones, nos basaremos en los juegos basados en mapas, ya que el resto pueden ser considerados un subconjunto de éstos de menor complejidad. Haciendo uso de la terminología inglesa podemos referirnos a ellos como *tile based games* (juegos basados en celdas), que utilizan el motor precisamente llamado *tile based engine*.

Éste es un campo amplísimo que abarca quizás la mayoría de juegos que se han producido a lo largo de la historia, desde los juegos de plataformas al Tetris o el Diablo, por ejemplo. Existe bajo infinitas variantes, pero su esquema general se podría resumir en los elementos siguientes:

- Un escenario definido mediante una matriz de números. Cada número se usa para indexar un vector, que contiene los diferentes gráficos del mapa/fondo.

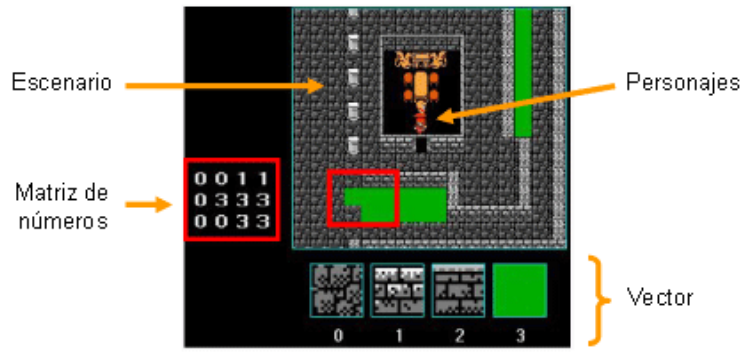
- Un personaje (o personajes) que puede moverse por ese mapa.

- Enemigos (opcional).

- Un algoritmo de detección de colisiones para averiguar por dónde puede o no puede pasar el personaje, así como la obtención de ítems o el alcance de proyectiles.

La idea es realmente simple. Partimos de un mapa que contiene una serie de números que conformarán los diferentes tipos de baldosas o celdas que tendremos, y cada uno de estos valores se identificará con un *bitmap*. Es decir, la representación física de estos números tendrá un significado semántico a partir de imágenes. El conjunto de estos números, los identificadores de *tiles* (azulejos), dispuestos estratégicamente conformarán la configuración y el aspecto de nuestro mapa.

Mostremos los diferentes aspectos que acabamos de citar haciendo uso de una imagen perteneciente al juego Final Fantasy:



Primera versión del juego Final Fantasy del año 1987

Este hecho nos permite corroborar por qué en la mayoría de los juegos que estamos acostumbrados a ver tiene lugar una repetición masiva de pequeñas imágenes. La configuración de mapas mediante *tiles* permite hacer un uso eficiente de la memoria en cuanto a espacio se refiere. Tan sólo es necesario guardar estas matrices de *tiles* y, por otra parte, contar con una serie de pequeñas imágenes.

2.1. Tipos

Como hemos comentado, existen infinidad de variantes a este sistema. A continuación, daremos a conocer en detalle las más extendidas:

- la perspectiva lateral con la técnica *parallax*
- la perspectiva perpendicular
- la perspectiva isométrica llamada popularmente *filmation*

2.1.1. Perspectiva lateral

Es la variante utilizada principalmente en los juegos de plataformas. En ella el escenario está compuesto por un fondo y aquellos elementos con los cuales podemos interaccionar. El fondo suele estar compuesto por una o varias capas, en las cuales colocamos diferentes elementos gráficos a modo decorativo y se mueven en dirección contraria a la del jugador.

La posibilidad de trabajar con diferentes capas nos permite simular un cierto aspecto de profundidad dándole una cierta riqueza visual. Ésta es la técnica conocida como *parallax,* que consiste en mover cada una de estas capas a diferentes velocidades para obtener esta sensación de profundidad. Por ejemplo, podemos disponer de una capa compuesta por terrenos y montañas que transcurre a una cierta velocidad y otra más lenta formada por nubes.

Mediante la técnica **Parallax** podemos enriquecer el aspecto visual ofreciendo un cierto ambiente 3D gracias a las diferentes velocidades de cada una de las capas de fondo con las que trabajamos.

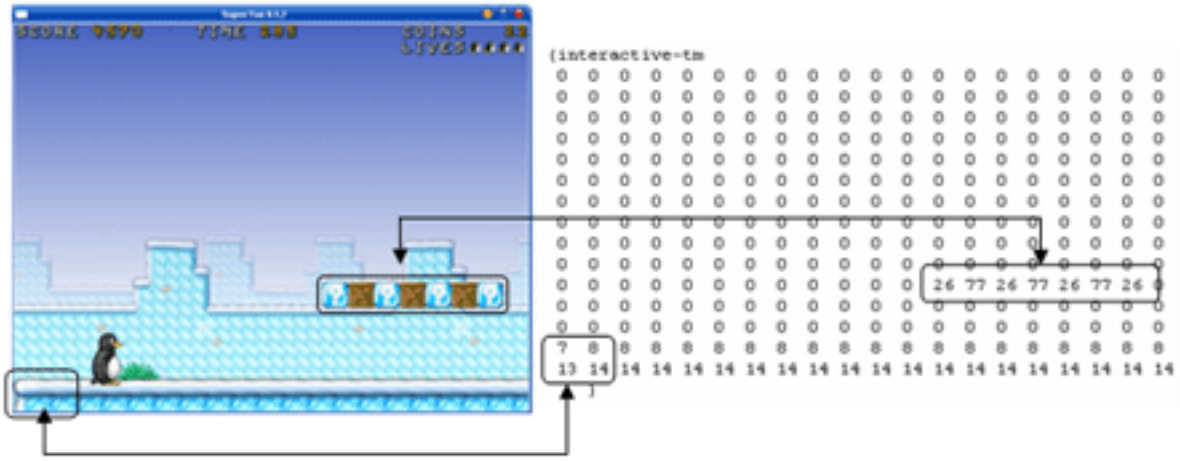
La lógica del juego se basa en el control de saltos y caídas desde diferentes plataformas, un control de movimiento de enemigos basado en su gran mayoría en patrones predefinidos y un sencillo algoritmo de detección de colisiones para impactos u obtención de ítems.

Ejemplos de juegos con perspectiva lateral

Veamos algunos juegos a modo de muestra e intentemos observar y diferenciar las diferentes *tiles* que aparecen en ellos:

De izquierda a derecha y de arriba abajo: "Alex Kid in the Miracle World", "Snow Bros", "Pushover" y "Mario Bros"

Veamos a continuación un ejemplo mediante el juego SuperTux, desarrollado mediante la API SDL y disponible en la dirección web: http://supertux.lethargik.org/.



La imagen de la izquierda corresponde al estado inicial de la primera pantalla y la imagen de la derecha a su mapa de *tiles* que está localizado en el fichero "\data\levels\world1\level1.stl".

Actividad

En la imagen del juego SuperTux podemos apreciar la asociación que existe entre los números identificadores de celdas y su correspondiente *bitmap*. Se propone el siguiente ejercicio:

1) Modificar la configuración del mapa para que en todos aquellos espacios donde no tenga lugar ninguna *tile* con la cual interaccionar aparezcan monedas, y de esta manera podamos obtener una mayor puntuación.

2) Crear un plataforma superior, a partir de la cual poder pasar todo el nivel sin necesidad de esquivar los diferentes obstáculos.

Una vez conocida la técnica de los juegos basados en *tiles*, estamos en disposición de poder cambiar el aspecto de un videojuego si somos lo suficientemente hábiles, encontrando dónde y cómo se almacena la información de los escenarios.

2.1.2. Perspectiva perpendicular

Algunos juegos que utilizan esta vista son los del género de estrategia en tiempo real, los juegos de rol o algunos *shoot'em ups*. El manejo del escenario puede llegar a ser muy parecido al del caso anterior y, así como los de perspectiva lateral trataban con plataformas donde poder saltar, ahora dispondremos de celdas que serán transitables y otras que no. Otro elemento diferenciador es que en muchos casos se cuenta con un radar mediante el cual la navegación puede ser directa en lugar de incremental.

Ejemplos de juegos con perspectiva perpendicular

A continuación mostramos algunos ejemplos en los cuales, de nuevo, podemos corroborar la composición del mapa a partir de *tiles*:

De izquierda a derecha y de arriba abajo: "Cobra Mission", "Warcraft", "Dune 2" y "Zelda"

2.1.3. Perspectiva isométrica

Para el caso de los juegos con vista isométrica, también llamada *filmation*, el motor basado en celdas difiere en mayor medida. El motivo no es otro que el aspecto romboidal que en este caso presentan las celdas que mantienen una proporción 2:1. La idea de fondo, sin embargo, es exactamente la misma.

A lo largo de la historia este tipo de juegos se ha ido perfeccionando y podemos diferenciarlo en tres categorías:

- El *filmation* clásico: el aspecto del escenario era propiamente romboidal y la interfaz gráfica se utilizaba para rellenar el espacio libre.
- El *filmation* cuadrado: mostraba el escenario utilizando toda la pantalla.
- El *filmation* con *scroll*: la navegación se hace de manera que la cámara sigue constantemente al personaje.

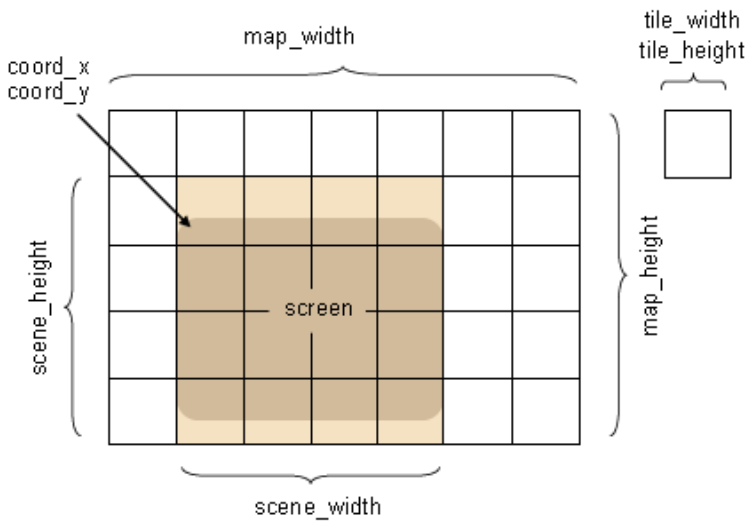
Ejemplos de juegos con perspectiva isométrica

Una vez más, mostraremos unos ejemplos en los cuales se puede apreciar también el escenario compuesto de *tiles*, pero en este caso son romboidales.

De izquierda a derecha y de arriba abajo: "La Abadía del Crimen", "Knight Lore" y "Diablo"

2.2. Estructura de datos

La estructura de datos que permita almacenar este tipo de escenarios basados en celdas debe responder al contexto siguiente:



Usando una notación C, la estructura quedaría como sigue:

```
struct TileMap
{

   int tile_width,   //Ancho y alto de las tiles
      tile_height;   //(píxeles)

   int map_height,   //Ancho y alto de todo el mapa
      map_width;     //(tiles)
```

```
    int scene_width,  //Ancho y alto de la parte visible
       scene_height;  //por pantalla del mapa (tiles)

    int coord_x,      //Coordenadas de la parte visible
       coord_y;       //(píxeles)

    Image *images;    //Vector de imágenes para cada tile

    int **data;       //El mapa, la matriz de tiles
};
```

2.3. Algoritmo de visualización

El proceso de dibujado de nuestro mapa de *tiles* consiste en los siguientes pasos:

1) En primer lugar, para recorrer cada una de las celdas que conforman la parte visible del mapa, será necesario calcular los índices de la primera y última celda para cada uno de los dos ejes de la matriz.

2) A continuación, calculamos la coordenada de pantalla desde la cual empezaremos a pintar, teniendo en cuenta el desplazamiento de la coordenada de la escena visible. Si ésta no es múltiplo del tamaño de las celdas, será necesario pintar una celda más.

3) Por último, recorremos la matriz resultante de la parte visible de nuestro mapa, y para cada paso, obtenemos el tipo de *tile*, la dibujamos en su posición e incrementamos este último valor para que vayan apareciendo consecutivamente en pantalla.

Por tanto, el código resultante sería el siguiente:

```
void RenderTileMap( TileMap *map )
{
   int tile;

   int Xo = map->coord_x / map->tile_width;
   int Yo = map->coord_y / map->tile_height;

   int Xf = Xo + map->scene_width - 1;
   int Yf = Yo + map->scene_height - 1;

   int pos_x = 0;
   int pos_y = 0;

   for(int i=Yo; i<=Yf; i++)
   {
```

```
        for(int j=Xo; j<=Xf; j++)
        {
           tile = map->data[i][j];
           RenderImage(map->images[tile], pos_x, pos_y);
           pos_x += map->tile_width;
        }
        pos_x = 0;
        pos_y += map->tile_height;
     }
  }
```

2.4. Selección e interacción

En un motor basado en celdas, la selección de objetos o personajes y la interacción con ellos se realiza mediante un sencillo cálculo. Ambas operaciones deben implementarse teniendo en cuenta el siguiente aspecto.

En un instante determinado del juego nos encontraremos en una parte del mundo en el cual se desarrolla la historia. Ésta es la parte visible que nosotros mostramos en pantalla y que se encontrará en un sistema de coordenadas que irá desde la posición (0,0) hasta la resolución escogida (Rx-1,Ry-1). La selección e interacción tendrán que tener en cuenta que, cuando seleccionamos un objeto, lo hacemos a partir de este sistema de coordenadas y, por tanto, será necesario aplicar la transformación de coordenadas pertinente antes de hacer cualquier comprobación.

Con esta finalidad, siempre que queramos comprobar la posición de algún objeto o personaje, una vez hemos dado la orden mediante el ratón, por ejemplo, realizaremos los siguientes pasos:

1) Obtener la posición del ratón (mx, my) en pantalla. Por ejemplo, una vez se haya presionado, cuando interese, según cómo queremos que funcione nuestra interfaz.

2) Transformar el punto (mx, my) a coordenadas de mundo (del juego). Para ello le restamos el valor (coord_x, coord_y) que nos indica cuánto se encuentra desplazado nuestro mundo y cuál es el primer píxel que se está pintando en pantalla.

3) Realizar la comprobación oportuna. Por ejemplo, ver si tenemos algún personaje en esa posición, con el propósito de seleccionarlo para moverlo o darle una acción de atacar más adelante.

Para la selección múltiple de objetos o personajes, procederemos de igual manera. Transformamos punto inicial y final que conforman el recuadro de selección a coordenadas de mundo y comprobamos qué entidades se encuentran dentro de éste.

2.5. Navegación

La navegación sobre el escenario puede ser de dos tipos: directa o con *scroll*. Esto es, un acceso directo a una zona del mapa o paso a paso a través de él.

2.5.1. Navegación directa

Hacemos uso de esta navegación, por ejemplo, cuando seleccionamos un punto del área del radar para los juegos de estrategia en tiempo real o en algunos simuladores provistos de áreas de visualización en miniatura.

El problema que hay que resolver es el siguiente: actualizar la parte del mapa que va a ser visible por pantalla una vez el usuario haya pulsado el botón sobre el área del radar. A la variable, el punto de control de la parte visible de nuestro *tile based map* la hemos llamado (coord_x, coord_y). Por tanto, el objetivo será actualizar esta coordenada.

En este contexto es necesario conocer las siguientes variables:

- Posición del radar en la interfaz grafica (radar_x, radar_y), en coordenadas de pantalla.

- Proporción existente entre el tamaño del radar y el mapa del mundo. Es decir, cuántos píxeles en el área del radar conforman una celda.

Ejemplo de navegación directa

Nuestro mundo es de 32x32 celdas. El área del radar en pantalla mide 128x128 píxeles. Por lo tanto, 4x4 píxeles en el radar se corresponderán a una misma *tile*.

La fórmula para actualizar el punto (coord_x, coord_y) teniendo en cuenta los valores dados se realizará de la siguiente manera:

```
//Restamos offset de la IGU (valores en píxeles)
int x = mouse_x - radar_x;
int y = mouse_y - radar_y;

//Dividimos según la proporción existente (valores en tiles)
x = x >> 2;
y = y >> 2;

//Actualizamos variable de control de la parte visible
//de nuestro mundo
coord_x = x;
coord_y = y;
```

2.5.2. Navegación con *scroll* (incremental)

La navegación con *scroll* o incremental tiene lugar en la mayoría de juegos de plataformas al avanzar el personaje o en cualquier tipo de juego que permita navegar por el escenario posicionando el cursor sobre una de las zonas limítrofes de la pantalla. Detallaremos estos dos casos por separado: *scroll* provocado por el avance de un personaje y *scroll* provocado por la navegación vía ratón.

Scroll de personaje

Las opciones que se nos presentan son diversas. Pero en todas ellas el objetivo final es incrementar o decrementar el punto (coord_x, coord_y) según una constante que puede indicar la longitud del paso o avance del personaje o, por ejemplo, de forma variable según su velocidad.

Esta actualización puede realizarse de manera automática una vez pulsamos una tecla de dirección o cuando el personaje supera ciertos límites en pantalla, en una, dos, tres o hasta cuatro direcciones diferentes. Fijémonos cómo esta decisión definirá en gran parte la jugabilidad que va a ofrecer nuestro videojuego.

En este caso el código de visualización sufre una pequeña modificación, pues el *scroll* tiene lugar entre píxeles y no entre celdas o *tiles*. Los cambios a realizar radican en la inicialización del punto a partir del cual hay que pintar por pantalla.

```
int offset_x = map->coord_x % map->tile_width;
int offset_y = map->coord_y % map->tile_height;

int pos_x = -offset_x;
int pos_y = -offset_y;

if(offset_x!=0) Xf++;
if(offset_y!=0) Yf++;
```

Si nos fijamos en el código que acabamos de presentar, existe un pequeño detalle en lo que se refiere a la variable *offset*, que debemos tener en cuenta. Cuando el desplazamiento no es múltiplo del tamaño de la celda, la primera y última posición donde pintamos, por sus características, pueden salir de la pantalla. La mayoría de API gráficas realizan la operación de *clipping* por defecto, por lo que no es necesario añadir complejidad al algoritmo y el recorte de la imagen resulta automático. Asimismo, debemos destacar que cuando nos encontramos en este caso, es necesario pintar una celda más y, por tanto, debemos incrementar las variables Xf y/o Yf, según sea el caso.

Scroll vía ratón

El *scroll* vía ratón es más sencillo que el de personaje. En este caso queremos brindar al usuario la posibilidad de navegar por el mapa del juego cuando éste coloca el ratón sobre una de las zonas limítrofes de la pantalla y pulsa (o no) el botón.

Para ello, primero será necesario que definamos estas áreas. Si queremos permitir navegabilidad total, deberemos definir ocho zonas y obtener así todas las direcciones posibles. El tamaño de estas zonas rectangulares no debe ser muy grande, es suficiente con 4, 2 o incluso un único píxel, pues estamos forzando al usuario a desplazar el ratón hasta el límite de la pantalla.

Una vez detectada la dirección deseada, procederemos a actualizar la variable del punto de control de la zona visible. Para ello deberemos tener en cuenta, además, el control de los límites. El código resultante podría ser como el que se muestra a continuación:

```
void MoveScene(int dir)
{
   //Up
   if((dir==N) || (dir==NW) || (dir==NE))
   {
      if(coord_y > 0) coord_y--;
   }
   //South
   else if((dir==S) || (dir==SW) || (dir==SE))
   {
      if(coord_y < map_height-scene_height) coord_y++;
   }
   //West
   if((dir==W) || (dir==NW) || (dir==SW))
   {
      if(coord_x > 0) coord_x--;
   }
   //East
   else if((dir==E) || (dir==NE) || (dir==SE))
   {
      if(coord_x < map_width-scene_width) coord_x++;
   }
}
```

2.6. Variantes

La mayoría de juegos que trabajan bajo un *tile based engine* lo hacen mediante *tiles* cuadradas o rectangulares. Sin embargo, surgieron diferentes variantes para dotar de mayor realismo este tipo de juegos 2D. La confección de *tiles*

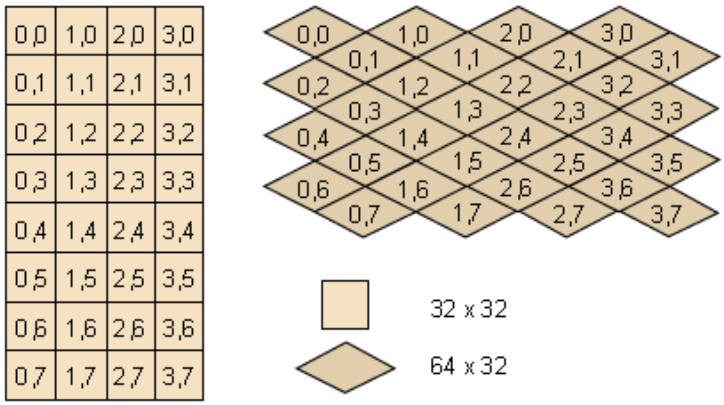
rectangulares que simularan profundidad mediante sombras o un diseño más perfeccionado proporciona un aspecto más profesional o más cercano a la realidad. Sin embargo, a lo largo de la historia se han elaborado otras soluciones que modifican directamente el tipo de *tile* pasando a ser romboidales y hexagonales.

A continuación, daremos a conocer las principales modificaciones a tener en cuenta para estos dos casos. Para ello, en primer lugar veremos las diferencias entre la versión perpendicular (la vista hasta ahora) con la isométrica y esta última con la hexagonal.

2.6.1. *Isometric tile map*

A primera vista podemos apreciar dos grandes diferencias entre los juegos en vista isométrica y perpendicular: el tamaño de las *tiles* y la configuración del mapa, las coordenadas de cada celda. El tamaño de las *tiles* isométricas mantiene una proporción de 2 a 1, y las coordenadas de cada una en el mapa difieren en gran medida.

Podemos observar este hecho en la siguiente ilustración. A modo de ejemplo, escogeremos uno de los tamaños de celdas más utilizados: 32x32 y 64x32.



A la izquierda, el *tile based map* convencional. A la derecha, su versión isométrica

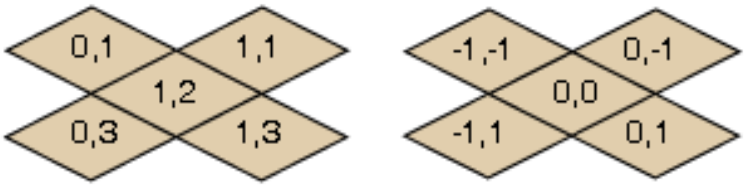
Como podemos ver se nos presentan dos nuevos problemas:

- La selección de celda ya no es tan trivial como antes, donde tan sólo era necesario hacer una división por el tamaño de la celda para saber de cuál se trata.

- El algoritmo de pintado también debe ser modificado.

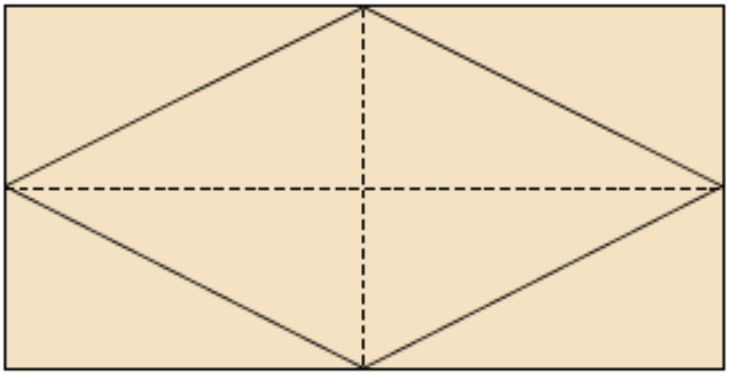
Selección de celda

Si observamos de nuevo la imagen anterior, podemos apreciar cómo se establece una relación de vecindad entre cada una de las celdas. Ésta puede ser descrita de la manera siguiente.



Esta imagen nos puede dar una primera pista de cómo solucionar el problema. Al elegir una celda haciendo la misma división que para el caso de celdas rectangulares, podemos acertar en el 50% de los casos y, en caso de error, sabemos que será una de las cuatro posibilidades restantes.

El siguiente paso, pues, consistirá en saber cuándo la división es suficiente y diferenciar y tratar cada uno de los cuatro casos posibles. Para ello proseguiremos el estudio con la siguiente imagen:



La técnica consiste en dividir la celda candidata en cuatro cuadrantes tal y como se acaba de mostrar. Al hacer esto podemos ver cómo han quedado perfectamente definidas cuatro rectas (las aristas del rombo). Primero debemos ubicar el punto en cuestión sobre el cuadrante pertinente y, a continuación, calcular si éste se encuentra por encima o por debajo de la recta. En caso positivo o negativo, se aplicará el incremento o decremento en una unidad según el cuadrante que sea, respecto la coordenada de la celda candidata.

El código resultante quedaría de la siguiente manera. El punto (mx, my) representa la posición del ratón.

```
//Calculamos la tile candidata
tx = mx >> 6;
```

```
ty = (my >> 5) << 1;

//Calculamos el resto
rx = mx % 64;
ry = my % 32;

//Comprobamos los cuatro cuadrantes
//Left
if(rx < 32)
{
   //Up
   if(ry < 16)
   {
      if( (16-(rx>>1)) > ry )
      {
         dx = -1;
         dy = -1;
      }
   }
   //Down
   else
   {
      if( (16+(rx>>1)) < ry )
      {
         dx = -1;
         dy = 1;
      }
   }
}
//Right
else
{
   rx -= 32;
   //Up
   if(ry < 16)
   {
      if( (rx>>1) > ry )
      {
         dx = 0;
         dy = -1;
      }
   }
   //Down
   else
   {
      if( (32-(rx>>1)) < ry )
      {
```

```
            dx = 0;
            dy = 1;
         }
      }
   }
   //Actualizamos posible incremento
   tx += dx;
   ty += dy;
```

Algoritmo de pintado

El algoritmo de pintado sufre una pequeña modificación. Debemos tener en cuenta si la fila es par o impar, para efectuar el desplazamiento de media celda y, además, tener en cuenta que el incremento de las variables para cada uno de los ejes ya no es el mismo.

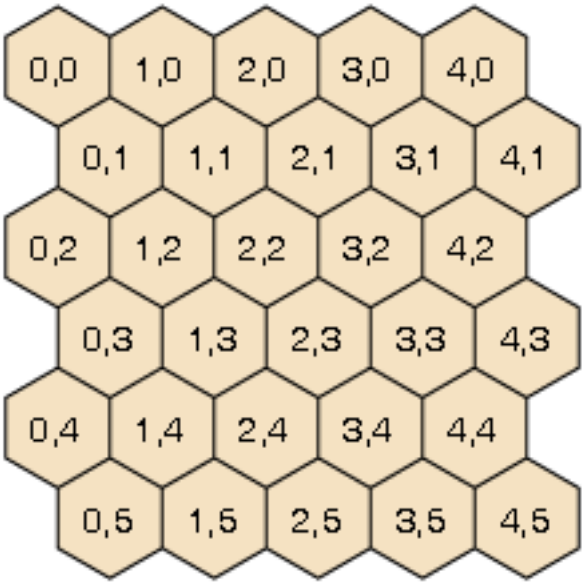
El recorrido del algoritmo queda como sigue:

```
for(int j=Yo; j<=Yf; j++)
{
   for(int i=Xo; i<=Xf; i++)
   {
      tile = map->data[i][j];
      RenderImage( map->images[tile], (i<<6) + ((j%2)<<5), (j<<4));
   }
}
```

En el código presentado podemos ver cómo en el eje de las X nos desplazamos 32 píxeles (media anchura de *tile*) según la fila es par o impar y las *tiles* se sitúan cada 64 píxeles (la anchura de la *tile*). En cambio, en el eje Y el incremento es de 16 píxeles (media altura de *tile*).

2.6.2. *Hexagonal-based tile map*

Para el caso de *tiles* hexagonales, se procede siguiendo la misma técnica que el isométrico pero teniendo en cuenta sus peculiaridades. De este modo, ahora la indexación de celdas es como presentamos en la ilustración siguiente.

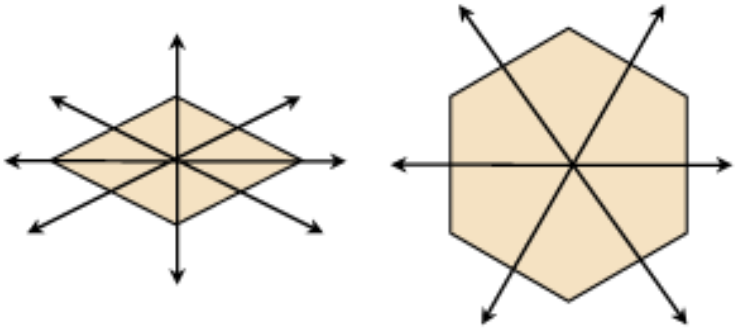


El algoritmo de selección de celda es muy similar al anterior; sin embargo, ahora no es suficiente con los cuatro cuadrantes. Asimismo, el caso del pintado resulta también muy similar.

Actividad

1) Pensar los cambios que deberán efectuarse en el código anteriormente presentado para ambos casos.

Finalmente, debemos tener en cuenta la limitación de movimientos que tiene lugar en este tipo de mapas con celdas hexagonales. Tanto en el caso perpendicular como en el isométrico disponemos de ocho posibles direcciones para ir de celda en celda. Sin embargo, la versión hexagonal limita este valor a seis, como se aprecia en la imagen siguiente:



En la imagen de la izquierda, una *tile* isométrica, con las ocho posibles direcciones que se pueden tomar desde ésta. En la derecha, una *tile* hexagonal con sus seis posibles direcciones.

3. Física

En este apartado daremos a conocer los principales aspectos de la física que tienen lugar en el desarrollo de videojuegos 2D. En primer lugar se mostrarán los aspectos de cinemática, fuerza, gravedad, resorte y colisiones elásticas. Acto seguido daremos a conocer diferentes técnicas para la detección de colisiones. En el módulo de "Videojuegos 3D", trataremos este tema con más detalle y mostraremos algunas referencias de librerías y motores físicos a tal efecto.

3.1. Conceptos

3.1.1. Cinemática

La cinemática es la parte de la mecánica clásica que estudia el movimiento de los cuerpos sin tener en cuenta las causas que lo producen, limitándose, esencialmente, al estudio de la trayectoria en función del tiempo. A continuación caracterizaremos las diferentes variables que tienen lugar: posición, velocidad, aceleración y tiempo.

La posición de un objeto es:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}\ t + \frac{1}{2}\vec{a}\,t^2$$

siendo $\vec{r}_0$ un vector desde el origen de coordenadas hasta la posición inicial del objeto, $\vec{v}$ la velocidad a la que se desplaza, $\vec{a}$ la aceleración que sufre y t el tiempo transcurrido desde que nos encontrábamos en $\vec{r}_0$ hasta ahora, que nos encontramos en la posición $\vec{r}$ (siendo éste un vector desde el origen de coordenadas hasta la posición actual).

Cuando hay aceleración, debemos actualizar la velocidad:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}\,t$$

siendo $\vec{v}_0$ la velocidad inicial, $\vec{a}$ la aceleración que sufre y t el tiempo transcurrido.

La aceleración nos vendrá determinada por las fuerzas que se apliquen sobre el objeto, que en las siguientes secciones están detalladas. Si un objeto sufre más de una aceleración (por ejemplo, un objeto colgado de un muelle recibe una aceleración por la tracción del muelle y otra por la gravedad) simplemente se han de sumar para obtener la aceleración total:

$$a = \sum_{i-1}^{N} \vec{a}_i$$

3.1.2. Fuerza

Todo videojuego que incluya valores físicos, necesitará hacer uso de la ecuación que permite traducir una fuerza ejercida sobre un objeto a una aceleración del movimiento del mismo. Como la exactitud no es un requisito, lo más correcto es hacer uso de la famosa "segunda ley de Newton" que ofrece una aproximación muy buena en los casos en que los objetos se desplacen a velocidades muy inferiores a las de la luz. Dicha ecuación es:

$$\sum_{i-1}^{N} \vec{F}_i = m\ \vec{a}$$

que aislando la componente que nos interesa, resulta:

$$\vec{a} = \frac{\sum_{i-1}^{N} \vec{F}_i}{m}$$

donde $\sum_{i-1}^{N} \vec{F}_i$ es la suma de todas las fuerzas que son ejercidas sobre el objeto y m es su masa. Esto provoca la aceleración $\vec{a}$ sobre el objeto, que condicionará su movimiento.

3.1.3. Gravedad

Como es bien sabido, cualquier masa atrae a toda otra masa debido a la gravedad que ejerce la primera sobre el resto. Usando la "teoría de la gravitación universal" de Newton, podemos calcular el valor de la fuerza de atracción ejercida por un objeto 1 sobre otro objeto 2:

$$F_{12} = -G\frac{m_1 m_2}{r^2}\hat{r}_{12}$$

donde G es la constante de gravitación, cuyo valor es $6{,}673\times10{-}11\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}^2\mathrm{kg}^{-2}$, m1 y m2 son las masas de los dos objetos, *r* es la distancia que los separa (es decir, $\left\|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right\|$ si $\vec{r}_1$ es la posición del objeto 1 y $\vec{r}_2$ la del objeto 2) y $\hat{r}_{12}$ es el vector unitario que se dirige del objeto 1 al objeto 2:

$$(\hat{r}_{12} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{\left\|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right\|}).$$

Si no nos interesa obtener directamente la fuerza, también podemos calcular únicamente el campo gravitatorio del objeto 1 en la región del objeto 2 de la siguiente manera:

$$\vec{g}_{12} = -G\frac{m_1}{r^2}\hat{r}_{12}$$

La única diferencia con la fórmula previa es la desaparición del término m_2. Sabiendo esto, se deduce que, una vez obtenida $\vec{g}_{12}$, calcular $\vec{F}_{12}$ es sencillamente:

$$\vec{F}_{12} = \vec{m}_2\,\vec{g}_{12}$$

Esta fórmula es idéntica a la ecuación expuesta en el apartado anterior:

$$(\vec{F} = m\cdot\vec{a}).$$

Se ve que el campo gravitatorio $\vec{g}_{12}$ actúa en el objeto 2 de igual manera que una aceleración, es decir, un campo gravitatorio es una aceleración.

3.1.4. Resorte

El comportamiento de los resortes es realmente complejo. Dependiendo del material, el método de fabricación, la forma, el estado y una infinidad más de parámetros, un resorte se comportará de una u otra manera. Resulta aún más impredecible cuando se le somete a deformaciones extremas (extenderlo o comprimirlo mucho), caso en el que incluso se produce una modificación permanente de la forma del resorte. Esto es lo que se conoce como el límite de elasticidad.

Afortunadamente, desde la posición de equilibrio (cuando no actúa ninguna fuerza) hasta dicho límite de elasticidad, un resorte se comporta de manera bastante simple siguiendo la aproximación lineal de la famosa ley de Hooke:

$$\vec{F} = -k\,\vec{x}$$

donde k es la constante de rigidez propia de cada resorte y $\vec{x}$ es el desplazamiento efectuado desde la posición de equilibrio. El signo negativo indica que la fuerza ejercida por el resorte siempre está en oposición a la dirección del desplazamiento: es una fuerza de "restauración", ya que tiende al equilibrio. Si no se contemplan pérdidas de energía, al enganchar una masa en el extremo libre del resorte, tensarlo y luego soltarlo, se producirá en dicho resorte un movimiento oscilatorio perpetuo, con una frecuencia de:

$$w = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

3.2. Colisiones elásticas

Una colisión elástica es aquélla en la que no hay pérdida de energía cinética y, por tanto, se conserva la cantidad de movimiento. Esto no es del todo real, pues siempre hay pérdidas en forma de sonido, calor, deformación, etc.; pero aun así, ofrece la base que permitiría implementar colisiones inelásticas.

Empecemos, pues, con la definición de la cantidad de movimiento:

$$\vec{p} = m\,\vec{v}$$

que es lo que conceptualmente puede entenderse como el impulso que lleva un objeto debido a su movimiento y masa.

También necesitamos la energía cinética:

$$E_c = \frac{1}{2} m \left\| \vec{v} \right\|^2$$

que es la energía extra que tiene un objeto debido a su movimiento, la energía que ha ido ganando durante su aceleración desde el reposo hasta su velocidad actual.

Para aclarar de antemano las próximas ecuaciones, exponemos aquí la sintaxis especial que será usada en ellas: con un $_1$ o un $_2$ como subíndice, nos referiremos siempre al mismo objeto de los dos que intervienen en la colisión; y con una prima, expresada con una comilla simple (‘), denotaremos un valor después del choque. Con lo anteriormente dicho, la conservación de la cantidad de movimiento se expresa como:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

Y la conservación de la energía cinética es:

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$$

Haciendo uso de mucha álgebra, pueden combinarse ambas ecuaciones para encontrar la solución de los valores que nos interesan, a saber: las velocidades finales v_1' y v_2'. Dichas ecuaciones son:

$$v_1' = \frac{v_1(m_1 - m_2) + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

$$v_2' = \frac{v_2(m_2 - m_1) + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2}$$

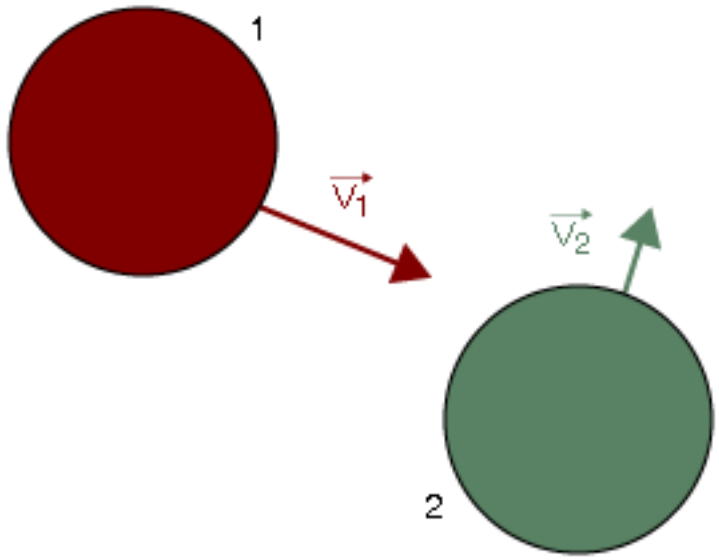
m1 y m2 iguales

Nótese la peculiaridad del caso en el que m1 y m2 sean iguales. Véase como ejemplo la ecuación de v‘1: el término v1 (m1 –m2) se anula, el divisor puede expresarse como 2m2 y simplificando únicamente nos queda v2. Así pues, con objetos de igual masa, las velocidades simplemente se intercambian.

Como puede observarse, sólo hemos obtenido las magnitudes de las velocidades resultantes en una única dimensión; aún nos resta extrapolar a colisiones en dos dimensiones usando velocidades con direccionalidad, para así poder expresar completamente a $\vec{v}_1'$ y $\vec{v}_2'$. En los siguientes pasos se detalla el método a seguir para la resolución.

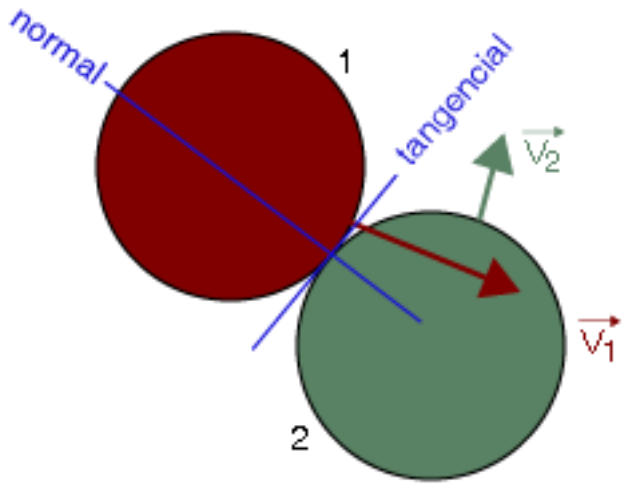
3.2.1. Idea conceptual

En la siguiente figura puede observarse una situación modelo de dos objetos que van a colisionar.



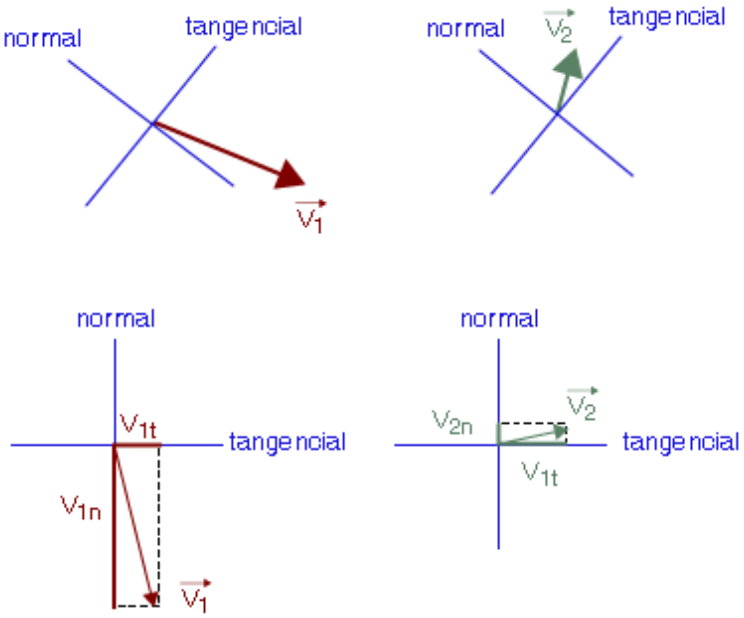
Disposición original de los objetos que van a colisionar

El procedimiento que seguiremos para el cálculo de sus velocidades finales consistirá en proyectar las velocidades iniciales de cada uno de los objetos en los vectores normal (perpendicular) y tangencial al punto de colisión. La siguiente figura muestra la disposición de los vectores normal y tangencial según el modelo de ejemplo.



Objetos en el momento de la colisión

Y en la siguiente figura pueden verse las proyecciones de $\vec{v}_1'$ y $\vec{v}_2'$ sobre ellos.



Descomposición de las velocidades iniciales

Esta descomposición en normal y tangencial la haremos debido a que la componente tangencial de las velocidades no se ve afectada en absoluto por el choque, mientras que la componente normal actúa como si se tratase de una colisión en una única dimensión, tipo de colisión que ya sabemos resolver con las fórmulas antes enunciadas.

3.2.2. Vectores normal y tangencial

Para obtener un vector que sea normal a la superficie de colisión de los círculos 1 y 2, simplemente usaremos las coordenadas de sus centros de la manera siguiente:

$$\vec{n} = \langle x_2 - x_1, y_2 - y_1 \rangle$$

donde las coordenadas (x_1, y_1) son el centro del círculo 1 y (x_2, y_2), las del círculo 2. El resultado $\vec{n}$ obtenido, sin embargo, es un vector que se dirige del centro del círculo 1 al centro del círculo 2. Nosotros sólo necesitamos su direccionalidad, no su módulo, y por ello lo transformamos a un vector unitario:

$$\hat{u}_n = \frac{\vec{n}}{\|\vec{n}\|}$$

Para la obtención del vector unitario tangente a la superficie de colisión, sólo necesitamos el vector unitario normal a la misma superficie de colisión que acabamos de calcular:

$$\hat{u}_t = \langle -u_{n,y}, u_{n,x} \rangle$$

donde el subíndice $_x$ indica la dimensión x del vector $\hat{u}_n$, y el subíndice $_y$ la dimensión y del mismo.

3.2.3. Descomposición de velocidades

Para separar los componentes normal y tangencial de $\vec{v}_1$ y $\vec{v}_2$, debemos hacer sendos productos escalares:

$$v_{1n} = \vec{v}_1 \hat{u}_n$$

$$v_{1t} = \vec{v}_1 \hat{u}_t$$

$$v_{2n} = \vec{v}_2 \hat{u}_n$$

$$v_{2t} = \vec{v}_2 \hat{u}_t$$

donde se entiende que los subíndices se han usado de la forma obvia: v_{1n} se refiere a la componente normal de $\vec{v}_1$, mientras que v_{2t} a la componente tangencial de $\vec{v}_2$; el resto no requiere más explicación.

Nótese la ausencia de notación vectorial para v_{1n}, v_{1t}, v_{2n} y v_{2t} ya que son resultado de un producto escalar que, recordemos, siempre devuelve una magnitud escalar (un único número invariable en cualquier sistema de referencia).

Para llevar a cabo un producto escalar de un vector $\vec{a}$ sobre un vector $\vec{b}$, se procede de la manera siguiente:

$$\vec{a}\,\vec{b} = \|\vec{a}\|\|\vec{b}\|\cos\theta$$

dónde θ es el ángulo que separa ambos vectores. Para calcularlo, puede hacerse de la manera siguiente:

$$\theta = \theta_a - \theta_b$$

Y para obtener la θ de un vector tenemos que hacer una arcotangente de la división de sus componentes x e y (y/x), teniendo muy en cuenta sus signos para no errar el cuadrante en que se halla el vector. Afortunadamente, para los programadores de videojuegos, los lenguajes más comúnmente usados (C, C++, Java) disponen de una función llamada atan2 que realiza este cálculo para nosotros, devolviendo un ángulo en radianes con valor en el rango [-π, π].

3.2.4. Componente tangencial final

Como ya se ha dicho anteriormente, la componente tangencial de las velocidades no se ve afectada en una colisión, por lo que su cálculo es inmediato:

$$v'_{1t} = v_{1t}$$

$$v'_{2t} = v_{2t}$$

3.2.5. Componente normal final

Como también se ha dicho ya, la componente normal de las velocidades actúa como si se tratase de una colisión en una única dimensión, por lo que las ecuaciones son iguales a las anteriormente presentadas:

$$v'_{1n} = \frac{v_{1n}(m_1 - m_2) + 2m_2 v_{2n}}{m_1 + m_2}$$

$$v'_{2n} = \frac{v_{2n}(m_2 - m_1) + 2m_1 v_{1n}}{m_1 + m_2}$$

3.2.6. Vectorización

Llegados a este punto, disponemos de las magnitudes de las componentes de las velocidades finales, pero son sólo valores escalares, por lo que necesitamos convertirlos en vectores:

$$\vec{v}'_{1n} = v'_{1n}\hat{u}_n$$

$$\vec{v}'_{1t} = v'_{1t}\hat{u}_t$$

$$\vec{v}'_{2n} = v'_{2n}\hat{u}_n$$

$$\vec{v}'_{2t} = v'_{2t}\hat{u}_t$$

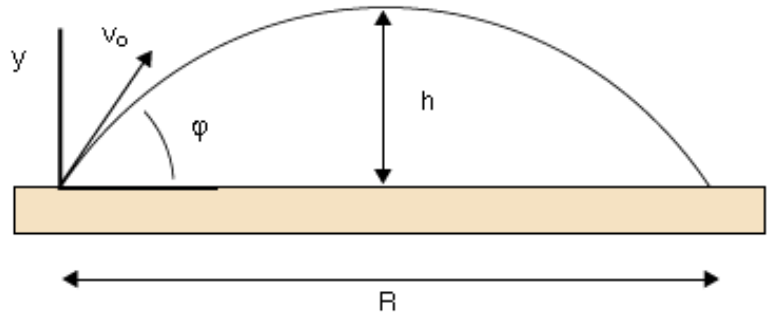
Y ahora que ya hemos obtenido las dos componentes de las velocidades finales, podemos construir los vectores que las representan:

$$\vec{v}'_1 = \vec{v}'_{1n} + \vec{v}'_{1t}$$

$$\vec{v}'_2 = \vec{v}'_{2n} + \vec{v}'_{2t}$$

3.3. Proyectiles

En videojuegos sencillos suelen utilizarse proyectiles. Por lo que mostraremos con detalle las diferentes ecuaciones que nos pueden interesar al respecto.



Punto de origen e impacto a la misma altura

Las fórmulas que resultan de este contexto que debemos tener en cuenta son las siguientes:

$$x(t) = (v_o \cos\varphi)\, t$$

$$y(t) = (v_o \sin\varphi)\, t - \frac{g\, t^2}{2}$$

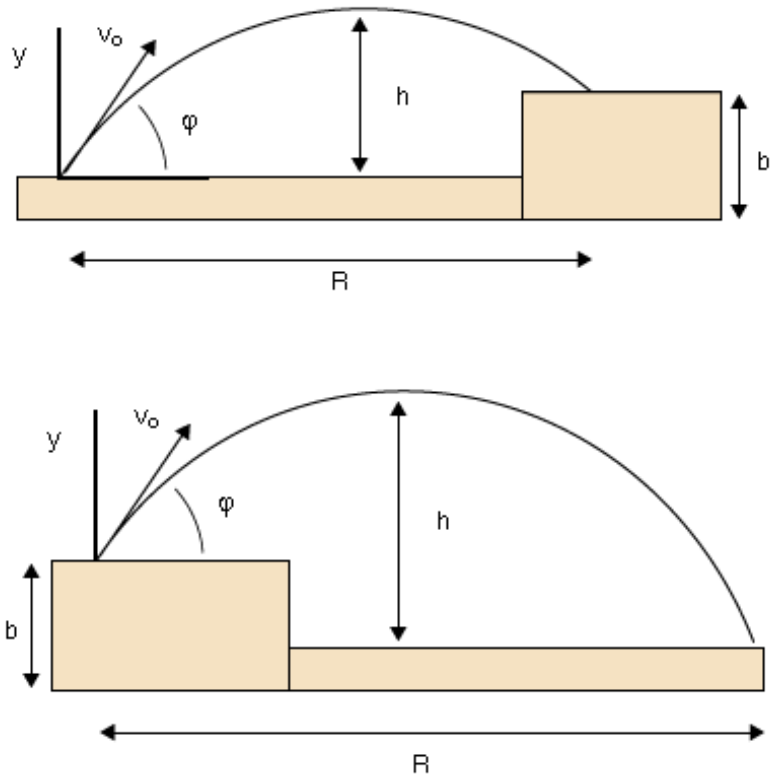
$$v_x(t) = v_0 \cos\varphi$$

$$v_y(t) = v_0 \sin\varphi - g\, t$$

$$\mathbf{v(t) = \sqrt{v_0^2 - 2g\ t\ v_0 \sin\varphi\ + g^2\ t^2}}$$

$$R = v_0 T \cos\varphi$$

Para calcular la altura máxima o el tiempo total hasta el pertinente impacto, debemos tener en cuenta, además, los dos siguientes casos.

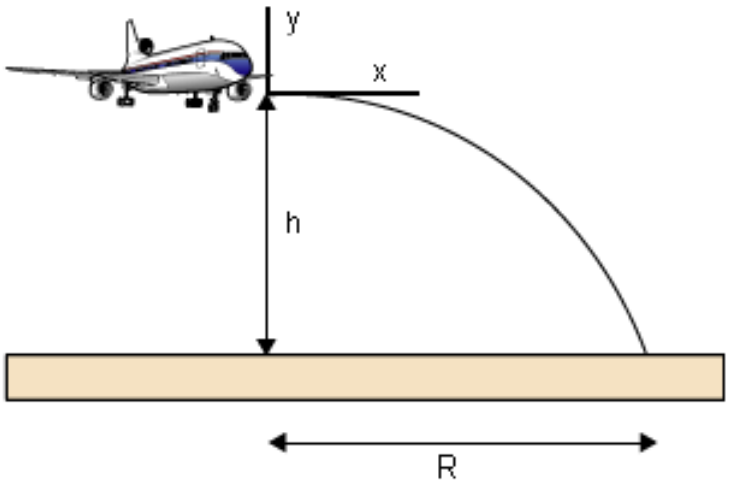


Punto de origen por encima del punto de impacto

Presentadas las diferentes posibilidades que podemos encontrar, las variables altura y tiempo para cada uno de los diferentes casos se muestran en la siguiente tabla:

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
h	$\frac{v_0^2 \sin^2 \varphi}{2g}$	$\frac{v_0^2 \sin^2 \varphi}{2g}$	$b + \frac{v_0^2 \sin^2 \varphi}{2g}$
T	$\frac{2v_0 \sin \varphi}{g}$	$\frac{v_0 \sin \varphi}{g} + \sqrt{\frac{2(h-b)}{g}}$	$\frac{v_0 \sin \varphi}{g} + \sqrt{\frac{2h}{g}}$

Finalmente, se presenta un cuarto caso referido al lanzamiento de proyectiles desde un sistema en movimiento (por ejemplo, desde un avión). Nótese cómo la velocidad inicial del proyectil es horizontal e igual a la velocidad del vehículo desde donde es lanzado. La siguiente figura ilustra dicho caso y posteriormente se presenta el conjunto de ecuaciones necesarias para resolver este problema:



Proyectil lanzado desde un sistema en movimiento

$$x(t) = v_o\, t$$

$$y(t) = h - \frac{g\, t^2}{2}$$

$$v_x(t) = v_0$$

$$v_y(t) = -g\, t$$

$$v(t) = \sqrt{v_0^2 + g^2\, t^2}$$

$$h = \frac{g\, t^2}{2}$$

$$R = v_0 T$$

$$T = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Contenido complementario

Cabe destacar que cuando v_0 es igual a cero, el problema se reduce a un caso de caída simple, en el que el proyectil se limita a caer verticalmente.

3.4. Detección de colisiones

Estudiaremos las técnicas de detección de colisiones más utilizadas hasta la fecha en los videojuegos en su versión 2D.

3.4.1. *Tile based*

Sin lugar a dudas, es la manera más simple y utilizada en los juegos antiguos. Se trata de comprobar si los objetos se encuentran en *tiles* adyacentes o en la misma, depende de lo que se desee.

En la próxima imagen del juego Dyna Blaster se puede apreciar la técnica presentada. En este caso las bombas se expanden hasta encontrar un muro, el personaje se mueve siempre que la próxima celda sea transitable y recoge bonificaciones cuando llega a situarse en una celda que contenga algún ítem.

3.4.2. Por píxel

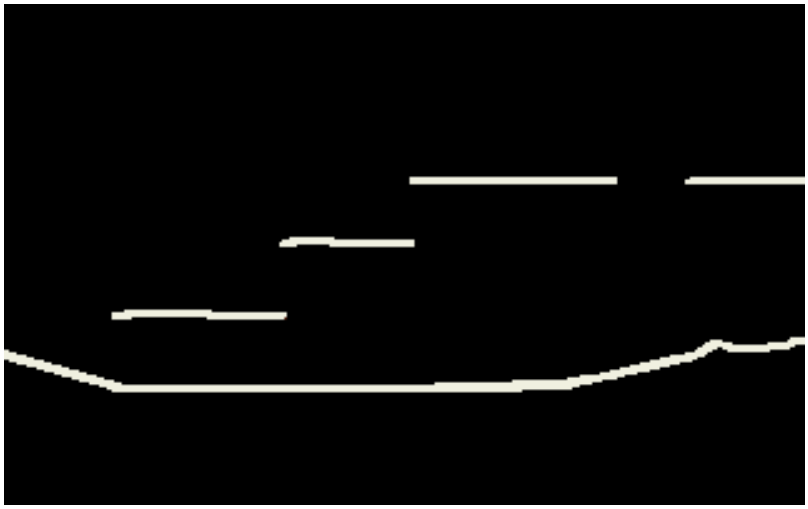
Éste es el método más preciso, pero también es el menos eficiente. Se comprueba si los píxeles de un *bitmap* coinciden con los de otro.

En esta ilustración de ejemplo, podemos comprobar cómo, mediante la técnica de *pixel perfect*, el fantasma ha cazado a nuestro PacMan.

Sin embargo, este sistema puede ser de gran utilidad cuando un determinado personaje debe interactuar con un escenario de frontera irregular. Por ejemplo, dos casos totalmente diferentes: los juegos de plataformas y los de conducción.

Según qué tipo de juegos basados en plataformas pueden disponer de un mapa cuyo escenario, si bien puede ser descrito mediante *tiles*, el contorno sobre el cual debamos interaccionar sea irregular. En estos casos, la ayuda de un *bitmap* auxiliar resulta imprescindible si queremos ofrecer un correcto sistema de colisiones. Este recurso gráfico nos indicará cuándo tenemos una zona con la cual debemos apoyarnos, codificada con un cierto color y, en caso contrario, utilizando otro color. Veamos un ejemplo gráfico.

Pantalla generada, ya sea a través de la parte del *bitmap* que forma toda la escena, o por la composición de diferentes *bitmaps* mapeados.



Bitmap de superficies: si el píxel en una determinada posición es blanco, el jugador permanecerá en su misma altura; en caso contrario, su altura se verá decrementada hasta que nos encontremos en la situación del primer punto.

En esta situación, el punto de control (necesariamente situado en la parte inferior del personaje) se encuentra sobre un píxel de color blanco. Por lo tanto, el personaje no caerá.

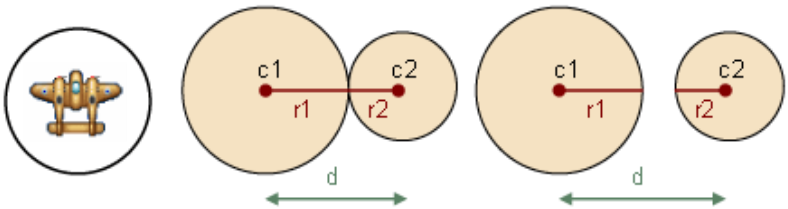
La detección de colisiones en el caso del género de conducción en modo perspectiva perpendicular también puede beneficiarse de esta técnica. En estos casos, incluso podemos llegar a contar con otro recurso gráfico que actúa de

máscara y que describe el área del vehículo en cada una de las orientaciones en la que se nos presenta. De esta manera, no sólo contamos con la máscara que nos indica si hay colisión con el entorno, sino que también disponemos de la del propio jugador que puede colisionar.

3.4.3. *Bounding circles*

Llamamos *bounding circle* a la circunferencia mínima que envuelve completamente un objeto. Ésta es una de las maneras más precisas y eficientes de representar el área de colisión de un objeto.

Veamos un ejemplo claro y sencillo de una *bounding circle* sobre un objeto nave y la estrategia a seguir para detectar la colisión:



Como podemos apreciar en la ilustración, la colisión tendrá lugar cuando la distancia entre los centros de los dos objetos sea igual o menor a la suma de los radios de cada uno. La estructura de la que debemos disponer de un objeto para llevar a cabo esta técnica deberá contar con los atributos posición, tamaño y radio, tal y como se muestra en el siguiente ejemplo:

```
struct object
{
   int x, y;
   int width;
   int height;
   int radius;
};
```

Dadas dos entidades, el algoritmo que detectará la colisión entre ambas, deberá efectuar los siguientes pasos:

- Calcular el centro de cada objeto
- Calcular la distancia entre ellos
- Compararla con la suma de los radios

El algoritmo resultante, pues, quedará como sigue:

```
bool collision( struct object *obj1, struct object *obj2 )
{
```

```
    int center_x1 = obj1->x + (obj1->width  >> 1);
    int center_y1 = obj1->y + (obj1->height >> 1);
    int center_x2 = obj2->x + (obj2->width  >> 1);
    int center_y2 = obj2->y + (obj2->height >> 1);

    int delta = distance( center_x1, center_y1, center_x2, center_y2);
    int sum_radius = obj1->radius + obj2->radius;

    if( delta <= sum_radius )   return true;
    else                        return false;
}

int distance(int x1, int y1, int x2, int y2)
{
    return sqrt( (x2-x1)*(x2-x1) + (y2-y1)*(y2-y1) );
}
```

Este código es bastante sencillo. Sin embargo, la función raíz cuadrada tiene un coste computacional considerable. Los videojuegos, en general, suelen aplicar diferentes técnicas de optimización. Para el caso de esta función, podemos utilizar la aproximación de McLaurin, que, con una precisión del 97%, nos brinda un código mucho más eficiente. Es el que indicamos a continuación:

```
int distance(int x1, int y1, int x2, int y2)
{
    int x = abs( x2 - x1 );
    int y = abs( y2 - y1 );
    int min = x < y? x : y;
    return ( x+y - (min>>1) - (min>>2) + (min>>4) );
}
```

3.4.4. *Bounding boxes*

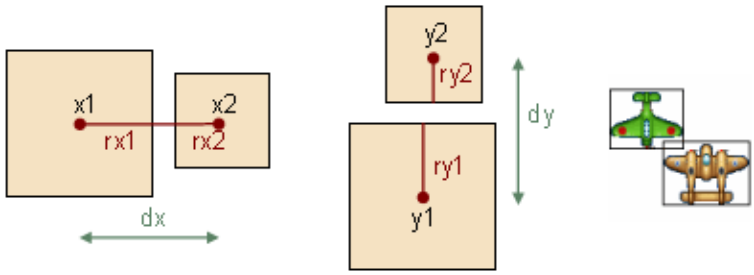
Es una técnica que utiliza la misma filosofía que la *bounding circles*, pero, en este caso, el área mínima envolvente es un rectángulo.

En muchos casos puede resultar práctico utilizar círculos como área de colisión. Sin embargo, en otras ocasiones puede no resultar adecuado. Imaginemos, por ejemplo, que estamos desarrollando un juego en el cual tuvieran que interactuar humanoides, tal y como presenta la siguiente ilustración.

Podemos apreciar claramente cómo, en este contexto, la precisión de las circunferencias envolventes no resultan muy exactas y, si no actuamos de otro modo, tendremos colisiones entre estos personajes cuando la distancia entre ellos sea considerable. Definitivamente, el papel de la detección de colisiones vía rectángulos, ofrecerá un test mucho más preciso.

La base para la detección de colisiones mediante rectángulos es muy similar a la de las circunferencias. En este caso, sin embargo, deberemos abordar la comprobación entre las distancias tanto para el eje X como para el eje Y. Haciendo un símil con el algoritmo anterior, podríamos decir que es necesario comprobar la distancia mediante los radios de los dos ejes.

Por tanto, la estrategia a seguir será la que podemos apreciar en la siguiente representación gráfica:



Rediseñamos la estructura presentada previamente para los objetos y describimos el nuevo algoritmo de test de colisión.

```
struct object
{
   int x, y;
   int width;
   int height;
   int radius_x;
   int radius_y;
};
```

Nuestra función de colisión quedaría de la manera siguiente:

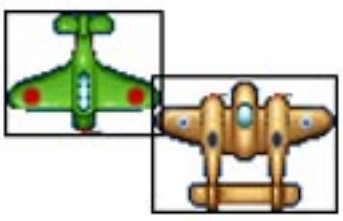
```
bool collision( struct object *obj1, struct object *obj2 )
{
   int center_x1 = obj1->x + (obj1->width  >> 1);
   int center_y1 = obj1->y + (obj1->height >> 1);
   int center_x2 = obj2->x + (obj2->width  >> 1);
   int center_y2 = obj2->y + (obj2->height >> 1);

   int delta_x = abs( center_x1 - center_x2 );
   int delta_y = abs( center_y1 - center_y2 );

   int sum_x = obj1->radius_x + obj2->radius_x;
   int sum_y = obj1->radius_y + obj2->radius_y;

   if( delta_x <= sum_x && delta_y <= sum_y )
      return true;
   else
      return false;
}
```

3.4.5. Jerarquías de objetos envolventes

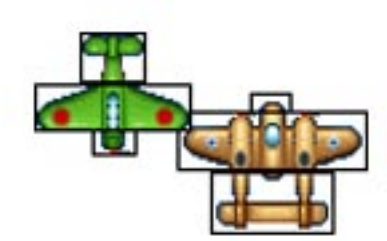
Las dos técnicas que acabamos de presentar, *bounding circles* y *bounding boxes*, resultan suficientemente efectivas y su coste de computación es óptimo. Aun así, podemos conseguir un mayor grado de precisión sin añadir complejidad al algoritmo haciendo uso de estructuras jerárquicas envolventes.

El procedimiento es idéntico al mostrado con anterioridad. La única diferencia es que ahora dispondremos de tests que se realizarán con niveles de detalle diferente, de menor a mayor precisión, profundizando en otro nivel según el test anterior responda afirmativamente.

Mostremos un ejemplo práctico de dos niveles de *bounding boxes*:



Primer nivel



Segundo nivel

El algoritmo funcionaría de la siguiente manera: en primer lugar, realizamos el test haciendo uso del primer nivel de *bounding boxes*; si la respuesta es afirmativa, hacemos el test de cada uno de los rectángulos envolventes del siguiente nivel de una entidad con los de la otra; si alguna de estas consultas responde afirmativamente, daremos por hecho que se ha producido la colisión.

4. Programación gráfica 2D

En este apartado daremos a conocer diferentes API gráficas con las cuales poder trabajar. Nos centraremos sobre todo en la solución OpenGL haciendo uso de la librería GLUT para el tratamiento de ventanas y eventos. Veremos las funciones que incorporan, y finalizaremos mostrando la API DirectX. Ambas API gráficas se explicarán teniendo en cuenta tan sólo el aspecto 2D al cual se refiere este módulo.

4.1. GLUT

Hoy en día y más en el caso de los videojuegos, casi toda aplicación corre bajo una ventana en la cual pueden tener lugar una serie de eventos efectuados por el usuario. Por tanto, para implementar una aplicación, debemos contemplar cómo gestionar una ventana y el *input* que se pueda generar en ella.

Para realizar esta tarea utilizaremos GLUT (*OpenGL utility toolkit*), que es una librería multiplataforma, libre y específica para OpenGL, sencilla y fácil de manejar, realizada por Mark J. Kilgard.

Webs

A continuación mostramos unos enlaces que pueden ser de especial interés:

- Página web
  ftp://ftp.sgi.com/sgi/opengl/glut/index.html
- Especificación
  http://www.opengl.org/resources/libraries/glut/spec3/spec3.html
- Versión de Nate Robins para Win32 con múltiples tutoriales especialmente didácticos para tratar las principales funcionalidades de OpenGL en tiempo real.
  http://www.xmission.com/~nate/glut.html

Con esta librería el proceso de implementación es realmente sencillo:

- En primer lugar, es necesario registrar una serie de funciones que se encargarán de tratar los diferentes eventos o interrupciones que tienen lugar en la ventana donde corra el juego. Registraremos tantas funciones como diferentes eventos queramos tratar.
- Acto seguido, daremos el control de la aplicación a la librería y ésta, se encargará de llamar a las funciones definidas según sea necesario hasta que se desee finalizar la aplicación.

El objetivo de esta obra no es la programación de interfaces gráficas mediante una librería específica. Por eso, no entraremos en detalle en la programación con GLUT. Presentaremos dos ejemplos de código para, en primer lugar, ofre-

cer el aspecto general de ésta y, en segundo lugar, darle cabida en el contexto de desarrollo al que se quiere dirigir. El alumno podrá contrastar el significado de cada una de las funciones utilizadas mediante la especificación de GLUT indicada previamente.

A continuación, presentamos lo que sería una aplicación base utilizando GLUT, con el mínimo código posible.

```
#include <glut.h>

void render(void)
{
   glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
   glutSwapBuffers();
}

int main(int argc, char *argv[])
{
   glutInit(&argc, argv );
   glutInitDisplayMode(GLUT_RGB | GLUT_DOUBLE);
   glutCreateWindow("First GLUT main program");
   glutDisplayFunc(render);
   glutMainLoop();
   return 0;
}
```

Utilizando el código que acabamos de mostrar y el de la estructura de un videojuego presentada con anterioridad, construiremos nuestro propio proyecto esqueleto para desarrollar videojuegos.

```
//———GLUTmain.cpp———//

#include <glut.h>
#include "cGame.h"

cGame Game;

void AppRender() {
   Game.Render();
}
void AppKeyboard(unsigned char key, int x, int y) {
   Game.ReadKeyboard(key,x,y,true);
}
void AppKeyboardUp(unsigned char key, int x, int y) {
   Game.ReadKeyboard(key,x,y,false);
}
void AppSpecialKeys(int key, int x, int y) {
```

```
   Game.ReadKeyboard(key,x,y,true);
}
void AppSpecialKeysUp(int key, int x, int y) {
   Game.ReadKeyboard(key,x,y,false);
}
void AppMouse(int button, int state, int x, int y) {
   Game.ReadMouse(button,state,x,y);
}
void AppIdle() {
   if(!Game.Loop()) exit(0);
}

void main(int argc, char *argv[])}
{
   //GLUT initialization
   glutInit(&argc, argv);

   //RGBA with double buffer
   glutInitDisplayMode(GLUT_RGBA | GLUT_DOUBLE);

   glutInitWindowPosition(GAME_Xo,GAME_Yo);
   glutInitWindowSize(GAME_WIDTH,GAME_HEIGHT);
   glutCreateWindow("My Game");

   //Register callback functions
   glutDisplayFunc(AppRender);
   glutKeyboardFunc(AppKeyboard);
   glutKeyboardUpFunc(AppKeyboardUp);
   glutSpecialFunc(AppSpecialKeys);
   glutSpecialUpFunc(AppSpecialKeysUp);
   glutIdleFunc(AppIdle);

   //Game initializations
   Game.Init();

   //Application loop
   glutMainLoop();
}
//——— cGame.h ———//

#define GAME_Xo            100
#define GAME_Yo            100
#define GAME_WIDTH         640
#define GAME_HEIGHT        480

class cGame
{
```

```
public:
   //Main functions
   bool Init();
   bool Loop();
   void Finalize();

   //Input
   void ReadKeyboard(unsigned char key, int x, int y,
                     bool press);
   void ReadMouse(int button,int state, int x, int y);

   //Process
   bool Process();

   //Output
   void Render();

private:
   unsigned char keys[256];
};
//——— cGame.cpp ———//

#include "cGame.h"
#include <glut.h>

//Game initializations
bool cGame::Init()
{
}

//Game loop
bool cGame::Loop()
{
   bool end = false;

   end = Process();
   if(!end)  Render();
   else      Finalize();

   return end;
}

//Game finalizations
void cGame::Finalize()
{
}
```

```
//Game input
void cGame::ReadKeyboard(unsigned char key, int x, int y, bool press)
{
   keys[key] = press;
}
void cGame::ReadMouse(int button, int state, int x, int y)
{
}

//Game process
bool cGame::Process()
{
   bool end = false;

   //Process Input
   if(keys[27]) return true; //27=ESC

   //Game Logic
   //...

   return end;
}

//Game output
void cGame::Render()
{
   glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
   glutSwapBuffers();
}
```

Este código base genera una aplicación con una ventana que es capaz de tratar los eventos de teclado y ratón, y presenta una estructura de código propia a la de un videojuego, sobre la cual podremos ir añadiendo nuestro código. Observemos con detenimiento cómo la clase *cGame* contiene las funciones principales de la estructura de un videojuego y en qué lugar del proyecto son llamadas cada una de ellas (en el código se encuentran en negrita). Fijémonos cómo mediante esta clase principal conseguimos la abstracción o independencia de nuestro proyecto al sistema de ventanas y sistema operativo utilizado.

Por último, es interesante señalar que esta aplicación se presenta en modo *windowed*, es decir, mediante una ventana con marcos. También es posible hacerlo en modo *fullscreen*, ocupando el tamaño completo de la pantalla.

Presentamos ambos códigos para cada uno de los dos casos:

- Windowed

```
glutInitWindowPosition(pos_x,pos_y);
glutInitWindowSize(width,height);
glutCreateWindow("Window caption");
```

- Fullscreen

```
glutGameModeString("800x600:32");
glutEnterGameMode();
```

4.2. API Gráficas

Para llevar a cabo el desarrollo de un videojuego, es imprescindible apoyarse en una API gráfica. Este conjunto de funciones se ocupan de brindarnos el soporte necesario para poder visualizar en pantalla el estado del videojuego. Con esta finalidad podemos escoger entre diferentes opciones. Actualmente, las API más utilizadas son OpenGL y DirectX. Existen otras soluciones como SDL o Allegro dirigidas a un público menos exigente que busca mayor sencillez y simplicidad.

4.2.1. DirectX

DirectX es una colección de API creadas para facilitar la programación y dar acceso a las diferentes funcionalidades y ventajas hardware en la plataforma Microsoft Windows. Data de 1995 y actualmente disponemos de la versión 10.0 exclusiva para Windows Vista y 9.0c para versiones anteriores de Windows.

Web

La página oficial de DirectX es http://msdn.microsoft.com/directx/

A continuación presentamos las diferentes API de las que está compuesto DirectX:

- Direct Graphics: para dibujado de imágenes en dos dimensiones (DirectDraw) y representación de imágenes en tres dimensiones (Direct3D).
- DirectInput: utilizado para procesar datos del teclado, ratón, *joystick* y otros controles para juegos.
- DirectPlay: para comunicaciones en red.
- DirectSound: para la reproducción y grabación de sonidos.
- DirectMusic: para la reproducción de pistas musicales compuestas con DirectMusic Producer.
- DirectShow: para reproducir audio y vídeo.
- DirectSetup: para la instalación de componentes DirectX (el instalable de un juego).

El aspecto más positivo de este conjunto de librerías es su amplio abanico de servicios al programador, así como el número de funcionalidades, tutoriales, ejemplos y ayuda en general, para cada uno de los módulos de los que consta.

Sin embargo, DirectX tiene dos grandes desventajas: no es portable y su continua actualización. En la mayoría de los casos el surgimiento de una nueva versión ha venido acompañado de un rediseño de la estructura de los módulos, así como el de los objetos y métodos implicados en cada uno de ellos.

4.2.2. OpenGL

OpenGL es una especificación estándar que define una API multilenguaje y multiplataforma para escribir aplicaciones que produzcan gráficos 2D y 3D. Fue desarrollada por Silicon Graphics Inc. (SGI) en 1992. Su nombre viene del inglés Open Graphics Library, cuya traducción es biblioteca de gráficos abierta (o mejor, libre, teniendo en cuenta su política de licencias).

Web

La página oficial de OpenGL es:
http://www.sgi.com/products/software/opengl/overview.html

OpenGL se utiliza en campos como CAD, realidad virtual, representación científica y de información, simulación de vuelo o desarrollo de videojuegos.

A grandes rasgos, OpenGL es una especificación, es decir, un documento que describe un conjunto de funciones y su comportamiento exacto. A partir de ella, los fabricantes de hardware crean implementaciones (bibliotecas de funciones creadas para enlazar con las funciones de la especificación OpenGL, utilizando aceleración hardware cuando sea posible). Dichos fabricantes tienen que superar pruebas específicas que les permitan calificar su implementación como una implementación de OpenGL.

Existen implementaciones OpenGL suministradas por fabricantes para Mac OS, Microsoft Windows, Linux, varias plataformas Unix, y PlayStation 3. Existen también varias implementaciones *software* que permiten que OpenGL esté disponible para diversas plataformas sin soporte de fabricante.

Por este motivo, si estamos desarrollando bajo OpenGL, lo primero que debemos hacer es actualizar el *driver* de nuestra tarjeta gráfica. Para ello deberemos dirigirnos a la página web del fabricante en cuestión, descargarlo e instalarlo. Por defecto, Microsoft Windows XP y versiones anteriores tan sólo incorporan la versión OpenGL 1.1, por lo que su actualización es primordial, si queremos obtener las ventajas de aceleración *hardware* de la tarjeta gráfica.

Recomendación

En el momento de redacción, NO se recomienda la utilización de Microsoft Windows Vista para el desarrollo con OpenGL.

Aparte de la portabilidad, otro aspecto realmente positivo de OpenGL es la evolución que ha tenido desde su primera versión. OpenGL 2.1 fue lanzado el 2 de agosto del 2006 y se trata de la séptima revisión desde que viera la luz en el año 1992. A pesar de haber pasado de la versión 1.X a la 2.X (tan sólo para indicar el soporte a la programación con *shaders*), la versión actual es totalmente compatible con todas las anteriores (2.0, 1.5, 1.4, 1.3, 1.2, 1.1 y 1.0) con las ventajas que eso conlleva al programador. Si a ello sumamos la simplicidad y estructura con la cual OpenGL nos brinda las diferentes funcionalidades gráficas, obtenemos de ésta una herramienta eficiente, profesionalmente hablando, e ideal para la docencia.

Por otra parte, es necesario recalcar que OpenGL tan sólo es API gráfica, no da soporte a temas de sonido, captura de eventos o carga de imágenes de cualquier formato (sólo bmp). Este hecho no representa ningún problema añadido. Para obtener el soporte de funcionalidades no gráficas, deberemos utilizar otras librerías a tal efecto.

Ejemplo de librerías

A continuación se citan unas cuantas librerías a modo de ejemplo.

- Ventanas y eventos: GLUT, Qt, Tcl/Tk, GTK+, wxWidgets, FLTK, Win32
- Sonido: FMOD, OpenAL
- Texturas: Corona, glpng, DevIL, FreeImage
- Parser XML: TinyXML

4.2.3. SDL

SDL es un conjunto de librerías desarrolladas con el lenguaje C que proporcionan funciones básicas para realizar operaciones de dibujado 2D, gestión de efectos de sonido y música, y carga y gestión de imágenes. SDL es una abreviatura en inglés de Simple DirectMedia Layer.

Web

La página oficial de SDL es http://www.libsdl.org/

Una de sus grandes virtudes es que se trata de una librería multiplataforma, soportando oficialmente los sistemas Windows, Linux, MacOS y QNX, además de otras arquitecturas o sistemas como Dreamcast, GP32 o GP2X. De ahí le vienen las siglas SDL (*simple directmedia layer*) que más o menos alude a capa de abstracción multimedia.

Fue desarrollada inicialmente por Sam Lantinga, desarrollador de videojuegos para la plataforma Linux. La librería se distribuye bajo la licencia LGPL, que es la que ha provocado el gran avance y evolución de las SDL.

Existen una serie de librerías adicionales que complementan las funcionalidades y capacidades de la librería base. Las enumeramos a continuación:

- SDL_Mixer. Extiende las capacidades de SDL para la gestión y uso de sonido y música en aplicaciones y juegos. Soporta formatos de sonido como Wave, MP3 y OGG, y formatos de música como MOD, S3M, IT, y XM.

- SDL_Image. Extiende notablemente las capacidades para trabajar con diferentes formatos de imagen. Los formatos soportados son los siguientes: BMP, JPEG, TIFF, PNG, PNM, PCX, XPM, LBM, GIF, y TGA.

- SDL_Net. Proporciona funciones y tipos de dato multiplataforma para programar aplicaciones que trabajen con redes.

- SDL_RTF. Posibilita el abrir para leer en aplicaciones SDL archivos de texto usando el formato Rich Text Format RTF.

- SDL_TTF. Permite usar fuentes TrueType en aplicaciones SDL.

4.2.4. Allegro

Allegro es una librería para programadores de C/C++ orientada al desarrollo de videojuegos, originalmente escrita por Shawn Hargreaves para el compilador DJGPP y distribuida libremente.

Funciona en las siguientes plataformas: DOS, Unix (Linux, FreeBSD, Irix, Solaris), Windows, QNX, BeOS y MacOS X. Ofrece funcionalidades de gráficos, sonidos, entrada del usuario (teclado, ratón y *joystick*) y temporizadores. También dispone de funciones matemáticas en punto fijo y coma flotante, funciones 3d, funciones para manejar ficheros, ficheros de datos comprimidos y una interfaz gráfica.

Web

La página web oficial en su versión en castellano es la siguiente: http://alleg.sourceforge.net/index.es.html

Es intuitiva y fácil de usar, sin embargo, igual que la librería SDL, no se utiliza en el ámbito profesional de la creación de videojuegos.

4.3. OpenGL

Como hemos dicho, OpenGL es una interfaz software independiente del sistema operativo para el acceso directo al hardware gráfico. Fue diseñada por Silicon Graphics basándose en una década de experiencia en hardware y software de visualización. Las siglas GL vienen de *graphics library*, pues precisamente lo que OpenGL suministra al programador es una interfaz compuesta por varios centenares de procedimientos y funciones, divididas en dos grupos: las de interacción con el *buffer* gráfico (ubicación de la memoria de almacenamiento temporal) y las de control. Estas rutinas permiten al programador generar imágenes de alta calidad de forma eficiente. Si bien el diseño de OpenGL se orienta a los gráficos 3D interactivos, también proporciona funcionalidades de gráficos 2D de calidad.

Web

La especificación de la versión actual OpenGL 2.1 la podemos encontrar en el enlace siguiente: http://www.opengl.org/documentation/specs/version2.1/glspec21.pdf

OpenGL supone una capa de abstracción entre el hardware gráfico y las aplicaciones. Globalmente, las rutinas de OpenGL conforman una interfaz de programación de aplicaciones. Estas llamadas permiten el dibujado de primitivas gráficas (puntos, líneas, polígonos, *bitmaps* e imágenes) en el *frame-buffer*. Empleando las primitivas disponibles y las operaciones de control de su dibujado, podremos generar imágenes a pleno color 3D de forma sencilla.

OpenGL fue diseñado con los lenguajes C y C++ en mente, y con ellos se consigue un mayor acoplamiento. Sin embargo, adaptaciones para lenguajes como Tcl/Tk, Fortran, Java o ADA se encuentran a disposición del público.

Lenguaje de referencia

En este apartado tomaremos el C como lenguaje de referencia.

Una característica importante de OpenGL es que se trata de un estándar, a diferencia de otras API gráficas que son dependientes de un único fabricante.

OpenGL fue diseñado por Silicon Graphics, pero actualmente es un estándar gobernado por un conjunto de fabricantes. Esta característica garantiza la disponibilidad del software para cualquier plataforma conocida, y por ello el código OpenGL es multiplataforma, y resulta simple de portar a los más diversos entornos. Tan sólo es necesario cambiar aquella parte de nuestro programa que interactúe con el sistema operativo. No olvidemos que OpenGL es independiente de estos detalles.

En consecuencia, esta estandarización conlleva que OpenGL define un conjunto cerrado de funcionalidades e interfaces de uso: un sistema que implemente OpenGL lo ha de hacer al 100%, hasta la última de las llamadas. De hecho, no se puede comercializar una implementación de OpenGL hasta que el gabinete de arquitectura de OpenGL (su máximo órgano de gobierno) certifique que efectivamente se cumplen todos los requisitos.

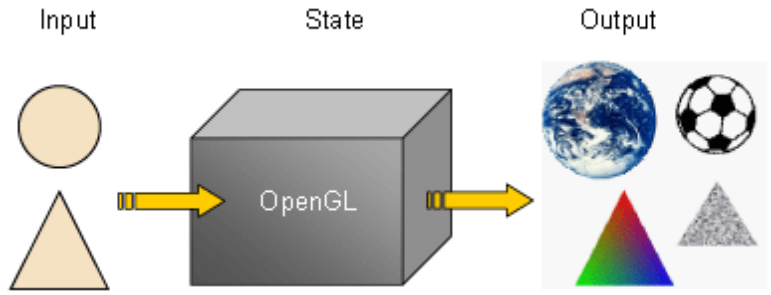
4.3.1. Estructura

OpenGL especifica el sistema gráfico en forma de una máquina de estados que controla un conjunto conocido de operaciones de dibujado. Las rutinas de control que OpenGL proporciona son un medio para modificar el estado de la máquina, y así alterar la forma en la que las operaciones de dibujado generan sus resultados.

Podríamos pensar en OpenGL como en una máquina compuesta por palancas y botones, con una entrada y una salida. Nosotros introducimos datos gráficos en la entrada, y la máquina los procesa y los devuelve, transformados, a través de la salida. En función de los controles, la salida será una u otra. Esta salida siempre es una descripción 2D rasterizada (discretizada en pantalla mediante píxeles) de la escena de entrada, pero las palancas y botones controlarán si se le aplica iluminación, color o cualquier otro efecto deseado.

Además, la máquina de estado de OpenGL no es opaca: en cualquier momento podemos consultar el estado de cualquier variable, del mismo modo que podemos alterar su valor. Esta arquitectura es especialmente intuitiva, al tiempo que permite escribir código breve pero potente.

En la siguiente ilustración podemos observar este tipo de funcionamiento, basado en una máquina de estados. Con idéntica geometría pero estados diferentes se pueden obtener resultados totalmente distintos:



El modelo para interpretar comandos OpenGL es el de cliente-servidor. De hecho, OpenGL permite ejecución remota y, lo más habitual, local.

OpenGL es una librería de bajo nivel que opera en lo que se llama modo inmediato. El modo inmediato significa que, en el momento en que se ejecuta una llamada a OpenGL, se actualiza el *buffer* gráfico adecuado con los resultados. En este sentido, OpenGL es similar a DirectDraw o Direct3D de Microsoft.

Por contra, las librerías de modo retenido (Inventor, Performer) se usan por encima de las de modo inmediato, para generar descripciones de escenas, operaciones, etc. Usualmente, las librerías retenidas no son más que *wrappers* de librerías inmediatas más sencillas.

Finalmente, debemos comentar que OpenGL se entrega como dos componentes:

- Por un lado, la librería en sí, cuya cabecera se presenta en el fichero GL/gl.h.

- Por otro lado, la librería de utilidades GLU (*OpenGL utility library*) en el fichero GL/glu.h. Esta librería extra ofrece *wrappers* para algunas funciones de OpenGL, simplificando su uso de manera significativa.

4.3.2. Geometría

La definición de geometría en OpenGL no puede ser más simple. Su sintaxis es la siguiente:

```
glBegin(TIPO_DE_OBJETO)
   datos del objeto
glEnd();
```

Puede verse como todas las llamadas de OpenGL empiezan con las siglas "gl". A continuación, veremos el código para pintar un triángulo con interpolación suave de colores entre los vértices:

```
glBegin(GL_TRIANGLES);
   glColor3f(1.0,1.0,1.0);
   glVertex3f(0.0,0.0,0.0);
   glColor3f(1.0,0.0,0.0);
   glVertex3f(3.0,5.0,0.0);
   glColor3f(0.0,1.0,0.0);
   glVertex3f(-3.0,5.0,0.0);
glEnd();
```

Con este código definimos un triángulo (GL_TRIANGLES) con vértices en (0,0,0), (3,5,0) y (-3,5,0). Cada vértice es de un color diferente y OpenGL hará una gradación de colores para los puntos intermedios. Éste es el comportamiento por defecto. Más adelante veremos cómo puede ser modificado.

La nomenclatura estándar de colores en OpenGL es la RGB, pudiendo ser cada valor un real comprendido entre 0.0 y 1.0 o un entero entre 0 y 255 según el tipo de llamada utilizada. También se soporta el modo RGBA, y modos paletizados a 256 colores.

Nomenclatura de colores de referencia

En este apartado nos basaremos en el modo RGB por ser el más extendido.

De este ejemplo de código que acabamos de ver podemos observar lo siguiente:

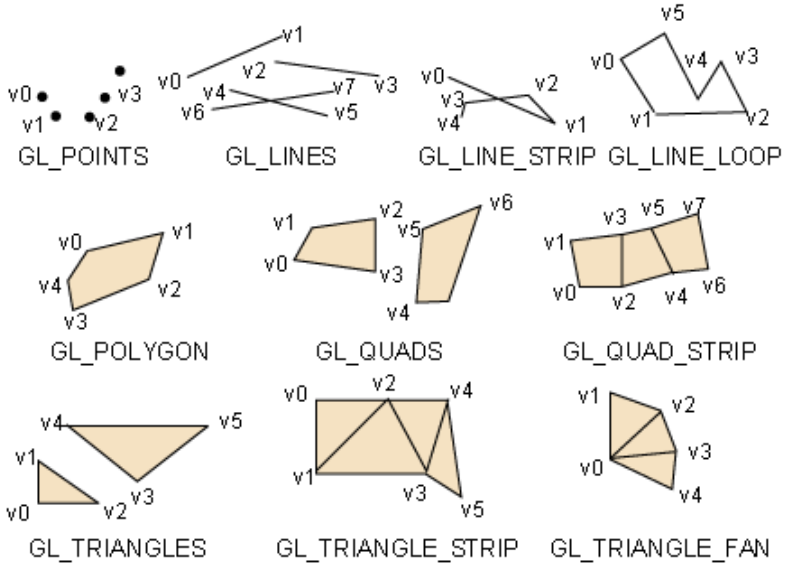
- Todas las constantes de OpenGL poseen el prefijo GL_ (como GL_TRIANGLES).

- Las llamadas con parámetros numéricos acaban con el número de parámetros y su tipo. Así, la llamada "glVertex3f" recibe 3 parámetros de coma flotante. Los tipos disponibles son:

Tipo de OpenGL	Espacio en memoria	Tipo de C	Sufijo
Glbyte	Entero de 8 bits	signed char	b
Glshort	Entero de 16 bits	short	s
GLint, Glsizei	Entero de 32 bits	long	l
Glfloat, Glclampf	Flotante de 32 bits	float	f
Gldouble, Glclampd	Flotante de 64 bits	double	d
Glubyte, Glboolean	Entero sin signo de 8 bits	Unsigned char	ub
Glushort	Entero sin signo de 16 bits	Unsigned short	us
Gluint, Glenum, Glbitfield	Entero sin signo de 32 bits	Unsigned long	ui

- Finalmente, la aparición de una letra "v" indica un vector del tipo que indica la siguiente letra del resto del nombre. Así, la primitiva "glVertex3fv" requiere como parámetro un *array* de números *float*.

Del mismo modo que tenemos GL_TRIANGLES, OpenGL proporciona las siguientes primitivas de pintado. Nótese la importancia del orden de la declaración de vértices denotada en la ilustración mediante los subíndices del nombre de los vértices.



Las primitivas de dibujado siempre deben aparecer entre un glBegin y un glEnd.

Tira de triángulos

Por lo general, el tipo de objeto más utilizado es la tira de triángulos (GL_TRIANGLE_STRIP). Para dar una justificación a este hecho, efectuaremos el siguiente ejercicio práctico.

Mediante una representación basada en triángulos (GL_TRIANGLES), queremos modelar un objeto compuesto por un millar de triángulos. El número de vértices que deberemos enviar a nuestra tarjeta gráfica será exactamente 3000, pues necesitaremos tres vértices para cada triángulo. Sin embargo, si pudiéramos describir esta malla de triángulos mediante la primitiva GL_TRIANGLE_STRIP, el número de vértices sería 1002. De esta manera, hacemos que el número de vértices necesarios para representar un triángulo disminuya a la unidad, con la consecuente ganancia en reducción de vértices a tratar.

Mediante la primitiva GL_TRIANGLE_STRIP podemos describir una malla de *n* triángulos utilizando tan sólo n+2 vértices. Esto supone una gran ventaja para cualquier técnica que vayamos a utilizar después tales como selección de objetos, sombras, iluminación, *frustum culling* o *occlusion queries*, pues el número de datos con el que trabajaremos será muy inferior.

Para videojuegos en dos dimensiones, en cambio, el volumen de información con el que trabajamos no suele ser significativo, por lo que, en general, GL_QUADS suele ser la primitiva más empleada.

4.3.3. La máquina de estados

A continuación, veremos las llamadas de control de estado.

Cada vez que alteramos el estado, el cambio persiste hasta que volvemos a alterarlo. Por ejemplo, la llamada glColor modifica el valor de todos los vértices definidos tras ella, hasta que no tenga lugar una nueva llamada a esta función.

Tratemos el siguiente caso en el cual tiene lugar la definición de un cuadrado.

```
glColor3f(1.0,1.0,1.0);
glBegin(GL_QUADS)
   glVertex2f(0.0,0.0);
   glVertex2f(10.0,0.0);
   glVertex2f(10.0,10.0);
   glColor3f(0.0,0.0,1.0);
   glVertex2f(0.0,10.0);
glEnd();
```

En este ejemplo, el primer glColor altera el color de los tres primeros vértices a (1.0,1.0,1.0), que es el color blanco, mientras que el cuarto vértice queda afectado por la última definición del estado color que pasa a ser azul.

A medida que las primitivas geométricas son rasterizadas y pintadas, OpenGL actúa según lo que le indican sus variables de estado. Éstas contienen información sobre el modo de renderizado (*render*), el ancho de línea, colores, texturas a aplicar, etc. Podemos clasificar estas variables de estado en tres grupos, según el dominio de posibilidades que permiten: binarias, de modo y valor.

Variables binarias

Las variables binarias tienen dos estados: activo (*on*) y desactivado (*off*). En este caso, la forma de controlarlas es sencilla, y consiste en utilizar las dos llamadas siguientes:

```
glEnable( variable_de_estado );
glDisable( variable_de_estado );
```

Ejemplos de variables binarias de estado

- GL_CULL_FACE: si activado, aplica *culling*
- GL_DEPTH_TEST: si activado, usa Z-*buffer*
- GL_FOG: si activado, aplica niebla
- GL_LIGHTING: si activado, aplica iluminación
- GL_NORMALIZE: si activado, auto-normaliza (escala a módulo uno) las normales
- GL_TEXTURE_2D: si activado, permite texturas 2D

Variables de modo

Una variante de las variables binarias son las de modo, que permiten *N* estados posibles. En este caso se emplean comandos específicos para cada variable.

Ejemplo de variable de modo

He aquí un ejemplo en el cual especificamos que el tipo de pintado sea plano (sin interpolar los colores de los vértices) o interpolado.

```
glShadeModel(GL_FLAT o GL_SMOOTH)
```

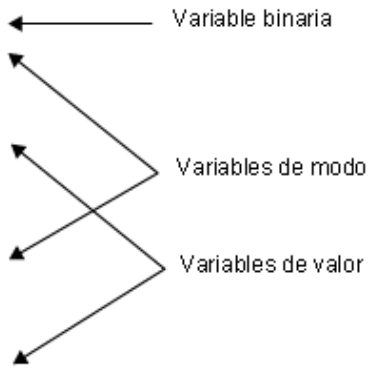
Variables de valor

Las variables de valor son aquellas que guardan alguna información que deseamos que OpenGL emplee directamente, como por ejemplo colores. La llamada más común de esta familia es precisamente glColor, si bien tenemos otras aplicaciones, por ejemplo, para controlar el tamaño de los puntos o líneas.

Ejemplo de variables de control de estado

Veamos un ejemplo final donde encontramos un uso de los diferentes tipos de variables de estado que acabamos de describir.

```
glEnable(GL_DEPTH_TEST);
glShadeModel(GL_SMOOTH);
glBegin(GL_TRIANGLES);
      glColor3f(1.0,0.0,0.0);
      glVertex3f(0.0,0.0,0.0);
      glColor3f(0.0,1.0,0.0);
      glVertex3f(-10.0,10.0,0.0);
      glVertex3f(10.0,10.0,0.0);
glEnd();
glShadeModel(GL_FLAT);
glBegin(GL_TRIANGLES);
      glColor3f(1.0,0.0,0.0);
      glVertex3f(20.0,0.0,0.0);
      glColor3f(0.0,1.0,0.0);
      glVertex3f(10.0,10.0,0.0);
      glVertex3f(30.0,10.0,0.0);
glEnd();
```



Este código visualiza dos triángulos de tamaño idéntico, uno con una interpolación de colores y el otro sin ella. El segundo aparecerá de un color plano, mientras que el primero lo hará con una gradación de los colores de los vértices. Este cambio de modo se debe a las variables de estado que hemos definido entre ambos.

4.3.4. Transformaciones geométricas

OpenGL emplea matrices para decidir cómo transformar nuestra geometría. Las operaciones que podemos realizar son translaciones, rotaciones y escalados. Con este propósito, OpenGL proporciona tres simples llamadas que harán el trabajo por nosotros. Sus cabeceras:

Traslación

```
glTranslate{f/d}( GLfloat x, GLfloat y, GLfloat z)
```

La geometría definida tras esta llamada será trasladada según los parámetros indicados.

Rotación

```
glRotate{f,d}(GLfloat angulo, GLfloat x,GLfloat y, GLfloat z)
```

Ésta es la llamada de rotación libre respecto a un eje. Las tres coordenadas indican el eje de giro, el ángulo y la magnitud en grados. Si queremos hacer una rotación de diferente magnitud en los tres ejes, deberemos llamar tres veces a esta función introduciendo en cada caso el ángulo que se desee y los ángulos de giro (1, 0, 0), (0, 1, 0) y (0, 0, 1).

Escalado

```
glScale{f,d} (GLfloat x, GLfloat y, GLfloat z)
```

Esta tercera llamada multiplicará respectivamente cada coordenada de vértice por los valores introducidos. Si introducimos los parámetros (1, 1, 1), el resultado dejará la misma geometría intacta.

Las transformaciones en OpenGL se aplican en el sentido inverso que se declaran. De este modo, en el ejemplo del código que tenemos a continuación, la geometría quedará primero traslada a lo largo del eje z, después se aplicará una rotación de cinco grados, y finalmente un escalado uniforme.

```
glScalef(3.0, 3.0, 3.0);
glRotatef(5.0, 1.0, 0.0, 0.0);
glTranslatef(0.0, 0.0, 5.0);
```

A la hora de trabajar con matrices, debemos tener en cuenta dos conceptos: la matriz identidad y la creación de ámbitos de contexto.

La siguiente función sirve para resetear la pila, introduciendo la matriz identidad (diagonal a unos y resto a ceros). Esta matriz, al ser aplicada a la geometría entrante, se queda intacta.

```
glLoadIdentity()
```

Otro aspecto muy importante a la hora de trabajar con matrices de transformación consiste en decidir qué elementos y cómo deben ser transformados de manera independiente. Para ello, resulta imprescindible la creación de ámbitos de contexto. Podemos hacerlo con las siguientes dos funciones:

```
glPushMatrix()
```

Esta llamada duplica la matriz que esté en la cima de la pila, para tener así una copia con la que trabajar sin perder la original.

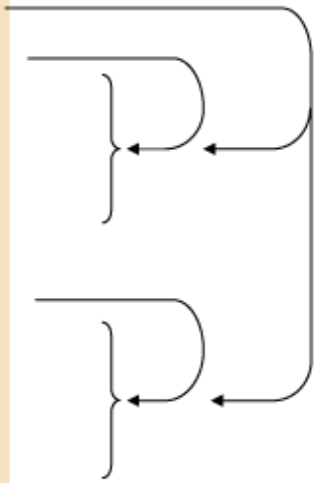
```
glPopMatrix()
```

Esta llamada elimina la matriz de la cima de la pila de matrices.

Ejemplo de transformación

Veamos un ejemplo práctico de cómo una transformación puede ser aislada o aplicada sobre toda la escena.

```
glLoadIdentity();
glTranslatef(0.0f,0.0f,-10.0f);
glPushMatrix();
    glRotatef(45,1.0f,0.0f,0.0f);
    glBegin(GL_TRIANGLES);
        glVertex3f( 3.0f, 1.0f, 0.0f);
        glVertex3f( 2.0f,-1.0f, 0.0f);
        glVertex3f( 4.0f,-1.0f, 0.0f);
    glEnd();
glPopMatrix();
glPushMatrix();
    glRotatef(180,0.0f,0.0f,1.0f);
    glBegin(GL_QUADS);
        glVertex3f(-1.0f, 1.0f,0.0f);
        glVertex3f( 1.0f, 1.0f,0.0f);
        glVertex3f( 1.0f,-1.0f,0.0f);
        glVertex3f(-1.0f,-1.0f,0.0f);
    glEnd();
glPopMatrix();
```



4.3.5. Matrices de proyección y de visión del modelo

OpenGL trabaja con diferentes tipos de matrices, cada una para un propósito diferente:

- GL_PROJECTION: Matriz de proyección. Permite definir la cámara escogiendo entre una proyección perspectiva o paralela así como sus atributos.

- GL_MODELVIEW: Matriz de visión del modelo. Sirve para especificar cómo queremos ver el modelo geométrico. Habitualmente se emplea para colocar la cámara.

- GL_TEXTURE: Matriz de texturizado. Se emplea para definir cómo se aplicarán las texturas a nuestra geometría.

El matriz texturizado no será abordado en este módulo y lo dejaremos para cuando tratemos la programación gráfica 3D.

La idea es que nosotros seleccionamos la matriz sobre la que deseamos trabajar, y a continuación aplicamos transformaciones para definirla o alterarla. A partir de entonces nuestra geometría se verá modificada tal y como se haya establecido.

La función que permite seleccionar la matriz que deseamos manipular es:

```
glMatrixMode (GL_PROJECTION o GL_MODELVIEW);
```

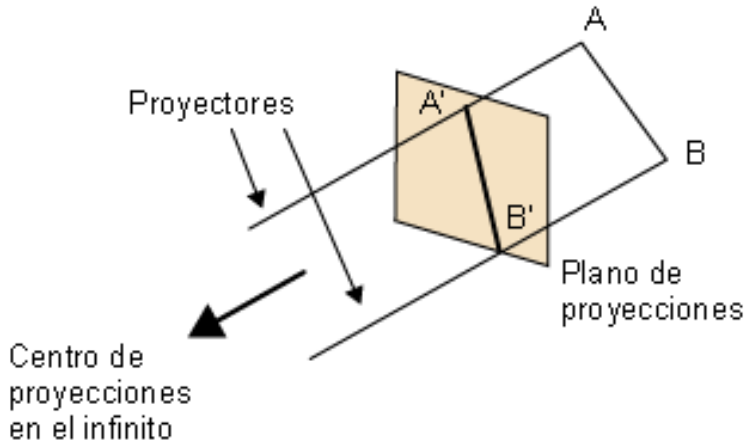
A la hora de definir la matriz de proyección, se nos presenta la posibilidad de escoger entre una vista con cámara paralela o perspectiva:

Cámara paralela

Viene determinada por la dirección de proyección y los proyectores son paralelos, ya que el centro de proyecciones está en el infinito. Se utiliza en diseños de ingeniería, planos de arquitectura, catálogos, diseño de muebles, etc. Éstas son sus principales características:

- Ventajas: se puede utilizar para mediciones exactas escalando en los ejes, las líneas paralelas permanecen como tales.
- Inconvenientes: no es realista.

Veamos a continuación un esquema y una representación 3D de un cilindro haciendo uso de esta cámara.



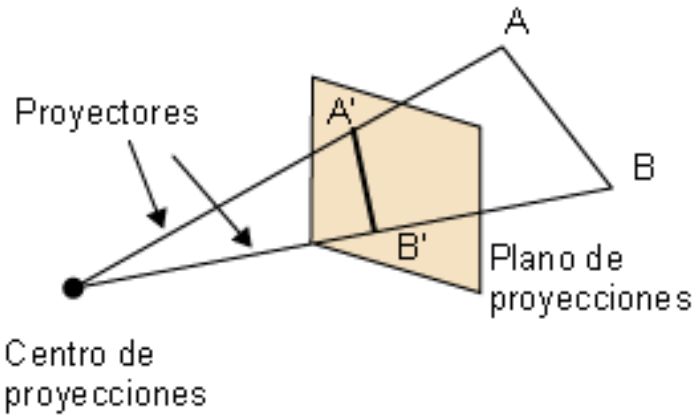
Cámara perspectiva

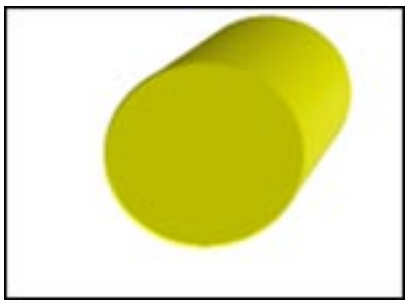
Viene determinada por el centro de proyecciones. Se utiliza en publicidad, presentación de diseños de arquitectura, diseño industrial, ingeniería, arte, animación, etc. Sus principales características son:

- Ventajas: proporciona realismo visual y sensación tridimensional.
- Inconvenientes: no mantiene la forma del objeto ni la escala (excepto en los planos paralelos al plano de proyecciones).

A grandes rasgos, difiere de la proyección paralela donde el tamaño de los objetos disminuye con la distancia puesto que la representación es realista y mantiene la profundidad de los objetos.

Veamos a continuación un esquema y una representación 3D de un cilindro haciendo uso de esta cámara:





4.3.6. Definición de cámara

En principio, es posible definir una cámara a mano mediante las funciones de transformación vistas con anterioridad de rotación y traslación. Sin embargo, OpenGL provee una serie de llamadas para poder llevar a cabo este trabajo.

Cámara perspectiva

```
glFrustum   (GLfloat left, GLfloat right, GLfloat bottom,
             GLfloat top, GLfloat near, GLfloat far);
```

Función básica para crear matrices de perspectiva. Los parámetros son las distancias a los planos izquierdo, derecho, superior, inferior, frontal y trasero de la pirámide de proyección. Esta función no suele utilizarse en detrimento de gluPerspective, cuyos parámetros de definición resultan más interesantes.

Cámara paralela

```
glOrtho (GLfloat left, GLfloat right, GLfloat bottom, GLfloat top, GLfloat near, GLfloat far);
```

Similar a la cámara perspectiva, pero para el caso perspectiva ortoédrica (paralela).

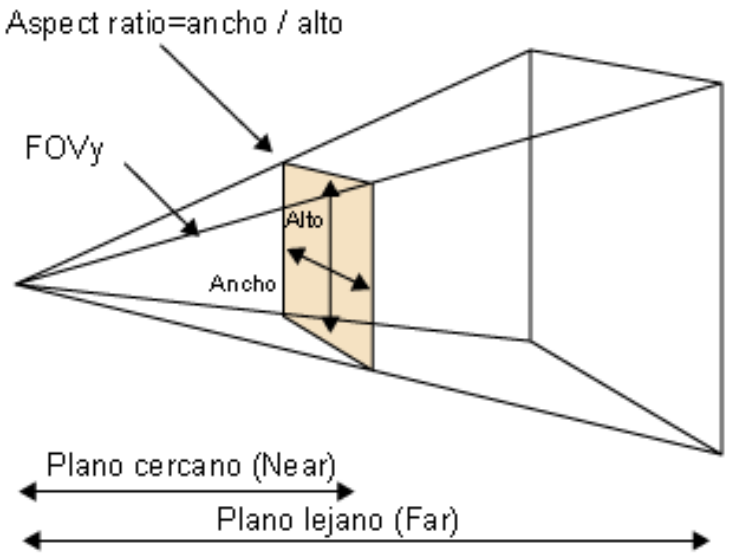
Cámara perspectiva con GLU

Las dos llamadas por excelencia para trabajar con matrices bajo OpenGL no están en la librería GL propiamente, sino en la de utilidades GLU. Son las llamadas siguientes:

```
gluPerspective (GLfloat fovy, GLfloat aspect, GLfloat near, GLfloat far);
```

Esta llamada genera una matriz de perspectiva cónica adecuada a los parámetros que le pasemos. El primero, fovy, es el *field of view* del eje y, es decir, la abertura de la cámara verticalmente. En segundo lugar, el *aspect* nos indica la relación entre el ancho y el alto de la pantalla. Este parámetro debe contener el valor resultante de dividir el ancho por el alto del *frame-buffer*. Los dos últimos parámetros indican los planos de recorte. OpenGL usa dos planos de recorte: frontal y posterior. La geometría que quede fuera de la pirámide de visión definida por estos dos planos (y los ángulos de abertura) será descartada y no se rasterizará.

La siguiente ilustración permite ubicar fácilmente cada uno de estos parámetros:




```
gluLookAt (eyex, eyey, eyez, centerx, centery, centerz, upx, upy, upz);
```

Esta segunda llamada genera una matriz de transformación de cámara. La cámara o punto de vista quedará situada en (eyex, eyey, eyez) y mirará hacia el punto (centerx, centery, centerz). El parámetro (upx, upy, upz) define el *view up vector* que sirve para definir la orientación vertical. Este parámetro es útil para poder definir *rolls* de cámara como por ejemplo la inclinación de un avión cuando gira.

4.3.7. Definición de vistas (*viewports*)

Cada vez que definimos un área de *render* es necesario definir el *viewport*. Esto puede suceder cuando se ejecuta el videojuego (se crea una ventana) o cuando el tamaño de la ventana cambia, por ejemplo. La siguiente llamada permite realizar la definición del *viewport*.

```
glViewport (int x, int y, int wide, int tall)
```

Los parámetros se corresponden al área de la ventana. Si queremos que el espacio de renderizado sea toda la ventana, los valores a introducir serán el punto (0, 0) y el tamaño y el alto de la ventana.

Es común en un videojuego tener una pantalla dividida cuando nos encontramos en una visualización con varias cámaras a la vez, o cuando estamos en modo multijugador, donde tenemos dedicada para cada jugador un área de la pantalla. Precisamente, ésta será la función que se encargará de hacer esta división. En cada pasada de visualización de nuestro ciclo de juego definiremos un *viewport*, haremos un renderizado y repetiremos el proceso para cada nueva área que se quiera obtener.

Veamos algunas muestras de juegos donde se utiliza esta funcionalidad:

4 Viewports

Mario Kart: Double Dash!!

2 Viewports

Lotus Esprit Turbo Challenge

4.3.8. Colorear el fondo

OpenGL trabaja con varios *buffers*, entre ellos el de color, que es donde se dibuja la imagen resultante. Para inicializar o borrar este *buffer*, es necesario escribir en él utilizando un único color.

Con este propósito existen dos funciones. La primera de ellas nos permite declarar cuál es el color con el cual queremos inicializar el *buffer* de color y tiene el siguiente aspecto:

```
void glClearColor (GLclampf red, GLclampf green, GLclampf blue, GLclampf alfa)
```

La segunda función da la orden de limpiado. El comando que se utiliza para limpiar un *buffer* en OpenGL es genérico para cualquiera de ellos y es mediante el parámetro o *flag* como se indica el *buffer* sobre el cual se desea actuar. Nos estamos refiriendo al campo bits de la siguiente función:

```
void glClear (GLuint bits)
```

En el caso del *buffer* de color, debemos proceder de la siguiente manera:

```
glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT);
```

Si deseáramos inicializar más de un *buffer* a la vez, podríamos hacerlo utilizando el operador binario OR entre cada flag.

4.3.9. Modos de visualización

Los polígonos pueden visualizarse de tres modos:

- Sólido: rellenando con el color actual.
- Alámbrico o *wireframe*: sólo se visualizan las aristas.
- Puntos: sólo se visualizan los vértices.

Además, podemos visualizar la parte exterior y la parte interior de los polígonos de dos modos diferentes. Una vez cambiado el modo de visualización, todos los polígonos que definamos a continuación se visualizarán en ese modo, hasta que se cambie de nuevo. La función que se debe utilizar para ello es la siguiente:

```
void glPolygonMode (GLenum cara, GLenum modo)
```

El parámetro "cara" indica la cara a la que aplicamos el modo de visualización. Puede valer GL_FRONT (cara exterior), GL_BACK (cara interior) o GL_FRONT_AND_BACK (ambas caras).

El segundo parámetro "modo" indica el modo de visualización que se aplica. Puede valer GL_FILL (modo sólido; es el modo por defecto), GL_LINE (modo alámbrico) o GL_POINT (modo puntos).

4.3.10. Superficies ocultas: *Z-buffer* y *Culling*

Cuando visualizamos un objeto, aquellos polígonos que se encuentran detrás de otros, desde el punto de vista del observador, no deben dibujarse. El algoritmo de eliminación de caras ocultas más conocido es el del Z-*buffer*. OpenGL mantiene un Z-*buffer* (o *buffer* de profundidad) para realizar la ocultación de

caras, cuyo manejo es muy sencillo. Consiste en una matriz en la que se almacena la profundidad (el valor de la componente z) para cada píxel. De esta manera es posible conocer qué elementos se encuentran delante de otros.

El algoritmo del Z-*buffer* es bastante costoso. Para incrementar la velocidad de proceso, OpenGL permite eliminar previamente las caras interiores de los objetos (*culling*). Este proceso es válido para objetos cerrados, en los que las caras interiores no son visibles. En el caso de objetos abiertos, utilizar *culling* puede producir efectos no deseados. El uso de la eliminación de caras interiores debe hacerse con precaución, puesto que la interioridad o exterioridad de las caras depende de su orientación.

Para activar el Z-*buffer* y el proceso de *culling* se utilizan las funciones glEnable y glDisable. Para el Z-*buffer* escribirimos el siguiente código:

```
glEnable(GL_DEPTH_TEST);
glDisable(GL_DEPTH_TEST);
```

Para tratar el *culling* procederemos de igual manera:

```
glEnable(GL_CULL_FACE);
glDisable(GL_CULL_FACE);
```

En cuanto al Z-*buffer*, debe ser inicializado cada vez que se visualiza la escena, mediante la función glClear, igual que hemos hecho con el *buffer* de color. Como hemos comentado con anterioridad, para realizar ambas operaciones a la vez podemos hacerlo de la siguiente manera:

```
glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
```

4.3.11. Modelos de sombreado

La función glColor que ya hemos visto sirve para seleccionar el color en el que se dibujan todos los elementos que se diseñen a continuación. Cuando definimos una primitiva de diseño, el color se asigna a cada uno de sus vértices y no a la primitiva completa. Esto puede ocasionar situaciones en las cuales tengamos vértices de diferente color en una misma primitiva. La pregunta que nos puede surgir es obvia: ¿cómo debe colorearse el interior de la primitiva?

El coloreado del interior depende del modelo de sombreado o *shading model*. Éste puede ser plano o suavizado. El modelo de sombreado se escoge con la función siguiente y afecta a todas las primitivas que se definan posteriormente, hasta que sea alterado de nuevo.

```
void glShadeModel   (GLenum modo)
```

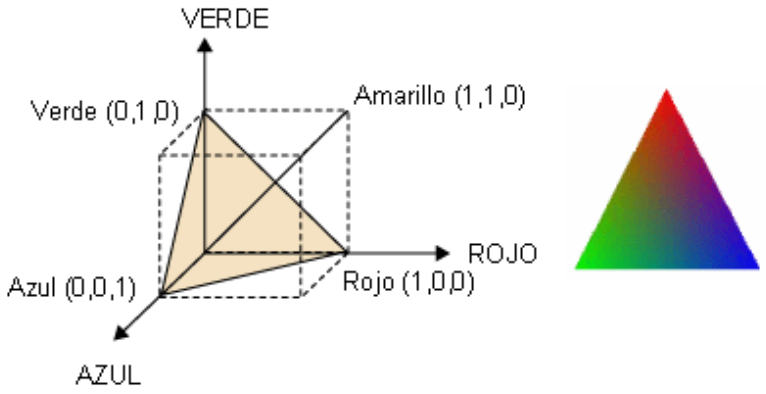
El modelo de sombreado elegido puede ser GL_FLAT, para el modelo plano o GL_SMOOTH, que es el modelo suavizado llamado modelo de Gouraud, que es el valor por defecto.

En el modelo plano (GL_FLAT) el interior del polígono se colorea completamente a un único color. Este color es el correspondiente al primer vértice de la primitiva.

En el modelo suavizado (GL_SMOOTH) el interior de las primitivas se colorea realizando una interpolación o suavizado entre los colores asociados a los vértices.

Evidentemente, el modelo de sombreado elegido sólo afecta cuando los vértices de las primitivas tienen colores distintos. Si los colores fueran iguales, la representación equivale al modelo plano.

Veamos un ejemplo práctico donde se aprecia el modelo suavizado bajo un triángulo con tres vértices de diferente color:



4.3.12. *Display lists*

Hemos comentado que OpenGL es una API de modo inmediato, en el sentido que los comandos OpenGL se ejecutan al instante, y afectan inmediatamente a los contenidos del *frame-buffer*. Sin embargo, esto no es cierto para el caso de las *display lists*.

Una *display list* o lista de visualización es una secuencia de comandos OpenGL, que almacenamos en la tarjeta gráfica para que se ejecuten uno detrás de otro en el momento en que nosotros así lo indicamos. Para ello, vamos almacenado nuestras diferentes *display lists* y OpenGL nos asigna un identificador para cada una de ellas. De este modo, indicando el identificador en cuestión hacemos referencia a la lista de comandos que queremos efectuar.

Esta técnica permite obtener un beneficio del rendimiento muy considerable puesto que tan sólo es necesario utilizar una vez el bus de la tarjeta gráfica, uno de los principales cuellos de botella en las aplicaciones gráficas, para indicar el identificador.

El tratamiento de *display lists* con OpenGL radica en las siguientes llamadas. Para crearla, utilizamos el siguiente método:

```
glNewList(GLuint name, GLenum mode)
```

El primer parámetro es un número que actuará de identificador de la lista, y el segundo es el modo en que queremos que OpenGL la cree. Hay dos modos posibles:

- GL_COMPILE: OpenGL compila (pero no ejecuta de momento) los comandos de la lista; éstos se ejecutarán sólo cuando se llame a la lista.

- GL_COMPILE_AND_EXECUTE: OpenGL almacena los comandos, pero además los ejecuta de momento, produciendo resultados instantáneos.

Para finalizar la descripción de la *display list*, es necesario llamar la siguiente acción:

```
glEndList()
```

Un ejemplo sencillo compuesto por un único triángulo podría ser el siguiente:

```
glNewList(1,GL_COMPILE);
   glBegin(GL_TRIANGLES);
      glColor3f(1.0,1.0,1.0);
      glVertex3f(0.0,0.0,0.0);
      glColor3f(1.0,0.0,0.0);
      glVertex3f(3.0,5.0,0.0);
      glColor3f(0.0,1.0,0.0);
      glVertex3f(-3.0,5.0,0.0);
   glEnd();
glEndList();
```

Al utilizar el parámetro GL_COMPILE, no se produce salida gráfica alguna de momento.

Para activar la *display list*, y ejecutar sus comandos, es necesario realizar la llamada a la siguiente función con el identificador de ésta como parámetro:

```
glCallList(GLuint name)
```

Definir una secuencia de comandos con un identificador ya utilizado significa actualizar la versión anterior. Para evitar posibles errores, OpenGL puede proporcionarnos identificadores de *display lists* libres. Es necesario llamar a la siguiente función:

```
GLuint glGenLists( GLsizei range )
```

Para un único identificador indicaremos como parámetro el valor 1. Un valor superior devolverá un rango de identificadores consecutivos.

4.3.13. Creación de objetos jerárquicos

El uso de estas funciones que acabamos de comentar se hace más patente cuando queremos crear objetos con jerarquías. En este sentido, las listas de visualización pueden ser descritas en función de otras. Veamos el ejemplo práctico de un objeto bicicleta.

```
#define MANILLAR    1
#define CUADRO      2
#define RUEDA       3
#define BICICLETA   4

glNewList (MANILLAR, GL_COMPILE);
   ...
glEndList ();

glNewList (CUADRO, GL_COMPILE);
   ...
glEndList ();

glNewList (RUEDA, GL_COMPILE);
   ...
glEndList ();

glNewList (BICICLETA, GL_COMPILE);
   glCallList (MANILLAR);
   glCallList (CUADRO);
   glTranslatef (-1.0, 0.0, 0.0);
   glCallList (RUEDA);
   glTranslatef (2.0, 0.0, 0.0);
   glCallList (RUEDA);
glEndList ();
```

4.3.14. Texturas

A continuación, daremos a conocer las nociones y funcionalidades que OpenGL brinda sobre el apartado de texturas para su uso en videojuegos 2D, de manera que se acotará el volumen de información para dar respuesta tan sólo a este contexto.

Una textura es una imagen que se usa como superficie para un objeto tridimensional. Hasta el momento tan sólo podíamos dar un aspecto mediante colores; a partir de ahora podremos aplicar imágenes.

Para un programador, la utilización de texturas conlleva cuatro pasos a realizar:

1) Carga de imágenes como recurso físico que son a partir de un fichero y diferente según el formato del mismo: BMP, PNG, JPG, TGA, etc.
2) Cargar la textura con sus atributos diversos así como su propio contenido.
3) Definición de filtros de aplicación de texturas.
4) Utilización.

El primer paso de todos es independiente de OpenGL. Si bien éste nos permite la carga de ficheros formato BMP, resulta insuficiente, por lo que es necesario hacer uso de otras librerías para esta tarea. En nuestro caso utilizaremos y detallaremos más adelante la librería Corona.

Una vez obtenida la información o contenido de la textura, debemos proceder a su carga. Para ello será necesario llamar a estas dos funciones en el orden en que se presentan. La primera de ellas se usa tanto en la creación como en el uso de las texturas y es la siguiente:

```
void glBindTexture(GLenum target,GLuint texturesName);
```

Este método realiza tres tareas:

- Cuando se le da un nombre de textura distinto de 0 por primera vez, crea una textura nueva y le asigna este nombre.

- Cuando se llama después de la primera vez (que ya hemos creado la textura) se selecciona la textura con ese nombre como activa.

- Si el nombre de la textura es 0, OpenGL deja de utilizar objetos de textura y devuelve como activa la textura por defecto.

Al igual que vimos con las *display lists*, es posible obtener un identificador de textura válido con la siguiente función:

```
void glGenTextures( GLsizei n, GLuint *textures )
```

Una vez hemos indicado el identificador de la textura a definir, procedemos con su carga:

```
void glTexImage2D ( GLenum valor, GLint nivel,
                    GLint componentes,
                    GLsizei ancho, GLsizei alto,
                    GLint borde, GLenum formato,
                    GLenum tipo, const GLvoid *pixels)
```

Los posibles parámetros con los que trabajaremos son:

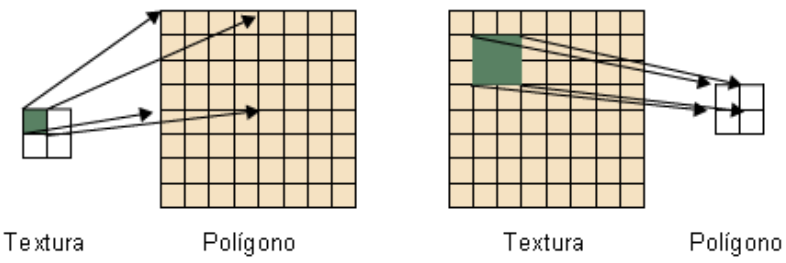
- Valor: GL_TEXTURE_2D.
- Nivel: Nivel de detalle. Se utiliza para texturas múltiples. Para texturas simples debe valer 0.
- Componentes: Número de componentes del color. Puede valer entre 1 y 4.
- Ancho, alto: Dimensiones de la imagen. Para que cualquier tarjeta gráfica pueda operar con ésta, los dos valores deberán ser potencia de dos.
- Borde: Grosor del borde. Puede valer 0, 1 o 2 (suele ser nulo).
- Formato: Indica en qué formato se encuentra la imagen: GL_COLOR_INDEX, GL_LUMINANCE, GL_LUMINANCE_ALPHA, GL_RGB, GL_RGBA, GL_RED, GL_GREEN, GL_BLUE o GL_ALPHA.
- Tipo: Tipo de datos del *array* de pixels: GL_BYTE, GL_UNSIGNED_BYTE, GL_BITMAP, GL_SHORT, GL_UNSIGNED_SHORT, GL_INT, GL_UNSIGNED_INT o GL_FLOAT.
- Píxeles: *Array* de píxeles que forman la imagen.

Tamaño de las texturas

Aunque las tarjetas gráficas más recientes no están sometidas a esta limitación, para que podamos realizar la carga de texturas en cualquier ordenador, éstas deberán ser de dimensión potencia de dos (128x128, 256x512, etc.).

Las imágenes utilizadas para las texturas son cuadradas o rectangulares. En cambio, las primitivas sobre las que se aplican no tienen por qué serlo. Además, en general, el tamaño de éstas no suele coincidir. Por tanto, rara vez un píxel de la textura (llamado texel) se corresponde con un píxel de la escena. En estos casos hay que recurrir a algún filtro que obtenga el valor adecuado para cada píxel de la escena a partir de los texels de la textura.

Cuando no existe una correspondencia uno a uno entre píxeles de la escena y texels, pueden darse dos casos: que un píxel se corresponda con varios texels (minificación) o que se corresponda con una parte de un texel (magnificación). La siguiente imagen ilustra este hecho:



A la izquierda es necesario magnificar y a la derecha. minificar.

Es posible fijar filtros diferentes para cada una de estas dos situaciones utilizando el siguiente método:

```
void glTexParameteri ( GLenum tipo, GLenum valor,
                       GLint parametro)
```

Los parámetros son:

- Tipo: GL_TEXTURE_2D.
- Valor: Indica el parámetro que se está fijando. Puede valer GL_TEXTURE_MIN_FILTER o GL_TEXTURE_MAG_FILTER.
- Parámetro: Es el tipo de filtro. Veremos los casos GL_NEAREST y GL_LINEAR.

La opción GL_NEAREST elige como valor para un píxel el texel con coordenadas más cercanas al centro del píxel. Puede producir efectos de *aliasing*.

La opción GL_LINEAR elige como valor para un píxel el valor medio de la muestra de la matriz 2x2 de texels más cercano al centro del píxel. Produce efectos más suaves que GL_NEAREST.

Veamos dos imágenes resultantes de aplicar estos dos diferentes filtros. La diferencia de calidad es notoria.

Lara Croft del videojuego Tomb Raider. A la izquierda, con filtro de textura GL_NEAREST; a la derecha, con filtro de textura GL_ LINEAR

Veamos ahora otra ilustración donde podemos observar el *aliasing* que se produce tanto a la hora de magnificar como mitificar si el filtro utilizado es GL_NEAREST, el más simple de todos:

Primera versión del popular juego Doom

Otro aspecto fundamental a la hora de manejar las texturas es conocer cómo se aplican las texturas a las primitivas y si sufren alguna operación adicional. Existen tres formas de aplicar las texturas y lo podemos indicar mediante la siguiente función:

```
glTexEnvi (GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, GLint valor)
```

El parámetro valor puede ser:

- GL_DECAL: Cuyo efecto es colocar la textura sobre la primitiva, el valor del texel se copia directamente al píxel (textura opaca).

- GL_MODULATE: Permite modular o matizar el color de la primitiva con los colores de la textura.

- GL_BLEND: El valor del texel se usa para interpolar entre el color del objeto y un color constante definido para la textura mediante la función siguiente:

```
glTexEnvfv(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_COLOR, GLfloat color[4])
```

La última cuestión que afecta a los modos de aplicación de las texturas es la posibilidad de expandirlas o repetirlas. Cuando la textura es menor que la primitiva sobre la que debe colocarse, existen dos posibilidades: repetirla en forma de mosaico o expandirla más allá del final de la textura utilizando su propio borde. La textura puede repetirse en un sentido y expandirse en otro, o realizar la misma operación en ambas direcciones. Utilizaremos la función siguiente:

```
void glTexParameteri (GLenum tipo, GLenum valor, GLint parametro)
```

Los parámetros son:

- Tipo: GL_TEXTURE_2D.
- Valor: Indica el sentido al que afecta el modo de repetición. Puede valer GL_TEXTURE_WRAP_S (coordenada S) o GL_TEXTURE_WRAP_T (coordenada T). Las coordenadas de textura las trataremos en el siguiente apartado.
- Parametro: Es el tipo de repetición. Puede valer GL_REPEAT (repetición en modo mosaico) o GL_CLAMP (repetición en modo expandir).

La repetición GL_REPEAT se realiza colocando la textura en modo de mosaico. Los texels del borde se calculan como la media con los del mosaico adyacente. En el modo GL_CLAMP, los píxeles del borde se expanden en toda la primitiva. Veamos un ejemplo ilustrativo de estos modos:

Una vez que las texturas han sido creadas y se ha determinado el modo de aplicación de las mismas, deben ser activadas para que se apliquen a las primitivas:

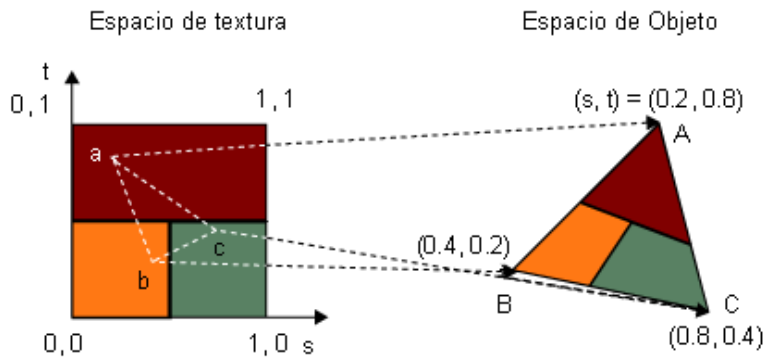
```
glEnable (GL_TEXTURE_2D)
```

Para poder usar la textura, utilizamos el procedimiento anteriormente nombrado glBindTexture() y seleccionamos la textura actual. Además debemos especificar las coordenadas de texturas, y lo hacemos por medio de:

```
void glTexCoord2{sifd}(TYPE coords);
void glTexCoord2{sifd}v(TYPE *coords);
```

Establece las coordenadas actuales de la textura (s, t). Debe preceder a glVertex*.

Veamos un ejemplo de definición de coordenadas de textura:



Los valores de coordenadas de textura situadas en el intervalo (0.0, 1.0) denotan el mapeo parcial de una textura sobre un polígono. Esta opción resultará especialmente útil cuando queremos obtener un *frame* de una animación como ocurre en el caso siguiente:

Marine del Doom

En cambio, si utilizamos el intervalo (i, j), haremos que este mapeo se efectúe *i* veces repetido sobre el eje x, y *j* veces sobre el eje y.

Veamos un ejemplo práctico en el cual podemos apreciar claramente el uso de texturas mapeadas con un factor de repetición:

Quake III Arena

4.4. DirectX

Como hemos comentado con anterioridad, DirectX es dependiente de la plataforma Microsoft Windows. Por esta razón, si queremos programar con esta API, primero debemos tratar el paradigma de la programación en Windows.

4.4.1. Programación en Windows

La programación en Windows es un tema complicado del cual hay muchos libros escritos. Dado que no es nuestro principal objetivo, mostraremos su funcionamiento directamente con un ejemplo que podemos considerar plantilla.

Toda aplicación Windows ha de tener dos funciones: WinMain y WinProc (la segunda realmente podemos llamarla como queramos).

- WinMain: Es la que se ejecuta al arrancar la aplicación. En nuestro ejemplo se encarga de crear una ventana sobre la cual se ejecutará la aplicación y el *event loop*, que simplemente recoge los eventos de Windows y se los pasa a WinProc, para que éste los gestione.

- WinProc: Es la encargada de gestionar los diferentes eventos, por ejemplo, de cerrar la aplicación si recibimos un mensaje WM_DESTROY. Al crear la ventana en la función WinMain, le hemos indicado que la función que ha de llamar cuando tenga un mensaje sea ésta.

A continuación, mostramos el código necesario para tener una aplicación bien sencilla para Windows. Ésta consistirá en una única ventana que tan sólo esperará la presión de la tecla ESC para salir de ella. Fijémonos con atención dónde colocamos nuestra función GameMain.

```
HWND      g_hMainWnd;
HINSTANCE g_hInst;

HWND      InitWindow(int iCmdShow);
LRESULT   CALLBACK WinProc(HWND hWnd, UINT message, WPARAM wParam,LPARAM lParam);
void GameMain();
int APIENTRY WinMain(HINSTANCE hInstance, HINSTANCE hPrevInstance, LPSTR lpCmdLine,int nCmdShow)
{
   g_hInst = hInstance;
   g_hMainWnd = InitWindow(nCmdShow);

   if(!g_hMainWnd) return -1;

   while( TRUE )
   {
      MSG msg;

      if( PeekMessage( &msg, NULL, 0, 0, PM_REMOVE ) )
      {
         // Check for a quit message
         if( msg.message == WM_QUIT )  break;

         TranslateMessage( &msg );
         DispatchMessage( &msg );
         }
         else
         {
            GameMain();
         }
   }
   return 0;
}

void GameMain()
{
   //El main de nuestro juego
}

HWND InitWindow(int iCmdShow)
{
   HWND      hWnd;
   WNDCLASS  wc;

   wc.style = CS_HREDRAW | CS_VREDRAW;
   wc.lpfnWndProc = WinProc;
   wc.cbClsExtra = 0;
   wc.cbWndExtra = 0;
```

```
    wc.hInstance = g_hInst;
    wc.hIcon = LoadIcon(g_hInst, IDI_APPLICATION);
    wc.hCursor = LoadCursor(NULL, IDC_ARROW);
    wc.hbrBackground = (HBRUSH) GetStockObject (BLACK_BRUSH);
    wc.lpszMenuName = NULL;
    wc.lpszClassName = "MyGame";
    RegisterClass(&wc);

    hWnd = CreateWindowEx(NULL, "MyGame", "MyGame",
                          WS_POPUP, 0, 0, 640, 480,
                          NULL,NULL,g_hInst,NULL);

    ShowWindow(hWnd, iCmdShow);
    UpdateWindow(hWnd);
    SetFocus(hWnd);

    return hWnd;
}

LRESULT CALLBACK WinProc(HWND hWnd, UINT message, WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
    switch (message)
    {
       case WM_KEYDOWN: if(wParam == VK_ESCAPE)
          {
             PostQuitMessage(0);
             return 0;
          }
          break;

       case WM_DESTROY: PostQuitMessage(0);
          return 0;

    }
    return DefWindowProc(hWnd,message, wParam, lParam);
}
```

Es importante observar en este código los siguientes puntos:

- El nombre de la función que tratará los mensajes de Windows lo hemos declarado en uno de los atributos de la clase WNDCLASS, al hacer: wc.lpfnWndProc = WinProc;

- En la función que crea la ventana de la aplicación (InitWindow), al hacer la llamada CreateWindowEx, son importantes los siguientes atributos:
  – Para crear una ventana sin marcos:

WS_POPUP

– Para crear una ventana con marcos típica de Windows:
WS_OVERLAPPEDWINDOW | WS_VISIBLE

– Tamaño de la ventana que nosotros queramos:
640, 480

– Tamaño de la ventana que sea la pantalla completa:
GetSystemMetrics(SM_CXSCREEN)
GetSystemMetrics(SM_CYSCREEN)

4.4.2. DirectX Graphics

DirectX Graphics es el componente principal de DirectX, tanto para la realización de videojuegos 2D como 3D.

Antiguamente, la programación de videojuegos en dos dimensiones implicaba la utilización del paquete DirectDraw. Hoy en día, aunque se puede seguir programando con él, se encuentra desfasada y se utiliza el modo 3D para la realización de juegos en 2D, por muy sencillos que sean. De hecho, DirectX Graphics no es otra cosa que la combinación de los paquetes DirectDraw y Direct3D.

Para programar un videojuego en 2D utilizando la API DirectX, existen dos técnicas básicas:

- La primera, consiste en definir una cámara paralela y ubicar todos los elementos que participan en el videojuego, en el plano z = 0.
- La segunda alternativa es más sencilla (es la que utilizaremos) y se basa en la utilización de la interfaz ID3DXSprite.

Veamos, a continuación, las variables y estructuras necesarias así como los diferentes pasos a seguir para lograr el propósito marcado.

Estructuras necesarias

```
// Objeto principal Direct3D
LPDIRECT3D9 g_pD3D;
// Dispositivo
LPDIRECT3DDEVICE9 g_pD3DDevice;
// Objeto principal Sprite
LPD3DXSPRITE g_pSprite;
// Textura para un sprite
```

```
LPDIRECT3DTEXTURE9 texture;
```

Inicializar Direct3D

```
// Crea un objeto IDirect3D9 y devuelve una interfaz
g_pD3D = Direct3DCreate9( D3D_SDK_VERSION );
if(g_pD3D==NULL) return -1;

 // Describe los parámetros de presentación
D3DPRESENT_PARAMETERS d3dpp;
ZeroMemory( &d3dpp, sizeof( d3dpp ) );

d3dpp.Windowed         = FALSE;
d3dpp.SwapEffect       = D3DSWAPEFFECT_DISCARD;
d3dpp.BackBufferWidth  = SCREEN_RES_X;
d3dpp.BackBufferHeight = SCREEN_RES_Y;
d3dpp.BackBufferFormat = D3DFMT_X8R8G8B8;

HRESULT hr;
hr = g_pD3D->CreateDevice( D3DADAPTER_DEFAULT,
                           D3DDEVTYPE_HAL, hWnd,
                           D3DCREATE_SOFTWARE_VERTEXPROCESSING,
                           d3dpp, &g_pD3DDevice );
if(FAILED(hr)) return -1;
```

Inicializar Sprites

```
// Crea un objeto sprite, asociado a un dispositivo
D3DXCreateSprite( g_pD3DDevice, &g_pSprite );

// Crea una textura desde un archivo.
D3DXCreateTextureFromFileEx( g_pD3DDevice, "main.png",
                             0, 0, 1, 0,
                             D3DFMT_UNKNOWN,
                             D3DPOOL_DEFAULT,
                             D3DX_FILTER_NONE,
                             D3DX_FILTER_NONE,
                             NULL,NULL,NULL,&texture);
```

Este último método es fundamental.

Web

Para un estudio más exhaustivo, se recomienda una visita al enlace siguiente y realizar una búsqueda por el nombre del método: http://msdn.microsoft.com

Veamos con detalle la especificación de los parámetros más importantes; cada uno de éstos acepta diferentes posibilidades:

```
HRESULT WINAPI D3DXCreateTextureFromFileEx(

   LPDIRECT3DDEVICE9 pDevice, // Dispositivo asociado
   LPCTSTR pSrcFile,          // Nombre del archivo
   UINT Width,                // Anchura y altura de la imagen
   UINT Height,               // (0: las coge él solo)
   UINT MipLevels,            // 1
   DWORD Usage,               // 0
   D3DFORMAT Format,          // D3DFMT_UNKNOWN
   D3DPOOL Pool,              // D3DPOOL_DEFAULT
   DWORD Filter,              // D3DX_FILTER_NONE
   DWORD MipFilter,           // D3DX_FILTER_NONE
   D3DCOLOR ColorKey,         // Color keying: 0x00ff00ff (rosa)
   D3DXIMAGE_INFO *pSrcInfo,  // NULL
   PALETTEENTRY *pPalette,    // NULL
   LPDIRECT3DTEXTURE9 *ppTexture // Objeto textura a crear
);
```

Comentaremos los parámetros importantes acotando por relevancia, teniendo en cuenta que queremos realizar un videojuego 2D y prefijando aquellos que no tengan mayor importancia:

- pDevice: Dispositivo asociado a la textura
- pSrcFile: Nombre del archivo
- Width, Height: Anchura y altura de la imagen (con el valor cero las coge él solo)
- MipLevels: 1
- Usage: 0
- Format: D3DFMT_UNKNOWN
- Pool: D3DPOOL_DEFAULT
- Filter: D3DX_FILTER_NONE
- MipFilter: D3DX_FILTER_NONE
- ColorKey: Color keying, por ejemplo para indicar el rosa introduciríamos el valor 0x00ff00ff
- pSrcInfo: NULL
- pPalette: NULL
- ppTexture: Objeto textura a crear

Renderizado y visualización

```
// Limpiamos la pantalla con el color negro
g_pD3DDevice->Clear( 0, NULL, D3DCLEAR_TARGET,
                     0xFF000000, 0, 0 );
// Iniciamos el renderizado de la escena
g_pD3DDevice->BeginScene();

   // Iniciamos el renderizado de sprites
```

```
   g_pSprite->Begin( D3DXSPRITE_ALPHABLEND );

         g_pSprite->Draw( texMain, NULL, NULL, &D3DXVECTOR3(0.0f,0.0f,0.0f), 0xFFFFFFFF);

   // Finalizamos el renderizado de sprites
   g_pSprite->End();

 // Finalizamos el renderizado de la escena
g_pD3DDevice->EndScene();

 // Visualización
g_pD3DDevice->Present( NULL, NULL, NULL, NULL );
```

Nuevamente, comentaremos las líneas de código más importantes, que son las del pintado de *sprites*.

```
HRESULT Draw(

   LPDIRECT3DTEXTURE9 pTexture,
   CONST RECT *pSrcRect,
   CONST D3DXVECTOR3 *pCenter,
   CONST D3DXVECTOR3 *pPosition,
   D3DCOLOR Color
);
```

Los parámetros son:

- pTexture: Textura del *sprite*
- pSrcRect: Rectángulo deseado (NULL para completo dibujado)
- pCenter: Centro del *sprite* (NULL para valor (0,0,0)
- pPosition: Posición donde pintar (NULL para valor (0,0,0)
- Color: Color y canal alfa para modular (0xFFFFFFFF para no alterar)

Finalización

Al finalizar la aplicación, es necesario liberar todos los recursos solicitados. Por lo que respecta a los objetos de la API DirectX Graphics tratados, el código para nuestro ejemplo sería el siguiente:

```
if(texture)
{
   texture->Release();
   texture = NULL;
}
if(g_pSprite)
{
   g_pSprite->Release();
```

```
    g_pSprite = NULL;
}
if(g_pD3DDevice)
{
    g_pD3DDevice->Release();
    g_pD3DDevice = NULL;
}
if(g_pD3D)
{
    g_pD3D->Release();
    g_pD3D = NULL;
}
```

4.4.3. DirectInput

DirectInput es la parte de las DirectX encargada de la captura de eventos de entrada, ya sea desde el teclado, el ratón o un *joystick*. Este proceso a diferencia de Direct3D, es bastante más sencillo. Veámoslo en tres partes: estructuras y variables necesarias, inicialización y lectura.

Estructuras necesarias

```
LPDIRECTINPUT8 m_pDI;         // Objeto que inicia Direct Input

LPDIRECTINPUTDEVICE8 Raton;   // Este será el ratón
DIMOUSESTATE EstadoRaton;     // Estado del ratón
int PosXRaton, PosYRaton;     // Posición X,Y en pantalla del ratón

LPDIRECTINPUTDEVICE8 Teclado; // Este es el teclado
UCHAR EstadoTeclado[256];     // Estado de las teclas
```

Inicialización

Para inicializar DirectInput, primero es necesario crear el propio objeto y luego, sucesivamente para cada dispositivo de entrada, efectuar las siguientes operaciones:

- Crear el dispositivo
- Iniciar el nivel de cooperación
- Iniciar el modelo de datos
- Adquirir el dispositivo para la aplicación

Veamos la implementación de la inicialización de DirectInput para una aplicación que fuera interaccionable mediante teclado y ratón:

```
HRESULT hr;
// Crear DirectInput
```

```
hr = DirectInput8Create( hInst, DIRECTINPUT_VERSION, IID_IDirectInput8, (void **)&m_pDI, NULL);
if(FAILED(hr)) return -1;
// 1. Crea el teclado
hr = lpDI->CreateDevice( GUID_SysKeyboard, &Teclado, NULL);
if(FAILED(hr)) return -1;
// 2. Inicia el nivel de cooperacion
hr = Teclado->SetCooperativeLevel(hWnd, DISCL_FOREGROUND | DISCL_NONEXCLUSIVE);
if(FAILED(hr)) return -1;
// 3. Inicia el modelo de datos
hr = Teclado->SetDataFormat(&c_dfDIKeyboard);
if(FAILED(hr)) return -1;
// 4. Adquiere el teclado para la aplicacion
hr = Teclado->Acquire();
if(FAILED(hr)) return -1;
// 1. Crear el ratón
hr = lpDI->CreateDevice(GUID_SysMouse, &Raton, NULL);
if(FAILED(hr)) return -1;
// 2. Inicia el nivel de cooperacion
hr = Raton->SetCooperativeLevel(hWnd, DISCL_FOREGROUND | DISCL_EXCLUSIVE);
if(FAILED(hr)) return -1;
// 3. Inicia el modelo de datos
hr = Raton->SetDataFormat(&c_dfDIMouse);
if(FAILED(hr)) return -1;
// 4. Adquiere el teclado para la aplicacion
hr = Raton->Acquire();
if(FAILED(hr)) return -1;
```

Lectura

Para realizar la lectura de un dispositivo y comprobar si ha tenido lugar un evento de entrada a partir de éste, se utiliza el método GetDeviceState. Siguiendo con el ejemplo anterior procederíamos de la manera siguiente:

```
// Leer teclado
Teclado->GetDeviceState(256,EstadoTeclado);
```

```
// Leer raton
Raton->GetDeviceState(sizeof(DIMOUSESTATE), &EstadoRaton);
```

- **Lectura del estado del teclado**
  Estas dos funciones recogen el estado y lo guardan es sus respectivas variables. Para comprobar sise ha pulsado una tecla podemos usar:

```
      if (EstadoTeclado[Codigo_Tecla] > 0) ...
```

Donde los códigos de tecla con qué trabaja DirectX están definidos según la sintaxis: DIK_F1, DIK_F2, DIK_UP, DIK_LEFT, DIK_RETURN, DIK_SPACE, DIK_A, DIK_B, DIK_0, DIK_1, DIK_NUMPAD0, DIK_NUMPAD1, etc. Es decir, "DIK" (*direct input keyboard*) y la tecla correspondiente.

- **Lectura del estado del ratón**
  Para comprobar el estado del ratón, podemos usar:

```
EstadoRaton.lX            // Desplazamiento de las X
EstadoRaton.lY            // Desplazamiento de las Y
EstadoRaton.lZ            // Desplazamiento de las Z
EstadoRaton.rgbButtons[4] // Indica el estado de los botones
```

Debemos tener en cuenta que las variables lX, lY, lZ sólo indican el desplazamiento desde el estado anterior, y no la posición absoluta en pantalla. Por eso, para actualizar las variables del ratón, debemos hacer algo como:

```
Mouse.x = Mouse.x + EstadoRaton.lX;
Mouse.y = Mouse.y + EstadoRaton.lY;
```

El campo lZ se refiere al desplazamiento efectuado con la rueda del ratón.

Finalización

Al finalizar la aplicación, es necesario liberar todos los recursos solicitados. Por lo que respecta a los objetos de la API DirectInput tratados, el código para nuestro ejemplo sería el siguiente:

```
if(Teclado)
{
   Teclado->Unacquire();
   Teclado->Release();
   Teclado = NULL;
}
if(Raton)
{
   Raton->Unacquire();
   Raton->Release();
   Raton = NULL
}
if(m_pDI)
{
   m_pDI->Release();
   m_pDI = NULL;
}
```