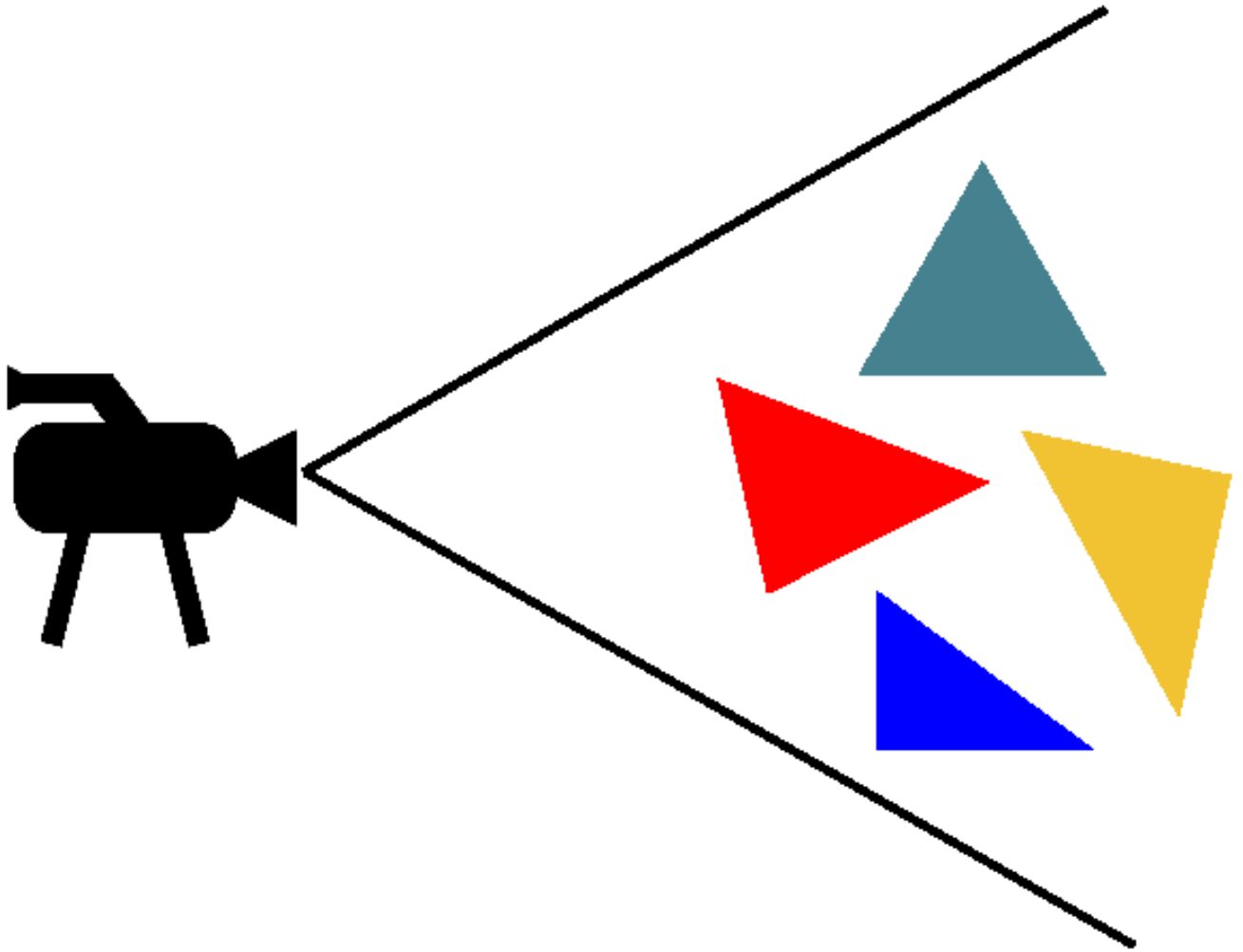
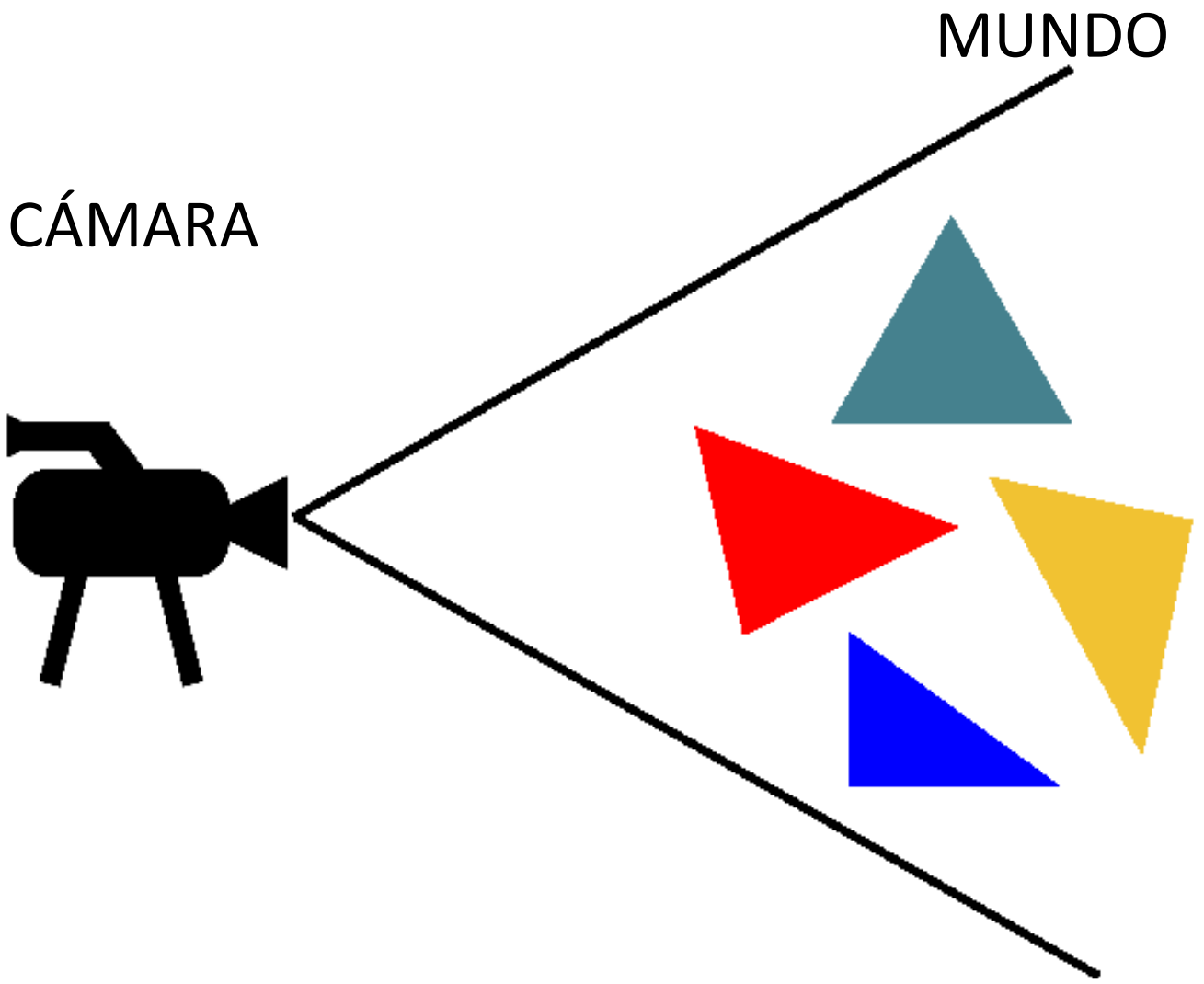
Introducción a la programación en OpenGL

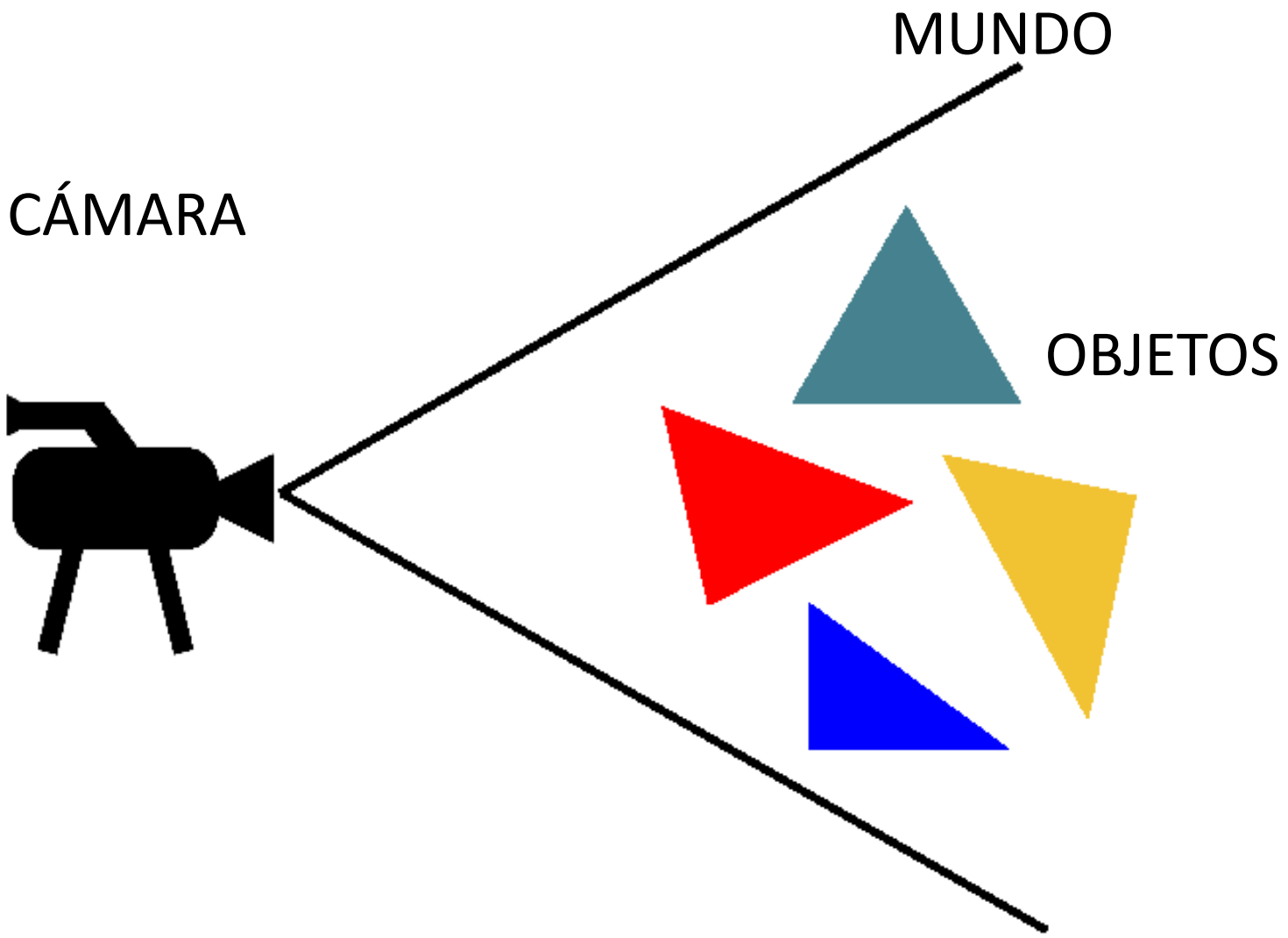
Primera aplicación gráfica



Primera aplicación gráfica



Primera aplicación gráfica



Primera aplicación gráfica

ENTRADA:

- Posición de la cámara
- Resolución de la imagen a generar
- Conjunto de objetos

SALIDA:

- Imagen realista de la escena

Primera aplicación gráfica

CÓMO DECIRLE A LA COMPUTADORA QUE GENERE ESTA IMAGEN:

Primera aplicación gráfica

CÓMO DECIRLE A LA COMPUTADORA QUE GENERE ESTA IMAGEN:

1- INICIALIZAR POSICIÓN DE LA CAMARA

Primera aplicación gráfica

CÓMO DECIRLE A LA COMPUTADORA QUE GENERE ESTA IMAGEN:

1- INICIALIZAR POSICIÓN DE LA CAMARA
2- INICIALIZAR PROPIEDADES DE LA IMAGEN

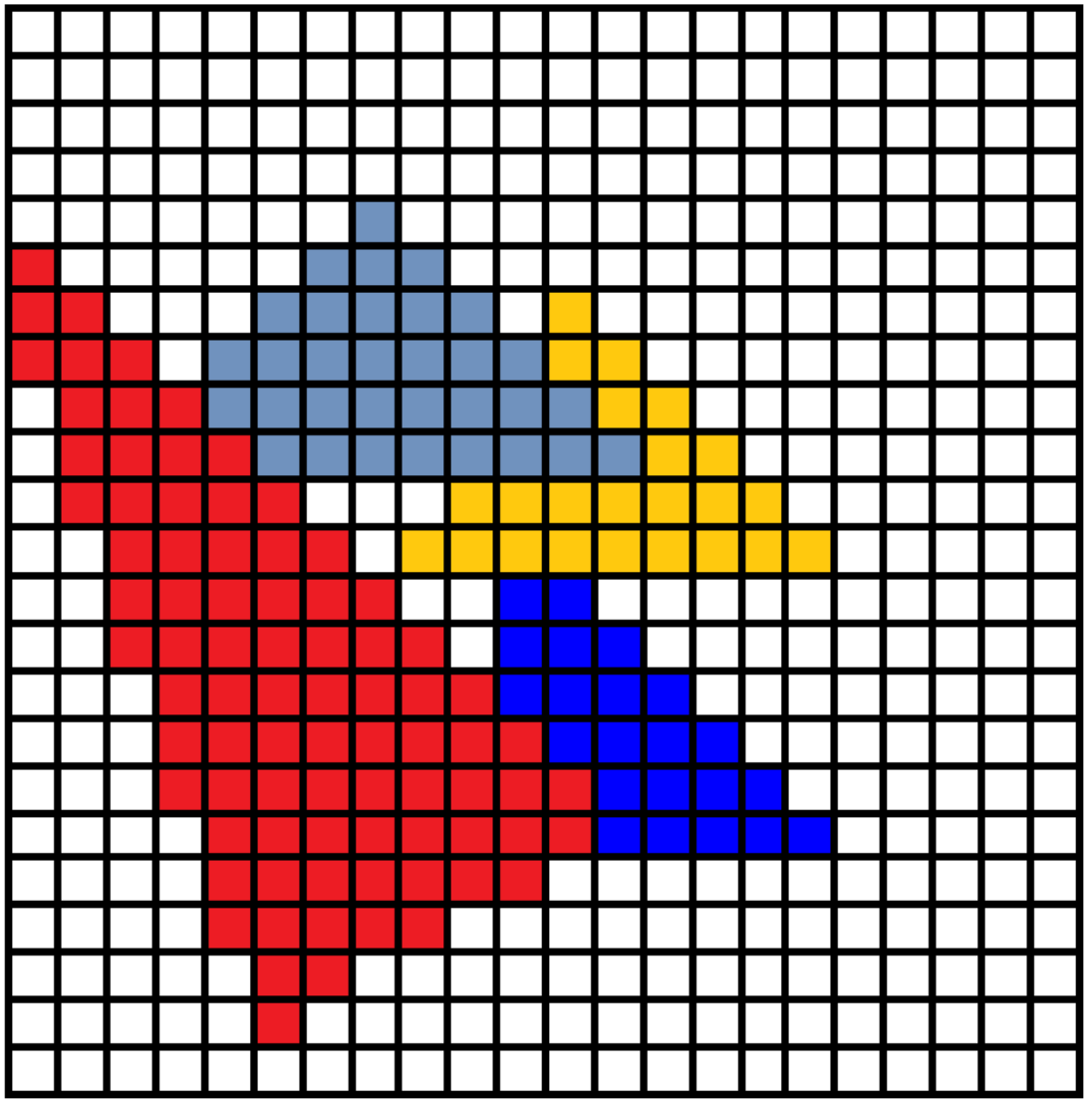
Primera aplicación gráfica

CÓMO DECIRLE A LA COMPUTADORA QUE GENERE ESTA IMAGEN:

1- INICIALIZAR POSICIÓN DE LA CAMARA
2- INICIALIZAR PROPIEDADES DE LA IMAGEN
3- PARA CADA TRIANGULO:
    -Definir 3 puntos
    -Definir color
    -Dibujar en pantalla

Primera aplicación gráfica

RESULTADO:



Primera aplicación gráfica

BUSCANDO MAYOR REALISMO:

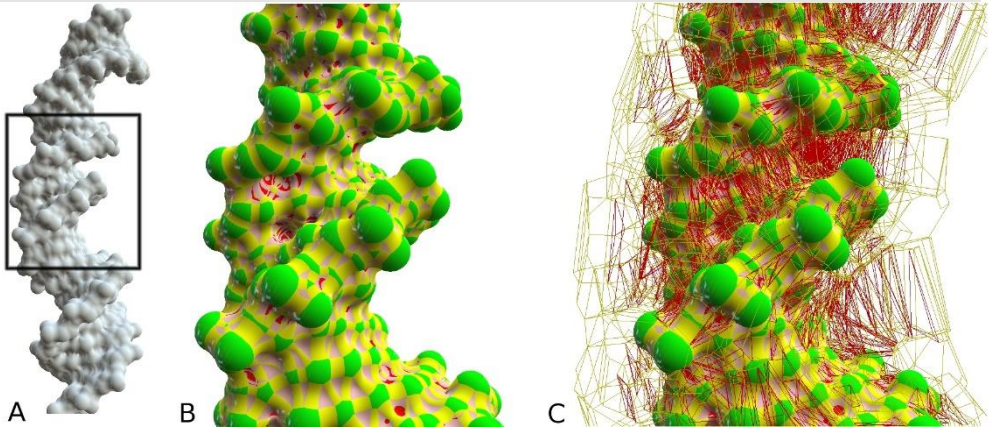
- Transformaciones geométricas
- Iluminación
- Texturas
- Colores transparentes
- etc …

¿Qué es OpenGL?

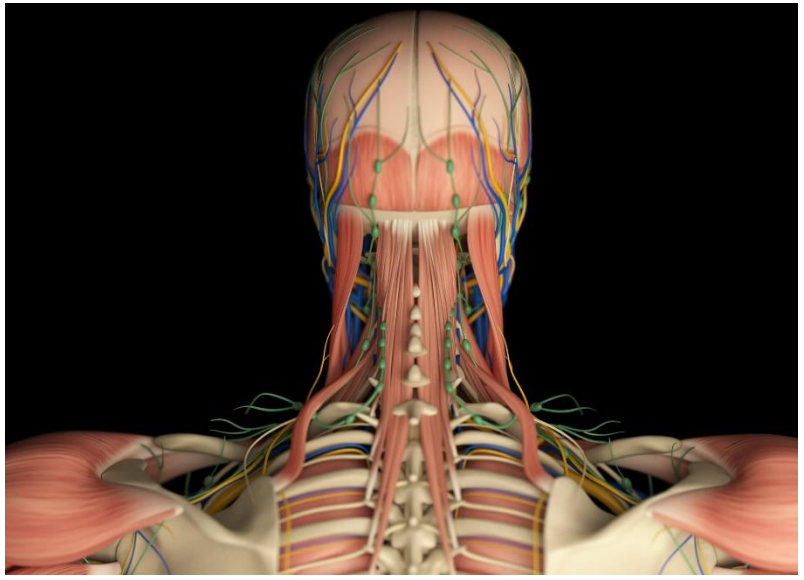
- Es una interfaz para la generación de gráficos (Graphics renderingAPI)
  - Imágenes de alta calidad generadas a partir de primitivas geométricas.
  - Independiente del sistema de ventanas
  - Independiente del sistema operativo.

¿Para qué OpenGL?

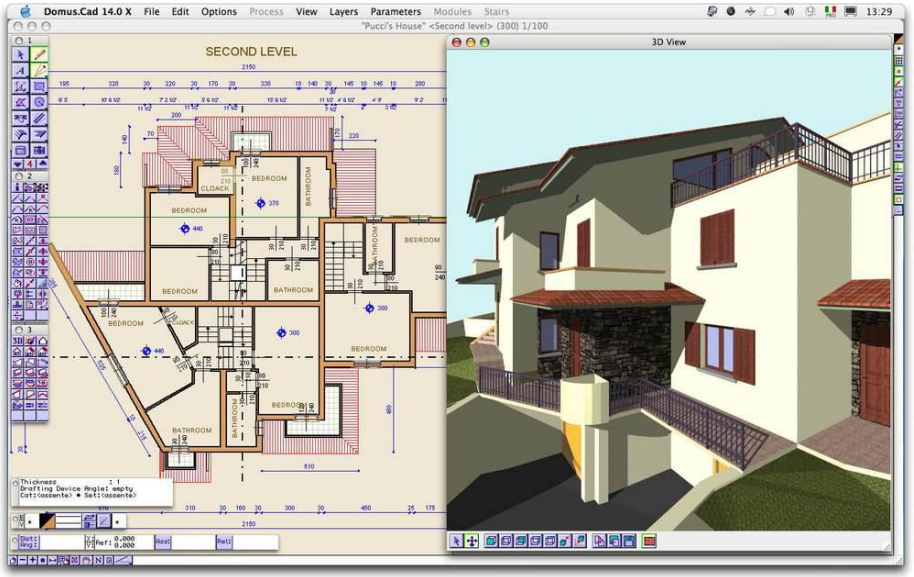
-Visualización científica



-Visualización médica



-Computer Aided Design (CAD)

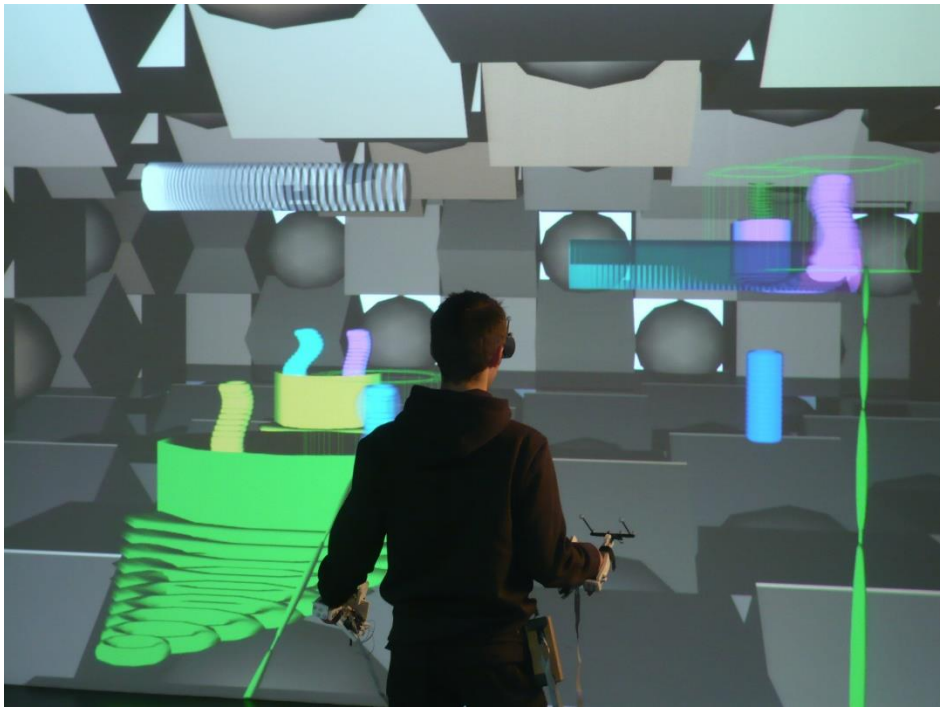


¿Para qué OpenGL?

-Juegos

-Películas

-Realidad virtual



¿Qué NO es OpenGL?

- Un sistema de ventanas.
- Un manejador de eventos.
- Un sistema de animación de objetos.
- Un motor físico
- Un sistema que controla la interacción entre objetos.
- Un sistema de base de datos de objetos tridimensionales.

Etc.

¿Que provee OpenGL?

- Un conjunto de funciones que controlan la configuración del sistema de dibujado.
- Un sistema de proyección que permite especificar objetos en 3 dimensiones y llevarlos a coordenadas de pantalla.
- Un conjunto de funciones para realizar transformaciones geométricas que permiten posicionar los objetos en el espacio.
- … y pocas cosas más!

Otras bibliotecas

- **GLU** (**O**penGL **U**tility **L**ibrary) es un conjunto de funciones que simplifican el uso de OpenGL para especificar la visualización, construcciones simplificadas de superficies, y otras cosas.

- **SDL**: (**S**imple **D**irectMedia **L**ibrary): es una librería multimedia multiplataforma que ofrece funcionalidad para manejo de ventanas, lectura de teclado, reproducción de sonido, etc.

Algo de Historia

- 1980s
  - Los fabricantes de hardware gráfico no seguían ningún estándar. Era el trabajo de los programadores dar soporte a cada pieza de hardware
- Fines de los 80s y principio de los 90s
  - Silicon Graphics (SGI) es el líder en gráficos 3D. Su librería IrisGL es considerada “state-of-the-art”
  - Ingresan al mercados nuevos proveedores de hardware 3D y se debilita la posición de SGI
  - Se decide convertir IrisGL en un estándar abierto

Algo de Historia

- 1990
  - Comienza desarrollo de *OpenGL*
  - Comienza la colaboración *SGI – Microsoft*
- 1992
  - Se completa *OpenGL* 1.0 (30 de junio)
  - Curso de *OpenGL* en *SIGGRAPH* '92
  - SGI lidera la creación del *OpenGL Architecture Review Board* (*OpenGL ARB*), grupo de empresas que mantendrían y extenderían la especificación de *OpenGL*

Algo de Historia

- 1995
  - Se completa *OpenGL* 1.1
    - Soporte de texturas en GPU
  - Microsoft lanza *Direct3D*, que se convertirá en el principal competidor de *OpenGL*
- 1996
  - Se hace pública la especificación de *OpenGL*
- 1997
  - ***Fahrenheit***: Acuerdo entre *SGI* y *Microsoft* para unir *OpenGL* a *Direct3D*. El proyecto aborta poco tiempo después

Algo de Historia

- 1998
  - Se completa *OpenGL* 1.2
    - Texturas volumétricas (entre otras funcionalidades)
- 2000
  - *OpenGL* se hace accesible como código abierto
- 2001
  - Se completa *OpenGL* 1.3
    - Multi-texturas (entre otras funcionalidades)

Algo de Historia

- 2002
  - Se completa *OpenGL* 1.4
    - Soporte para sombreado por hardware, generación automática de MipMap (entre otras funcionalidades)
- 2003
  - Se completa *OpenGL* 1.5
    - Vertex Buffer Objects: VBO (entre otras funcionalidades)
  - Microsoft abandona *OpenGL ARB*

Algo de Historia

- 2004
  - Se completa *OpenGL* 2.0
    - Se introducen Pixel y Vertex Shaders
    - Definición del *OpenGL Shading Language* (*GLSL*)
- 2006
  - Se completa *OpenGL* 2.1
    - Soporte para Pixel Buffer Objects: PBO (entre otras funcionalidades)
  - *ARB* transfiere el control de *OpenGL* a *Khronos Group*.

Algo de Historia

- 2007-2009
  - Se completa *OpenGL* 3.0
    - Mejora del lenguaje de shaders
    - *CUDA*: procesamiento masivo con procesadores de propósito general en la GPU (120+)
  - Surge *OpenGL ES*
    - Definición de un API común para la versión de dispositivos móviles
  - Surge *OpenCL*
    - Framework para escribir programas que se ejecutan en plataformas heterogéneas de CPUs, GPUs y otros procesadores

Algo de Historia

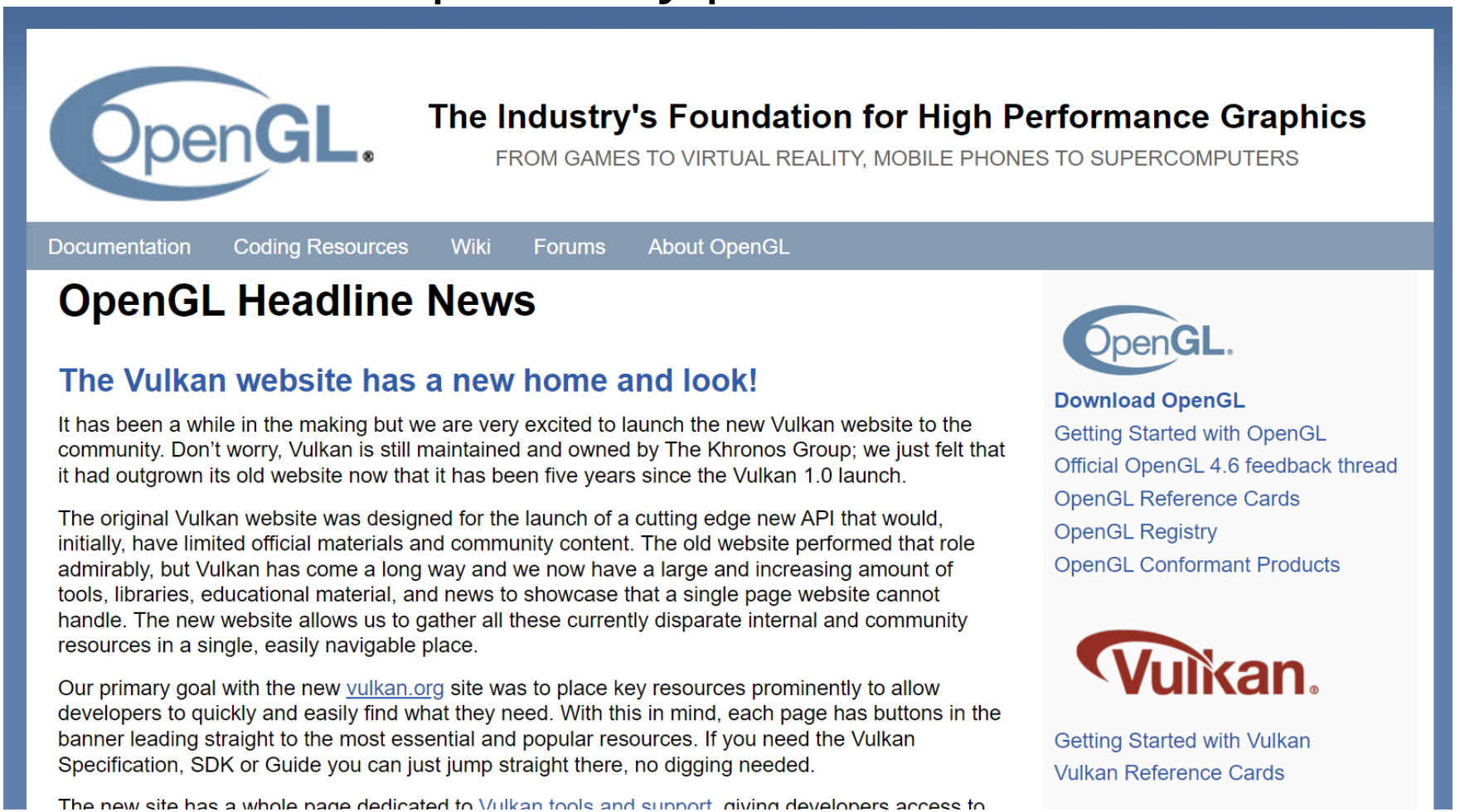
- 2010
  - Se completa *OpenGL* 4.0
    - GLSL 4.0 (entre otras funcionalidades)
- 2011
  - Surge *WebGL* 1.0
    - API de gráficos 3D de bajo nivel para la web, accesible a través del elemento *Canvas* en *HTML5*
    - Basado en *OpenGL ES* 2.0
    - *Apple* (*Safari*), *Google* (*Chrome*), *Mozilla* (*Firefox*) y *Opera* (*Opera*) son miembros del *WebGL Working Group*
  - Se completa *OpenGL* 4.2

Algo de Historia

- 2012
  - Se completa *OpenGL* 4.3
- 2014
  - Se completa OpenGL 4.4
  - Varias especificaciones:
    - OpenGL ES 3.1, WebCL 1.0, OpenCL 2.0 (entre otras)
- 2016
  - Compute shaders
  - Se completa OpenGL 4.5
- 2019
  - OpenGL 4.6 API (current version)

Algo de Historia

- 2021
  - En respuesta a Direct3D 12, y en lugar de OpenGL 5.0, Khronos especifica y publica Vulkan 1.x



Notas Generales

- La forma en la que se trabaja es dibujando una secuencia de imágenes estáticas. A cada uno de dichos fotogramas lo llamaremos "*frame*", y está compuesto por la información de color de cada pixel que conforma la imagen.

- La porción de memoria en donde se almacena el *frame* se llama "*colorBuffer*" (o "*frameBuffer*").
- El contenido del *colorBuffer* es lo que se muestra en pantalla.

Notas Generales

- El funcionamiento general de los dispositivos gráficos de salida (monitor CRT/LCD, cañón, etc.) está basado en que la información gráfica se muestra como un barrido de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

- El intervalo de tiempo entre que se dibuja el último pixel de la última línea y se pasa a dibujar el primer pixel de la primer línea se llama "*Vertical Blanking Interval*".
  - La acción se suele llamar "*Vertical Retrace*".

Notas Generales

- En dispositivos antiguos con cantidad de memoria y poder de cómputo limitados, se tendía a calcular el siguiente *frame* durante el *Vertical Blanking Interval*.

- De esta manera se evitaba modificar el *colorBuffer* al mismo tiempo que se lo estaba desplegando en pantalla.

Notas Generales

- Actualmente es común que las aplicaciones gráficas utilicen más de un *colorBuffer*. El más conocido es el "*DoubleBuffer*".

- Mientras que un buffer se muestra en pantalla (*front buffer*) se dibuja sobre otro (*back buffer*).
- Cuando el *back buffer* está listo para ser mostrado, se hace un *"swap"* entre las referencias a donde comienza el *front* y el *back buffer* (ahorrando la copia del buffer).

Notas Generales

- Cuando el *swap* de buffers no se hace sincronizado con el *vertical retrace*, lo que ocurre es que mientras se está mostrando un cierto *frame*, se pasa a mostrar el siguiente *frame*.

- El artefacto gráfico resultante se lo llama "*Tearing*"

Notas Generales

- Ejemplo de “*Tearing*”

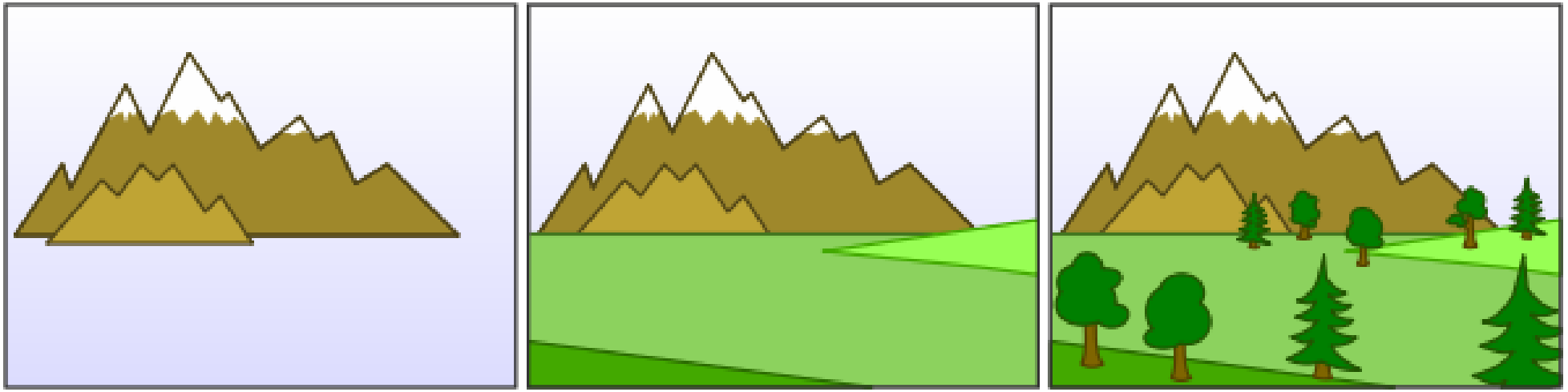
Notas Generales

- La forma de trabajar con una biblioteca gráfica es indicarle que dibuje una serie de primitivas gráficas. Cada primitiva tiene un efecto sobre el *color buffer*.

- No se puede garantizar un orden total entre primitivas con respecto a la profundidad, por lo que potencialmente no existe una secuencia en la que todas las primitivas se dibujen con su profundidad correcta.

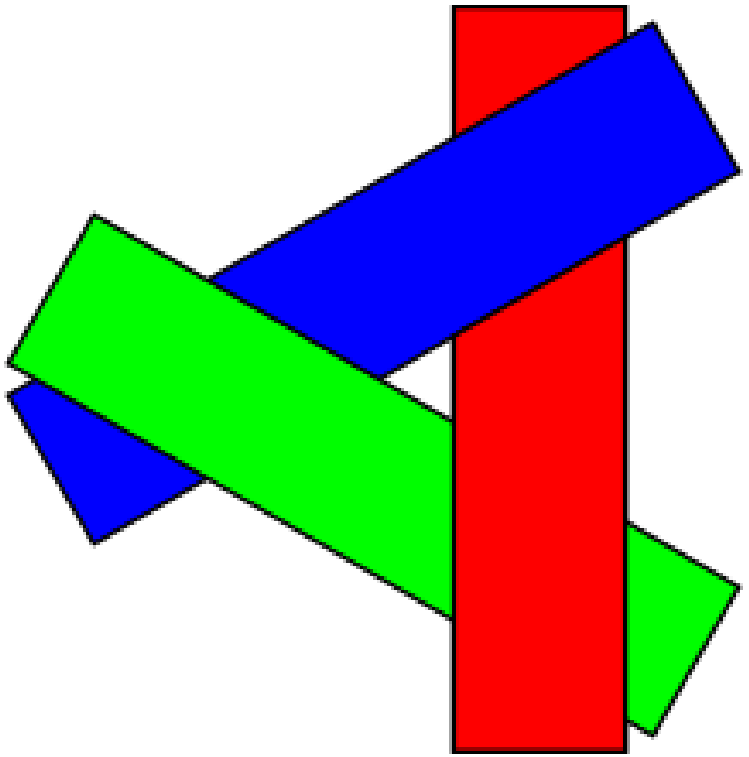
Notas Generales

- Posible solución: el algoritmo del pintor.



Notas Generales

- Un problema:



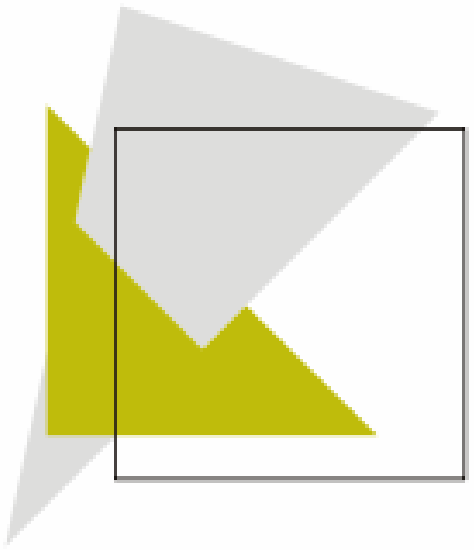
Notas Generales

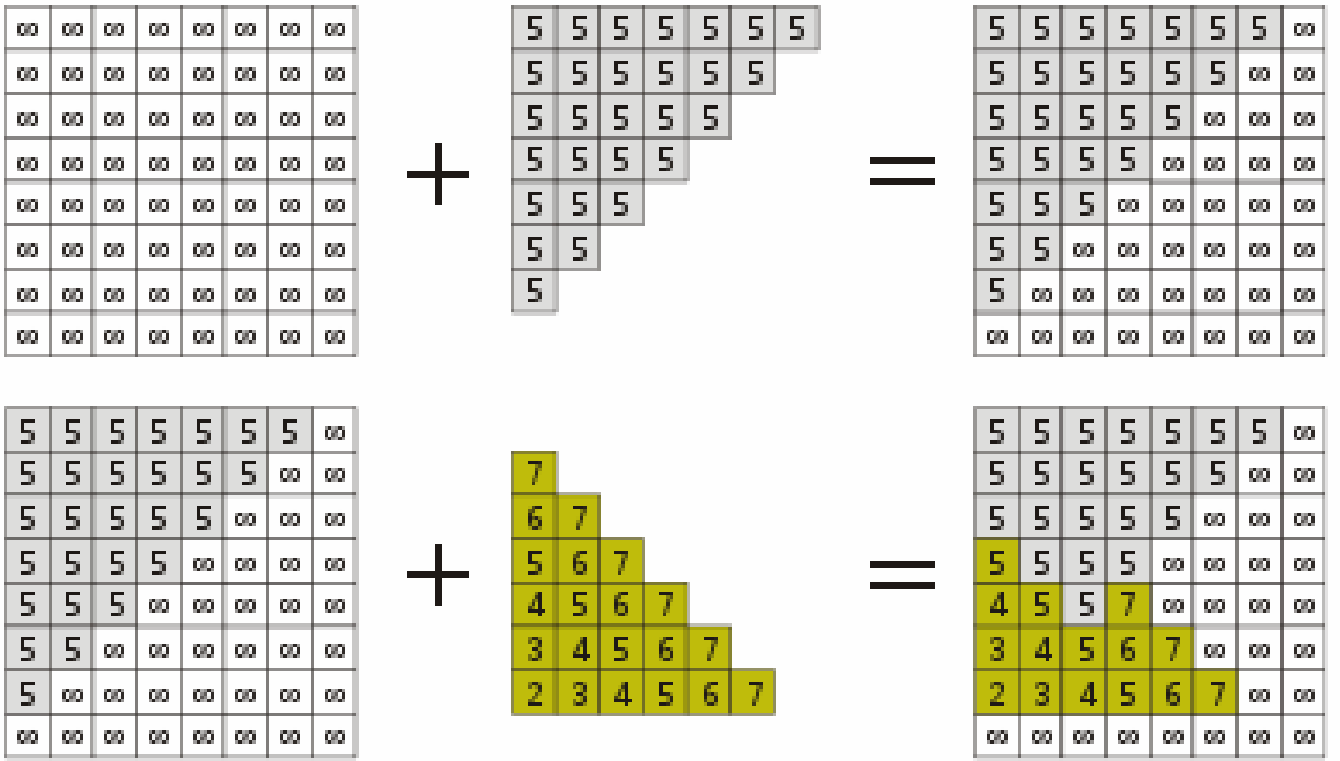
- La alternativa es hacer un chequeo de profundidad a nivel de pixel. A ésto se lo conoce como *Z-buffer*

- Al intentar dibujar un nuevo pixel en el buffer de color, se chequea que la profundidad sea menor a la que se encuentra en el *Z-buffer*:
  - Si es menor se dibuja el pixel y se actualiza el z-buffer.
  - En caso contrario no se pinta el pixel.

Notas Generales

- Ejemplo de uso de Z-Buffer





SDL

- Presenta varios sub-sistemas que pueden ser inicializados de forma independiente.
  - En el ejemplo se presenta la inicialización del sub-sistema de video.

```
If( SDL_Init(SDL_INIT_VIDEO) == -1 )
{
    fprintf( stderr, "[Video Error]: %s\n", SDL_GetError() );
}
```

SDL 1.2

- Para configurar el modo de video y resolución se debe utilizar la función ***SDL_SetVideoMode***.
  - Se puede configurar a SDL para dibujar con OpenGL en vez de usar las primitivas de SDL.

```
If( SDL_SetVideoMode(640,480,32,SDL_OPENGL) == NULL )
{
    fprintf( stderr, "[Video Error]: %s\n", SDL_GetError() );
    SDL_Quit();
    Exit(1);
}
```

SDL 2.0

- Si se está utilizando SDL 2.0 se utiliza la función ***SDL_CreateWindow()*** seguido de ***SDL_GL_CreateContext().***

```
SDL_Window* window = SDL_CreateWindow("Title",
            SDL_WINDOWPOS_CENTERED,
            SDL_WINDOWPOS_CENTERED,640,480,SDL_WINDOW_OPENGL)
if(window == NULL){
   fprintf( stderr, "[Video Error]: %s\n", SDL_GetError() );
   SDL_Quit();
   exit(1);
}

SDL_GLContext glContext = SDL_GL_CreateContext(window);
if(window == NULL){
   fprintf(stderr,"[GL Context Error]: %s\n",SDL_GetError() );
   SDL_Quit();
   exit(1);
}
```

SDL 2.0

- Luego de haber terminado la ejecución del programa, para liberar la memoria asociada al contexto de OpenGL se debe invocar SDL_GL_DeleteContext().

```
SDL_GL_DeleteContext(glcontext);
```

- SDL 2.0 puede intercambiar entre modo ventana y fullscreen sin perder el contexto de OpenGL.

SDL

- **SDL_Quit():** Libera todos los recursos usados por SDL.

  SDL_PollEvent(&evento): se fija si ha sucedido algún evento y devuelve inmediatamente. En ***evento.type*** está el tipo de evento sucedido.

- **Uint8* SDL_GetKeyState(NULL)**: devuelve el estado completo del teclado en un array. Se pueden utilizar constantes de SDL para especificar las posiciones en dicho array.
  - Ej: ***SDLK_a*** se corresponde con la tecla “a”

SDL Swap Buffers

- La forma de indicar el intercambio entre el *front buffer* y el *back buffer* se implementa diferente según la versión del SDL

- **SDL 1.2:**
  - `SDL_GL_SwapBuffers();`

- **SDL 2.0:**
  - `SDL_GL_SwapWindow(window);`

OpenGL: Notas generales

- El prefijo de las funciones indican la librería a la que pertenece.
  - Ej: **gl**Color3f, **glu**Perspective, etc.

- El postfijo de las funciones indican el tipo de datos con los que trabaja
  - Ej: glVertex**3iv** recibe vértices definido con tres coordenadas de tipo *int* en formato vector.
  - Ej: glTexCoord**2f** recibe una coordenada de textura compuesta por dos valores de tipo *float*.

OpenGL: Notas generales

- Las constantes se escriben en mayúsculas.
  - Ej: `SDL_VIDEO_INIT`, `GL_DEPH_TEST`, etc.

- Encabezados

```
#include “SDL.h”
#include “SDL_opengl.h”
```

- Al incluir el segundo encabezado se resuelven conflictos de nombres dependientes de la plataforma.

OpenGL: Notas generales

- OpenGL es una máquina de estados!
  - El efecto de cada comando queda definido por el estado actual de dibujado.
  - Los estados son banderas que especifican que funcionalidades están habilitadas/deshabilitadas y cómo se deben aplicar.
  - Existen datos internos que son utilizados para determinar cómo un vértice debe ser transformado, iluminado, textureado, etc.

Estructura del programa

- **Main:**

  Abrir la ventana y configurar las bibliotecas.

  Inicializar estado de OpenGL

  Loop principal

- **Loop principal:**

  Chequear eventos y tomar decisiones

  Actualizar el sistema según el tiempo que pasó

  Redibujar

  - Limpiar los buffers (color, z-buffer, etc.)
  - Cambiar estado de dibujado y dibujar

Loop principal

- Para dar la ilusión de movimiento (al igual que en el cine) se genera una secuencia de imágenes estáticas levemente diferente.

- Frame rate: cantidad de fotogramas (frames) que se presentan por segundo.

- Las distancias que los objetos se mueven entre un frame y el siguiente puede depender tiempo que ha transcurrido (o no).

Loop principal

- Si el movimiento de los objetos es **dependiente** del frame rate, al cambiar de hardware los objetos van a demorar más (o menos) para ir desde un punto a otro en la escena.

- Si el movimiento es **independiente** del frame rate, al cambiar de hardware los objetos van a demorar lo mismo para ir de un punto a otro.
  - Lo que cambia es la cantidad de cuadros intermedios.

Limpiar los buffers

- La acción de limpiar los buffers se refiere a inicializarlos con un valor definido.

- El valor utilizado para limpiar el buffer de color es el color de fondo.

- El valor utilizado para limpiar el z-buffer es la profundidad correspondiente a la distancia máxima visible. Cualquier primitiva que se encuentre más lejos no se va a dibujar.

Dibujando primitivas

- Una forma en la que se dibujan primitivas utilizando OpenGL es indicando los datos que definen a cada vértice
  - Posición, color, coordenadas de textura, etc.

- Dado que OpenGL es una máquina de estados, tenemos que cambiar al estado correcto.

```
glBegin( primitiveType );
//Definición de vértices
glEnd();
```

Tipos de primitivas

- GL_POINTS
- GL_LINES
- GL_LINE_STRIP
- GL_LINE_LOOP
- GL_POLYGON

- **GL_TRIANGLES***
- GL_TRIANGLE_STRIP
- GL_TRIANGLE_FAN
- **GL_QUADS***
- GL_QUAD_STRIP

* Se usan en los prácticos

Transformaciones

- La transformación que se le aplica a un vértice antes de dibujarlo en pantalla queda definida por el estado de dos matrices:

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

- `GL_PROJECTION:` definición de las características de la cámara.
- `GL_MODELVIEW:` transformaciones sobre los objetos 3D de la escena.

Transformaciones

- Es recomendable que la información de cada una de las matrices sea el adecuado al rol que cumple.

- Si la matriz `GL_PROJECTION` no almacena la información de la cámara, cada vez que se “limpia” la matriz `GL_MODELVIEW` se tiene que calcular de nuevo la matriz de transformación que describe la cámara.

Transformaciones

- **`glLoadIdentity()`**: carga la transformación identidad.
- **`glTranslatef(x,y,z)`**: traslación según el vector definido por (x,y,z)
- **`glRotatef(angle,x,y,z)`**: realiza una rotación de ***angle*** grados según el eje (x,y,z)
- **`glScale(x,y,z)`**: escala cada eje dependiendo del valor de (x,y,z)