Introducción a OpenGL

1. Preámbulo.
2. Sintaxis de las funciones.
3. Primitivas gráficas.
4. GLUT.
5. Transformaciones geométricas.
6. Visualización.
7. Iluminación.
8. Texturas.
9. Selección
10. Lenguaje de Shading.

1. Preámbulo

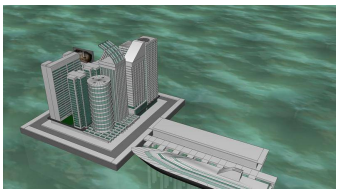
- OpenGL (Graphics Library) es una biblioteca gráfica que permite realizar aplicaciones gráficas interactivas tanto 2D como 3D.
- Interfaz (API) con el Hardware gráfico
- Existen APIs para distintos lenguajes de programación
- Existen implementaciones para diversas plataformas (Windows, Apple, Linux).
- Utiliza las capacidades de aceleración de las tarjetas gráficas (GPUs)
- Arquitectura cliente/servidor.
- Es portable (no contiene funciones para entornos de ventanas).

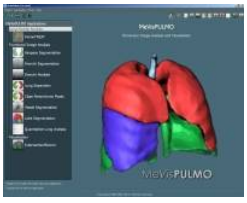
1. Preámbulo

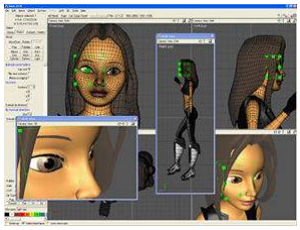
- Funciona como una máquina de estados.
- Bibliotecas asociadas:
  - GLU (OpenGL Utility Library) (texturas, proyecciones, NURBS)
  - GLUT (GLU Utility Toolkit) (entorno de ventanas)
  - Open Inventor (basada en objetos)
  - GLX (Extensión de OpenGL para X Windows)
  - OpenGL ES (OpenGL for Embedded Systems)
  - WebGL (inclusión de gráficos en 3D en un navegador)
- Versión 4.5 (especificación de Agosto de 2014). Operativas las versiones 2, 3 y 4 (4.4 NVIDIA GeForce GTX 750-780, 4.5 NVIDIA GeForce QUADRO)
- OpenGL Web site:
  http://www.opengl.org

1. Preámbulo

- Algunas aplicaciones que usan OpenGL
  - ArtCAM http://www.artcam.com
  - 3D Doctor http://www.3d-doctor.com/
  - AC3D http://www.inivis.com/
  - Medal of Honor http://www.ea.com/medal-of-honor-warfighter
  - Photo Modeler Pro http://www.photomodeler.com/
  - Sketchup http://www.sketchup.com/







1. Preámbulo

- Librerias que usan OpenGL
  - OpenSceneGraph http://www.openscenegraph.org/
  - Apocalyx http://apocalyx.sourceforge.net/

1. Preámbulo

- Vulkan, una nueva librería gráfica
- Especificación 1.0 febrero de 2016

2. Sintaxis de las funciones

- Prefijo gl y letras mayúsculas en las iniciales de cada palabra que forma la orden:

  glLineStipple

- Las constantes en mayúsculas, con palabras separadas por underscores:

  GL_POLYGON

- Sufijos con dos partes. La primera indica el número de argumentos de la función (2 ó 3) y la segunda el tipo de dato:

  glColor3f (1.0, 1.0, 1.0)

- En algunas órdenes puede aparecer una v final que indica un puntero a un vector:

  glColor3fv (color_array)

2. Sintaxis de las funciones

Tipo de dato		Tipo en lenguaje C	Tipo definido en OpenGL
b	entero 8 b.	signed char	GLbyte
s	entero 16 b.	short	GLshort
i	entero 32 b.	long	GLint, Glsizei
f	real 32 b.	Float	GLfloat, Glclampf
d	real 64 b.	double	GLdouble, Glclampd
ub	ent. sin signo 8 b.	unsigned char	GLubyte, Glboolean
us	ent. sin signo 16 b.	unsigned short	GLushort
ui	ent. sin signo 32 b.	unsigned long	GLuint,GLenum, GLbitfield

3. Primitivas gráficas

- Se especifican dando un conjunto de vértices con glVertex*( ) delimitado por las llamadas a las funciones glBegin (tipo de función de dibujo) y glEnd ( ).

```
glBegin (GL_POINTS);
    glVertex2f (0.0, 0.0);
    glVertex2f (1.0, 0.0);
    glVertex2f (2.0, 3.0);
    …
glEnd ( );
```

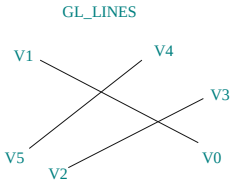
```
glBegin (GL_POINTS);
    glVertex3f (0.0, 0.0,1.0);
    glVertex3f (1.0, 0.0,0.0);
    glVertex3f (2.0, 3.0,0.7);
    …
glEnd ( );
```

- Argumentos de glBegin:

glBegin (GLenum mode)

GL_POINTS puntos individuales.

GL_LINES segmentos de líneas individuales (sin conexión).



3. Primitivas gráficas

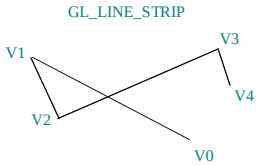
- Argumentos de glBegin (continuación):

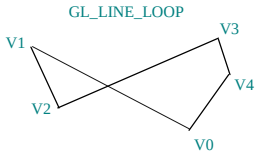
glBegin (GLenum mode)

GL_LINE_STRIP dibuja una polilínea.

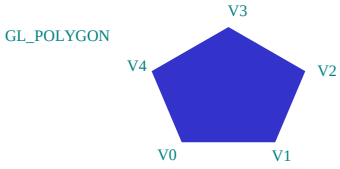
GL_LINE_LOOP dibuja una polilínea cerrada.

GL_POLYGON polígono convexo.





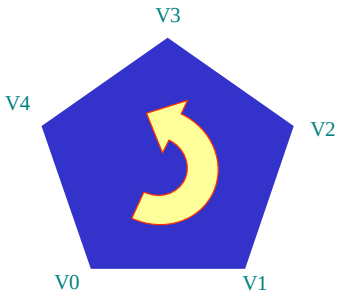
Polígono cóncavo



3. Primitivas gráficas

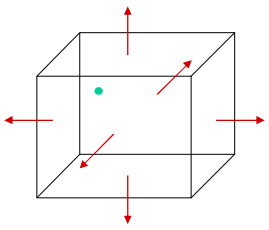
- Polígono sentido positivo. Muy importante en el sentido del vector normal a la cara

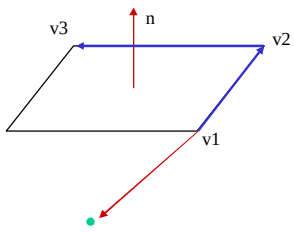
```
glBegin (GL_POLYGON);
        glVertex3f (V0_x, V0_y,0.0);
        glVertex3f (V1_x, V1_y,0.0);
        glVertex3f (V2_x, V2_y,0.0);
        glVertex3f (V3_x, V3_y,0.0);
        glVertex3f (V4_x, V4_y,0.0);
glEnd();
```



3. Primitivas gráficas

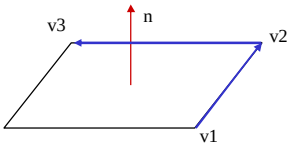
- Usos de la normal a una cara: contención de un punto en un objeto cerrado formado por caras convexas.

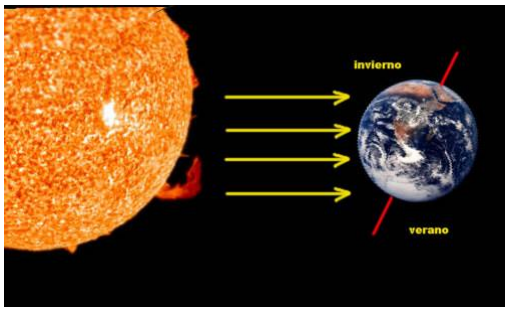




3. Primitivas gráficas

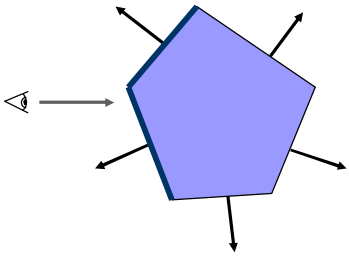
- Usos de la normal a una cara: iluminación (color) de un polígono

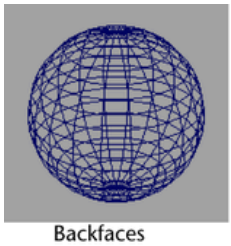


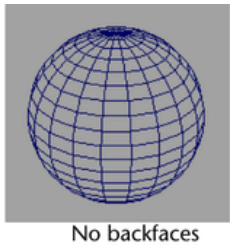


3. Primitivas gráficas

- Usos de la normal a una cara: optimización mediante eliminación de la cara trasera en la visualización **(BackFace Culling)**




Backfaces


No backfaces

3. Primitivas gráficas

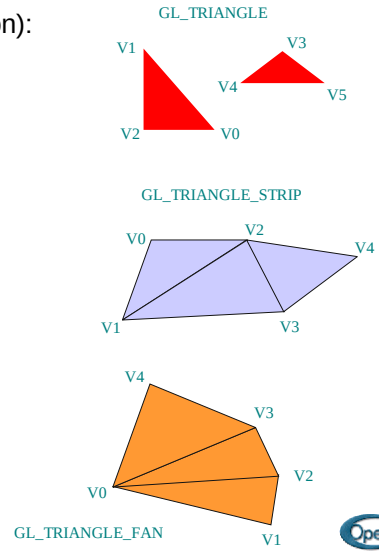
- Argumentos de glBegin (continuación):

glBegin (GLenum mode)

GL_TRIANGLES tripletas de vértices interpretadas como triángulos.

GL_TRIANGLE_STRIP dibuja triángulos encadenados en la misma orientación de modo que formen parte de una misma superficie.

GL_TRIANGLE_FAN enlaza triángulos en abanico.



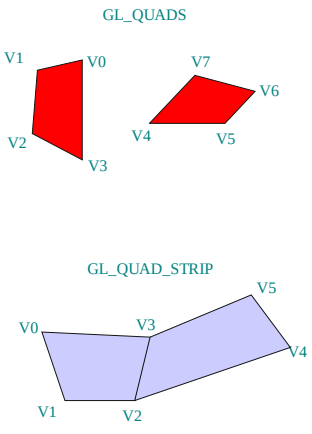
3. Primitivas gráficas

- Argumentos de glBegin (continuación):

glBegin (GLenum mode)

GL_QUADS Cuádruplas de vértices interpretadas como polígonos de cuatro lados.

GL_QUAD_STRIP dibuja cuadriláteros encadenados en la misma orientación de modo que formen parte de una misma superficie.



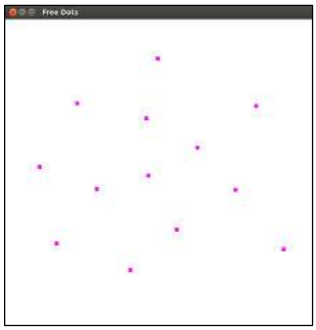
3. Primitivas gráficas

- Atributos: han de estar fuera de un bloque definido por glBegin(funcion_salida) y glEnd ( ), excepto el atributo de color
- Atributo de punto.

void glPointSize (GLfloat size) fija el tamaño del punto en pixeles.

```
glBegin (GL_POINTS);
      glPointSize(10.0);
      glVertex3f (…);
      glVertex3f (…);
      glVertex3f (…);
      …
glEnd ( );
```

```
glPointSize(10.0);
glBegin (GL_POINTS);
      glVertex3f (…);
      glVertex3f (…);
      glVertex3f (…);
      …
glEnd ( );
```

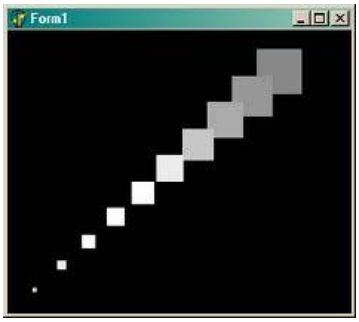


3. Primitivas gráficas

- Atributo de punto.

void glPointSize (GLfloat size) fija el tamaño del punto en pixeles.

```
glPointSize(4.0);
glBegin (GL_POINTS);
      glVertex3f (…);
glEnd ( );

glPointSize(8.0);
glBegin (GL_POINTS)
      glVertex3f (…);
glEnd ( );
…
```



3. Primitivas gráficas

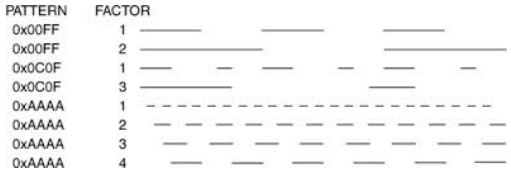
- Atributos de línea.

void glLineWidth (GLfloat width) ancho en pixeles.

void glLineStipple (GLint factor, GLushort pattern) fija el estilo de una línea. Pattern es una serie de 16-bits (ceros o unos) que definen un patrón. Factor indica el número de repeticiones de la trama.

void glEnable (GL_LINE_STIPPLE) permite activar el estilo de líneas. El estilo solo se cambia después de usar esta función.

void glDisable (GL_LINE_STIPPLE) desactiva el estilo de líneas



3. Primitivas gráficas

- Atributos de línea.

```
glColor3f(1.0, 1.0, 1.0);

glEnable (GL_LINE_STIPPLE);
glLineStipple (1, 0x00FF);
  glBegin( GL_LINES );
        glVertex2f( -1.0, 0.0,0.0 );
        glVertex2f( 0.5, 0.0,0.0 );
  glEnd();
glDisable (GL_LINE_STIPPLE );
```

3. Primitivas gráficas

- Atributos de polígono.

void glPolygonMode (GLenum face, GLenum mode) controla el etilo de dibujar un polígono tanto en su cara de atrás GL_BACK, cara delantera GL_FRONT y ambas GL_FRONT_AND_BACK. Los modos son GL_POINT, GL_LINE y GL_FILL.

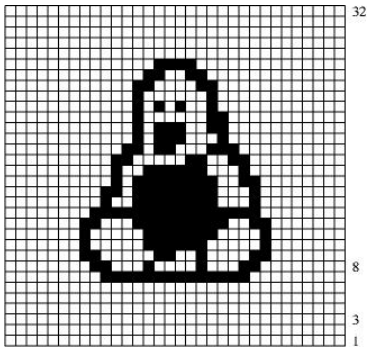
void glPolygonStipple (const GLubyte *mask) permite definir un patrón de relleno de un polígono donde mask es un puntero a una matriz bidimensional de 32x32 bits.

void glEnable (GL_POLYGON_STIPPLE)
void glDisable (GL_POLYGON_STIPPLE) activación y desactivación del patrón.

void glEdgeFlag (GLboolean flag) se indica si las aristas han de dibujarse con el flag a GL_TRUE (por defecto) o no se dibujan con GL_FALSE.

3. Primitivas gráficas

- Atributos de polígono.




```
GLubyte tux[] = { 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0,
                  0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0,
                  0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0,
                  0x0, 0x7f, 0xfe, 0x0, 0x0, 0xc4, 0x23, 0x0,
                  0x1, 0x83, 0x21, 0x80, 0x1, 0x7, 0xe0, 0x80,
                  0x1, 0x7, 0xf0, 0x80, 0x1, 0x8f, 0xf9, 0x80,
                  0x0, 0xff, 0xff, 0x0, 0x0, 0x4f, 0xf1, 0x0,
                  0x0, 0x6f, 0xf1, 0x0, 0x0, 0x2f, 0xf3, 0x0,
                  0x0, 0x27, 0xe2, 0x0, 0x0, 0x30, 0x66, 0x0,
                  0x0, 0x1b, 0x1c, 0x0, 0x0, 0xb, 0x88, 0x0,
                  0x0, 0xb, 0x98, 0x0, 0x0, 0x8, 0x18, 0x0,
                  0x0, 0xa, 0x90, 0x0, 0x0, 0x8, 0x10, 0x0,
                  0x0, 0xc, 0x30, 0x0, 0x0, 0x6, 0x60, 0x0,
                  0x0, 0x3, 0xc0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0,
                  0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0,
                  0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0 };
…
glPolygonStipple(tux);
glBegin(GL_POLYGON);
…
glEnd();
```

.

3. Primitivas gráficas

- Atributo color.

  void glColor3{b s i f d ub us ui}(TYPE red, TYPE green, TYPE blue)
  Ejemplo glColor3f(1.0,0.0,0.0) color rojo puro.

- Funciones para manejo de la memoria de imagen o frame buffer.

  void glClearColor(GLclampf red, GLclampf green, GLclampf blue, GLclampf alpha)

  void glClear(GLbitfield {GL_COLOR_BUFFER_BIT, GL_DEPTH_BUFFER_BIT}).

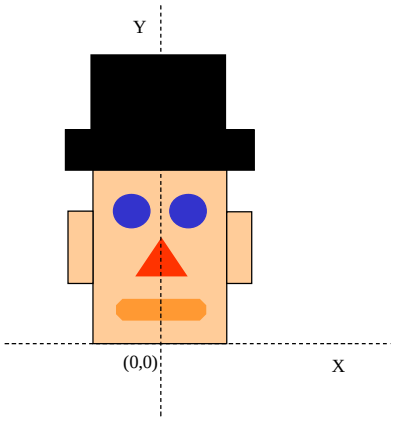
  Ejemplo
  glClearColor(0.0,0.0,1.0,0.0);
  glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
  borra la ventana de salida y la dibuja en color azul puro.

- Funciones de sincronización.

  void glFlush( ), void glFinish( )

3. Primitivas gráficas

- Ejemplo básico




```
glColor3f(0.0,0.0,0.0);  // copa
glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK, GL_FILL);
glBegin (GL_POLYGON);
      glVertex3f (…);
      glVertex3f (…);
      …
glEnd ( );

glBegin (GL_POLYGON);  // ala
      glVertex3f (…);
      glVertex3f (…);
      …
glEnd ( );

glColor3f(1.0,0.8,0.6);      // cara
glBegin (GL_POLYGON);
      glVertex3f (…);
      glVertex3f (…);
      …
glEnd ( );

glColor3f(0.0,0.0,0.0);    // borde de cara
glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK, GL_LINE);
glLineWidth(2);
glBegin (GL_POLYGON);
      glVertex3f (…);
      glVertex3f (…);
      …
glEnd ( );
```

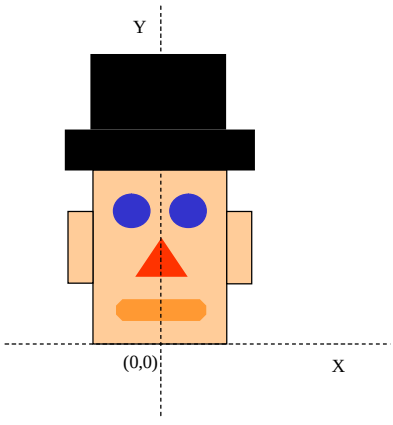
3. Primitivas gráficas

- Ejemplo básico

```
void Circle (GLfloat radio, GLfloat cx, GLfloat cy, GLint n, GLenum modo)
{
int i;

if (modo==GL_LINE) glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK, GL_LINE);
else if (modo==GL_FILL) glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK, GL_FILL);
  else glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK, GL_POINT);

glBegin( GL_POLYGON );
    for (i=0;i<n;i++)
        glVertex2f( cx+radio*cos(2.0*M_PI*i/n), cy+radio*sin(2.0*M_PI*i/n));
glEnd();
}

....

glColor3f(1.0,0.0,1.0);
Circle(0.9,0.1,0.0,20,GL_FILL);
```


3. Primitivas gráficas

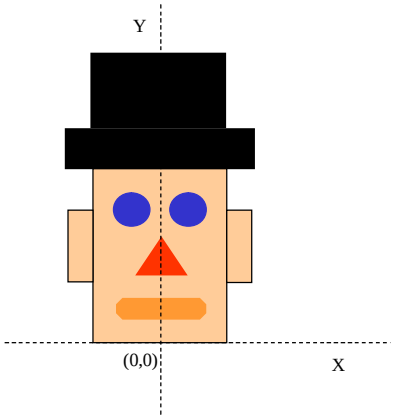
- Ejemplo básico.
  Separando construcción del modelo de visualización del modelo




```
// Funciones para visualizar un polígono de distintas formas

void Poligono_Solido (float v[][3], int n)
{
int i;
glPolygonMode(GL_FRONT, GL_FILL);
glBegin(GL_POLYGON);
for (i=0;i<n;i++)  glVertex3f(v[i][0],v[i][1],v[i][2]);
glEnd();
}

void Poligono_Hueco (float v[][3], int n)
{
int i;
glPolygonMode(GL_FRONT, GL_LINE);
glBegin(GL_POLYGON);
for (i=0;i<n;i++)  glVertex3f(v[i][0],v[i][1],v[i][2]);
glEnd();
}
…
```

3. Primitivas gráficas

- Ejemplo básico.
  Separando construcción del modelo de visualización del modelo




```
// Modelo monigote
float copa_sombrero[4][3]={{-0.2,0.7,0.0},{0.2,0.7,0.0},
                           {0.2,0.95,0.0},{-0.2,0.95,0.0}};
float ala_sombrero[4][3]={{-0.35,0.55,0.0},{0.35,0.55,0.0},
                          {0.35,0.7,0.0},{0.35,0.7,0.0}}
float cara_monigote[4][3]={{-0.2,0.0,0.0},{0.2,0.0,0.0},
                           {0.2,0.55,0.0},{-0.2,0.55,0.0}};
…

void Dibujar_Monigote ()
{
// copa sombrero
glColor3f(0.0,0.0,0.0);
Poligono_Solido(copa_sombrero,4);

// ala sombrero
Poligono_Solido(ala_sombrero,4);

// cara monigote
glColor3f(1.0,0.8,0.6);
Poligono_Solido(cara_monigote,4);

// borde de cara monigote
glColor3f(0.0,0.0,0.0);
Poligono_hueco(cara_monigote,4);
…
```


3. Primitivas gráficas

- Objetos tridimensionales básicos mediante GLUT

void glutWireSphere (GLdouble radio, GLint n_lados_longitudinales, GlLnt n_lados_transversales)

void glutWireCube (GLdouble lado)

void glutWireTorus (GLdouble radio_interior, GLdouble radio_exterior, Glint n_lados, Glint n_anillos)

void glutWireIcosahedron (void) Radio fijado a 1.0.

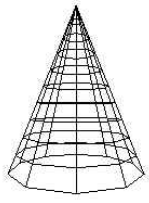
void glutWireOctahedron (void) Radio fijado a 1.0.

void glutWireTetrahedron (void) Radio fijado a 1.0.

void glutWireDodecahedron (void) Radio fijado a 1.0.

void glutWireCone (GLdouble radio, GLdouble altura, GLint n_lados_longitudinales, GlLint n_lados_transversales)

void glutWireTeapot (GLdouble tamaño)



3. Primitivas gráficas

- Objetos tridimensionales básicos mediante GLU

void gluCylinder (GLUquadric * objeto, GLdouble base, GLdouble tapa, GLdouble altura,
GLint n_lados_longitudinales, GlLnt n_lados_transversales)

void gluDisk (GLUquadric * objeto, GLdouble radio_interior, GLdouble radio_exterior, GLint n_sectores,
GLint n_pistas)

void gluSphere (GLUquadric * objeto, GLdouble radio, GLint n_lados_longitudinales,
GlLnt n_lados_transversales)

GLUquadric * gluNewQuadric (void)

void gluDeleteQuadric (GLUquadric * objeto)

void gluQuadricDrawStyle (GLUquadric * objeto, GLenum estilo) donde estilo es GLU_FILL, GLU_LINE, GLU_SILHOUETTE y GLU_POINT

```
…
GLUquadricObj *qobj;
..
qobj = gluNewQuadric();
gluQuadricDrawStyle(qobj,GLU_FILL);
gluCylinder(qobj,5.0,5.0,3.0,14,2);
..
```

3. Primitivas gráficas

- Un vertex array permite enviar el mayor número de información posible optimizando el tiempo de síntesis o rendering

void glEnableClientState (GLenum array) donde array puede ser, entre otras opciones GL_VERTEX_ARRAY, GL_COLOR_ARRAY, GL_NORMAL_ARRAY o GL_TEXTURE_COORD_ARRAY.

void glVertexPointer (GLint size, GLenum type, GLsizei stride, const GLvoid *pointer)
size indica cuantos componentes tiene cada elemento del array, type indica el tipo de dato (GL_FLOAT o GL_DOUBLE), stride se usa para arrays que se solapen y pointer apunta al array de datos.

void glNormalPointer (…), void glTexCoordPointer (…)

void glColorPointer (…) como las funciones anteriores salvo que type es GL_FLOAT, GL_DOUBLE o GL_UNSIGNED_BYTE

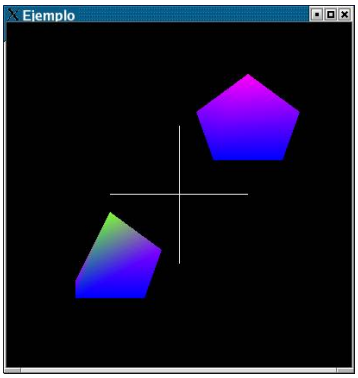
void glDrawArrays (GLenum mode, GLint first, GLsizei count) permite dibujar el array de datos, donde mode es la primitiva de salida a mostrar (GL_POLYGON,GL_POINTS, GL_TRIANGLES, etc.), first es el índice inicial del array y count el número total de elementos a dibujar del array.

3. Primitivas gráficas

- Ejemplo vertex array.

```
int n_puntos=5;
float *puntos, *colores;
puntos=(float *)malloc(3*n_puntos*sizeof(float));
colores=(float *)malloc(3*n_puntos*sizeof(float));
...
glPolygonMode (GL_FRONT_AND_BACK, GL_FILL);
puntos[0]=1.0; puntos[1]=1.0; puntos[2]=0.0;
puntos[3]=3.0; puntos[4]=1.0; puntos[5]=0.0;
puntos[6]=3.5; puntos[7]=2.4; puntos[8]=0.0;
puntos[9]=2.0; puntos[10]=3.5; puntos[11]=0.0;
puntos[12]=0.5; puntos[13]=2.4; puntos[14]=0.0;
colores[0]=0.0; colores[1]=0.0; colores[2]=1.0;
colores[3]=0.0; colores[4]=0.0; colores[5]=1.0;
colores[6]=0.5; colores[7]=0.0; colores[8]=1.0;
colores[9]=1.0; colores[10]=0.0; colores[11]=1.0;
colores[12]=0.5; colores[13]=0.0; colores[14]=1.0;

glEnableClientState(GL_VERTEX_ARRAY);
glVertexPointer(3,GL_FLOAT,0,& (puntos[0]));

glEnableClientState(GL_COLOR_ARRAY);
glColorPointer(3,GL_FLOAT,0,& (colores[0]));
```

```
glDrawArrays(GL_POLYGON,0,n_puntos);

puntos[12]=1.0; puntos[13]=1.5; puntos[14]=0.0;
colores[9]=0.5; colores[10]=1.0; colores[11]=0.2;

glTranslatef(-4.0,-4.0,0.0);
glDrawArrays(GL_POLYGON,0,n_puntos);
...
```



3. Primitivas gráficas

- Funciones de dibujado con vertex array y STL.

```
// Visualizando en modo puntos
void _puntos3D::draw_puntos(float r, float g, float b, int grosor)
{
glPointSize(grosor);
glColor3f(r,g,b);
glBegin( GL_POINTS ) ;
for(int  i=0 ; i < Vertices.size() ; i++ )
    glVertex3f( vertices[i].x, vertices[i].y, vertices[i].z );
glEnd() ;
}

// alternativa con vertex array
void _puntos3D::draw_puntos(float r, float g, float b, int grosor)
{
glPointSize(grosor);
glColor3f(r,g,b);
glEnableClientState(GL_VERTEX_ARRAY);
glVertexPointer(3,GL_FLOAT,0,&vertices[0]);
glDrawArrays(GL_POINTS,0,vertices.size());
}
```

3. Primitivas gráficas

- Funciones de dibujado con vertex array y STL.

```
// Visualizando en modo línea
...
glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK,GL_LINE);
glBegin(GL_TRIANGLES);
for (int i=0;i<caras.size();i++){
        glVertex3fv((GLfloat *) &vertices[caras[i]._0]);
        glVertex3fv((GLfloat *) &vertices[caras[i]._1]);
        glVertex3fv((GLfloat *) &vertices[caras[i]._2]);
        }
glEnd();
...

// alternativa con vertex array
...
glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK,GL_LINE);
glEnableClientState(GL_VERTEX_ARRAY);
glVertexPointer(3,GL_FLOAT,0,&vertices[0]);
glDrawElements(GL_TRIANGLES,caras.size()*3,GL_UNSIGNED_INT,&caras[0]);
...
```


4. GLUT

- Librería GLUT (OpenGL Utility Toolkit)
  - Gestión de ventanas (única y múltiples)
  - Gestión de eventos (callbacks)
  - Gestión de menús pop-up
  - Objetos gráficos más complejos (cubo, cono, esfera, …)
  - Fuentes bitmap
  - Doble buffer
- Versión GLUT 3.7
- http://www.opengl.org/resources/libraries/glut/

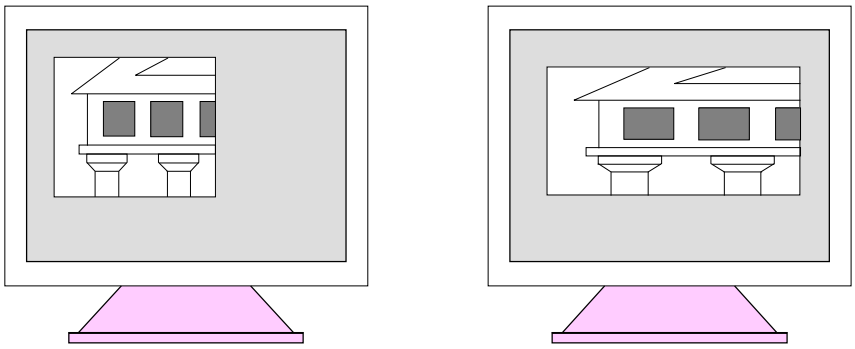
4. GLUT

- Creación de una ventana.

```
#include  <GL/glut.h>
…
int main(int argc, char **argv)
{
int W_x=50, W_y=50, W_width=400, W_high=400;

// inicialización de glut
glutInit(&argc, argv);

// se indican las caracteristicas que se desean para la visualización con OpenGL
glutInitDisplayMode(GLUT_RGB | GLUT_DOUBLE | GLUT_DEPTH);

// posicion de la esquina inferior izquierdad de la ventana
glutInitWindowPosition(W_x,W_y);

// tamaño de la ventana (ancho y alto)
glutInitWindowSize(W_width,W_high);

// llamada para crear la ventana, indicando el titulo
glutCreateWindow("IG: Practicas");
…
```


4. GLUT (creación de una ventana)

- Tamaño de una ventana con glutInitWindowSize: cuadrada y no cuadrada

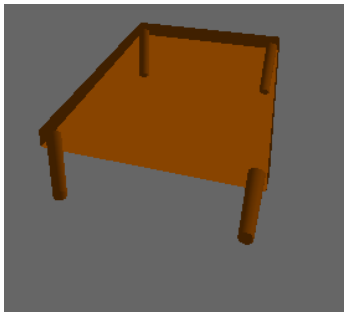


4. GLUT (creación de una ventana)

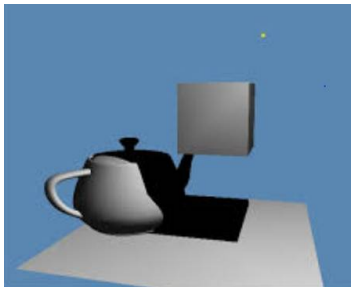
- La función glutInitDisplayMode permite fijar las características que se desean para la visualización con OpenGL
  - GLUT_SIMPLE: sólo la memoria de video
  - GLUT_DOUBLE: memoria de video y memoria virtual
  - GLUT_INDEX: representación del color indirectamente
  - GLUT_RGB: representación del color con el modelo RVA
  - GLUT_RGBA: representación del color con el modelo RVA más el canal alfa (transparencia)
  - GLUT_DEPTH: memoria para valores de profundidad (eliminación de partes ocultas, z-buffer)
  - GLUT_STENCIL: memoria de estarcido (plantilla para recortar)
- Se combinan mediante OR,
  glutInitDisplayMode(GLUT_RGB | GLUT_DOUBLE | GLUT_DEPTH);

4. GLUT (creación de una ventana)

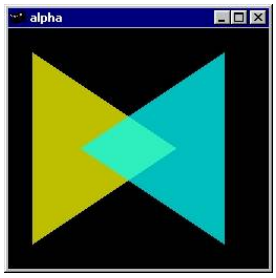
- Ejemplos de glutInitDisplayMode



Sin activar z-buffer



Sombras con estarcido



Transparencia

4. GLUT

- Gestión de eventos. Se implementan mediante Callbacks
- Tipos de eventos:
  - Redibujado de la ventana:
    glutDisplayFunc(Función)
  - Cambio de tamaño de la ventana:
    glutReshapeFunc(Función)
  - Teclado:
    glutKeyboardFunc(Función) cuando se ha pulsado una tecla normal
    glutSpecialFunc(Función) para cuando se ha pulsado una tecla especial
    glutKeyboardUpFunc(Función) y glutSpecialUpFunc(Función)

4. GLUT (eventos)

- Tipos de eventos (continuación):
  - Ratón:
    glutMouseFunc(Función) para cuando se ha pulsado o soltado una tecla del ratón
    glutMotionFunc(Función) para cuando se mueve el ratón pulsando una tecla
    glutPassiveMotionFunc(Función): función para cuando se mueve el ratón sin pulsar
    glutEntryFunc(Función): función para detectar cuando el cursor entra o sale de una ventana
  - Sistema:
    glutIdleFunc(Función) GLUT desocupado. No hay eventos
    glutTimerFunc(Función) para cuando un temporizador llega al final de la cuenta

4. GLUT (eventos)

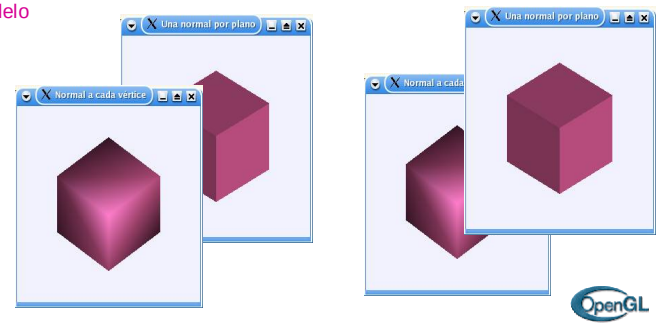
- Código para la gestión de eventos:

```
...
int main(int argc, char **argv)
{
int W_x=50, W_y=50, W_width=400, W_high=400;

glutInit(&argc, argv);
glutInitDisplayMode(GLUT_RGB | GLUT_DOUBLE | GLUT_DEPTH);
glutInitWindowPosition(W_x,W_y);
glutInitWindowSize(W_width,W_high);
glutCreateWindow("IG: Practicas");

glutDisplayFunc(dibujar); // asignación de la función "dibujar" para evento redibujado

glutReshapeFunc(tam_ventana); // asignación de la función “tam_ventana" al evento correspondiente

glutKeyboardFunc(tecla_normal); // asignación de la función “tecla normal" al evento correspondiente

initialize(); // aquí se puede crear el modelo
// inicio del bucle de eventos
glutMainLoop();
return 0;
}
```


4. GLUT (eventos)

- Código para la gestión de eventos:

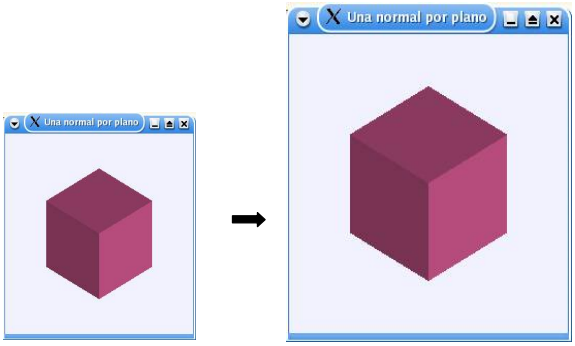
```
...
void dibujar(void)
{
glClearColor(0.0,1.0,0.0,0.0);   // fija el color de borrado (color de fondo)

// borra la memoria de video y de profundidad
glClear( GL_COLOR_BUFFER_BIT  | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
…
// Aquí se dibuja el modelo
…
glFlush();
}
```



4. GLUT (eventos)

- Código para la gestión de eventos:

```
…
void tam_ventana(int Ancho, int Alto)
{
float Size_y;
Size_y=(float) Alto/(float )Ancho;
glOrtho (-1.0, 1.0,-Size_y, Size_y,10.0,-10.0);
// inicialmente Ancho y Alto vienen fijados por la llamada a la función glutInitWindowSize()
glViewport(0,0,Ancho,Alto);
glutPostRedisplay();
}
```

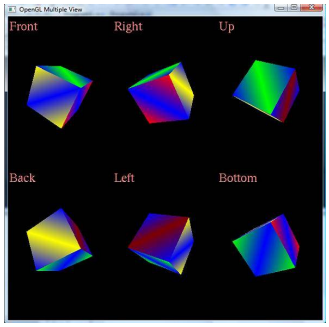


4. GLUT (eventos)

- Código para la gestión de eventos:

```
…
void tecla_normal (unsigned char Tecla, int x, int y)
{
switch (toupper(Tecla)){
        case 'Q': exit(0);
                  break;
        case 27: exit(0);
                  break;
        case ‘otra tecla’:
                   hacer algo
                   puede ser necesario llamar a “glutPostRedisplay()”
…
}
```

4. GLUT



- Letras bitmap con Glut.

void glutBitmapCharacter(GLUTenum fuente, char texto)

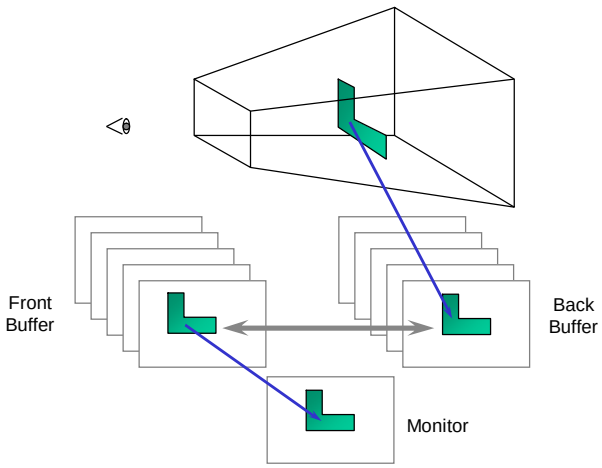
```
char text[10]="…";
…
glRasterPosition2i (x, y);
for (k = 0; k < 10; k++)
        glutBitmapCharacter (GLUT_BITMAP_ROMAN_24, text [k]);
....
```

fuentes
GLUT_BITMAP_8_BY_13, GLUT_BITMAP_9_BY_15,
GLUT_BITMAP_TIMES_ROMAN_10, GLUT_BITMAP_HELVETICA_10

4. GLUT.

- Uso del doble buffer.

glutSwapBuffers(); en lugar de glFlush()



5. Transformaciones geométricas

- En OpenGL las matrices de transformación 4x4 como se definen como un vector de 16 elementos (vértices como vectores columna):

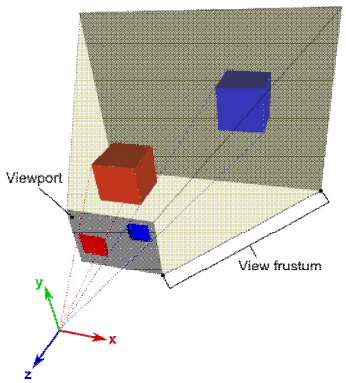
$$M = \begin{pmatrix} m_1 & m_5 & m_9 & m_{13} \\ m_2 & m_6 & m_{10} & m_{14} \\ m_3 & m_7 & m_{11} & m_{15} \\ m_4 & m_8 & m_{12} & m_{16} \end{pmatrix}$$

- Las matrices se guardan en pilas:
  - GL_PROJECTION pila para la transformaciones de proyección y vista
  - GL_MODELVIEW pila para las transformaciones de modelado

5. Transformaciones geométricas

- Orden de aplicación de las transformaciones

  Objeto → pila GL_ModelView → pila GL_PROJECTION → Imagen



Con glMatrixMode( ) se indica la pila a usar(GL_PROJECTION como argumento o bien GL_MODELVIEW)

5. Transformaciones geométricas

- Funciones de transformación generales.

void glLoadIdentity (void) inicialización de la matriz de transformación.

void glLoadMatrix{fd} (TYPE *m) construcción de una matriz 4x4 cualquiera.

```
float m[16]={12.0, ......};
....
glLoadMatrixf (m);
```

void glMultMatrix{fd} (TYPE *m) compone una matriz con la matriz actual. Si **M** es la matriz actual y **C** es la que se crea con glMultMatrix, la matriz resultante de la composición es **MC**.

5. Transformaciones geométricas

- Funciones de transformación generales.

void glLoadTransposeMatrix{fd} (TYPE *m) construcción de una matriz 4x4 cualquiera.

```
float m[16]={12.0, ......};
....
glLoadTransposeMatrixf (m);
```

$$M = \begin{pmatrix} m_1 & m_2 & m_3 & m_4 \\ m_5 & m_6 & m_7 & m_8 \\ m_9 & m_{10} & m_{11} & m_{12} \\ m_{13} & m_{14} & m_{15} & m_{16} \end{pmatrix}$$

void glMultTransposeMatrix{fd} (TYPE *m) compone la transpuesta de una matriz con la matriz actual. Si **M** es la matriz actual y **C** es la que se crea con glMultTransposeMatrix, la matriz resultante de la composición es $\mathbf{MC^T}$.

5. Transformaciones geométricas

- Funciones de transformaciones geométricas.

void glTranslate{fd} (TYPE x, TYPE y, TYPE z) traslación.

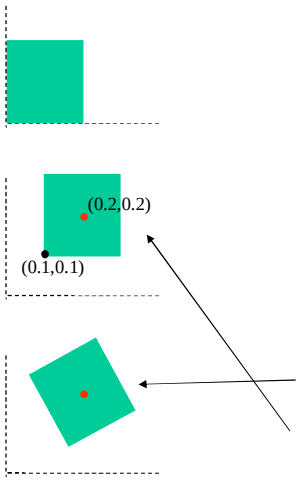
void glRotate{fd} (TYPE angulo, TYPE x, TYPE y, TYPE z) rotación.
glRotatef (45.0, 0, 0, 1) rotación en z, equivalente a una rotación bidimensional.

void glScale{f,d} (TYPE x, TYPE y, TYPE z) escalado.

El uso sucesivo de dos o más transformaciones hace que éstas se concatenen.

5. Transformaciones geométricas

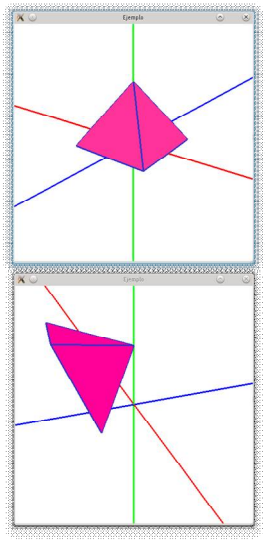
- Ejemplo




```
void Objeto ( )
{glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK,
GL_FILL);
  glBegin( GL_POLYGON );
        glColor3f (0.0, 0.8, 0.6);
        glVertex2f( 0.0, 0.0);  glVertex2f( 0.2, 0.0);
        glVertex2f( 0.2, 0.2);  glVertex2f( 0.0, 0.2);
  glEnd();
}

....
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity( );

glTranslatef(0.2,0.2,0.0);
glRotatef(39.0,0,0,1);
glTranslatef(-0.2,-0.2,0.0);
glTranslatef(0.1,0.1,0.0);
Objeto( );
....
```

5. Transformaciones geométricas

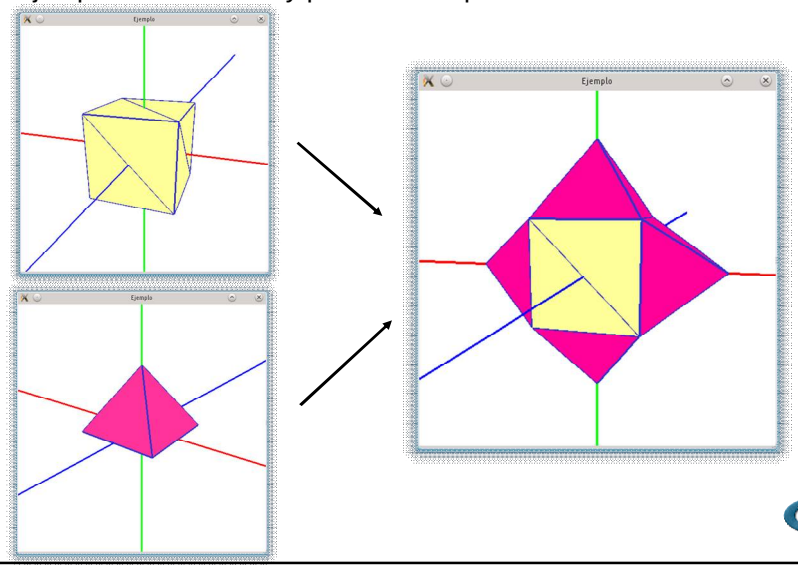
- Ejemplo



```
void visualizar_meshVT (meshVT *malla, float, r, float g, float b,
                        GLenum modo)
{
…
}
....
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity( );
....

glTranslatef(0.0,0.75,0.0);          // 0.75 es la altura de la pirámide
glRotatef(-70,1,0,0);
glTranslatef(0.0,-0.75,0.0);
visualizar_meshVT (piramide, 0.2, 0.2, 0.8, GL_LINE);
visualizar_meshVT (piramide, 1.0, 0.0, 0.6, GL_FILL);
…
```

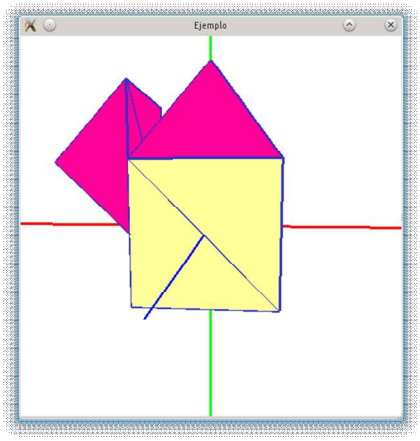

5. Transformaciones geométricas

- Ejemplo. Con un cubo y pirámides se pretende crear una estrella



5. Transformaciones geométricas

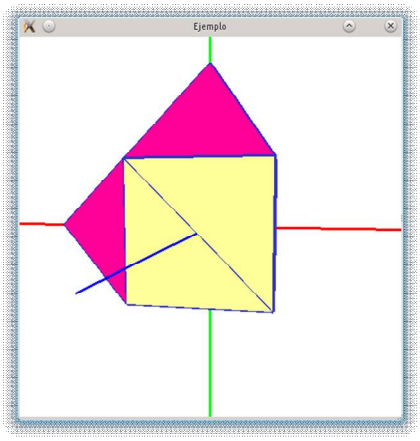
- Ejemplo. Apilamiento erróneo de las transformaciones geométricas




```
....
 // 1 es el tamaño del cubo
visualizar_meshVT(cubo,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(cubo,1.0,1.0,0.6,GL_FILL);

glTranslatef(0.0,0.5,0.0);
visualizar_meshVT(piramide,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(piramide,1.0,0.0,0.6,GL_FILL);

glRotatef(90,0,0,1);
glTranslatef(0.0,0.5,0.0);
visualizar_meshVT(piramide,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(piramide,1.0,0.0,0.6,GL_FILL);
...
```


5. Transformaciones geométricas

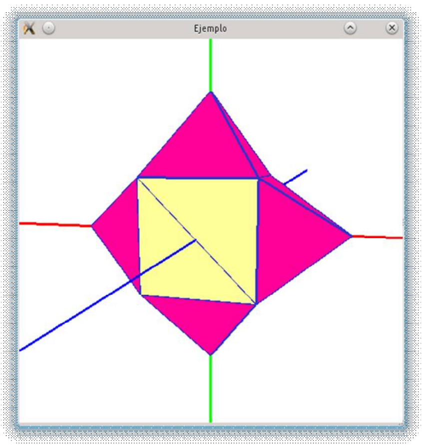
- Ejemplo. Apilamiento correcto de las transformaciones geométricas




```
....
 // 0.5 es el tamaño del cubo
visualizar_meshVT(cubo,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(cubo,1.0,1.0,0.6,GL_FILL);

glTranslatef(0.0,0.5,0.0);
visualizar_meshVT(piramide,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(piramide,1.0,0.0,0.6,GL_FILL);
glTranslatef(0.0,-0.5,0.0);

glRotatef(90,0,0,1);
glTranslatef(0.0,0.5,0.0);
visualizar_meshVT(piramide,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(piramide,1.0,0.0,0.6,GL_FILL);
...
```

5. Transformaciones geométricas

- Ejemplo. Apilamiento correcto de las transformaciones geométricas

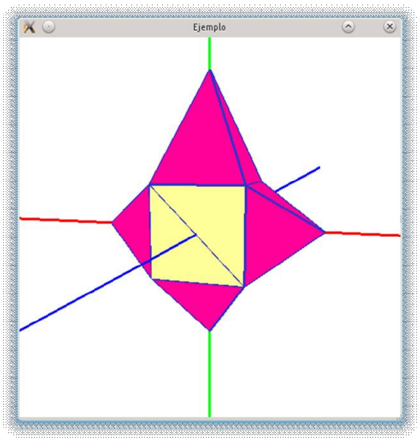



```
....
// 0.5 es el tamaño del cubo
visualizar_meshVT(cubo,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(cubo,1.0,1.0,0.6,GL_FILL);
glTranslatef(0.0,0.5,0.0);
visualizar_meshVT(piramide,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(piramide,1.0,0.0,0.6,GL_FILL);
glTranslatef(0.0,-0.5,0.0);
glRotatef(90,0,0,1);
glTranslatef(0.0,0.5,0.0);
visualizar_meshVT(piramide,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(piramide,1.0,0.0,0.6,GL_FILL);
glTranslatef(0.0,-0.5,0.0);
glRotatef(90,0,0,1);
glTranslatef(0.0,0.5,0.0);
visualizar_meshVT(piramide,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(piramide,1.0,0.0,0.6,GL_FILL);
glTranslatef(0.0,-0.5,0.0);
glRotatef(90,0,0,1);
glTranslatef(0.0,0.5,0.0);
visualizar_meshVT(piramide,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(piramide,1.0,0.0,0.6,GL_FILL);
...
```

58

5. Transformaciones geométricas

- Ejemplo. Referencia y copia

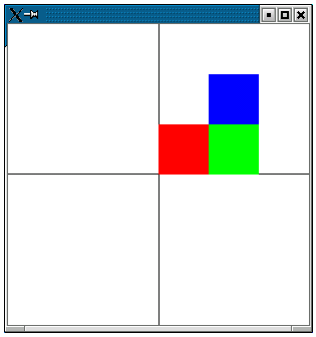



```
....
// 0.5 es el tamaño del cubo
visualizar_meshVT(cubo,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(cubo,1.0,1.0,0.6,GL_FILL);
glTranslatef(0.0,0.5,0.0);
visualizar_meshVT(piramide1,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(piramide1,1.0,0.0,0.6,GL_FILL);
glTranslatef(0.0,-0.5,0.0);
glRotatef(90,0,0,1);
glTranslatef(0.0,0.5,0.0);
visualizar_meshVT(piramide2,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(piramide2,1.0,0.0,0.6,GL_FILL);
glTranslatef(0.0,-0.5,0.0);
glRotatef(90,0,0,1);
glTranslatef(0.0,0.5,0.0);
visualizar_meshVT(piramide3,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(piramide3,1.0,0.0,0.6,GL_FILL);
glTranslatef(0.0,-0.5,0.0);
glRotatef(90,0,0,1);
glTranslatef(0.0,0.5,0.0);
visualizar_meshVT(piramide4,0.2,0.2,0.8,GL_LINE);
visualizar_meshVT(piramide4,1.0,0.0,0.6,GL_FILL);
...
```

59

5. Transformaciones geométricas

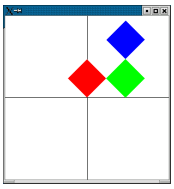
- Uso de glPushMatrix() y glPopMatrix(). Ejemplo



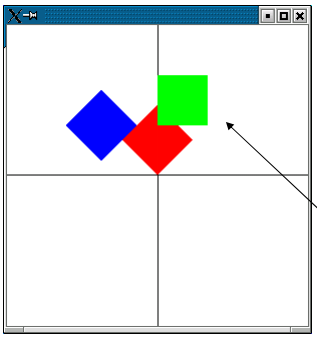
```
void Pieza ( )
{glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK, GL_FILL);
 glBegin( GL_POLYGON );
 ....
 glEnd( );
}
....
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity( );
…

glColor3f(1.0,0.0,0.0);
Pieza();

glColor3f(0.0,1.0,0.0);
glTranslatef(1.0,0.0,0.0);
Pieza

glColor3f(0.0,0.0,1.0);
glTranslatef(0.0,1.0,0.0);
Pieza();
```


5. Transformaciones geométricas

- Uso de glPushMatrix() y glPopMatrix(). Ejemplo



Lo que queremos ver

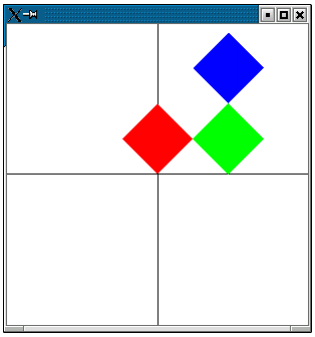


Lo que vemos

```
void Pieza ( )
{glRotatef(45.0,0.0,0.0,1.0);
 glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK, GL_FILL);
 glBegin( GL_POLYGON );
 ....
 glEnd( );
}
....
glColor3f(1.0,0.0,0.0);
Pieza();

glColor3f(0.0,1.0,0.0);
glTranslatef(sqrt(2.0),0.0,0.0);
Pieza();

glColor3f(0.0,0.0,1.0);
glTranslatef(0.0,sqrt(2.0),0.0);
Pieza();
```

5. Transformaciones geométricas

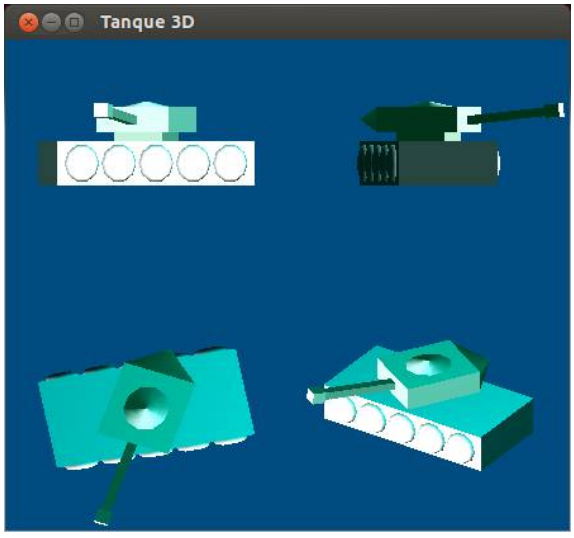
- Uso de glPushMatrix() y glPopMatrix(). Ejemplo



```
void Pieza ( )
{glPushMatrix( );
 glRotatef(45.0,0.0,0.0,1.0);
 glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK, GL_FILL);
 glBegin( GL_POLYGON );
      ....
 glEnd( );
 glPopMatrix( );
}
....
glColor3f(1.0,0.0,0.0);
Pieza();

glColor3f(0.0,1.0,0.0);
glTranslatef(sqrt(2.0),0.0,0.0);
Pieza();

glColor3f(0.0,0.0,1.0);
glTranslatef(0.0,sqrt(2.0),0.0);
Pieza();
```

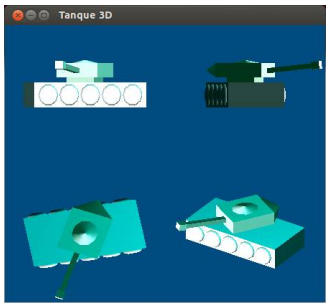

5. Transformaciones geométricas

- Ejemplo de modelo jerárquico



5. Transformaciones geométricas

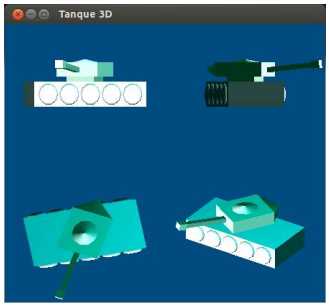
- Ejemplo de modelo jerárquico




```
// En este ejemplo solo se puede visualizar un tanque
....
visualizar_tanque(float tx, float ty, float tz, float an1, float an2 )
{
glTranslatef(tx,ty,tz);
visualizar_chasis();
glTranslatef(...);              // Traslación para situar la torreta
glRotatef(an1,0,1,0);           // Rotación de la torreta
visualizar_torreta();
glTranslatef(...);              // Traslación para situar el cañón
glRotatef(an2,0,0,1);           // Rotación del la cañón
visualizar_canon();
}
```


5. Transformaciones geométricas

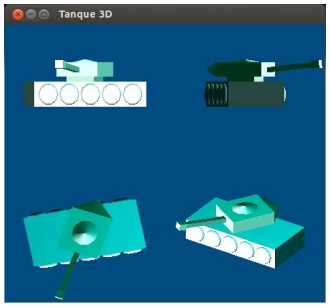
- Ejemplo de modelo jerárquico




```
visualizar_canon()
{
glPushMatrix();
glTranslatef(...);
glScalef(....);                 // Bocacha del cañon
visualizar_meshVT(cubo,0.1,0.2,0.9,GL_FILL);
glPopMatrix();
glPushMatrix();
glTranslatef(...);
glScalef(....);                 // Caña del cañón)
visualizar_meshVT(cubo,0.1,0.2,0.9,GL_FILL);
glPopMatrix();
}
```

5. Transformaciones geométricas

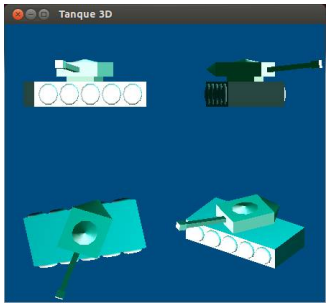
- Ejemplo de modelo jerárquico




```
visualizar_torreta()
{
glPushMatrix();
// Anillo
glPushMatrix();
glTranslatef(…);
glScalef(….);
visualizar_meshVT(cubo,0.1,0.2,0.9,GL_FILL);
glPopMatrix();
//  Parte superior Torreta
glTranslatef(…);
glPushMatrix();
glScalef(….);
visualizar_meshVT(cubo,0.1,0.2,0.9,GL_FILL);
glPopMatrix();
glPushMatrix();
glTranslatef(…);
glRotatef(…)
glScalef(….);
visualizar_meshVT(piramide,0.1,0.2,0.9,GL_FILL);
glPopMatrix();
glPopMatrix();
}
```


5. Transformaciones geométricas

- Ejemplo de modelo jerárquico




```
visualizar_rodamiento()
{
glPushMatrix();
glTranslatef(…);
glRotatef(…)
glScalef(….);
visualizar_meshVT(cilindro,0.1,0.2,0.9,GL_FILL);
glPopMatrix();
}

visualizar_chasis()
{
glPushMatrix();
glScalef(….);
visualizar_meshVT(cubo,0.1,0.2,0.9,GL_FILL);
glPopMatrix();
glPushMatrix();
glTranslatef(…);
visualizar_rodamiento();
glPopMatrix();
…  // cuatro llamadas más a visualizar_rodamiento
}
```

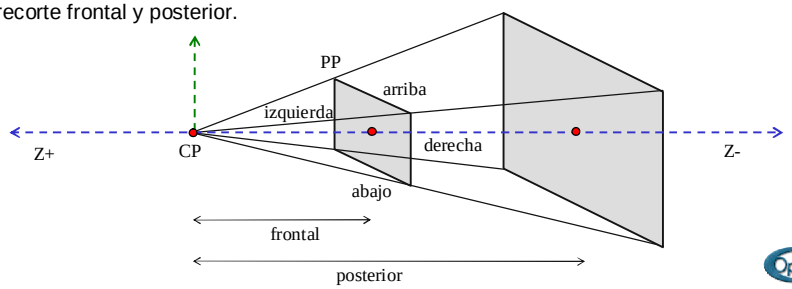
6. Visualización

- Antes de fijar la transformación de vista se usa la función glMatrixMode( ) con el argumento GL_PROJECTION para conmutar a la pila de matrices para realizar la proyección a un espacio 2D.
- Se tiene que especificar un viewport para indicar el rectángulo del dispositivo para mostrar la imagen
- void glViewport (GLint x, GLint y, GLint width, GLint height) el viewport se especifica en coordenadas de dispositivo (OpenGL no usa coordenadas de dispositivo normalizadas), con el origen en la esquina inferior izquierda del dispositivo
  - x e y representan el origen del viewport; width, height son el tamaño del mismo
- Los objetos tridimensionales se pueden proyectar en perspectiva y ortográficamente.

6. Visualización

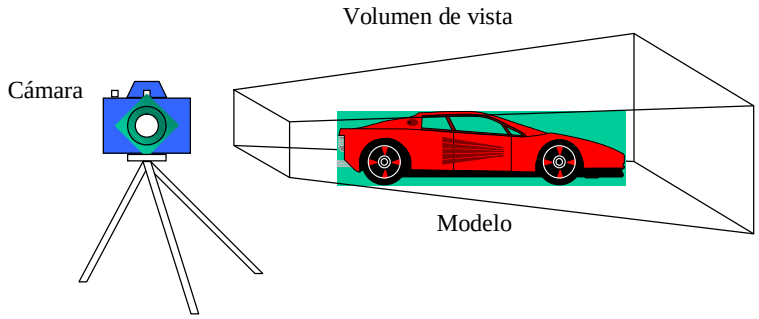
- Proyección en perspectiva.
  - Un solo punto de fuga en el eje Z-
  - Centro de proyección en el origen.
  - El plano de recorte frontal y el plano de proyección coinciden

void glFrustum (GLdouble left, GLdouble right, GLdouble bottom, GLdouble top, GLdouble near, GLdouble far) define un volumen de vista simétrico en perspectiva. Los parámetros left, right, bottom y top se expresan en coordenadas mundiales y corresponden a la ventana del mundo en el plano de proyección. Near y far se expresan en coordenadas de vista con valores positivos y definen la situación de los planos recorte frontal y posterior.



6. Visualización

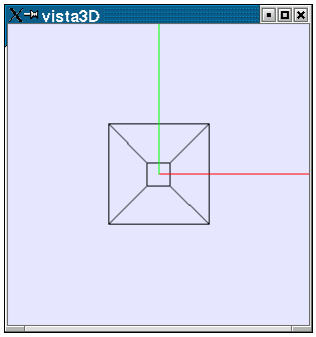
- Atención a donde se colocan los objetos y el volumen de vista.



6. Visualización

- Ejemplo 1.

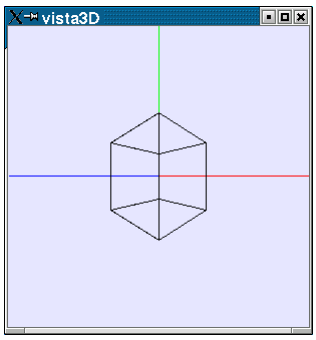
```
....

glMatrixMode (GL_PROJECTION);
glLoadIdentity ( );
glViewport (0, 0, width, height);
glFustrum (-1.0, 1.0, -1.0, 1.0, 0.2, 40.0 );
glTranslatef(0.0, 0.0, -0.8);

....

glMatrixMode (GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity ( );

ejes( );
visualizar_meshVT(cubo,0.0,0.0,0.0,GL_LINE);

glFlush( );
```



6. Visualización

- Ejemplo 2. (viendo dos puntos de fuga)

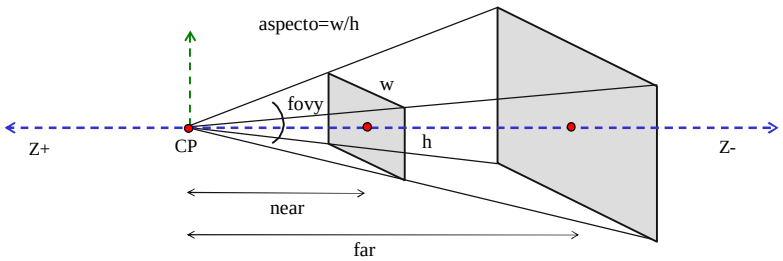
```
....

glMatrixMode (GL_PROJECTION);
glLoadIdentity ( );
glViewport (0, 0, width, height);
glFustrum (-0.3, 0.3, -0.3, 0.3, 0.2, 40.0 );
glTranslatef(0.0, 0.0, -1.5);
glRotatef(-45.0, 0.0, 1.0, 0.0);

....

glMatrixMode (GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity ( );

ejes( );
visualizar_meshVT(cubo,0.0,0.0,0.0,GL_LINE);

glFlush( );
```



6. Visualización

- Proyección en perspectiva (librería glu).

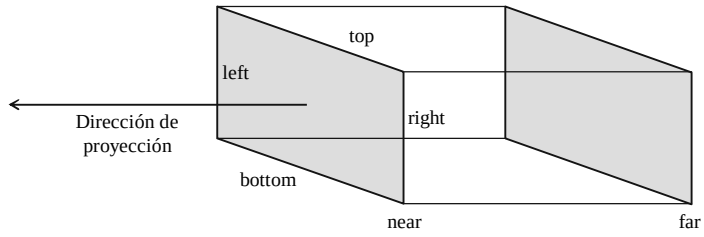
void gluPerspective (GLdouble fovy, GLdouble aspect, GLdouble near, GLdouble far) crea también un volumen de vista pero especificando el ángulo del campo de visión en el plano X-Y y la proporción entre el ancho y el alto (aspect=w/h).



6. Visualización

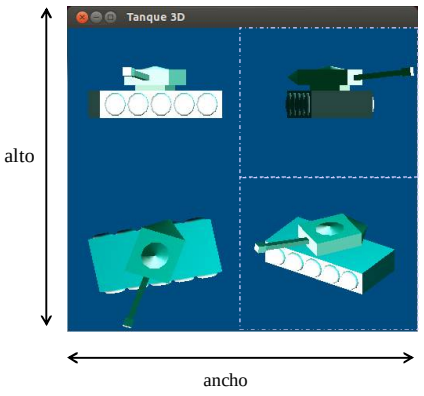
- Proyección ortográfica.

void glOrtho (GLdouble left, GLdouble right, GLdouble bottom, GLdouble top, GLdouble near, GLdouble far) delimita un volumen de vista para una proyección ortográfica en alzado, no centrada. Left, right, bottom, top, near y far definen los planos de recorte de dicho volumen. La dirección de proyección es paralela al eje Z.



6. Visualización

Ejemplo (varias vistas y viewports).

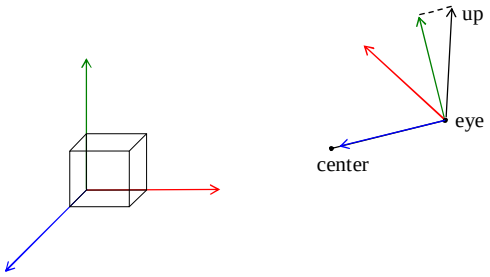



```
....
glMatrixMode(GL_PROJECTION);     // perfil
glLoadIdentity(…);
glViewport(ancho/2,alto/2,ancho/2,alto/2);
glOrtho(-5.0,5.0,-5.0,5.0,-15.0,15.0);
glRotatef(90.0,0.0,1.0,0.0);

glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity();
visualizar_tanque();

glMatrixMode(GL_PROJECTION);     // perspectiva
glLoadIdentity();
glViewport(ancho/2,0,ancho/2,alto/2);
glFrustum (-1.0, 1.0, -1.0, 0.5,2.0, 80.0);
glTranslatef(0.0, 0.0, -2.0);
glRotatef(-35.0, 1, 0, 0);

glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity();
visualizar_tanque(…);
…
```

6. Visualización

- Cambiando la posición de la cámara (librería glu).

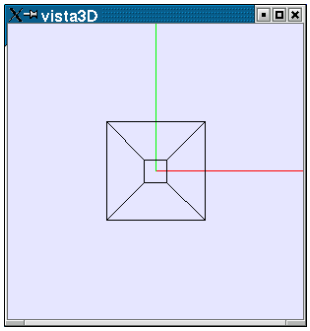
  void gluLookAt (GLdouble eyex, GLdouble eyey, GLdouble eyez, GLdouble centerx, GLdouble centery, GLdouble centerz, GLdouble upx, GLdouble upy, GLdouble upz)
  se puede cambiar el punto de vista o del observador, el punto de línea mira y la orientación con esta función. El punto de vista viene dado por eye; el punto de mira por center; y el vector hacia arriba por up. También gluLookAt se puede usar con una proyección ortográfica.



6. Visualización

- Ejemplo 1.

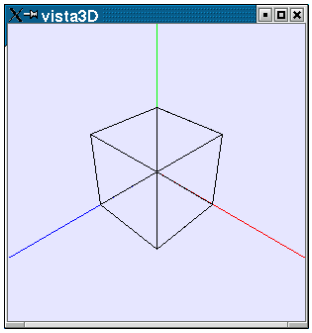
```
....
glMatrixMode (GL_PROJECTION);
glLoadIdentity ( );
glViewport (0, 0, width, height);
glFustrum (-1.0, 1.0, -1.0, 1.0, 0.2, 40.0 );
....

glMatrixMode (GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity ( );
gluLookAt(0.0, 0.0, 0.8, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0);
...
ejes( );
visualizar_meshVT(cubo,0.0,0.0,0.0,GL_LINE);
...
glFlush( );
```



6. Visualización

- Ejemplo 2.

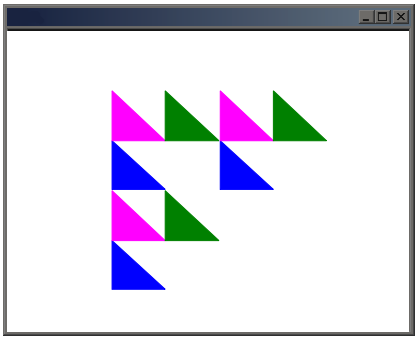
```
....
glMatrixMode (GL_PROJECTION);
glLoadIdentity ( );
glViewport (0, 0, width, height);
glFustrum (-0.1, 0.1, -0.1, 0.1, 0.2, 40.0 );
....

glMatrixMode (GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity ( );
gluLookAt(2.0, 2.0, 2.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0);
...
ejes( );
visualizar_meshVT(cubo,0.0,0.0,0.0,GL_LINE);
...
glFlush( );
```



6. Visualización

- Para objetos en 2D, podemos visualizarlos usando una proyección ortográfica.
- Los parámetros near y far se fijan a -1 y 1 respectivamente

```
....
glMatrixMode (GL_PROJECTION);
glLoadIdentity (  );
glViewport (0, 0, w, h);
glOrtho (-5.0, 5.0, -5.0, 5.0, -1.0, 1.0 );
...

glMatrixMode (GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity ( );
dibujar_modelo_2D ( );
```



6. Visualización

- Vista 2D con GLU

  void gluOrtho2D(GLdouble left, GLdouble right, GLdouble bottom, GLdouble top)
  left, right, bottom y top hacen las veces de wxmin, wxmax, wymin y wymax respectivamente.

```
....
glMatrixMode (GL_PROJECTION);
glLoadIdentity ( );
glViewport (a, b, c, d);
gluOrtho2D (-5.0, 5.0, -5.0, 5.0 );
...
glMatrixMode (GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity ( );
dibujar_modelo( );
...
```