Introducción a la Cámara

Informática Gráfica I

Material de: **Ana Gil Luezas**
Adaptado por: **Elena Gómez** y **Rubén Rubio**
{mariaelena.gomez,rubenrub}@ucm.es

Contenido

Posición y orientación de la cámara

Para colocar la cámara podemos establecer, en coordenadas cartesianas (globales), un punto para su posición (eye), el punto al que mira (look) y la inclinación (up):

```
// Atributos de la clase Camera
glm::dvec3 mEye, mLook, mUp;
```

- eye, look y up definen un marco de coordenadas: el marco de la cámara, o la matriz de modelado de la cámara.
- lookAt(eye,look,up) genera la matriz de vista, la cual es la **inversa de la matriz de modelado de la cámara**:

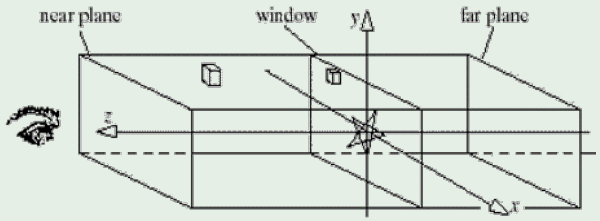
```
// Atributo de la clase Camera
glm::dmat4 mViewMat = glm::lookAt(mEye, mLook, mUp);
```

Posición y orientación de la cámara

Ejemplos

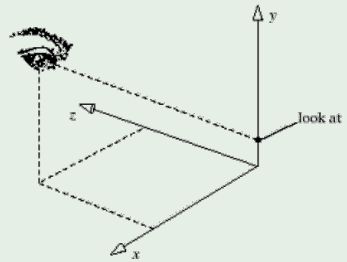
Los argumentos eye, look y up se usan en **coordenadas globales**.

```
mViewMat = lookAt(mEye, mLook, mUp);
```




```
set2D(): // vista Frontal
  mEye = dvec3(0, 0, 500);
  mLook = dvec3(0, 0, 0);
  mUp = dvec3(0, 1, 0);
```

```
set3D():
  mEye = dvec3(100, 100, 100);
  mLook = dvec3(0, 10, 0);
  mUp = dvec3(0, 1, 0);
```



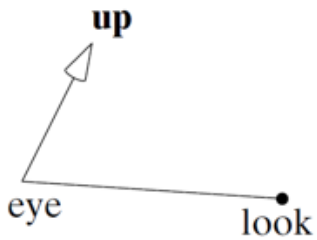
Marco de la cámara

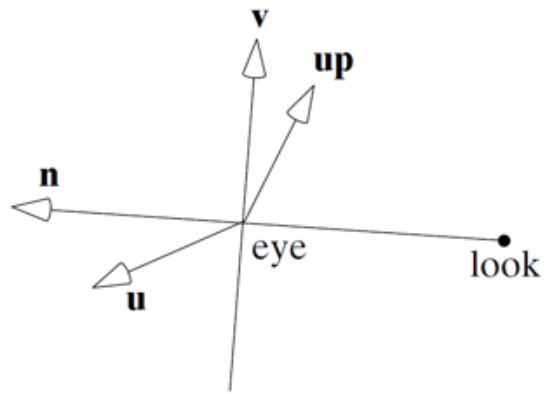
El marco de la cámara $Mc = (u, v, n, e)$ es definido por eye, look y up, siendo:

```
n(z) = normalize(eye - look); //-n: dirección de vista (front)
u(x) = normalize(cross(up, n)); //ortogonal up y n (right)
v(y) = normalize(cross(n, u)); //ortogonal n y u (upward)
e = eye;
```

Matriz del marco (MC) =

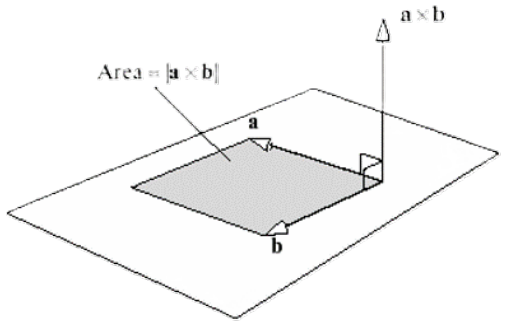
$$\begin{pmatrix} u_x & v_x & n_x & e_x \\ u_y & v_y & n_y & e_y \\ u_z & v_z & n_z & e_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$





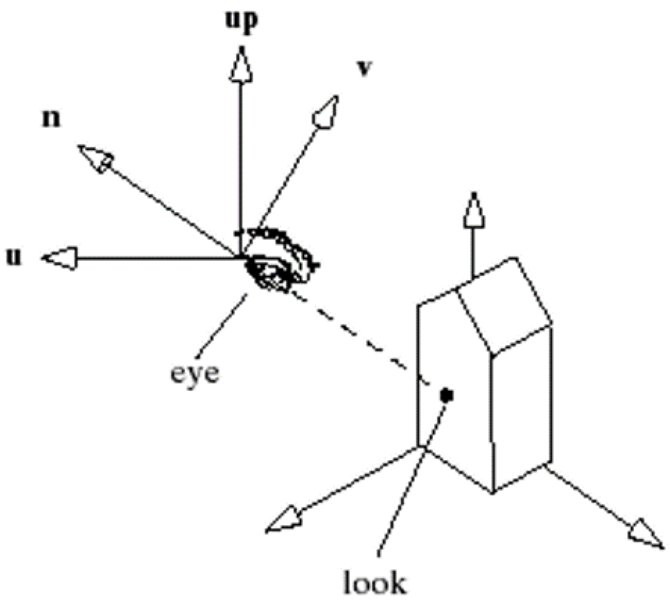
Marco de la cámara: Producto vectorial

- $cross(a,b) = -cross(b,a) = \begin{pmatrix} i & j & k \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_y b_z - a_z b_y \\ a_z b_z - a_x b_y \\ a_x b_z - a_y b_y \end{pmatrix}$
- $|cross(a,b)| = |a||b|sin(\theta)$
  Si $\theta = 0 \rightarrow sin(\theta) = 0 \rightarrow a||b \rightarrow$ **Error**
- **Producto escalar**:
  $a \cdot b = |a||b|cos(\theta)$
  Si $\theta = 90 \rightarrow cos(\theta) = 0 \rightarrow a \perp b$



Regla de la mano derecha (o del sacacorchos)

Marco de la cámara



- La cámara mira hacia $-n$.
- **El sistema** (u, v, n) es **ortonormal**: vectores ortogonales de magnitud uno $\rightarrow$ la inversa de la matriz 3×3 (u, v, n) es la traspuesta.

$$Mc = \begin{pmatrix} ux & vx & nx & ex \\ uy & vy & ny & ey \\ uz & vz & nz & ez \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Matriz de vista

- La matriz de vista (`V = viewMat = lookAt( eye, look, up);`) es la inversa del marco de la cámara (`Mc`).

$$V = \begin{pmatrix} ux & uy & uz & dx \\ vx & vy & dy & dy \\ nx & ny & nz & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

donde `d = (-e.u, -e.v, -e.n)`

$$Mc = \begin{pmatrix} ux & vx & nx & ex \\ uy & vy & ny & ey \\ uz & vz & nz & ez \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

```
// Atributo de la clase Camera
// Ejes de la cámara
mRight = row(mViewMat, 0);
mUpward = row(mViewMat, 1);
mFront = - row(mViewMat, 2);
```

La clase Cámara

- En la clase `Camera` añadimos:
  - los atributos:

```
dvec3 mRight, mUpward, mFront;
// para los ejes right=u, upward=v, front=-n
```

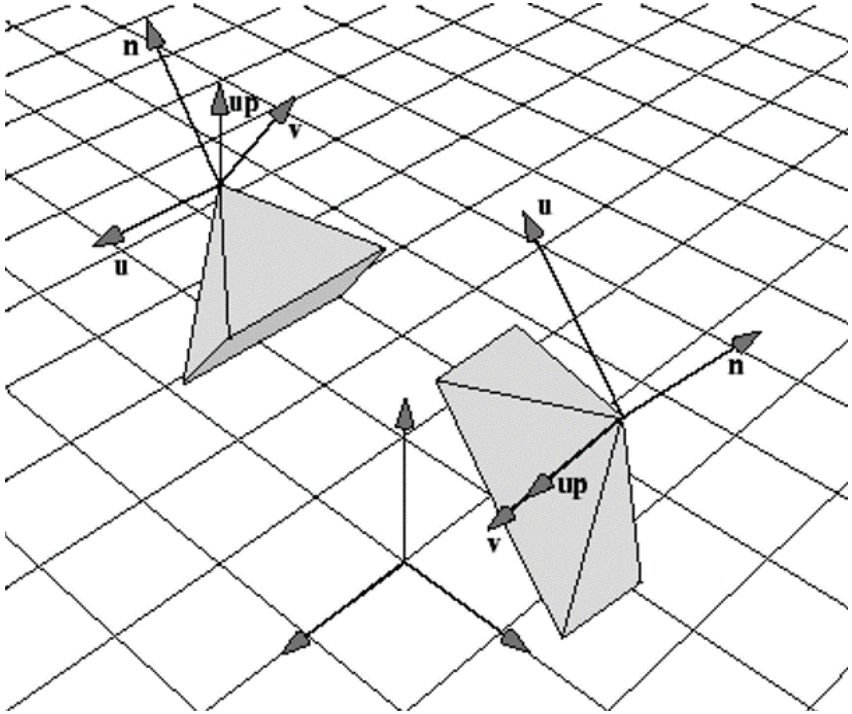
  - los métodos:

```
void Camera::setAxes() {
  mRight = row(mViewMat, 0);
  mUpward = row(mViewMat, 1);
  mFront = - row(mViewMat, 2);
}

void Camera::setVM() {
  mViewMat = lookAt(mEye, mLook, mUp);
  setAxes();
}
```

Transformaciones de la Cámara

¿Relativas al sistema global o a la propia cámara?



Transformaciones de la Cámara

¿Relativas al sistema global o a la propia cámara?

Trayectoria circular de la cámara alrededor de la escena, mirando al centro del círculo

```
eye.x = center.x + cos(radians(ang)) * radius;
eye.z = center.z + -sin(radians(ang)) * radius;
viewMat = lookAt(eye, center, dvec3(0, 1, 0));
```

Transformaciones de la Cámara

¿Relativas al sistema global o a la propia cámara?

Movimiento horizontal de la cámara en el eje X global

```
// Cambia la dirección de vista (-n = look - eye)
eye += u * cs;
viewMat = lookAt(eye, look, up);
```

Transformaciones de la Cámara

¿Relativas al sistema global o a la propia cámara?

Movimiento horizontal en el eje u de la cámara

```
// Cambia la dirección de vista (-n = look - eye)
eye.x += incX;
viewMat = lookAt(eye, look, up);
```

Desplazamientos en los ejes de la Cámara

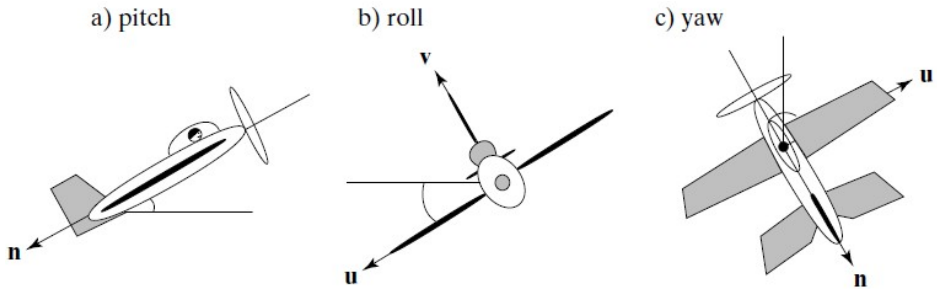
- Para desplazar `eye` en los ejes de la cámara, **sin cambiar** la dirección de vista:

```
void Camera::moveUD(GLdouble cs) { // Up / Down
  mEye  += mUpward * cs;
  mLook += mUpward * cs;
  setVM();
}

void Camera::moveLR(GLdouble cs) { // Left / Right ...
}

void Camera::moveFB(GLdouble cs) { // Forward / Backward ...
}
```

Rotaciones de la Cámara



- **Pitch (cabeceo)**: mirar hacia arriba y abajo.
  Rotación en el eje u (eje X de la cámara)
- **Yaw (guiñada)**: mirar a izquierda y derecha.
  Rotación en el eje v (eje Y de la cámara)
- **Roll (alabeo)**:
  Rotación en el eje n (eje Z de la cámara)

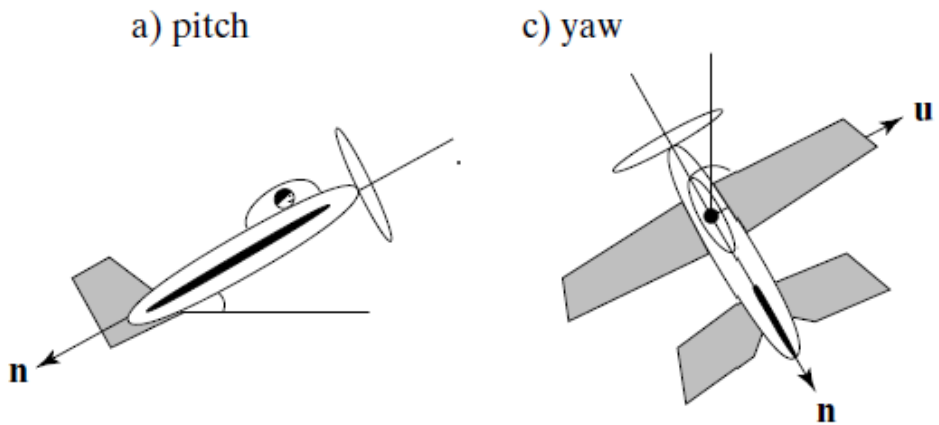
Algunas de estas rotaciones producen cambios en la dirección de vista (`front`)

Rotaciones de la Cámara

- Si se cambia la dirección de vista (`front`) desplazando `look` en los ejes de la cámara u y v, se pueden aproximar las rotaciones **yaw** y **pitch**:

```
void Camera::lookUD(GLdouble cs) { // Up / Down
  mLook += mUpward * cs;
  setVM();
}
void Camera::lookLR(GLdouble cs) { // Left / Right…

}
```



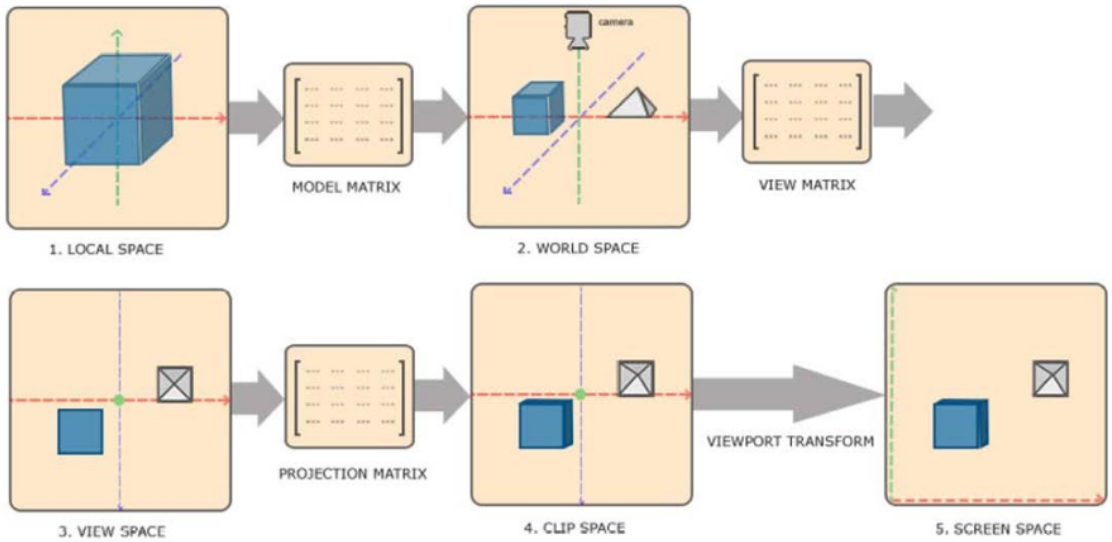
Transformaciones sobre el sistema global

Transformaciones relativas al sistema global:

- Queremos realizar con la cámara una **trayectoria circular alrededor de look**
- Añadimos a la clase `Camera` atributos para gestionar el radio y el ángulo de la circunferencia: `GLdouble mRadio, mAng;`
- Y definimos un método para desplazar `eye` por la circunferencia, a la vez que se permite subir y bajar la cámara

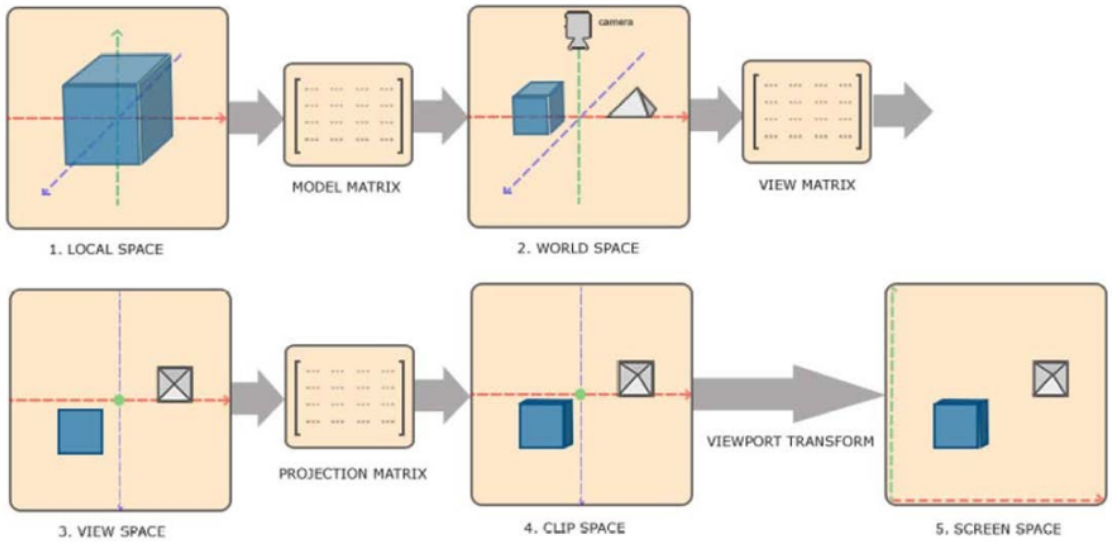
```
void orbit (GLdouble incAng, GLdouble incY) {
  mAng += incAng;
  mEye.x = mLook.x + cos(radians(mAng)) * mRadio;
  mEye.z = mLook.z - sin(radians(mAng)) * mRadio;
  mEye.y += incY;
  setVM();
}
```

Transformaciones




```
void Entity::
render(dmat4 const& modelViewMat){
  dmat4 aMat = modelViewMat
               * mModelMat;
  upload(aMat);
  mesh -> render();
}
```

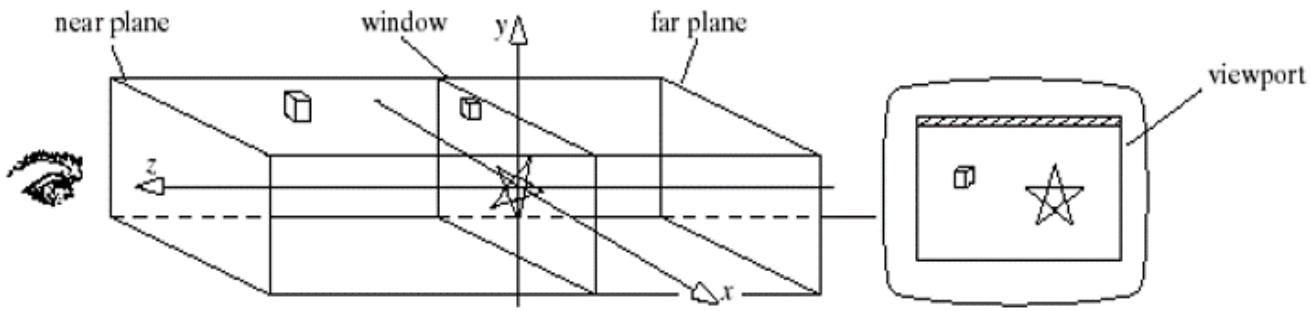
Transformaciones




```
void Camera::uploadPM() {
  glMatrixMode(GL_PROJECTION);
  glLoadMatrixd(value_ptr(mProjMat));
  glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
}
```

Volumen y plano de vista

- El **volumen de vista** (VV) se establece con respecto a la cámara. El volumen de vista define la **matriz de proyección**.
- El volumen de vista se delimita por **dos rectángulos** (**cercano** y **lejano**) perpendiculares al eje n. El plano cercano se asocia con el plano de proyección o **plano (ventana) de vista**.
- En el **puerto de vista** (*viewport*) se mostrarán los objetos que quedan dentro del volumen de vista una vez proyectados sobre el plano de vista.



Proyección ortogonal y perspectiva

Para establecer la **matriz de proyección** (`mProjMat`):

```
void Camera::uploadPM() {
  glMatrixMode(GL_PROJECTION);
  glLoadMatrix(value_ptr(mProjMat));
  glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
}
```

Proyección ortogonal y perspectiva

- **Ortogonal**: paralelepípedo en coordenadas de la cámara:

```
mProjMat = ortho(xLeft, xRight,
                 yBottom, yTop,
                 mNear, mFar);
```

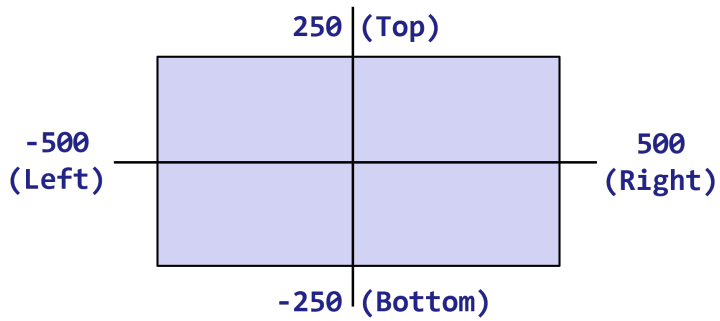
- **Perspectiva**: pirámide truncada en coordenadas de la cámara:

```
mProjMat = frustum(xLeft, xRight,
                   yBottom, yTop,
                   mNear, mFar);
```

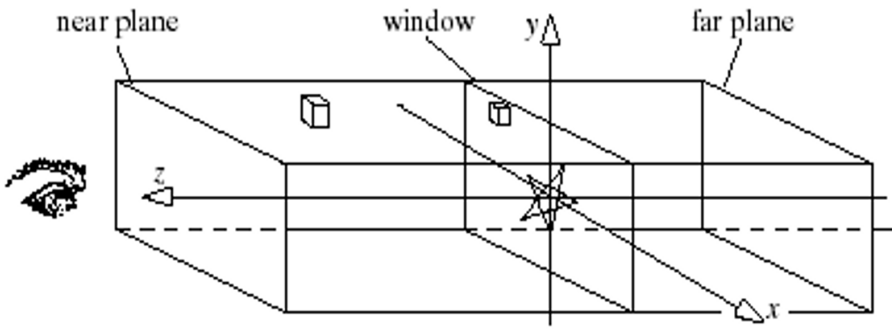
`xLeft`, `xRight`, `yBottom` $\rightarrow$ Ventana de vista
`mNear`, `mFar` $\rightarrow$ Distancias al ojo

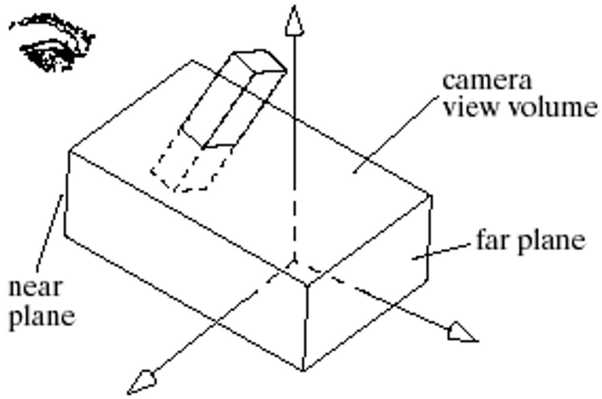
Proyección ortogonal

```
glm::ortho(Left, Right, Bottom, Top, Near, Far);
glm::ortho(-500, 500, -250, 250, 500, 10000);
  // En coordenadas de la cámara
```



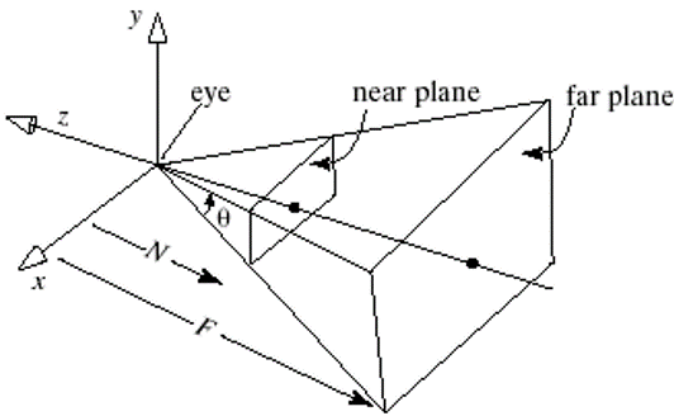
Los rectángulos cercano y lejano son iguales y perpendiculares al eje n





Proyección perspectiva

```
glm::frustum (-500, 500, -250, 250, 500, 10000);
```



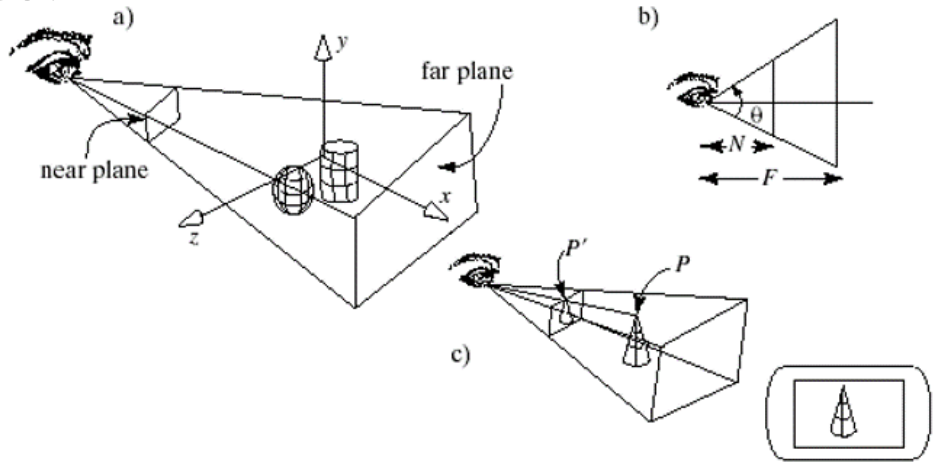
El Rectángulo cercano en coordenadas de la cámara.

Rectángulos perpendiculares al eje `n`.

- El rectángulo lejano queda definido trazando las líneas de proyección que van desde el ojo, pasando por las cuatro esquinas del rectángulo cercano.
- Es necesario que las distancias `Far` y `Near` cumplan: $Far > Near > 0$.

Proyección perspectiva

- La proyección de un vértice es la intersección con el plano cercano de la línea que va desde el vértice al ojo.
- Todos los puntos de una línea de proyección proyectan en el mismo punto.

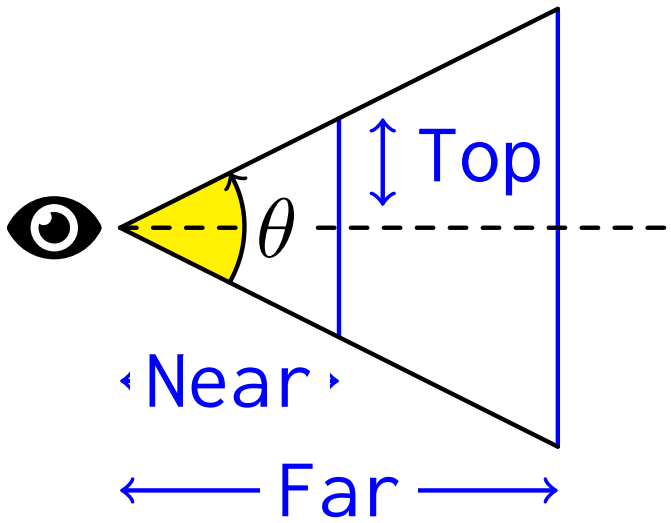


Nota

La matriz de proyección no realiza la proyección completa, deja pendiente la división perspectiva (en la 4ª coordenada w)

Proyección perspectiva

- La posición de la cámara (`eye`), `Near` y `Top` establecen el ángulo del campo de visión en el eje Y (`fovy`).
  - `tan(fovy/2) = Top / Near`
  - Para `fovy = 60:` `tan(30) = 0,5773` $\rightarrow$ `Near = 2 * Top`
  - Para `fovy = 90:` `tan(45) = 1` $\rightarrow$ `Near = Top`



Proyección perspectiva

- También podemos definir volúmenes en la proyección perspectiva con la función:

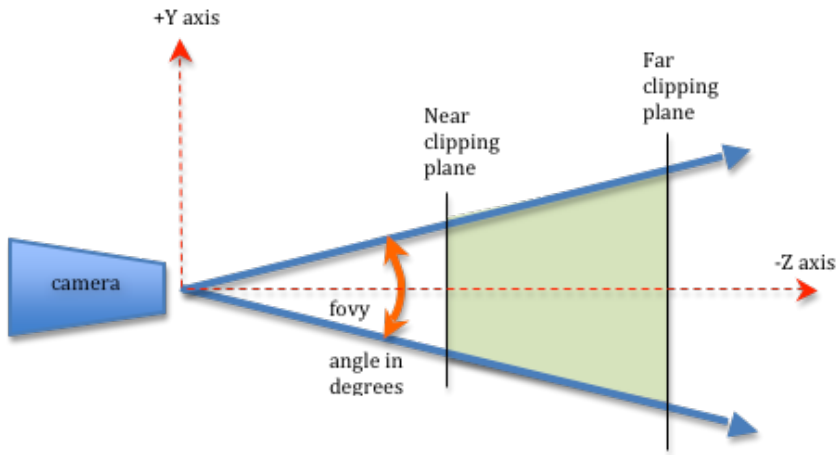
```
glm::perspective(Fovy, AspectRatio, Near, Far);
```

donde `AspectRatio = Ancho/Alto`, por ejemplo $4/3, 16/9$

- Equivale a

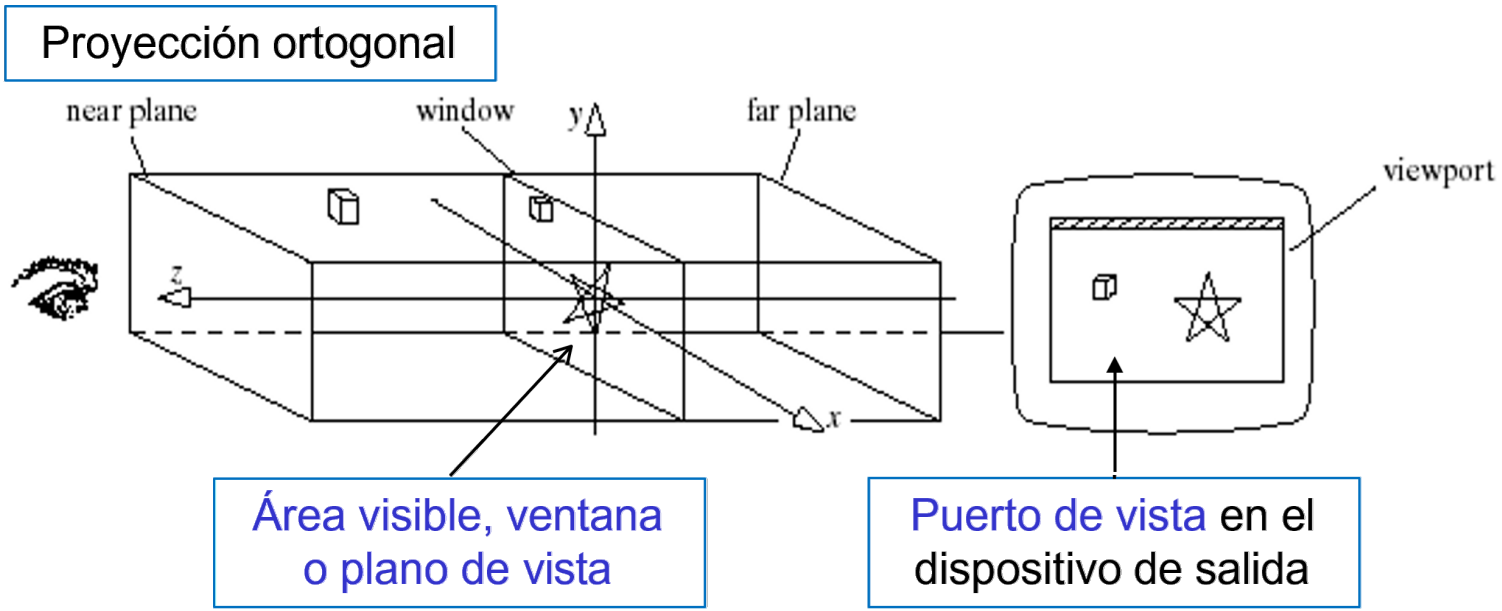
```
glm::frustum(Left, Right, Bottom, Top, Near, Far)
```

```
Top = Near * tan(Fovy / 2.0)
Bot = -Top
Right = Top * AspectRatio
Left = -Right
```



Proyección y puerto de vista

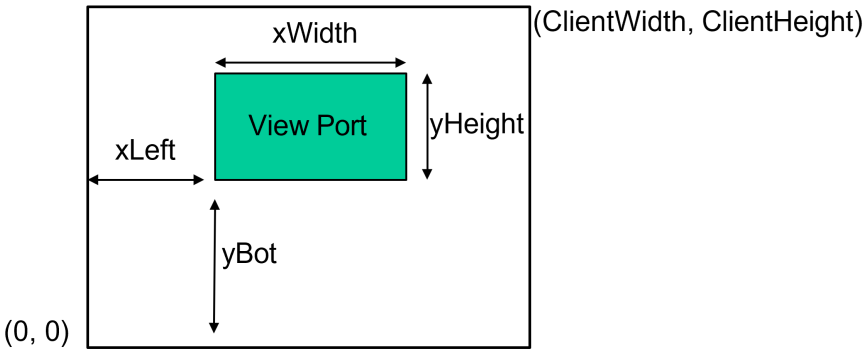
- La proyección obtenida en la ventana de vista se transfiere al puerto de vista establecido en la ventana de visualización.



Puerto de vista

- El puerto de vista es un rectángulo, del área cliente de la ventana, alineado con los ejes. Para fijar el puerto de vista:

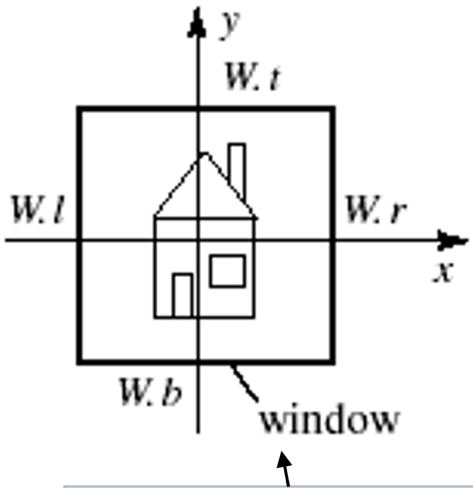
```
void Viewport::upload() {
  glViewport(xLeft, yBot, xWidth, yHeight);
    // Los parámetros son de tipo entero (píxeles)
}
```



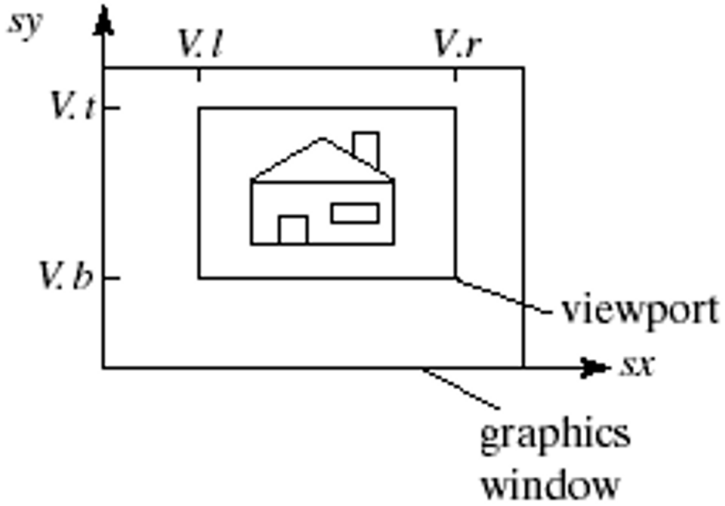
- Puerto de vista ocupando toda el área cliente de la ventana:
`glViewport(0, 0, ClientWidth, ClientHeight);`

Relación entre el plano de vista y el puerto de vista

- La relación entre el `puerto de vista` y el `plano de vista` establece una `escala` y una `traslación`. La escala puede deformar la imagen obtenida.
- Para una escala 1:1 ambos rectángulos deben ser del mismo tamaño.



Área visible, ventana o plano de vista



Eventos de ventana y zoom

```
void resize(int newWidth, int newHeight) { // IG1App
  // Resize Viewport
  mViewPort -> setSize(newWidth, newHeight);
  // Resize Scene Visible Area -> para que
  // no cambie la escala
  mCamera -> setSize(mViewPort->width(), mViewPort->height());
}
```

Eventos de ventana y zoom

```
void key(unsigned char key, int x, int y) { // IG1App
  ...
  case '+':
    mCamera->setScale(+0.01);
    break;
  case '-':
    mCamera->setScale(-0.01);
    break;
  ...
  mNeedsRedisplay = true;
}
```

Varios puertos de vista

- Podemos renderizar en **varios puertos de vista** para mostrar en la misma ventana:
  - Diferentes vistas de la misma escena
  - Distintas escenas

```
void display(){ // IG1App

  // una vez
  glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);

  mScene->render…();
    // varias veces: cambiando el puerto de vista
    // y la cámara o la escena (-> ej. display4V)
  glfwSwapBuffers(mWindow);  // -> una vez
}
```

Varios puertos de vista

Visualizar 4 vistas de la misma escena

- Las vistas son: 2D, 3D, Cenital y la de la cámara que maneja el usuario con los eventos del ratón (el atributo `mCamera` de `IG1App`).
- Las 4 vistas comparten la proyección controlada por el usuario con los eventos de la aplicación, es decir:
  - Si el usuario establece una proyección perspectiva, las cuatro vistas serán con perspectiva.
  - Si el usuario cambia la escala, las cuatro vistas tendrán la misma escala.

Varios puertos de vista

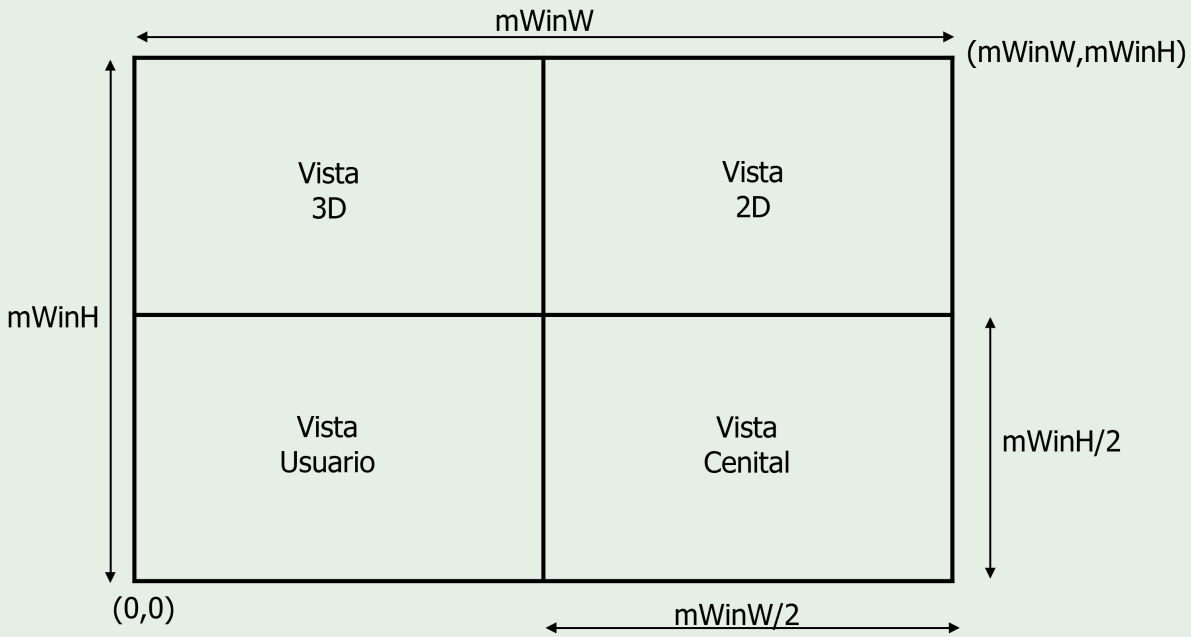
Visualizar 4 vistas de la misma escena

- Como todos los cambios que realiza el usuario se realizan sobre el atributo `mCamera` de la aplicación, usaremos la proyección de este atributo para las demás vistas, pero tenemos que colocar la cámara en distintas posiciones para las distintas vistas.

Varios puertos de vista

Visualizar 4 vistas de la misma escena

Ventana de la aplicación $(mWinW \times mWinH)$ con 4 puertos de vista $(mWinW/2 \times mWinH/2)$



Varios puertos de vista

Visualizar 4 vistas de la misma escena

```
void IG1App::display4V() { // se llama en display()
  // para renderizar las vistas utilizamos una cámara
  // auxiliar:
  Camera auxCam = *mCamera; // copiando mCamera
  // el puerto de vista queda compartido (se copia el
  // puntero)
  // lo copiamos en una var. aux.
  Viewport auxVP = *mViewPort;
  // el tamaño de los 4 puertos de vista es el mismo,
  // lo configuramos
  mViewPort->setSize(mWinW / 2, mWinH / 2);
  ...
}
```

Varios puertos de vista

Visualizar 4 vistas de la misma escena

```
void IG1App::display4V() { // se llama en display()
  ...
  // igual que en resize, para que no cambie la escala,
  // tenemos que cambiar el tamaño de la ventana de vista
  // de la cámara
  auxCam.setSize(mViewPort->width(), mViewPort->height());
  // vista Usuario ->
  // vista 2D ->
  // vista 3D ->
  // vista Cenital ->
  *mViewPort = auxVP; // * restaurar el puerto de vista (NOTA)
}
```

Varios puertos de vista

Visualizar 4 vistas de la misma escena

Nota

Al usar una cámara auxiliar `auxCam` que comparte el puerto de vista con la cámara principal `mCamera`, el puerto de vista de la cámara principal quedará modificado.
Por eso debemos restaurar el puerto de vista `mViewPort`, con los valores guardados en `auxVP`.
Otra opción sería añadir a la clase `Camera` métodos para copiar su configuración y no compartir el puerto de vista

Varios puertos de vista

Visualizar 4 vistas de la misma escena: Vista Usuario

```
// el tamaño de los 4 puertos de vista es el mismo
// (ya configurado), pero tenemos que configurar
// la posición
mViewPort->setPos(0, 0);
// el tamaño de la ventana de vista es el mismo para
// las 4 vistas (ya configurado) y la posición y
// orientación de la cámara es
// la del usuario (ya configurado -> copiado de mCamera)
// renderizamos con la cámara y el puerto de vista
// configurados
mScene->render(auxCam);
```

Varios puertos de vista

Visualizar 4 vistas de la misma escena: Vista 2D

```
// el tamaño de los 4 puertos de vista es el mismo
// (ya configurado),
// pero tenemos que configurar la posición
mViewPort->setPos(mWinW / 2, mWinH /2);
// el tamaño de la ventana de vista es el mismo para las
// 4 vistas (ya configurado)
// pero tenemos que cambiar la posición y orientación
// de la cámara
auxCam.set2D();
// renderizamos con la cámara y el puerto
// de vista configurados
mScene->render(auxCam);
```

Varios puertos de vista

Visualizar 4 vistas de la misma escena: Vista 3D

```
// ...
```

Varios puertos de vista

Visualizar 4 vistas de la misma escena: Vista Cenital

```
// el tamaño de los 4 puertos de vista es el mismo
// (ya configurado), pero tenemos que configurar
// la posición
mViewPort->setPos(mWinW / 2, 0);
// el tamaño de la ventana de vista es el mismo para
// las 4 vistas (ya configurado)
// pero tenemos que cambiar la posición y orientación
// de la cámara
auxCam.setCenital();
// renderizamos con la cámara y el puerto de vista
// configurados
mScene->render(auxCam);
```