



Sección de
Informática
Gráfica
VALENCIA

Computer
Graphics
Group



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Illuminación y materiales

Ecuación general

Fuentes

Modelos

Sombreado

Materiales

Texturas





Sección de
Informática | Computer
Gráfica | Graphics
Group
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITECNICA
DE VALÈNCIA

Ecuación general de transporte



Iluminación



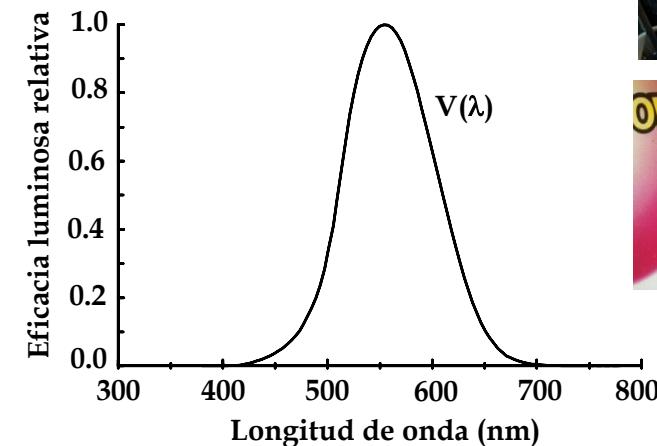
- ▶ Objetivo: Conocer la luz que llega al observador desde cada dirección
- ▶ Fuentes de luz: emisión
- ▶ Objetos: reflexión, refracción y absorción
- ▶ Observador: percepción



Magnitudes fotométricas



- ▶ Función de eficacia $V(\lambda)$
- ▶ Correspondencia energía->luz
 - ▶ Flujo o potencia luminosa (**lumen**): Flujo radiante visible.
 - ▶ Intensidad luminosa direccional de una fuente (**candela**): Intensidad luminosa visible en una dirección
 - ▶ Luminancia (**candela/m²**): Radiancia visible
 - ▶ Densidad superficial de flujo luminoso (**lux**)
 - ▶ Luminosidad o brillo de una fuente: Radiosidad visible
 - ▶ Iluminación: Irradiación visible



Curva de rendimiento luminoso del flujo radiante monocromático $V(\lambda)$. $k=684$ lúmenes/watt para $\lambda=555\text{nm}$ máxima sensibilidad

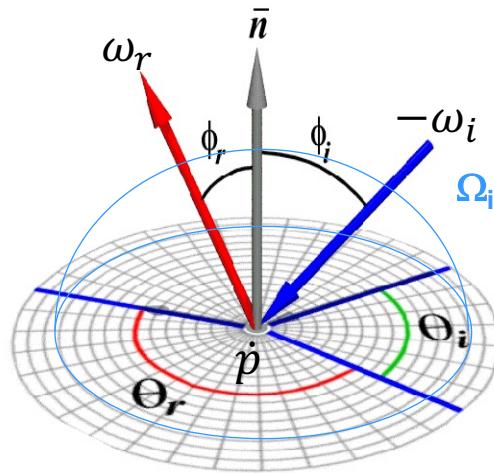
$$F = k \int_{visible} V(\lambda) \Phi(\lambda) d\lambda$$

potencia espectral de la fuente

Ecuación general de la iluminación (rflx)

- La **luminancia L** observada en un punto desde una dirección es la suma de la luminancia emitida propia más la reflejada en esa dirección

$$L_r(\dot{p}, \omega_r) = L_e(\dot{p}, \omega_r) + \int_{\Omega_i} BRDF(\dot{p}, \omega_r, \omega_i)L_i(\dot{p}, \omega_i)\cos\phi_i d\omega_i$$

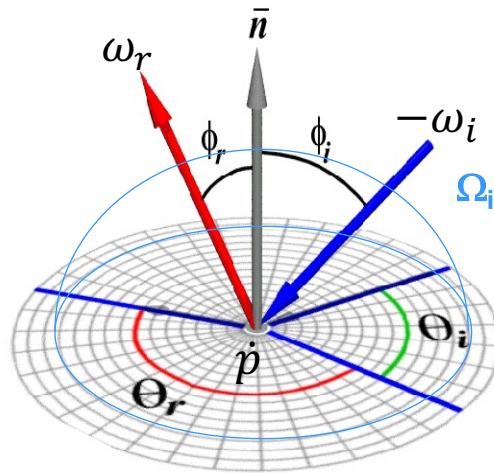


Simplificaciones



- ▶ Fuentes de luz simples
- ▶ Solo algunas direcciones de entrada
- ▶ BRDF simulada

$$L_r(\dot{p}, \omega_r) = L_e(\dot{p}, \omega_r) + \int_{\Omega_i} BRDF(\dot{p}, \omega_r, \omega_i) L_i(\dot{p}, \omega_i) \cos \phi_i d\omega_i$$





Sección de
Informática | Computer
Gráfica | Graphics
Group
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITECNICA
DE VALÈNCIA

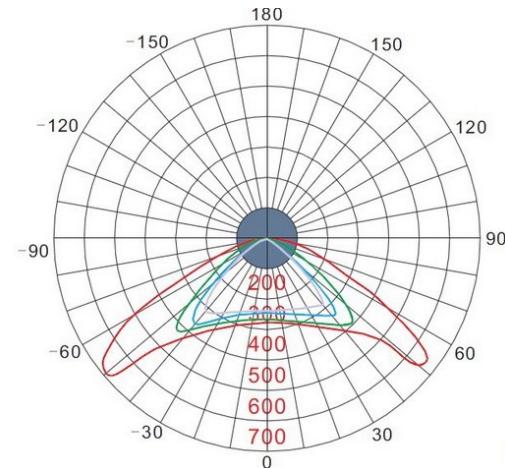
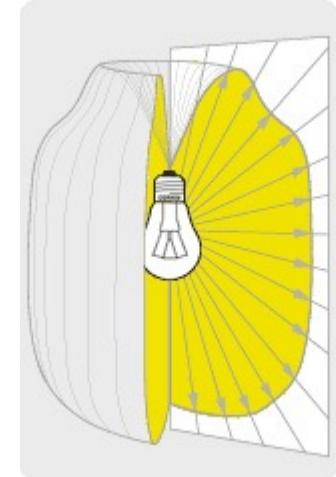
Fuentes de luz



Cuerpos radiantes



- ▶ Una fuente de luz es un cuerpo que radia energía dentro del espectro visible
 - ▶ Temperatura alta
 - ▶ Luminiscencia
- ▶ La fuente se caracteriza por
 - ▶ Su geometría (extensa o puntual)
 - ▶ Su energía spectral direccional (candelas) condicionada usualmente por la luminaria
- ▶ Modelo mínimo para GpC
 - ▶ “**Intensidad**” de la fuente (I_r, I_g, I_b) en una dirección dada -luminancia-
 - ▶ El **vector de iluminación** \vec{l} es el vector unitario en el sentido contrario al que viajan los fotones



)

Fuentes direccionales

► Geometría

- ▶ Se supone suficientemente alejada para considerar que todos los fotones viajan en la misma dirección (caso del sol)
- ▶ Se caracteriza por una única dirección de iluminación \vec{l} independiente del punto observado

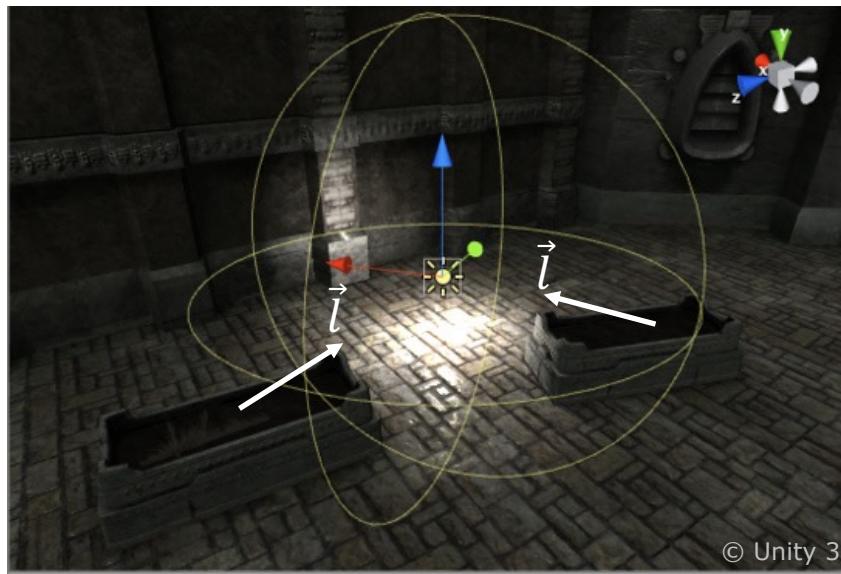


Fuentes puntuales uniformes



► Geometría

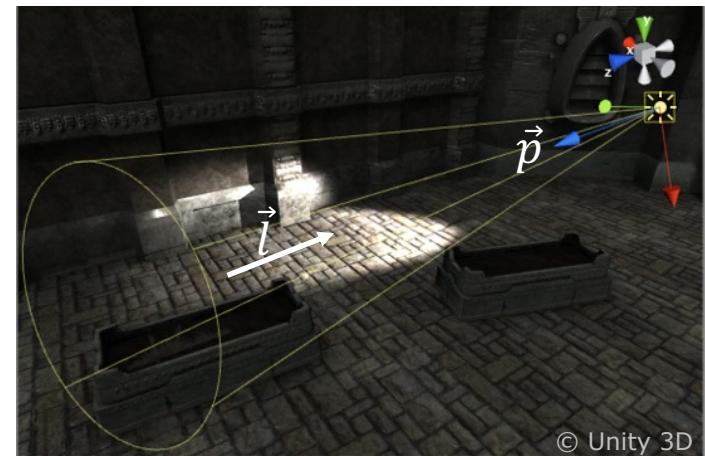
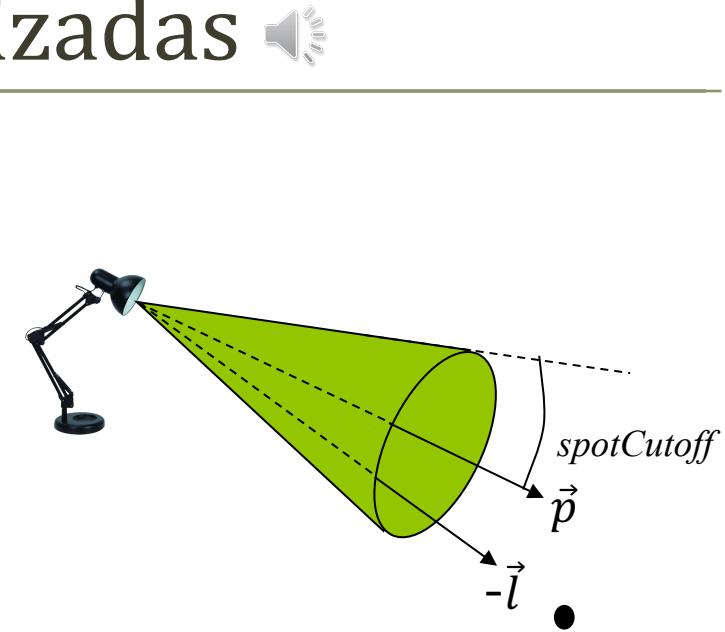
- ▶ Los fotones parten de un punto único -posición de la luz-
- ▶ La distribución espacial de la energía espectral es radial y uniforme desde ese punto. Puede atenuarse con la distancia
- ▶ El vector de iluminación \vec{l} se calcula como el vector unitario desde el punto observado a la posición de la luz



Fuentes puntuales focalizadas

► Geometría

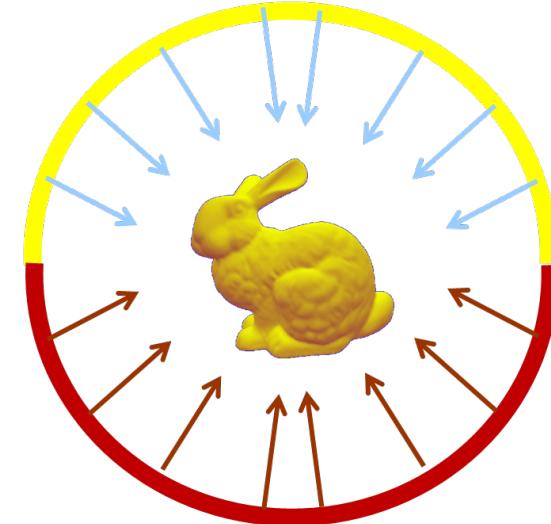
- ▶ Los fotones parten de un punto único -posición de la luz-
- ▶ Se define una dirección central de iluminación -vector unitario \vec{p} -
- ▶ El vector de iluminación \vec{l} se calcula como el vector unitario desde el punto observado a la posición de la luz
- ▶ La distribución espacial de la energía espectral es función del ángulo entre los vectores $-\vec{l}$ y \vec{p} . Suele definirse un ángulo máximo a partir del cuál no hay emisión



Fuentes semiesféricas



- ▶ Simulan la iluminación del cielo
- ▶ Geometría
 - ▶ Semiesfera emisora
 - ▶ El vector \vec{l} varía a lo largo de toda la semiesfera visible (integral) según la normal
 - ▶ La energía espectral tiene distribución radial uniforme
 - ▶ Se puede considerar la iluminación de la semiesfera inferior (suelo)

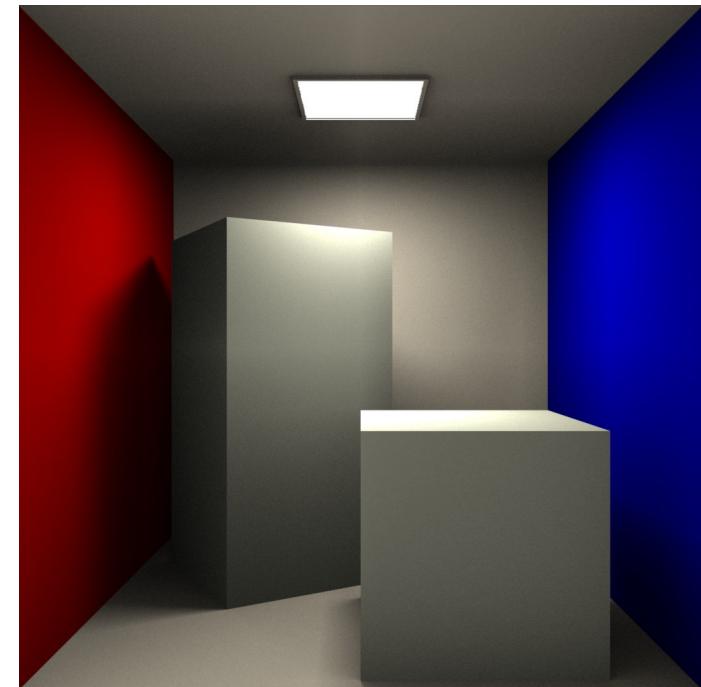


Fuentes extensas



► Geometría

- ▶ Generalmente suelen ser fuentes lineales, cuadriláteros o esferas
- ▶ El vector \vec{l} varía a lo largo de la fuente de luz
- ▶ La distribuciónpectral de la energía se suele considerar hemiesféricamente uniforme en cada punto de la fuente de luz
- ▶ La irradiación sobre el punto observado es la integral de las radiancias a lo largo de la superficie de la fuente





Sección de
Informática | Computer
Gráfica | Graphics
Group
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITECNICA
DE VALÈNCIA

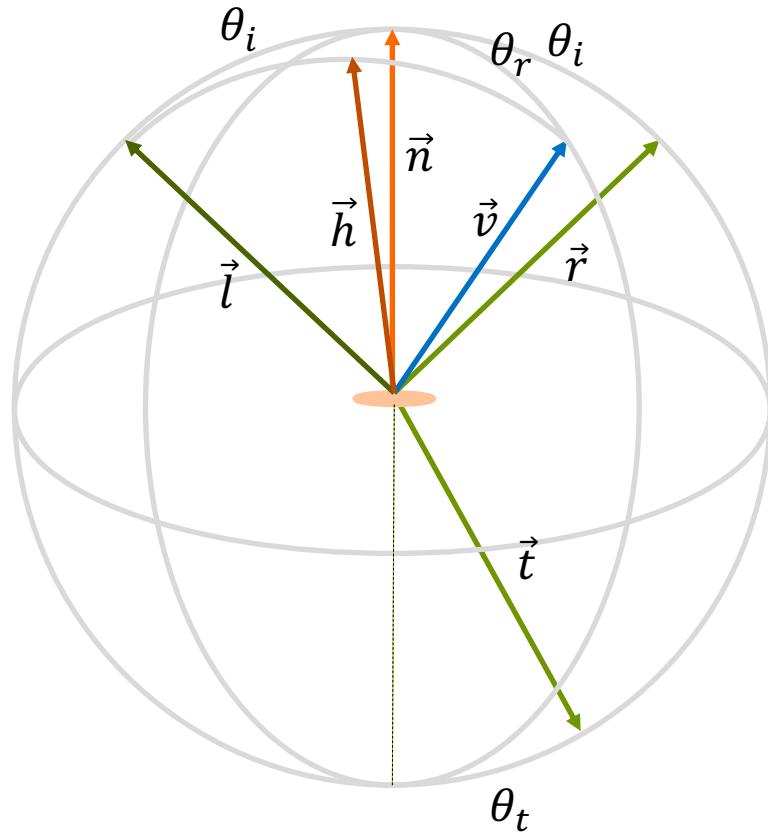
Modelos de iluminación



¿Qué es?

- ▶ Una solución a la ecuación general de iluminación
- ▶ **Necesitamos simplificar**
- ▶ Simplificación de la integral de las direcciones de entrada
 - ▶ Modelos locales: Sólo consideran la iluminación directa (procedente de las fuentes de luz)
 - ▶ Modelos globales o semiglobales: Consideran además otras direcciones
- ▶ Simplificación de la BDRF
 - ▶ Modelos empíricos: Asumen factores constantes -inventados- para cada tipo de reflexión
 - ▶ Modelos físicos: Intentan aproximar la reflexión a la respuesta real del material (dependencia de ángulos, rugosidad, anisotropía, etc)
- ▶ Simplificación de la visibilidad de la fuente

Vectores



\vec{l} : vector de iluminación

\vec{n} : normal

\vec{v} : vector de observación

$$\vec{r} = 2(\vec{n} \cdot \vec{l})\vec{n} - \vec{l}$$

$$\vec{h} = \frac{\vec{l} + \vec{v}}{|\vec{l} + \vec{v}|}$$

$$\vec{t} = \left(\frac{\eta_i}{\eta_t} (\vec{n} \cdot \vec{l}) - \sqrt{1 - \frac{\eta_i^2}{\eta_t^2} (1 - (\vec{n} \cdot \vec{l})^2)} \right) \vec{n} - \frac{\eta_i}{\eta_t} \vec{l}$$

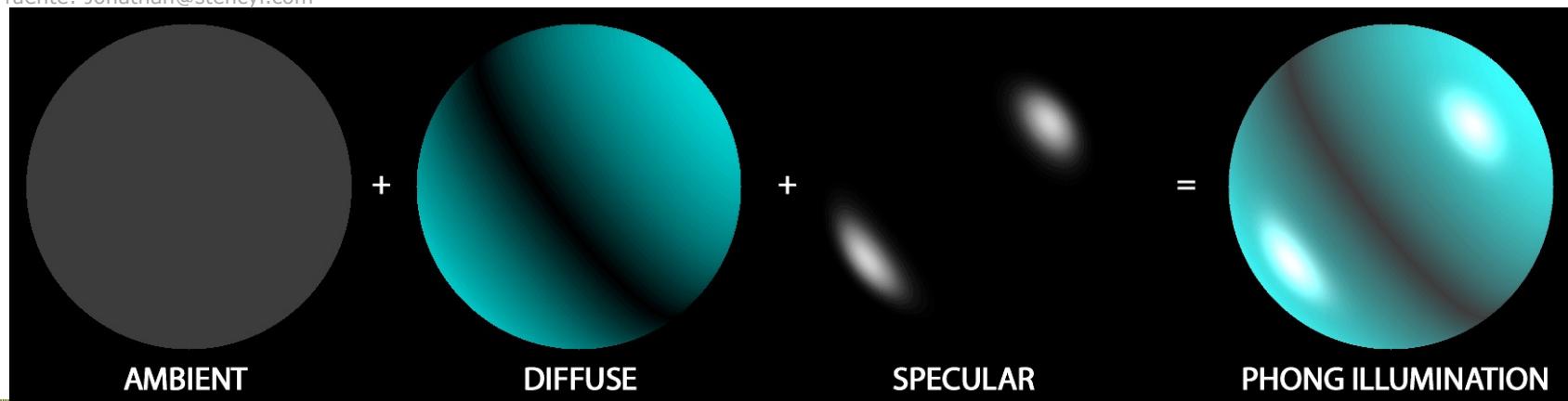
Modelos locales

- ▶ Sólo se consideran iluminación directa, el resto se aproxima por iluminación ambiente
- ▶ La reflexión se descompone en difusa (ley de Lambert) y lóbulo especular
- ▶ La BRDF se simplifica a funciones ctes. o dependientes de la rugosidad

$$I_{RGB} = I_{aRGB} k_{dRGB} + \sum_{i=1}^m f_{att_i} I_{L_i RGB} \left[k_{dRGB} (\vec{n} \cdot \vec{l}_i) + k_{sRGB} (\vec{n}_i \cdot \vec{h})^n \right]$$

ambiental
difusa
 $\vec{n} \cdot \vec{l} > 0$
especular
 $\vec{n} \cdot \vec{h} > 0$

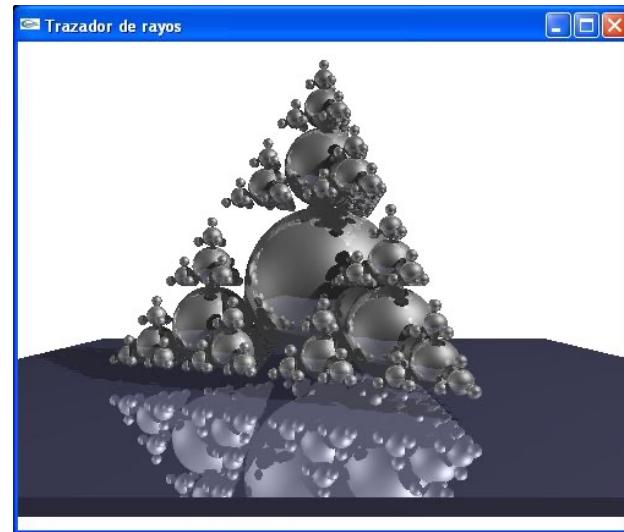
fuente: Jonathan@stencyl.com



Modelos globales



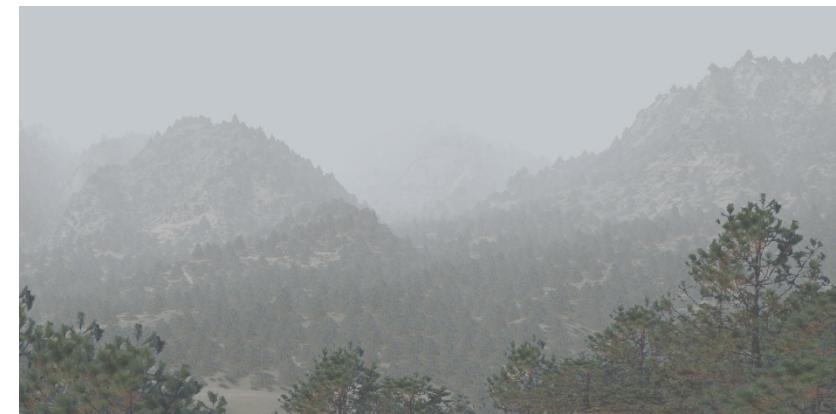
- ▶ Otras direcciones de entrada de luz
 - ▶ Reflexión y transmisión ideales: Trazado de rayos
 - ▶ Interreflexión difusa: Radiosidad



Atenuación con la distancia al observador

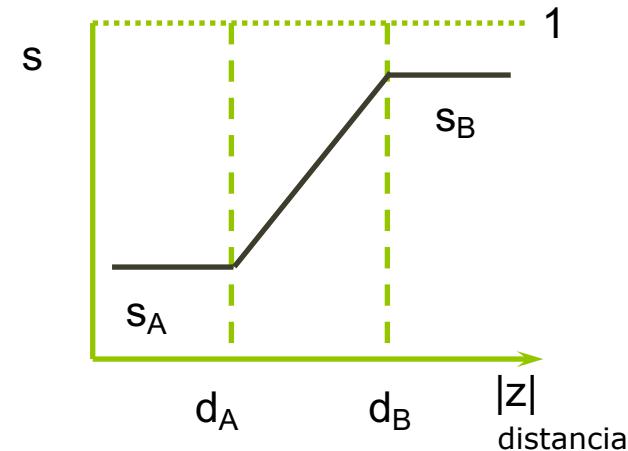


- ▶ Debemos tener en cuenta la distancia de los objetos al observador.
- ▶ Suponiendo que el observador en el origen podemos considerar la distancia como el valor absoluto de z .
- ▶ Se pueden conseguir efectos de atmósfera tomando una intensidad de fondo I_F e interpolando con la I obtenida por el modelo de iluminación



$$I' = s \cdot I_F + (1 - s) \cdot I$$

- ▶ $|z| < d_A$
 - ▶ La atmósfera siempre ofrece la misma atenuación mínima: s_A
 - ▶ $d_A < |z| < d_B$
 - ▶ Atenuación **lineal** con la distancia:
- $$s = s_A + \frac{s_B - s_A}{d_B - d_A}(|z| - d_A)$$
- ▶ Atenuación máxima constante: s_B





Sección de
Informática | Computer
Gráfica | Graphics
Group
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITECNICA
DE VALÈNCIA

Modelos de sombreado



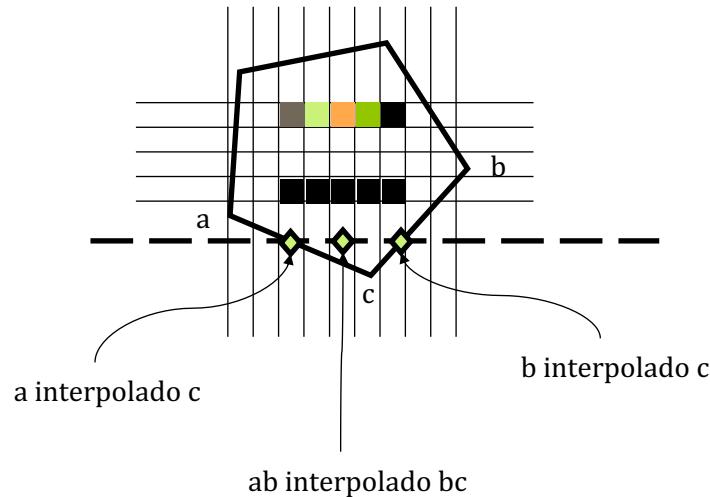


Algoritmo de sombreado (coloreado)

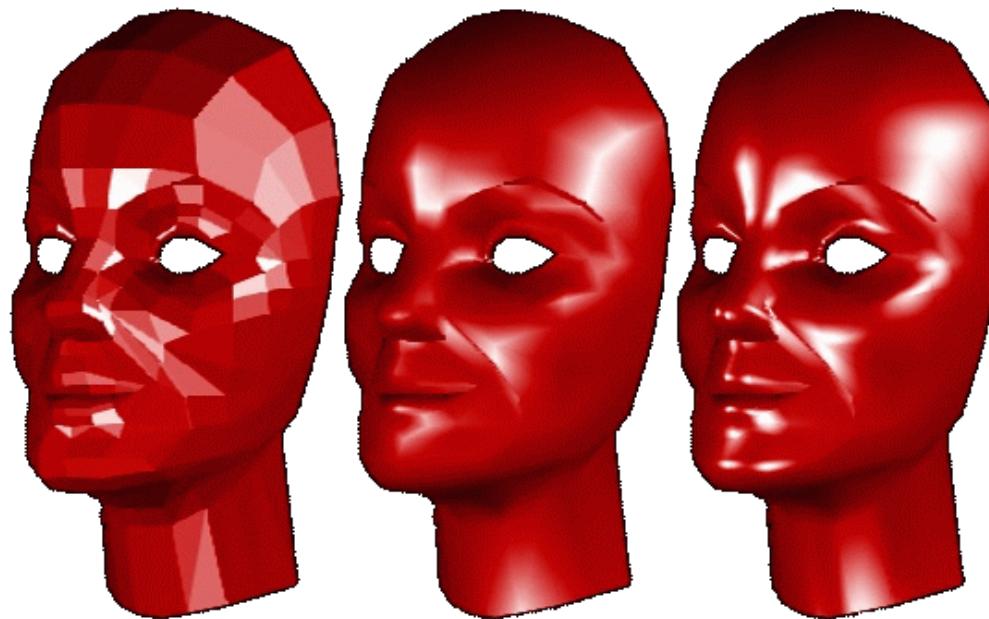
- ▶ ¿Cómo se calcula el color de un fragmento?
- ▶ Dos posibilidades
 - ▶ A partir del color de los vértices
 - ▶ Constante
 - ▶ Gouraud
 - ▶ Directamente en el fragmento
 - ▶ Interpolando normales (Phong)
 - ▶ Normales reales

Algoritmo fundamental de sombreado

para cada polígono
 proyectar vértices
 calcular fragmentos interiores al polígono
 para cada fragmento
 calcular el punto 3D sobre el polígono
 calcular el modelo de iluminación en ese punto
 colorear el fragmento



Comparación visual de algoritmos de sombreado



Constante

Gouraud

Phong



Sección de
Informática | Computer
Gráfica | Graphics
Group
VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITECNICA
DE VALÈNCIA

Materiales



Luz percibida



- ▶ Al mirar un punto de la superficie de un objeto iluminado percibimos la luz que refleja
- ▶ Si conocemos el **campo de luz** (irradiancia) y la **respuesta del material** podemos calcular la luz percibida

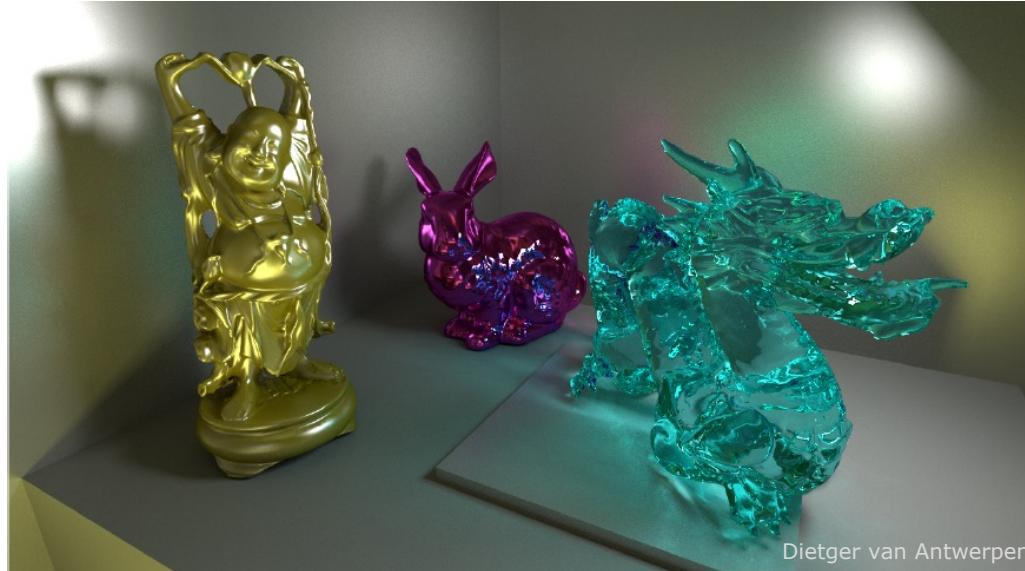


ecuación de iluminación simplificada

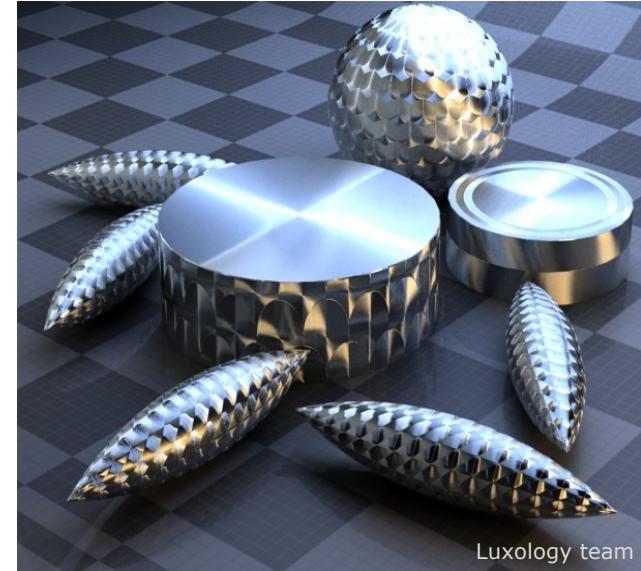
$$L_r = f_r \sum L_i \cos \theta_i$$

→ respuesta del material

Respuesta del material



Dietger van Antwerpen



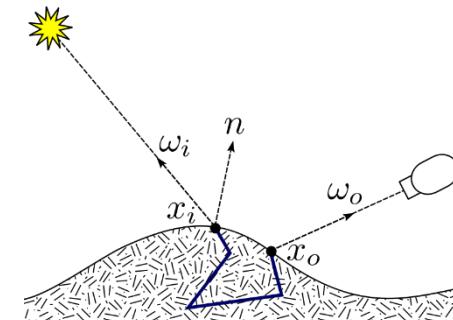
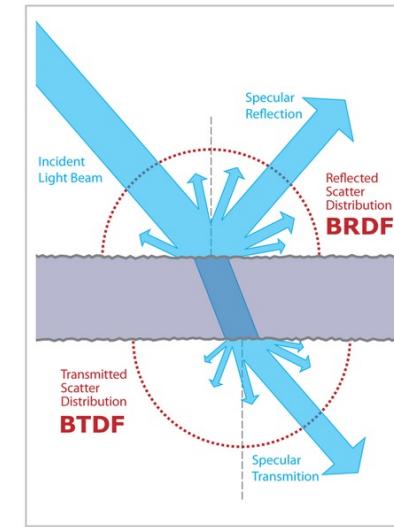
Luxology team



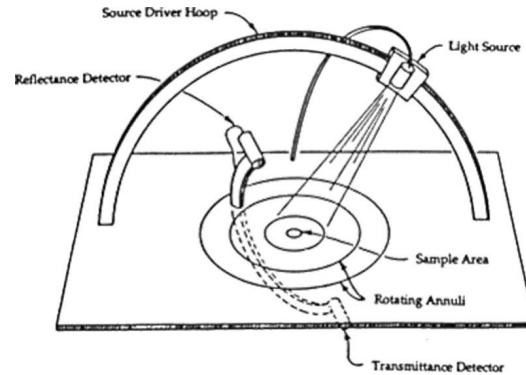
giga.unizar.es

Respuesta del material

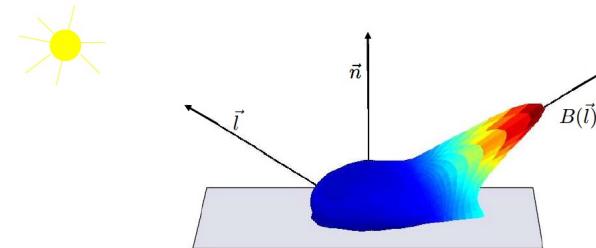
- ▶ Cada material, al ser iluminado, responde dispersando la luz de forma diferente
- ▶ La respuesta depende de multitud de variables
- ▶ Idealmente, se definen las funciones (**BSDF**) que, en cada punto, relacionan la irradiación en una dirección con la radiancia emitida en otra:
 - ▶ Función de distribución de la **reflectancia** bidireccional BRDF
 - ▶ Función de distribución de la **trasmitancia** bidireccional BTDF
 - ▶ Función de distribución de la **reflectancia por dispersión interna** bidireccional BSSRDF
- ▶ La **BSDF** caracteriza la respuesta del material



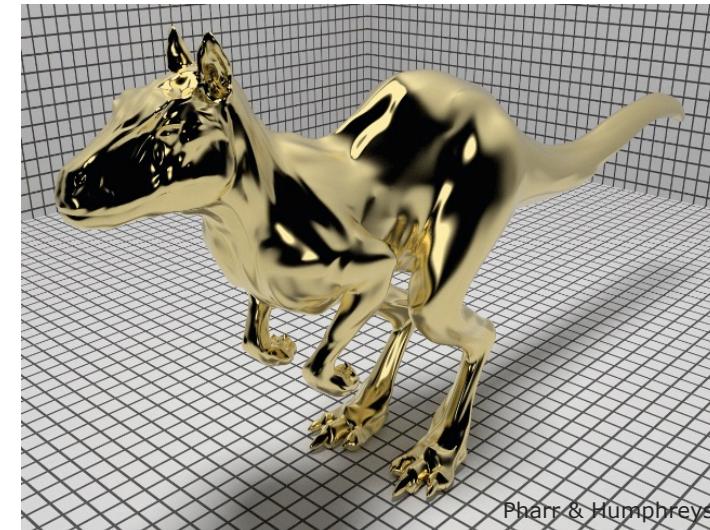
Medición de la BSDF



goniorreflectómetro



BRDF del plástico PVC



Pharr & Humphreys

Render basado en la BRDF real del oro

Modelado de la BRDF

► Materiales mates

- ▶ reflexión difusa
- ▶ en todas direcciones
- ▶ lambertiano (ideal)
 - ▶ reflexión uniforme en todas direcciones

► Materiales pulidos

- ▶ reflejo de brillos
- ▶ reflexión preferente en una dirección -lóbulos-
- ▶ especular (ideal)
 - ▶ reflexión sólo en la dirección de reflexión perfecta

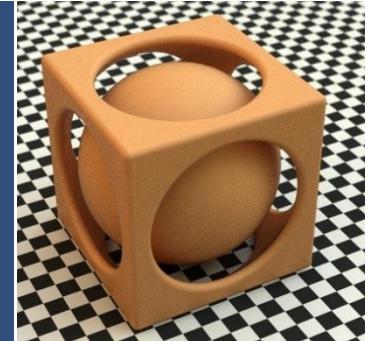


Modelos de la BRDF



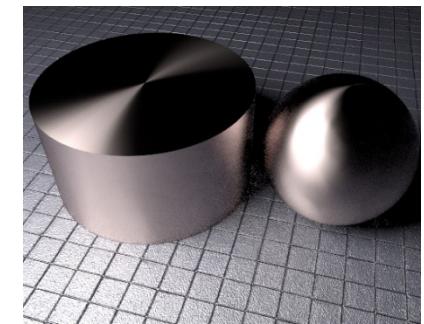
► Empíricos

- ▶ Buscan obtener resultados aceptables con poco cálculo



► Físicos

- ▶ Buscan aproximarse a lo que sucede en realidad





Sección de
Informática
Gráfica
V A L E N C I A

Computer
Graphics
Group



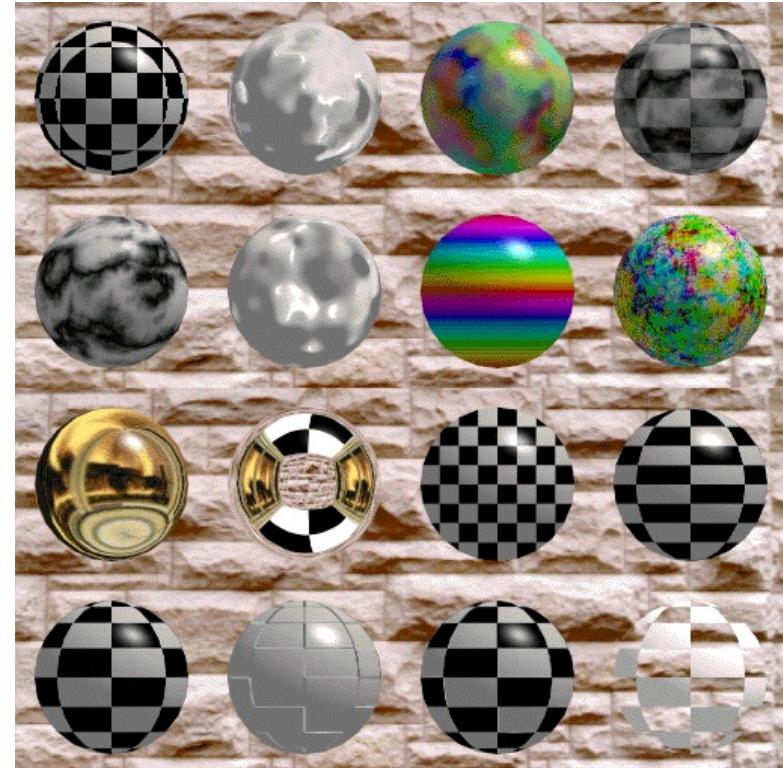
UNIVERSITAT
POLITECNICA
DE VALÈNCIA

Texturas



Introducción

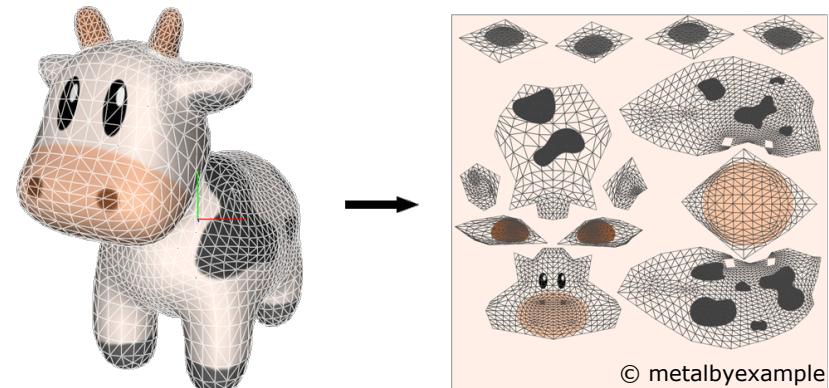
- ▶ ¿Qué son?
 - ▶ Modificaciones al modelo de iluminación para que dependa del punto de la superficie en el que se calcula: la **BSDF es diferente** para cada punto
- ▶ ¿Qué consiguen?
 - ▶ **Realismo** sin aumentar vértices
 - ▶ Detalle superficial: pintado, abultamientos, veteado, ...
 - ▶ Simular efectos: sombras, reflejos, transparencia, entornos, ...



Fuente: University of Melbourne

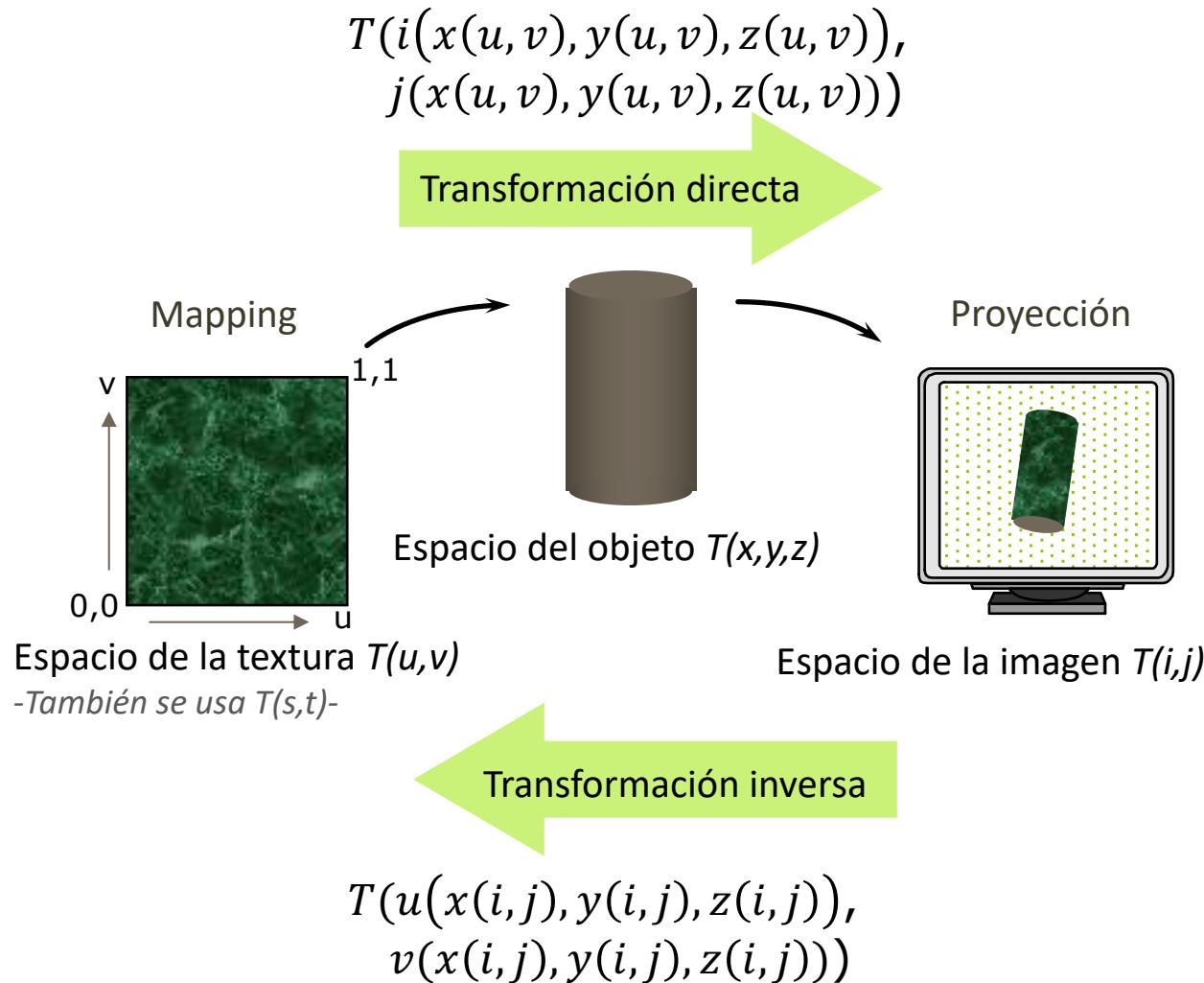
Introducción

- ▶ ¿Cómo se aplican?
 - ▶ Por muestreo sobre el espacio de la textura (generalmente un bitmap)
 - ▶ Por un procedimiento (texturas procedurales)



Texturas por superposición

Espacios y transformaciones



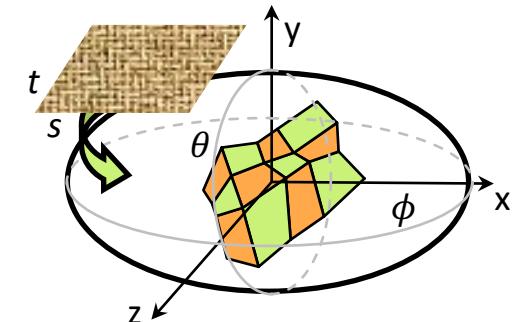
Texturas por superposición



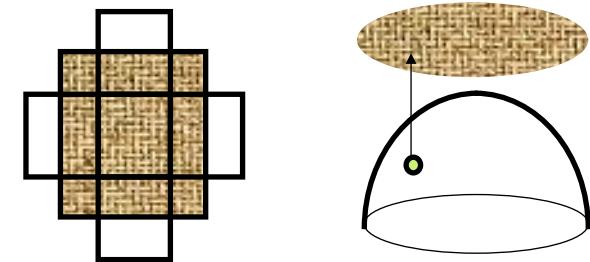
Texturas por superposición

Uso de superficie intermedia

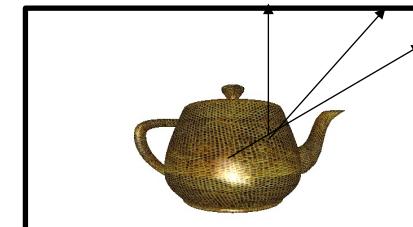
- ▶ Cuando es difícil parametrizar la superficie original se usa una superficie auxiliar que sí lo es
 - ▶ 1º: correspondencia de la textura sobre una superficie auxiliar intermedia
 - ▶ 2º: correspondencia de la superficie auxiliar con la superficie del objeto



1º	Superficies intermedias $(s, t) = T(\phi, \theta)$ Plano Superficie cilíndrica Hemicubo Semiesfera
----	--



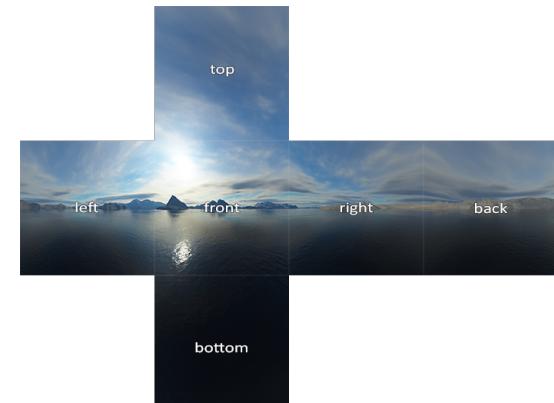
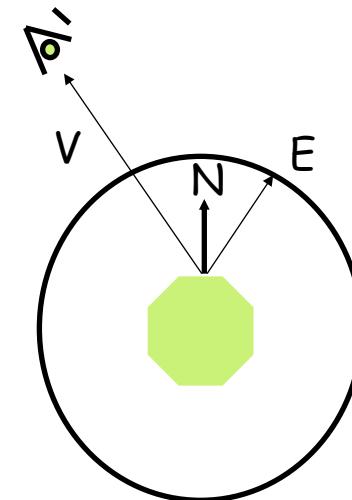
2º	Correspondencias proyectivas $(\phi, \theta) = O(x, y, z)$ Normal a la superficie del objeto Centroide Normal a la superficie intermedia
----	---



Texturas por superposición

Mapas de entorno

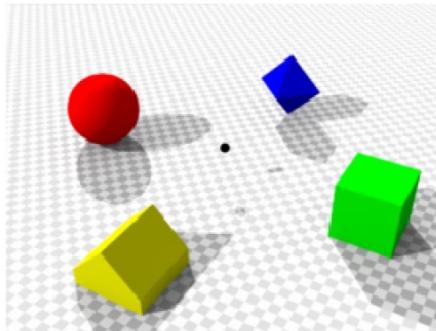
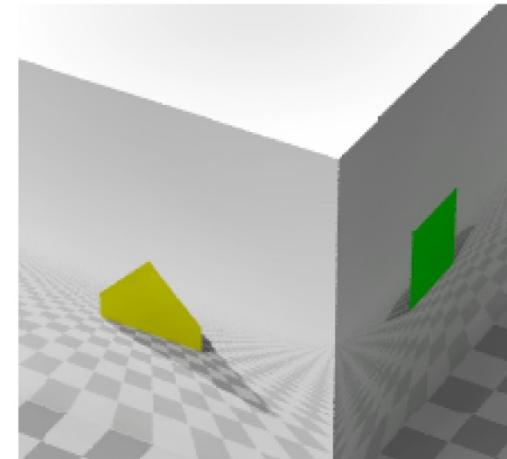
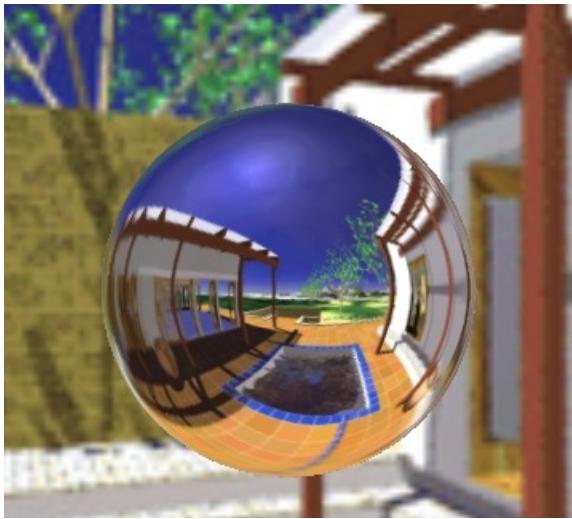
- ▶ Objetivo: Simular reflexión especular del entorno
- ▶ Método:
 - ▶ Uso de una superficie intermedia texturada con proyección del entorno
 - ▶ Correspondencia objeto - superficie mediante dirección de reflexión especular perfecta
- ▶ La textura depende del punto de vista



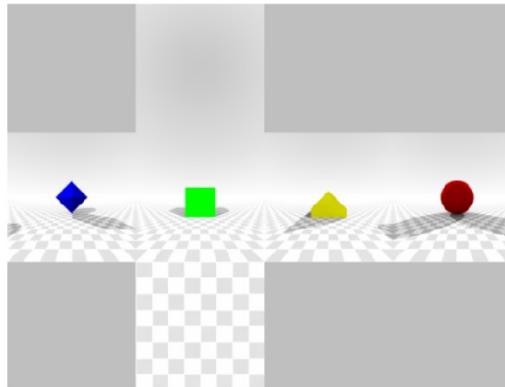
Superficie intermedia

Texturas por superposición

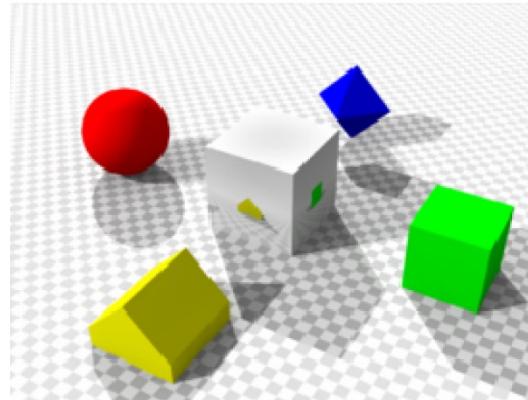
Mapas de entorno



place a viewer in a scene



generate the environment
texture from six view directions



apply the texture
to an object at the
position of the viewer

Texturas por superposición

Mapas de entorno



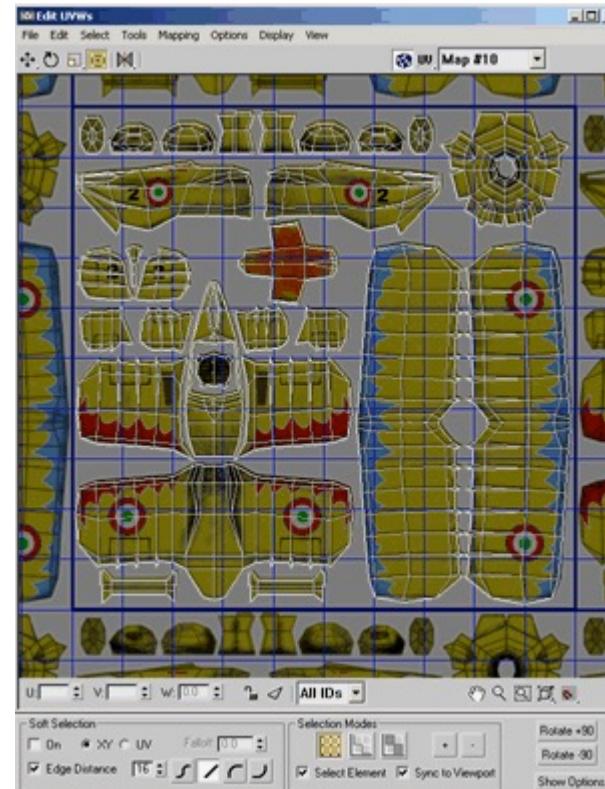
Fuente: <http://tfc.duke.free.fr/>

Texturas por superposición

Mapas uv para mallas poligonales



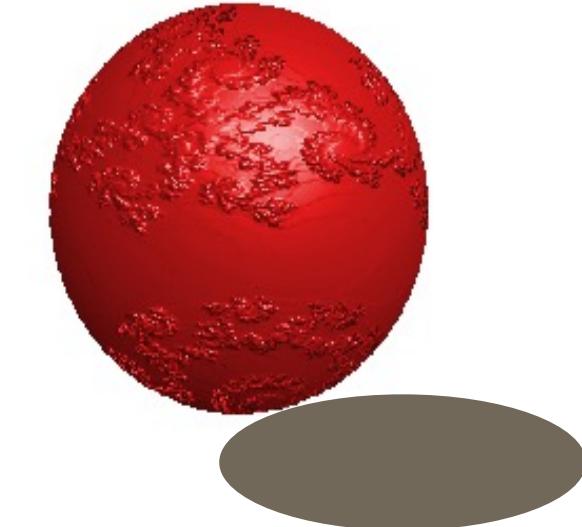
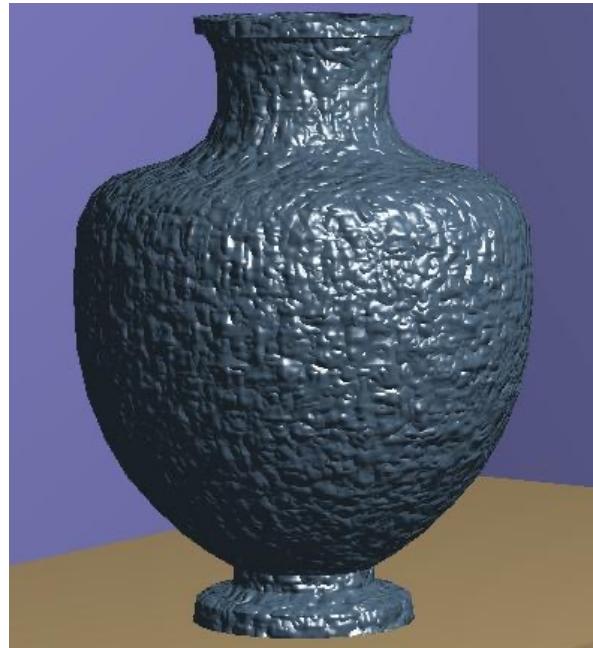
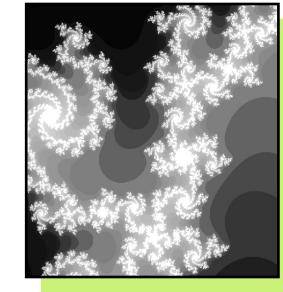
- ▶ Se utilizan diferentes proyecciones para los parches que forman la superficie
 - ▶ Se minimizan las distorsiones
 - ▶ Un vértice puede tener varias coordenadas de textura





Texturas por alteración de la normal

- ▶ Objetivo: Modelar abultamientos, abolladuras o rugosidades sin necesidad de modificar la geometría del objeto.
- ▶ Lo que se modifica es la normal exterior
- ▶ Bump Mapping



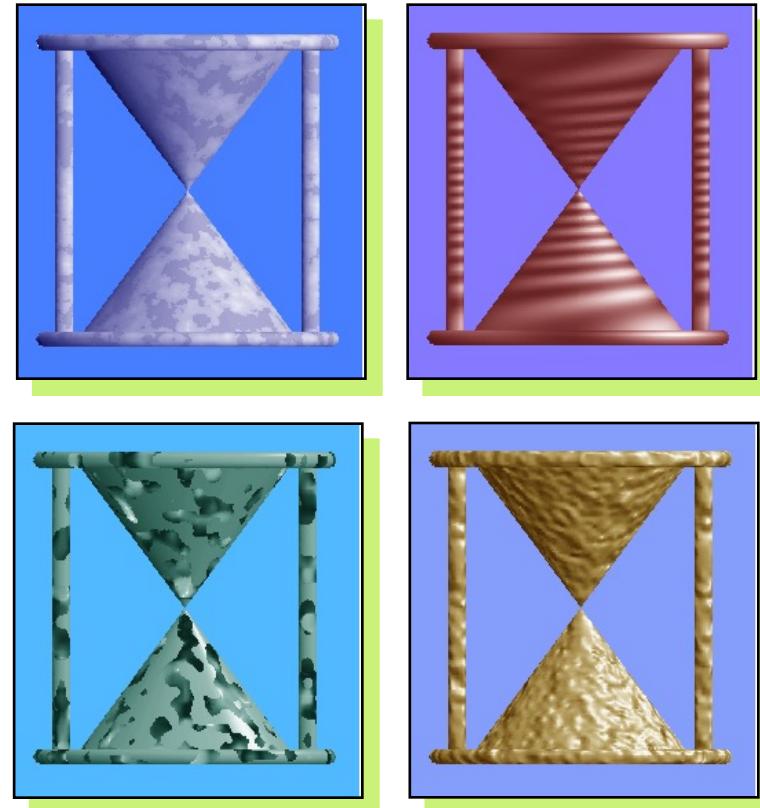


Texturas por alteración de la normal



Texturas sólidas

- ▶ Objetivo: Utilizar una función directa de correspondencia $T(x,y,z)$
- ▶ Método:
 - ▶ Definir una función de textura en el espacio
 - ▶ Sumergir el objeto en espacio de la textura
 - ▶ Fijar la textura al objeto en escala y posición
- ▶ Ventajas
 - ▶ Eliminación de la transformación de parametrización
 - ▶ Complejidad cualquiera de la superficie del objeto
- ▶ Desventajas
 - ▶ Son difíciles de definir y ajustar
 - ▶ Mayor coste computacional
- ▶ Otras características
 - ▶ Aplicables tanto al color como a la normal



Billboards

- ▶ Un billboard es un polígono con una textura y vector de orientación asociado.
- ▶ Cuando la posición y orientación de la cámara cambian, este vector de orientación cambiará.



color texture

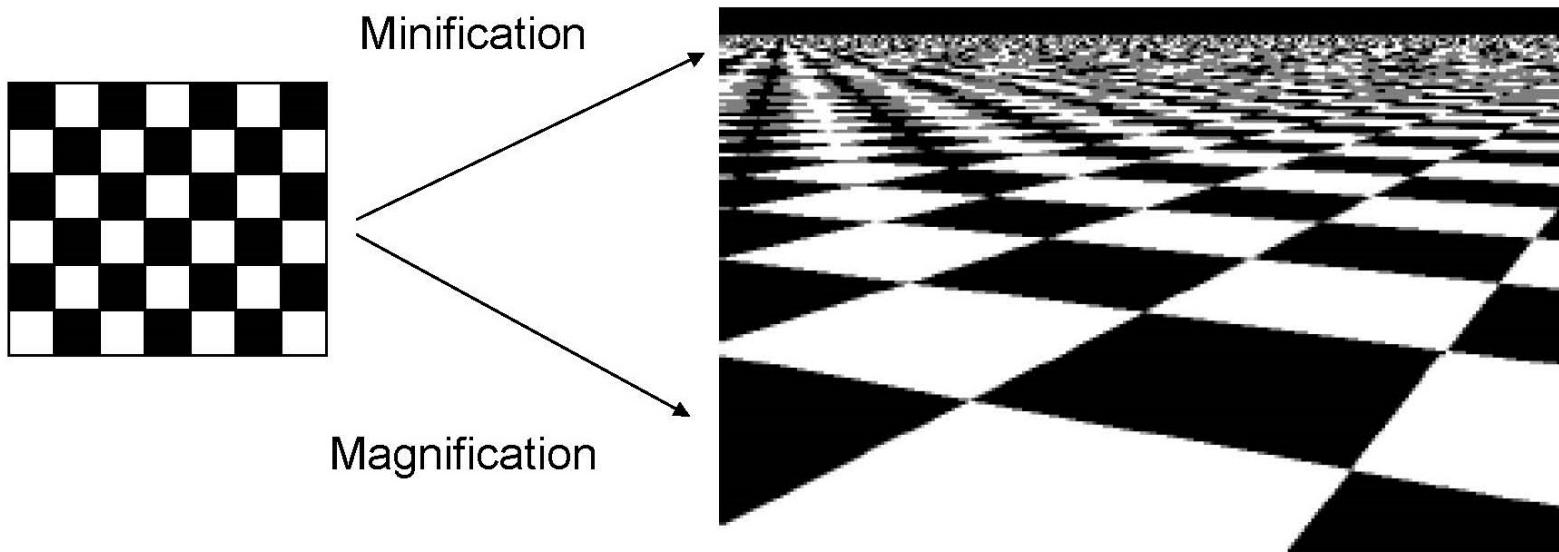


alpha texture
representing
transparency



billboard: simple primitive
with color and alpha mapping

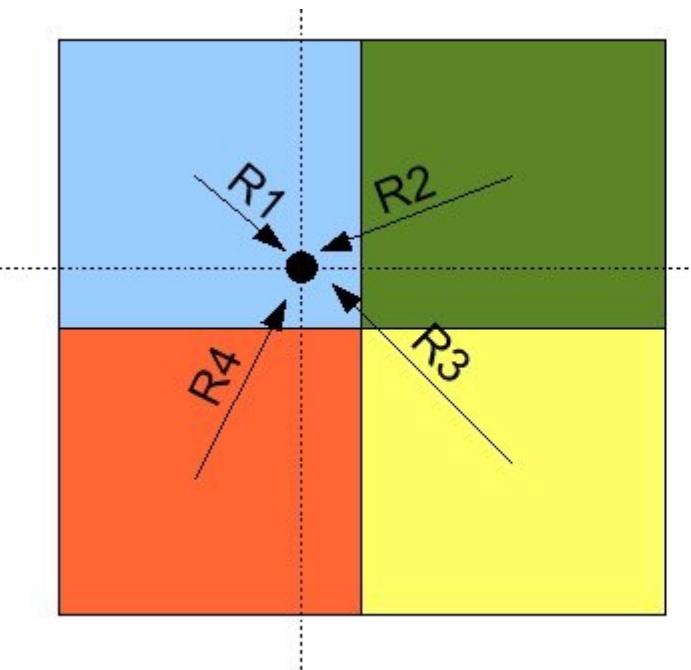
Antialiasing en texturas



Antialiasing en texturas

Magnificación

- ▶ Para eliminar el efecto de magnificación se aplica el filtrado
 - ▶ Más cercano
 - ▶ Bilineal
 - ▶ ...



Real numbered Texture coordinate (u,v).
Distance from the four neighboring texels is used to in a weighed average



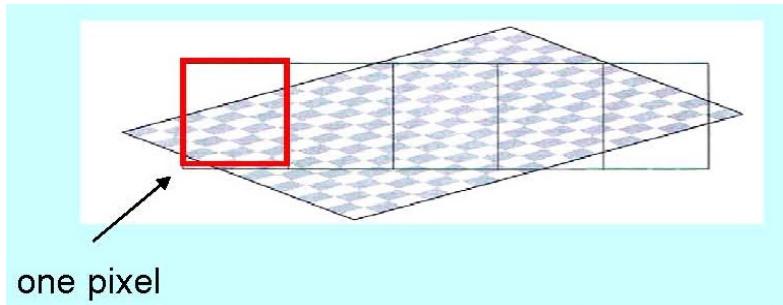
Resulting Pixel Colour

Antialiasing en texturas

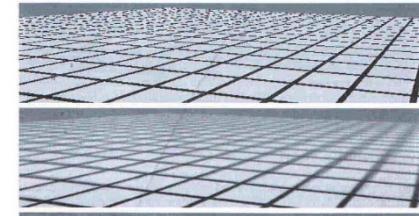
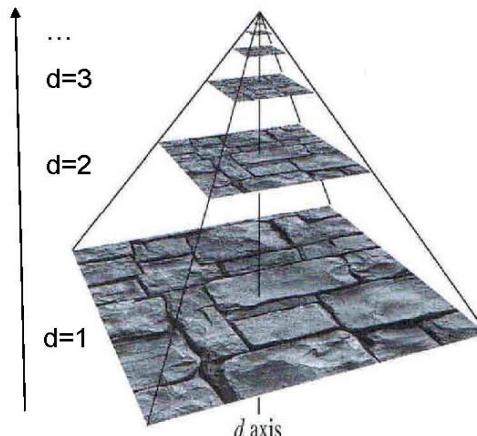
Minificación



- ▶ La minificación es más difícil de resolver: varios texeles cubren un píxel



- ▶ Una solución es el **mipmapping**: texturas con múltiples niveles de detalle



Non mipmapping

mipmapping