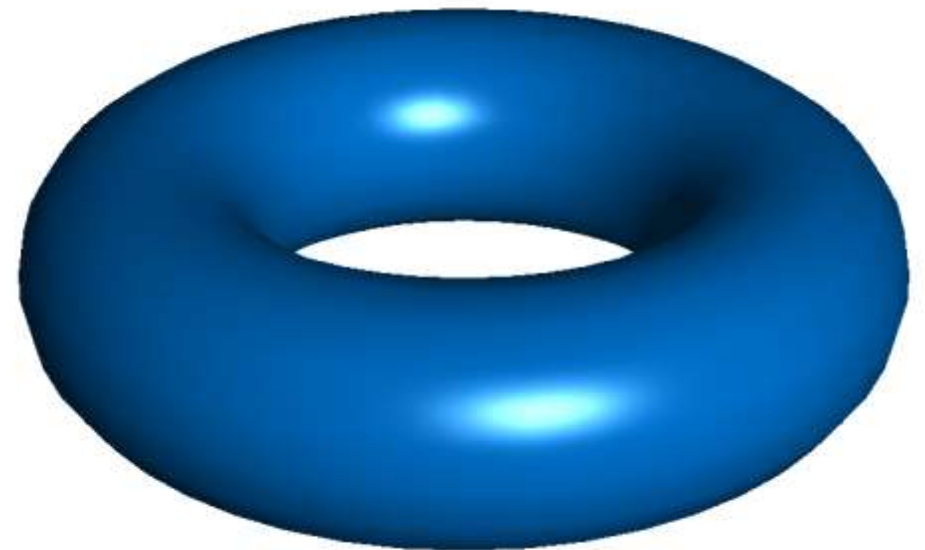
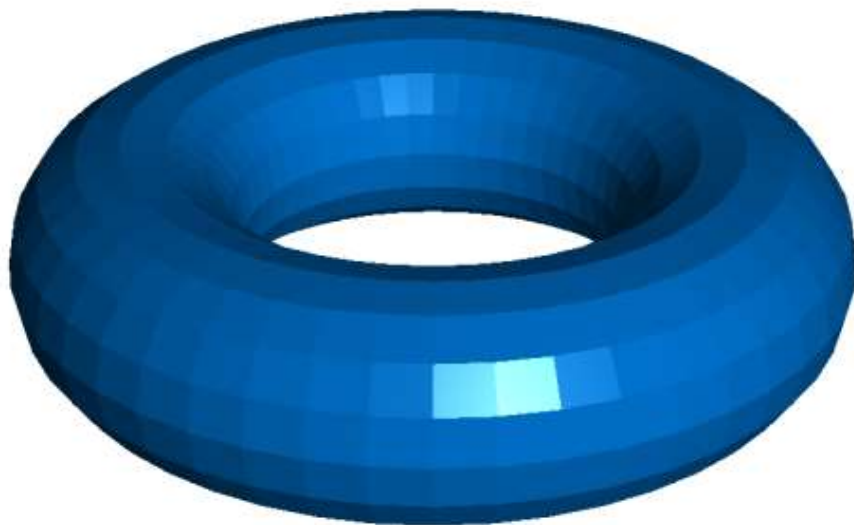
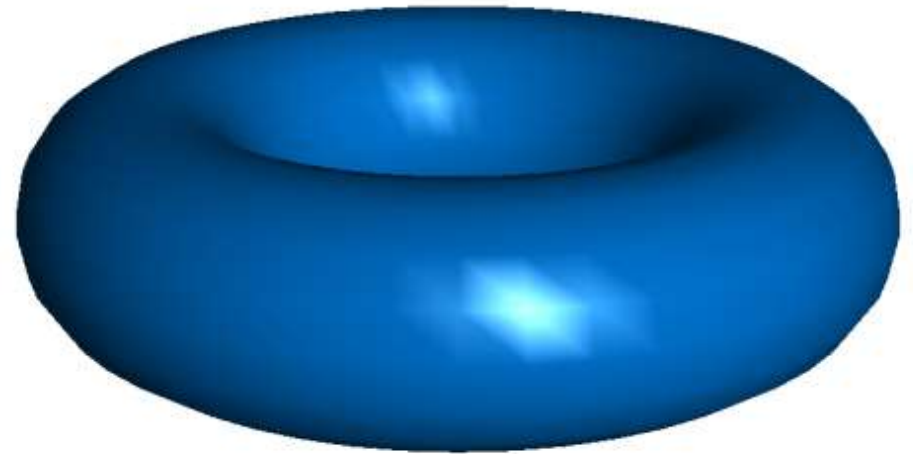
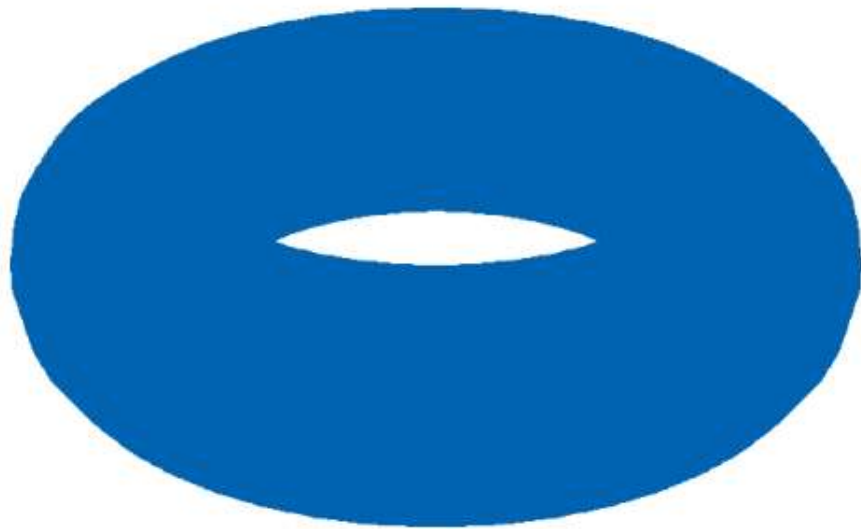
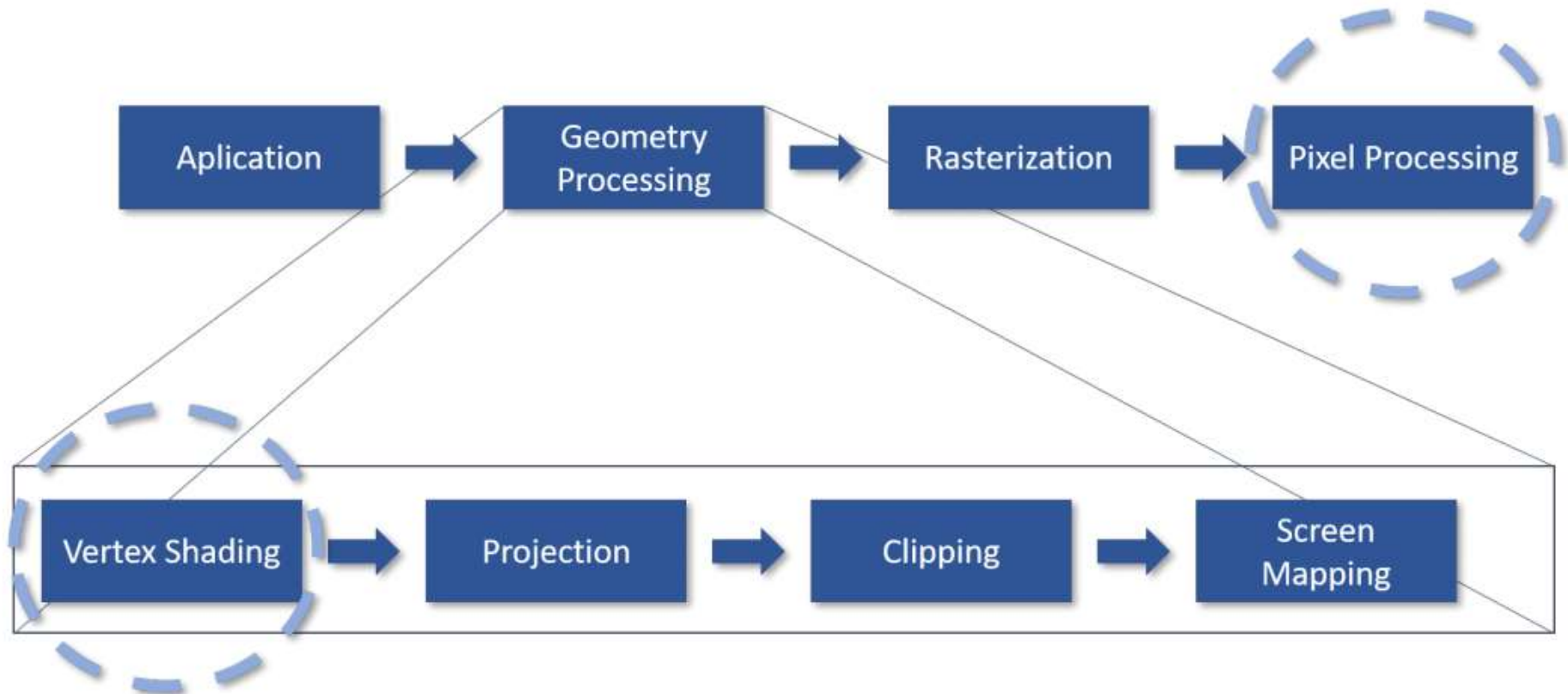


Iluminación y Sombreado

Dr. Ivan Sipiran



Graphics Rendering Pipeline





Escena renderizada con Pov-Ray, demostrando radiosidad, mapeo de fotones, blur focal, y otras capacidades fotorealistas (creado por Gilles Tran)



“Reflections”. Epic, ILMxLAB, NVIDIA



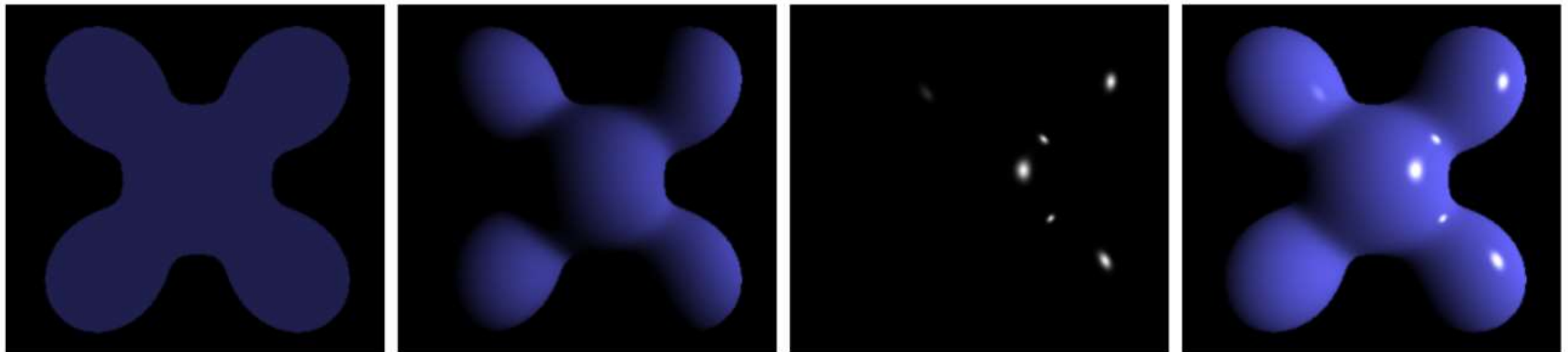
Iluminación Global

- Escenas anteriores involucran abundantes reflexiones y transparencias.
- Pintar cada modelo o parte de la escena implica un conocimiento de los objetos que se ubican a su alrededor.
- Las imágenes anteriores son sintéticas, y utilizan algoritmos de iluminación global para lograr un excelente nivel de realismo.

Iluminación Global

- Escenas anteriores involucran abundantes reflexiones y transparencias.
- Pintar cada modelo o parte de la escena implica un conocimiento de los objetos que se ubican a su alrededor.
- Las imágenes anteriores son sintéticas, y utilizan algoritmos de iluminación global para lograr un excelente nivel de realismo.
- En esta clase veremos un algoritmo de iluminación local. No consideramos elementos del entorno, sólo el elemento siendo iluminado.

En esta clase...



Ambient

+

Diffuse

+

Specular

=

Phong Reflection

Modelo de iluminación de Phong

Modelo de Iluminación de Phong

- Es un modelo de iluminación local
- No considera reflexiones
- No considera proyecciones de sombras
- Es una simple aproximación y no se basa en modelos físicos de iluminación
- Utilizado en computación gráfica por su simpleza
- Puede ser implementado en GPU para ejecución en tiempo real.

No Lighting



Unreal Engine

1

Copyright © NVIDIA Corporation 2006

Per-Vertex Lighting



2

Per-Pixel Lighting

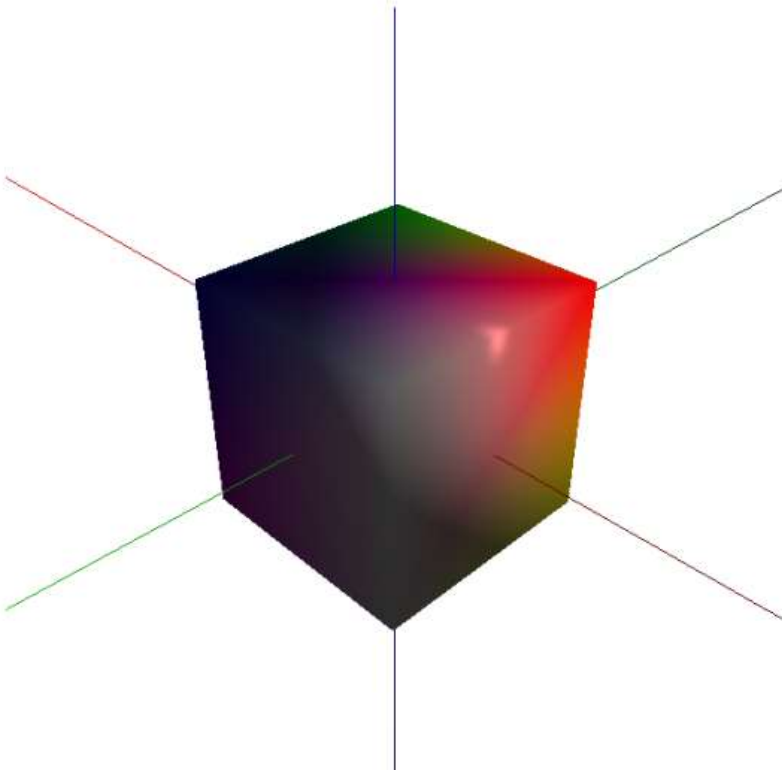


3

Unreal © Epic

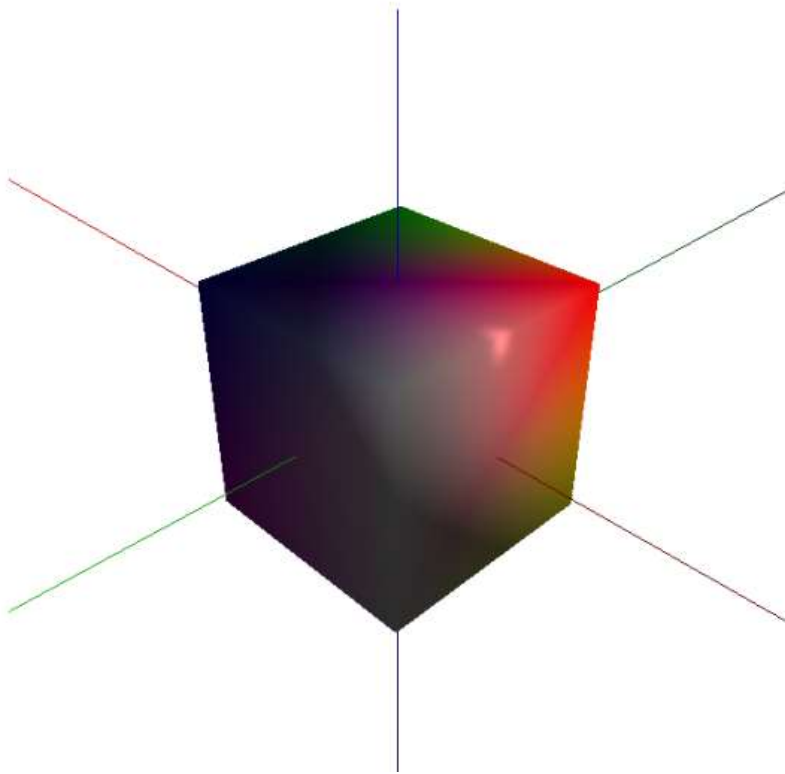
Qué necesitamos?

- Necesitamos las siguientes especificaciones:

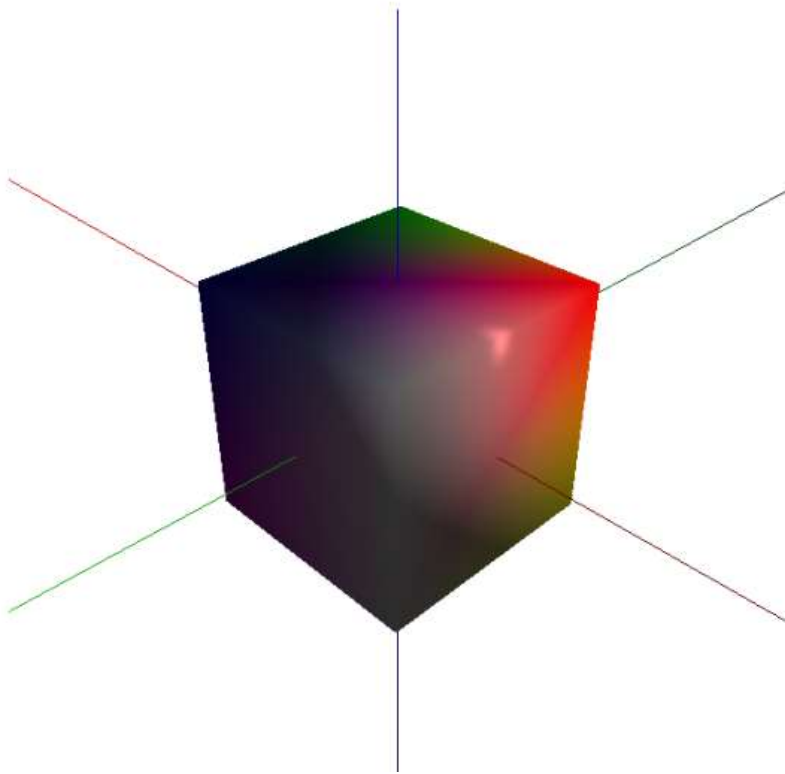


Qué necesitamos?

- Necesitamos las siguientes especificaciones:
 - Fuente de luz

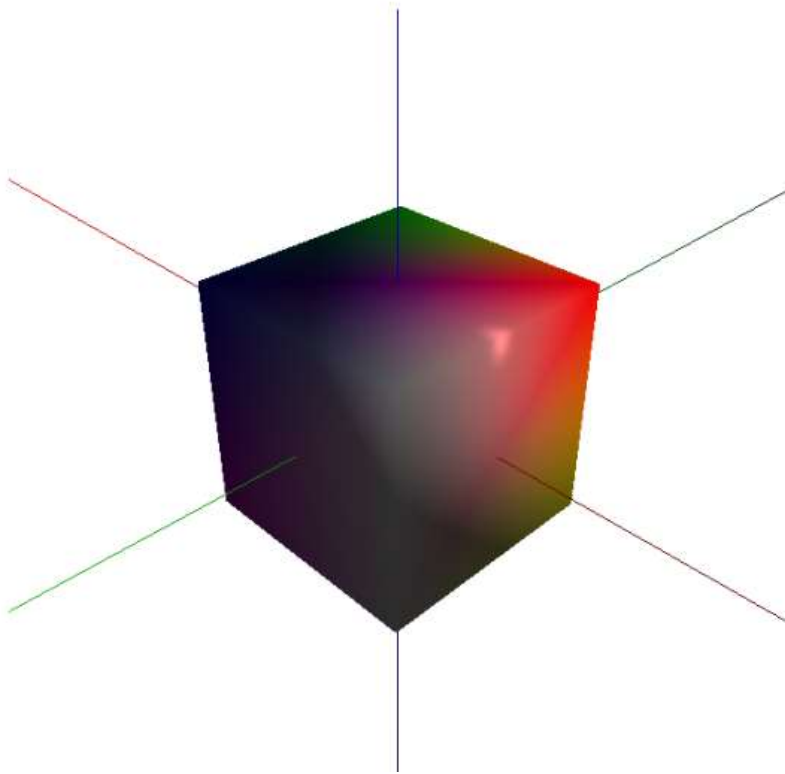


Qué necesitamos?



- Necesitamos las siguientes especificaciones:
 - Fuente de luz
 - Material / color / textura

Qué necesitamos?



- Necesitamos las siguientes especificaciones:
 - Fuente de luz
 - Material / color / textura
 - Geometría de la superficie (normales de triángulos)

Espacio RGB

- Un color $C = (C_R, C_G, C_B)$ puede ser multiplicado por un escalar s

$$sC = (sC_R, sC_G, sC_B)$$

- Dos colores C y D pueden ser sumados o multiplicados

$$C + D = (C_R + D_R, C_G + D_G, C_B + D_B)$$

$$CD = (C_R D_R, C_G D_G, C_B D_B)$$

- El producto de dos colores, o de un color por un escalar, se conoce como modulación.
- Usaremos estas propiedades para calcular un nuevo color: utilizando colores o texturas, o una mezcla de ellos y otros factores.

Fuentes de luz

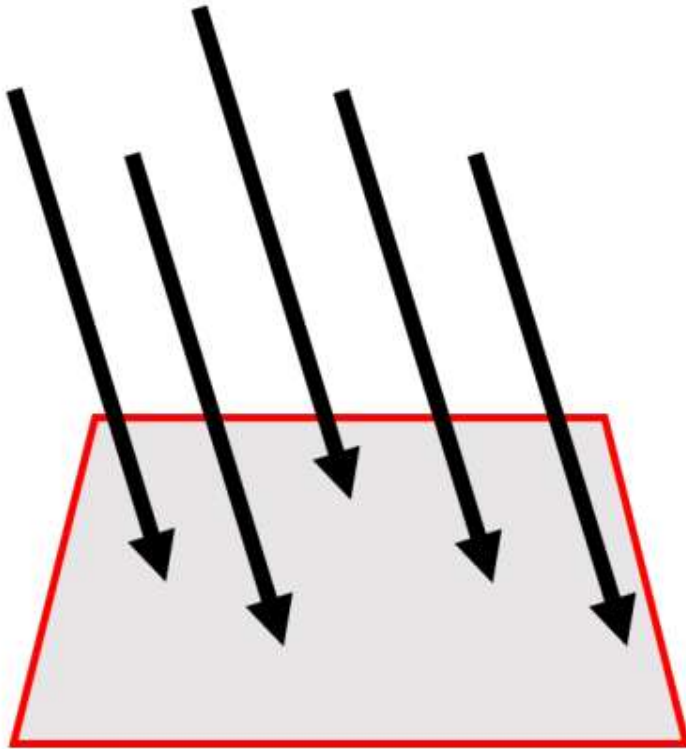
- Tipos de fuentes de luz:
 - Luz Ambiental: Fuente o dirección no identificable
 - Luz puntual: Generada por un punto
 - Luz distante: Sólo apreciamos una dirección
 - Spotlight: Desde una fuente a una dirección específica
 - Ángulo de corte define un cono de luz

Luz Ambiental



- Modela un color base del objeto en la escena
- La escena completa puede ser más o menos brillante regulando estos colores
- Evita la oscuridad absoluta
- Es independiente de las fuentes de luz
- Económica computacionalmente

Fuente de luz direccional

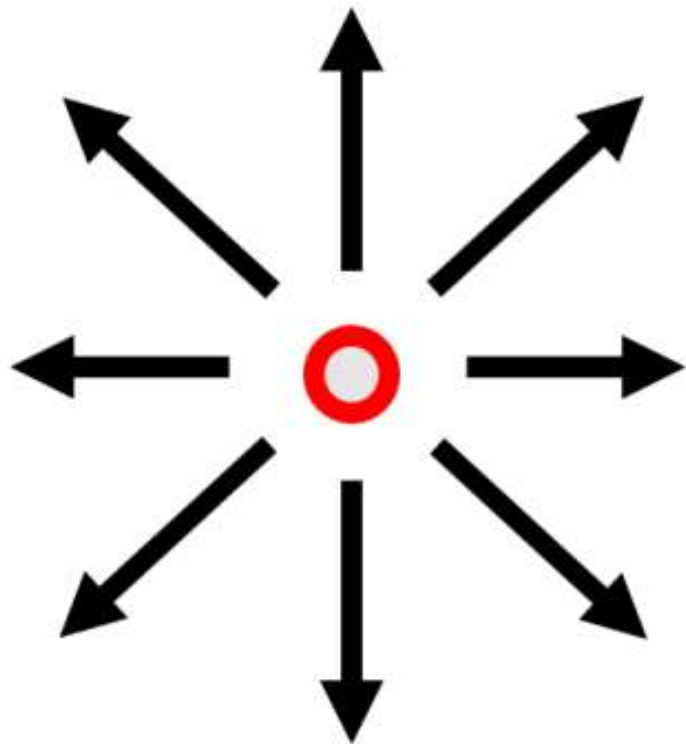


- Dirección es dada por un vector 3D
- Ejemplos de uso:
 - Sol
 - Luna

Fuentes de luz puntuales

- Luz es emitida en todas direcciones
- Generada en un punto
- Su intensidad se atenúa con la distancia

$$I \propto \frac{1}{\|p - p_0\|^2}$$



- Se suele usar un polinomio cuadrático para la atenuación, produce un mejor efecto gráfico:

$$C = \frac{1}{k_c + k_l d + k_q d^2} C_0 \quad d = \|Q - P\|$$

Fuente de luz spotlight



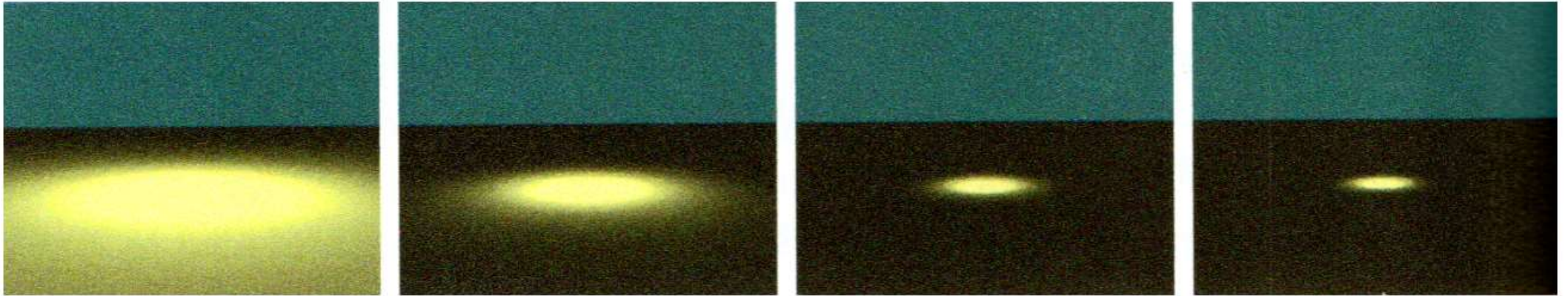
- Generada en un punto, pero en una dirección preferencial
- Si la fuente de luz se ubica en P y emite un spot en la dirección R , el color resultante C en un punto Q está dado por

$$C = \frac{\max(-R \cdot L, 0)^p}{k_c + k_l d + k_q d^2} C_0 \quad d = \|Q - P\|$$

$$L = \frac{P - Q}{\|P - Q\|}$$

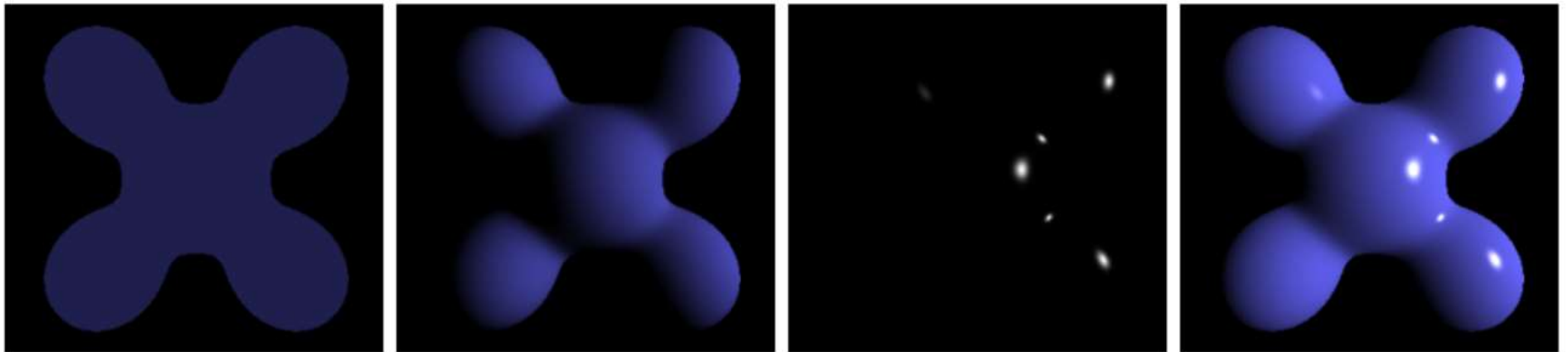
- El exponente p controla qué tan concentrada está la luz en la dirección preferencial.

Fuente de luz spotlight



De izquierda a derecha, el exponente p toma los valores 2, 10, 50, 100

Modelo de Iluminación de Phong



Ambient

+

Diffuse

+

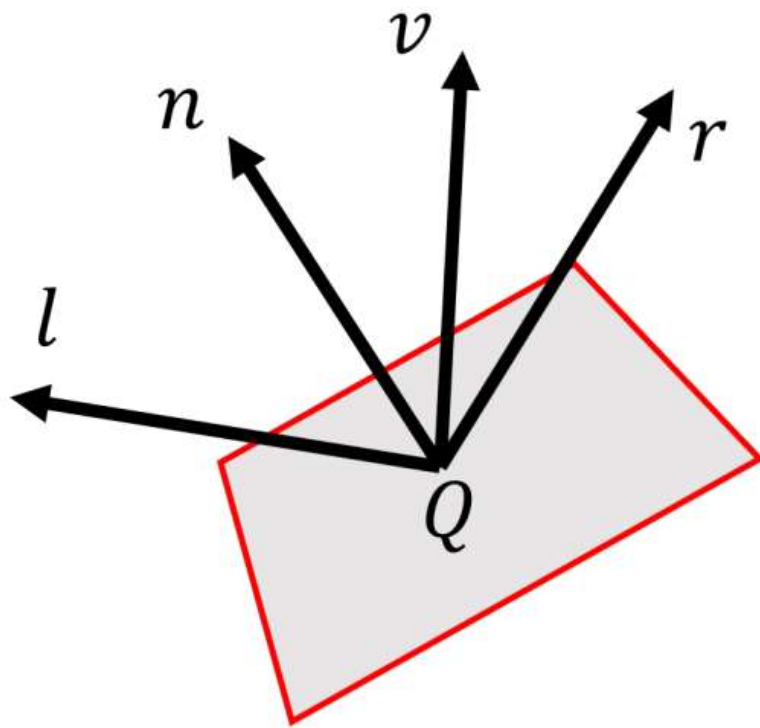
Specular

=

Phong Reflection

Modelo de iluminación de Phong

Modelo de iluminación de Phong



- Calculamos el color para un punto arbitrario en una superficie
- Entradas básicas son:
 - l : vector unitario hacia la fuente de luz
 - n : vector normal a la superficie
 - v : vector unitario hacia la cámara
- Con esas entradas, podemos calcular:
 - r : reflexión de l en el punto Q

Modelo de iluminación de Phong

- Comenzar con la luz ambiente
- Agregar contribuciones de cada fuente de luz
- Saturar el resultado en el rango $[0,1]$ (clamp)
 - Cada canal de color se calcula independientemente
 - Las contribuciones de cada fuente de luz pueden ser descompuestas en
 - Reflexión ambiental
 - Reflexión difusa
 - Reflexión especular
 - Un objeto puede comportarse de manera distinta según el tipo de componente de la luz
 - Puede tener un color específico para la reflexión ambiental, otro para la difusa y otro para la especular.
 - Estos colores pasan a constituir una descripción de material.

Reflexión Ambiental

$$I_a = \mathcal{K}_a \mathcal{L}_a$$

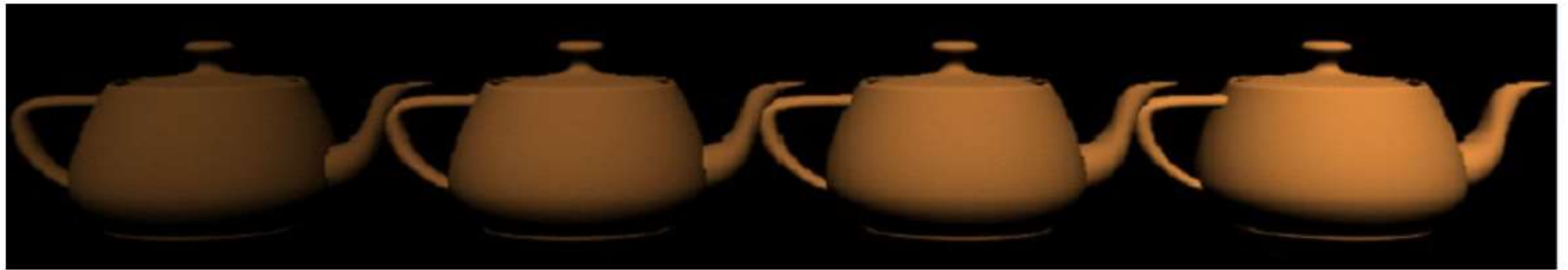
- Intensidad del color es uniforme en cada punto
- \mathcal{K}_a es el coeficiente de reflexión ambiental y cumple con $\mathcal{K}_a \geq 0$
- Puede ser distinto para cada superficie y color
- Determina qué fracción de la luz ambiental es reflejada
- \mathcal{L}_a es la componente ambiental de la fuente de luz
- \mathcal{L}_a no es una cantidad física significativa



Aumentando \mathcal{K}_a

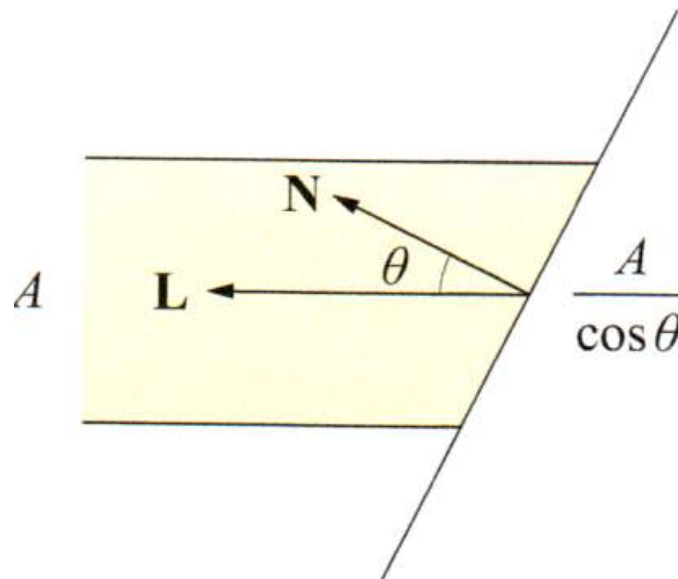
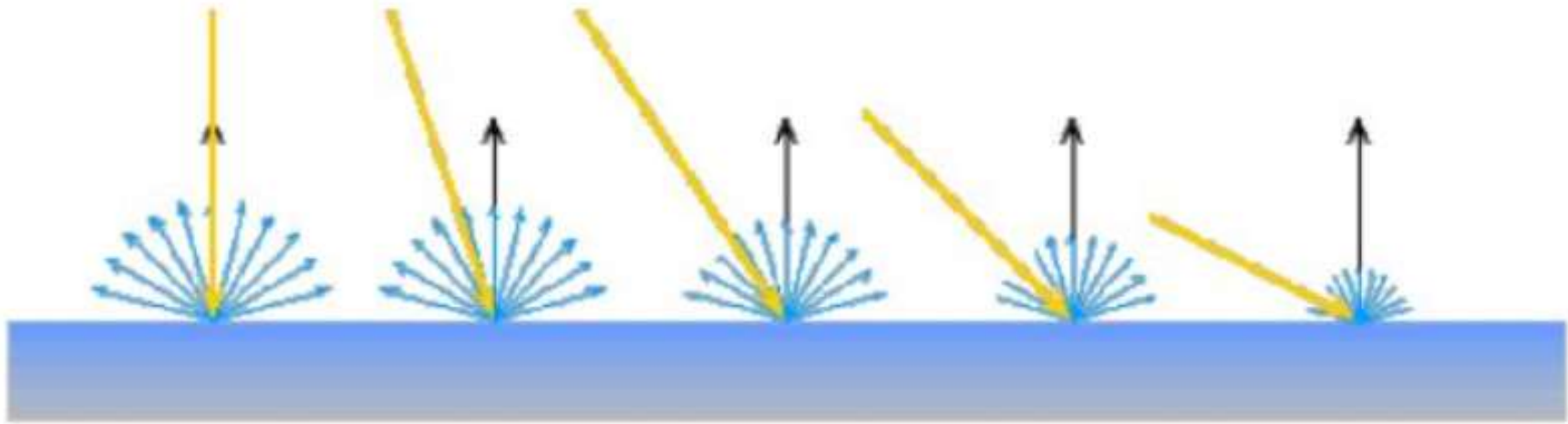
Reflexión difusa

- Un objeto reflector difuso difumina la luz
- Este tipo de superficie es llamada superficie de Lambert
- \mathcal{K}_d es el coeficiente de reflexión difusa y cumple con $\mathcal{K}_d \geq 0$
- El ángulo de incidencia es relevante



Aumentando \mathcal{K}_d

Reflexión difusa – Superficie de Lambert

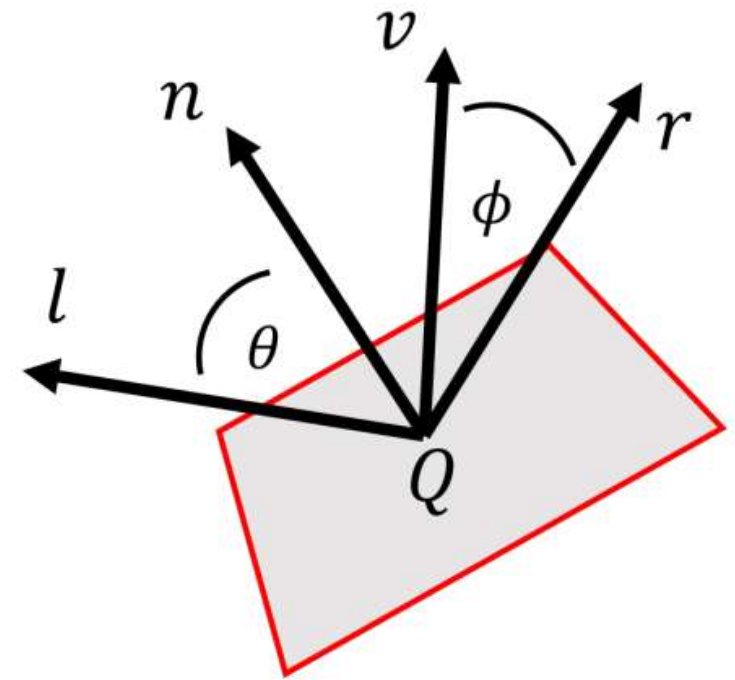


Reflexión difusa

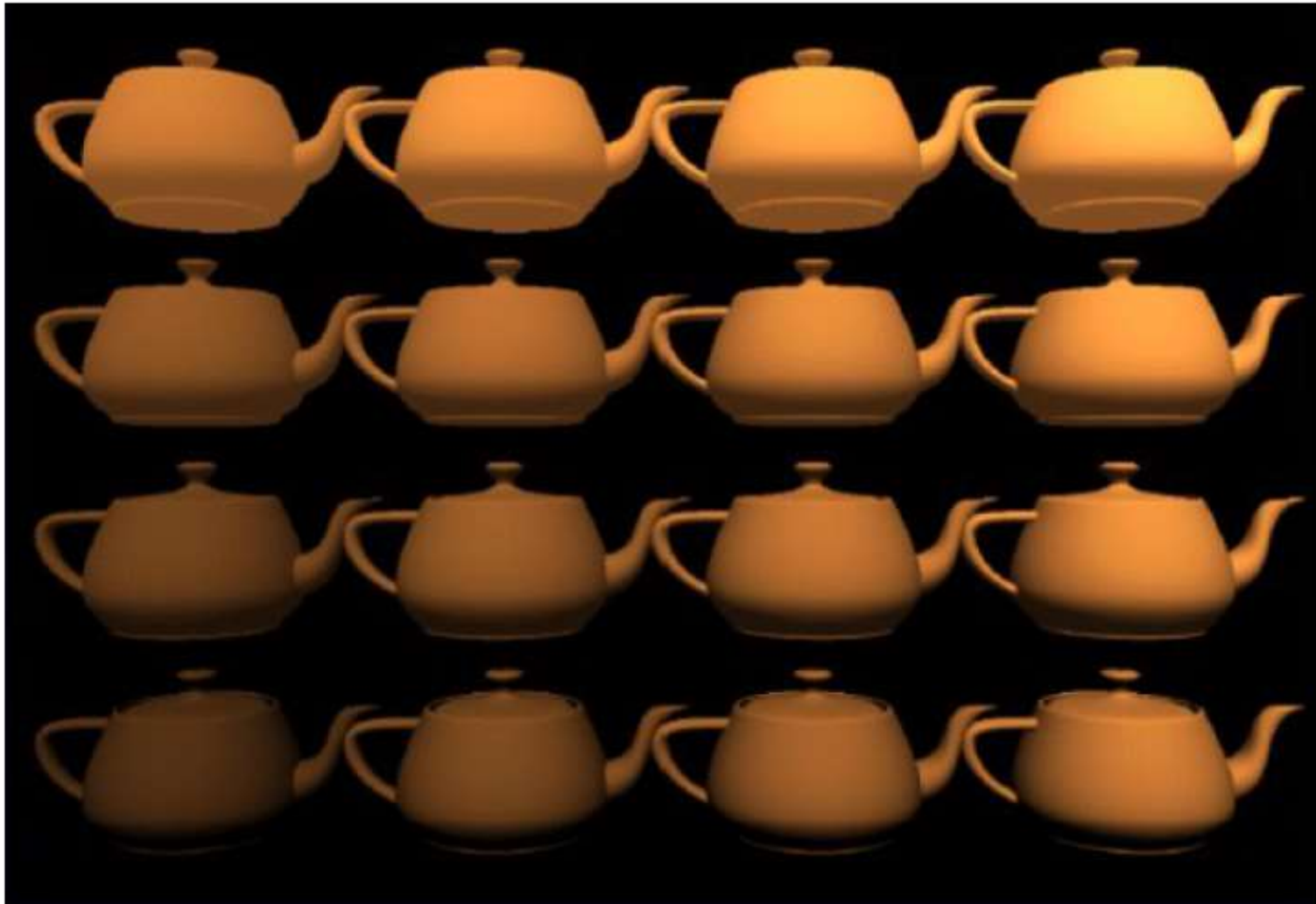
$$\mathcal{I}_d = \mathcal{K}_d \mathcal{L}_d (l \cdot n)$$

- $\cos \theta = l \cdot n$
- \mathcal{L}_d es la componente difusa de la fuente de luz
- l es el vector unitario de la fuente de luz
- n es el vector unitario normal a la superficie
- Podemos agregar atenuación con la distancia

$$\mathcal{I}_d = \frac{\mathcal{K}_d \mathcal{L}_d}{k_c + k_l d + k_q d^2} (l \cdot n) \quad d = \|Q - P\|$$



Reflexión ambiental y difusa



Hacia la derecha aumenta \mathcal{K}_d
Hacia arriba aumenta \mathcal{K}_a

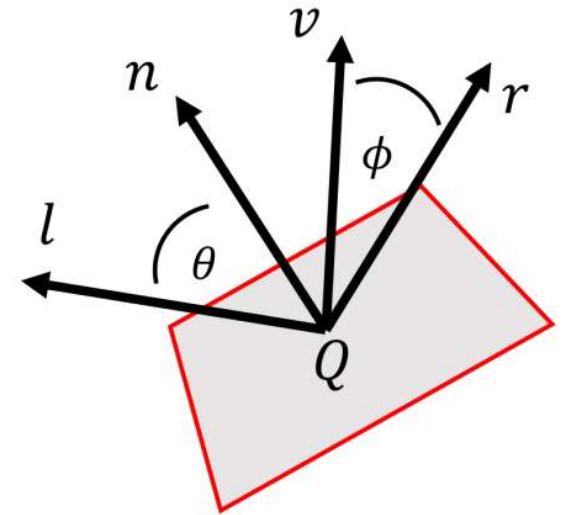
Reflexión especular

- Se refleja la luz en una dirección preferencial
- \mathcal{K}_s es el coeficiente de reflexión especular y cumple con $\mathcal{K}_s \geq 0$
- Superficies brillantes tienen un alto \mathcal{K}_s
- Notar que no estamos modelando el efecto de espejo

Reflexión especular

$$\mathcal{I}_s = \mathcal{K}_s \mathcal{L}_s (v \cdot r)^\alpha$$

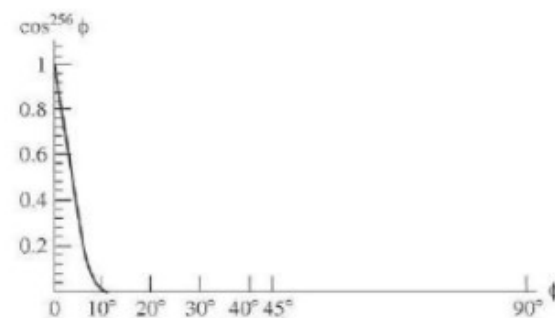
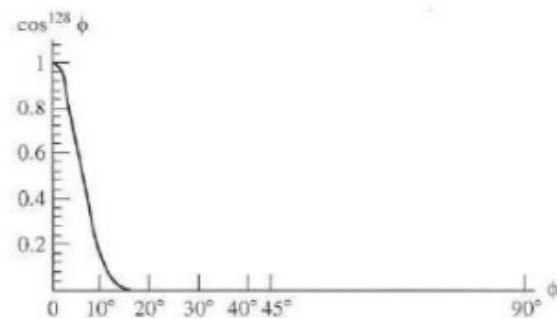
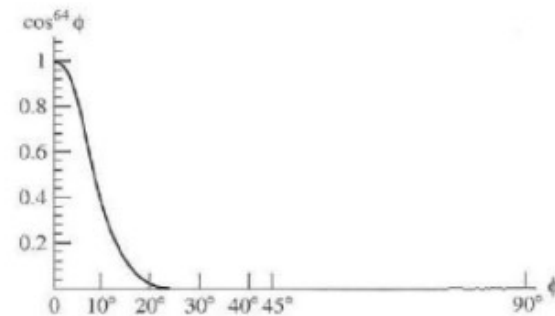
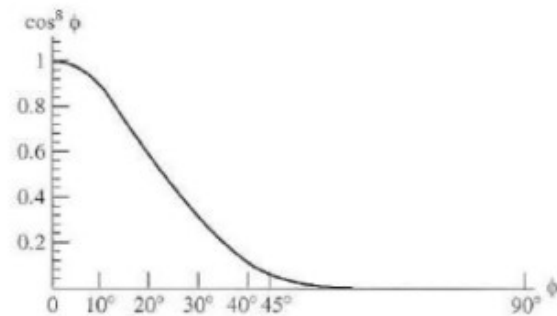
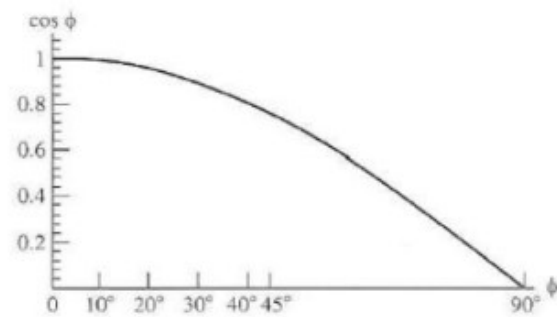
- $\cos \phi = v \cdot r$
- \mathcal{L}_s es la componente especular de la fuente de luz
- α es el coeficiente de brillo
- l es el vector unitario de la fuente de luz
- r es el vector unitario reflejado
- n es el vector unitario normal a la superficie
- Podemos agregar atenuación con la distancia



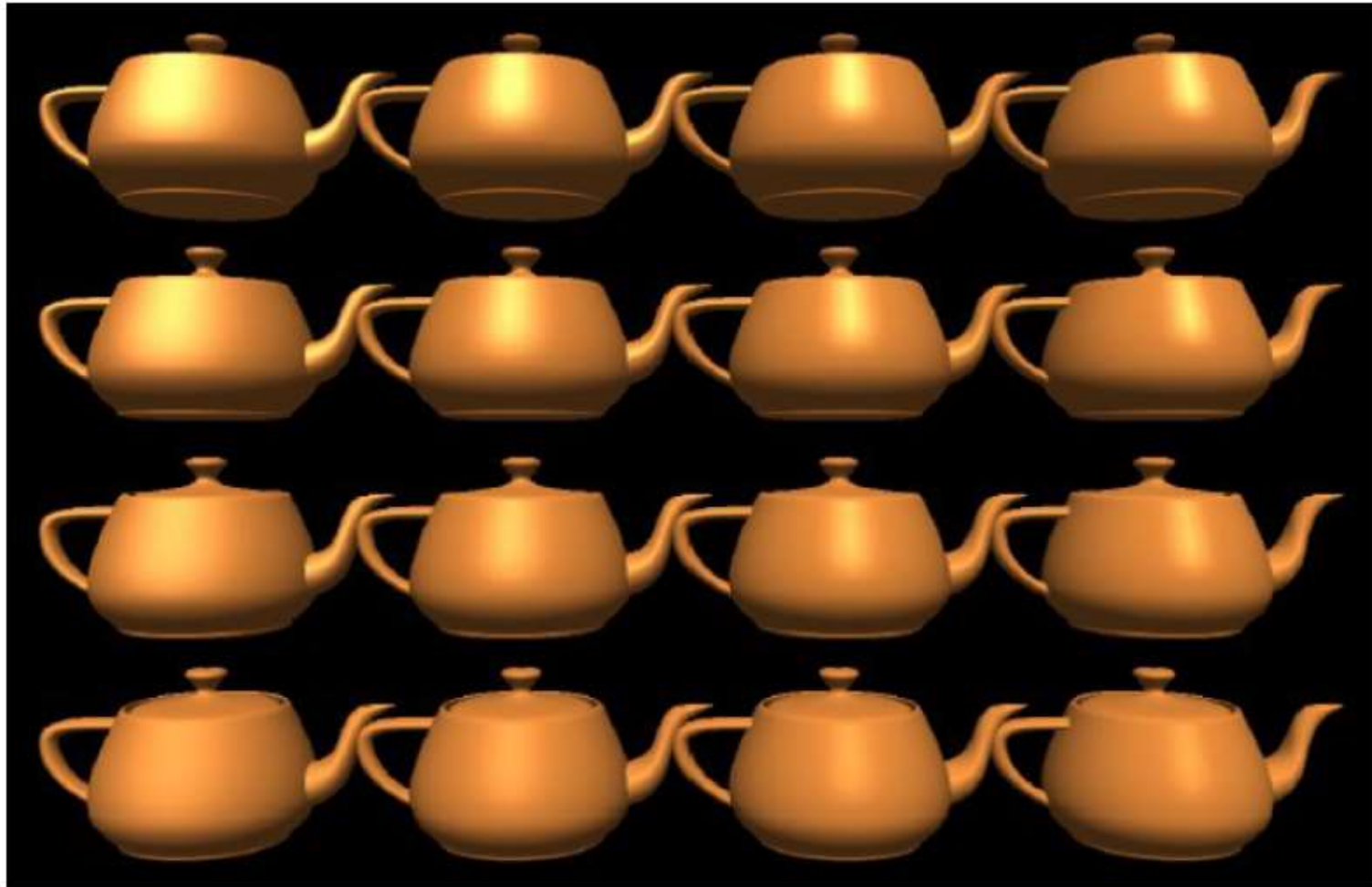
$$\mathcal{I}_s = \frac{\mathcal{K}_s \mathcal{L}_s}{k_c + k_l d + k_q d^2} (v \cdot r)^\alpha \quad d = \|Q - P\|$$

Reflexión especular

$$\mathcal{I}_s = \frac{\mathcal{K}_s \mathcal{L}_s}{k_c + k_l d + k_q d^2} (v \cdot r)^\alpha \quad d = \|Q - P\|$$



Reflexión especular



Hacia la derecha aumenta α
Hacia arriba aumenta \mathcal{K}_s

Modelo de iluminación de Phong

- $\mathcal{L}_a, \mathcal{L}_d, \mathcal{L}_s$ son los componentes de la luz
- $\mathcal{K}_a, \mathcal{K}_d, \mathcal{K}_s$ son los coeficientes de reflexión del material de cada componente
- $d = \|P - Q\|$ es la distancia del punto Q hasta la fuente de luz P
- k_c, k_l, k_q son los coeficientes de atenuación constante, lineal y cuadrático respectivamente.
- α es el coeficiente de brillo

$$\mathcal{I} = \mathcal{K}_a \mathcal{L}_a + \frac{1}{k_c + k_l d + k_q d^2} (\mathcal{K}_d \mathcal{L}_d (l \cdot n) + \mathcal{K}_s \mathcal{L}_s (v \cdot r)^\alpha)$$

$$d = \|Q - P\|$$

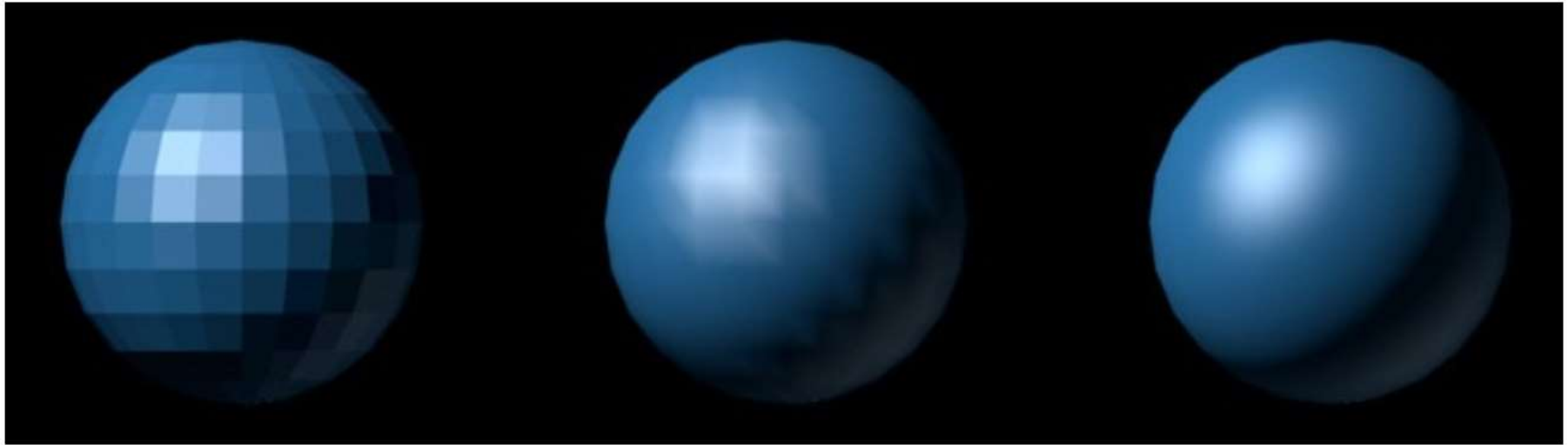
Importante

- $\mathcal{L}_a, \mathcal{L}_d, \mathcal{L}_s, \mathcal{K}_a, \mathcal{K}_d$ y \mathcal{K}_s se aplican para cada independientemente para R, G y B
- Luego, $\mathcal{L}_a, \mathcal{L}_d, \mathcal{L}_s, \mathcal{K}_a, \mathcal{K}_d$ y \mathcal{K}_s son representadas compactamente como colores

Modelos de Sombreado

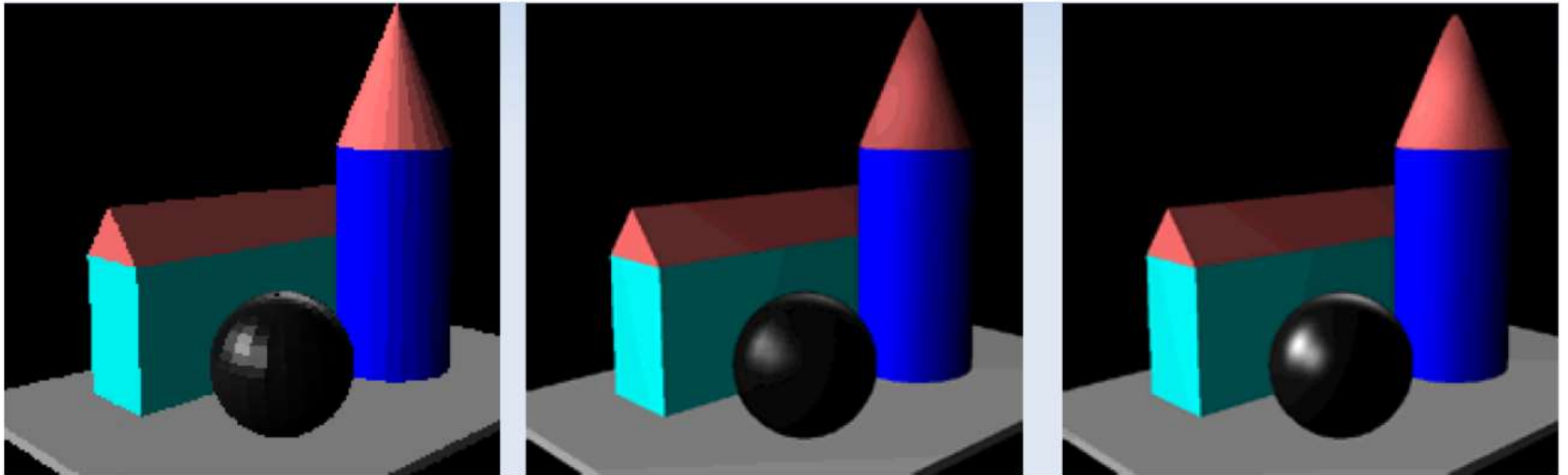
- El modelo de iluminación de Phong nos indica cómo calcular el color final para un punto arbitrario en la superficie
- Si embargo, nuestros modelos son discretizados, por lo que conocemos solo algunas de las posiciones de cada trozo de superficie.
- Tenemos distintas estrategias:
 - Flat: Asigna un único color a cada cara poligonal
 - Gouraud: Calcula el color para los vértices que definen cada cara poligonal
 - Phong: Calcula el color para cada pixel contenido en la cara poligonal.

Modelos de Sombreado



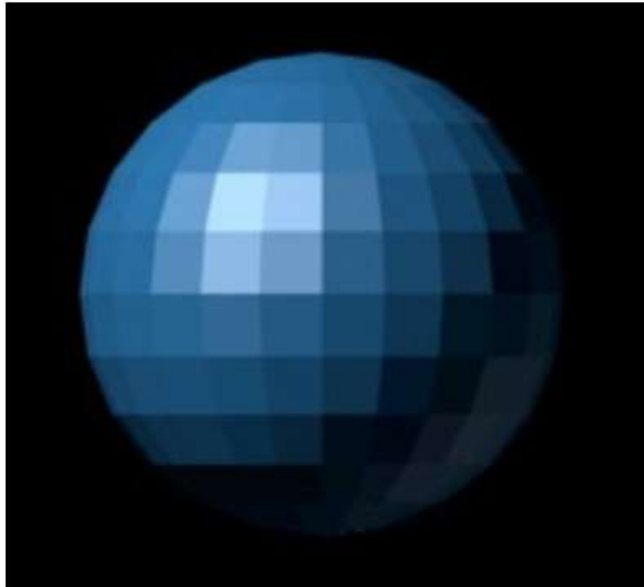
Sombreado Flat, Gouraud y Phong

Modelos de Sombreado



Sombreado Flat, Gouraud y Phong

Sombreado Plano



- Cada vértice del triángulo puede tener distinto color
- Simplemente escogemos uno, y con ese pintamos el triángulo completo.
- Con muchos triángulos, o caras poligonales en general, podemos apreciar degradaciones generadas por las fuentes de luz
- Es el método más económico

Sombreado de Gouraud



- Como cada vértice del triángulo puede tener distinto color, colores en el interior del triángulo pueden ser simplemente interpolados
- Se produce un mejor efecto en superficies suaves
- Podemos aproximar la normal en cada vértice como el promedio normalizado de las normales de las caras vecinas
- Se requiere conocimiento sobre qué caras comparten determinado vértice
 - Más adelante veremos estructuras de datos para mallas poligonales

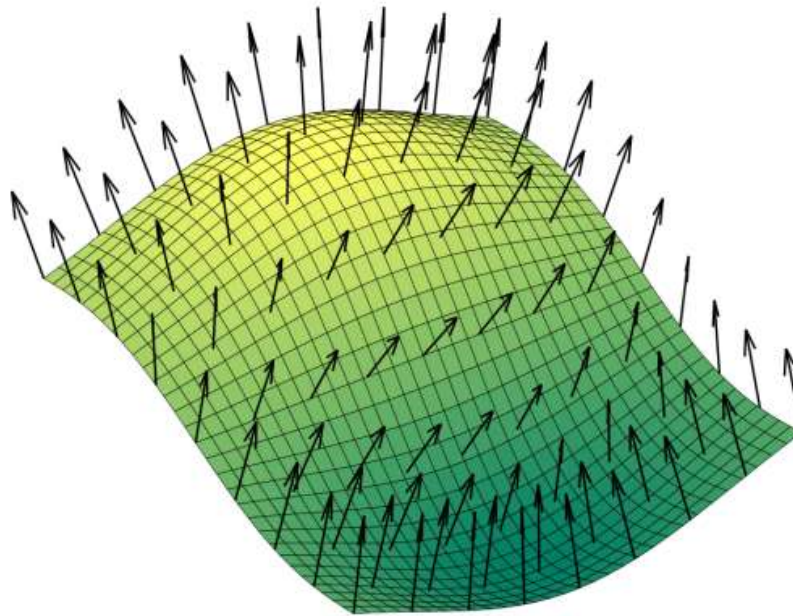
Sombreado de Phong



- A diferencia del método de Gouraud, aquí interpolaremos la normal al interior de cada triángulo, y con ella calcularemos el color asociado a cada píxel.
- Se produce un excelente efecto en superficies suaves
- Significativamente más costoso

Vectores Normales

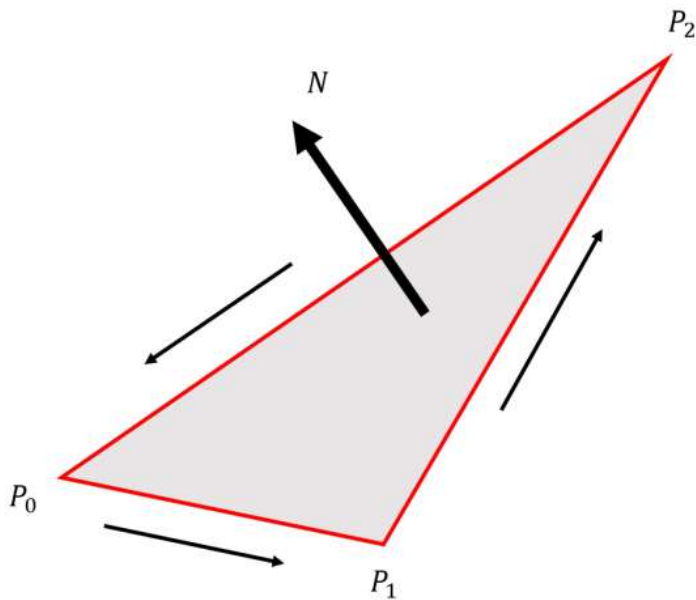
- El vector normal a una cara nos entrega información de su orientación en el espacio
- Cuando se transforma el modelo, se deben convertir vértices y normales



By Nicoguardo - Own work, CC BY 4.0

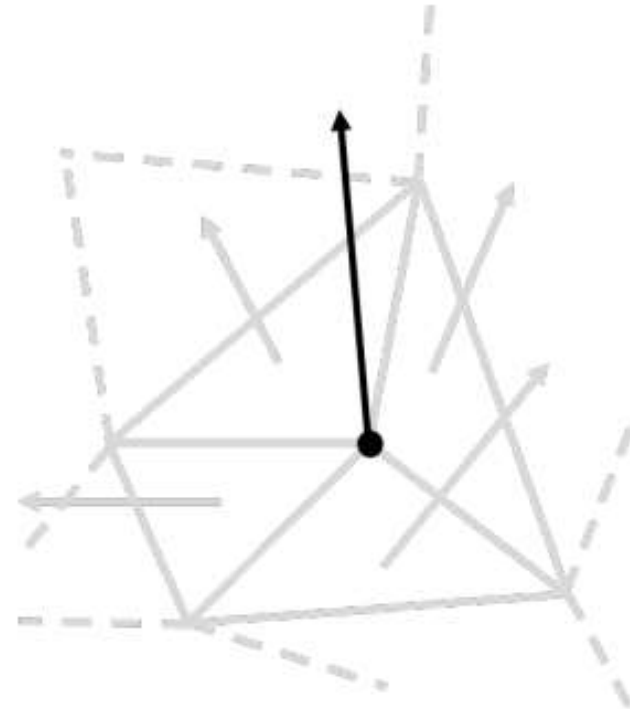
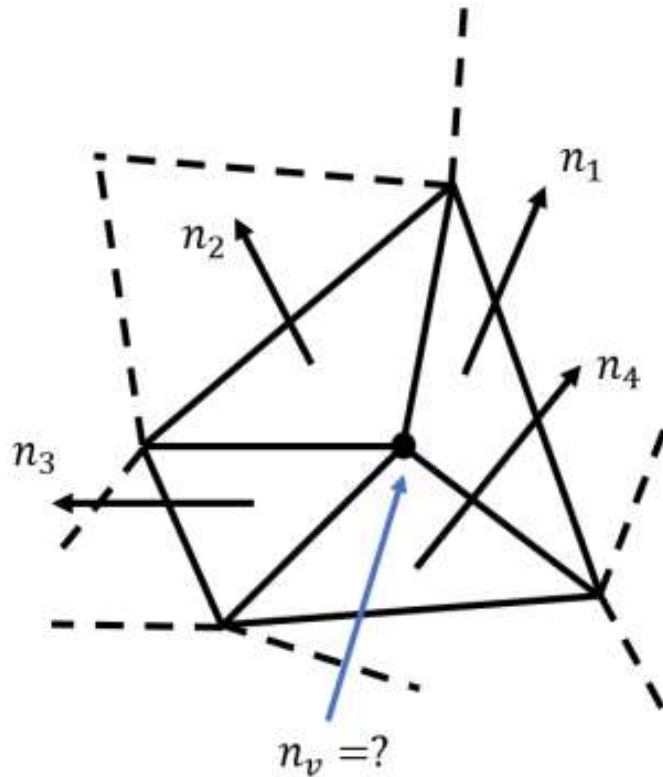
Normal de un triángulo

- Dado un triángulo cuyos vértices están ordenados en sentido contrario a las manecillas del reloj (counter-clockwise), podemos calcular la normal hacia afuera con la ecuación



$$N = \frac{(P_1 - P_0) \times (P_2 - P_0)}{\|(P_1 - P_0) \times (P_2 - P_0)\|}$$

Normal en un vértice

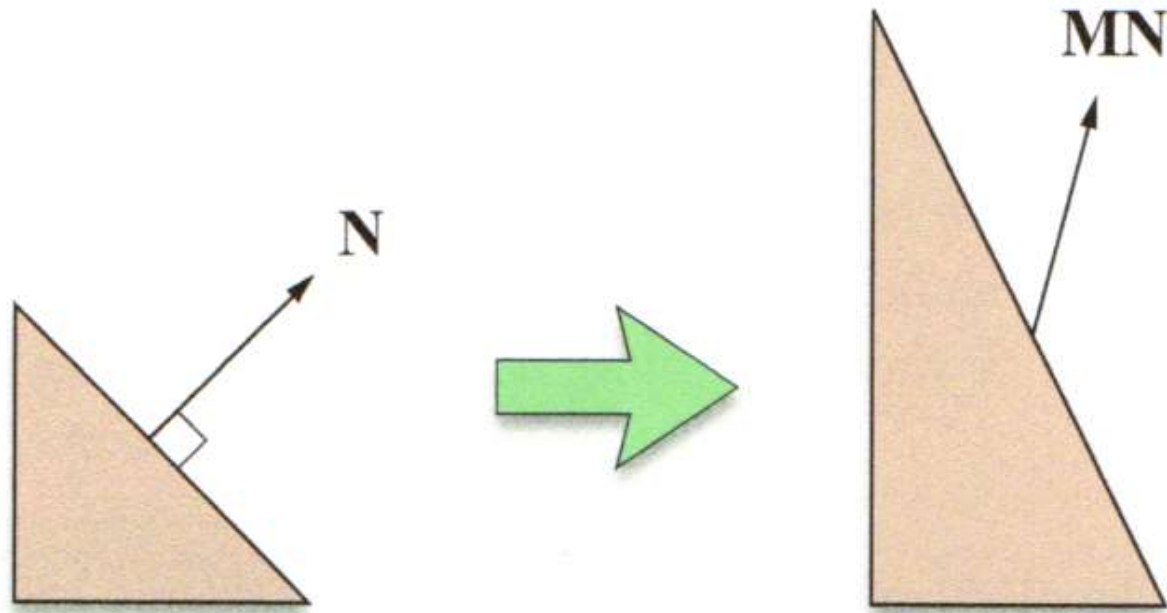


Aproximación de Gouraud: la normal de un vértice se aproxima como el promedio normalizado de las normales de las caras vecinas

$$n_v = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + \dots}{\|n_1 + n_2 + n_3 + \dots\|}$$

Problema: transformando vectores normales

- Si la transformación no es ortogonal, la dirección de las normales se verá afectada, perdiendo su ortogonalidad



Problema: transformando vectores normales

- Se requiere que los vectores tangente T y normal N sean perpendiculares luego de la transformación M
- Queremos encontrar una transformación G que conserve la ortogonalidad

$$N' \cdot T' = (GN) \cdot (MT) = 0$$

- Luego:

$$(GN) \cdot (MT) = (GN)^T (MT) = N^T G^T MT$$

- Como $N^T T = 0$, la ecuación se satisface cuando $G^T M = I$
- Por lo tanto: $G = (M^{-1})^T$

Advertencia: Phong en Shaders

- La interpolación de normales requiere la inversión de la matriz de transformación de modelo resultante
- Inversión de matrices en shaders es soportada solo desde OpenGL 3.3
- Existen casos, donde la inversión puede ser sencilla (rotaciones)
- Una solución alternativa es enviar al shader tanto la matriz de transformación del modelo, como su inversa. De esta forma, se podría tener sombreado de Phong en GLSL 1.3 o anteriores.