



Rendering

Modelos de Iluminación
Rendering de Modelos
Poligonales
Métodos de Tonalización

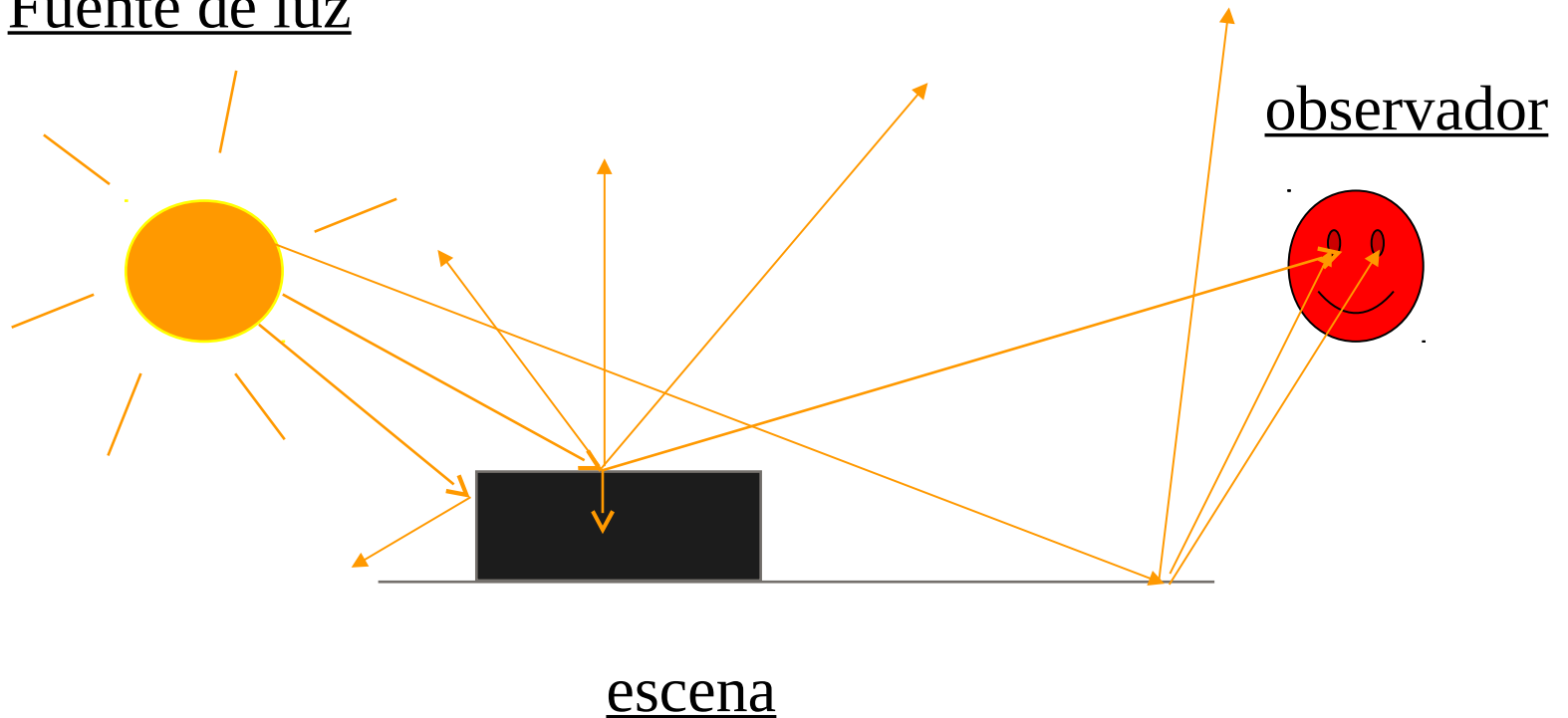


Rendering

- Generación de la imagen (matriz de pixels) a partir de una descripción de la escena
Datos gráficos \Rightarrow Imagem
- Escena:
 - Modelo geométrico (geometria de los objetos)
 - Propiedades visuales de las superficies
 - Condiciones de iluminación ambiente
 - Punto de observación

Proceso Físico de Generación de una Imagen

Fuente de luz





Sintesis de Imagens 3D

- Intenta “simular” (muchas veces, de forma bastante grosera) el proceso físico.
- Modelo de iluminación (*illumination model, lighting model, shading model*)
 - usado para “calcular” la intensidad (y el color) de la luz que el observador debe “ver” en un cierto punto de la superficie del objeto.
 - Modelos básicos x *physically-based models*.



Fotorealismo en CG

- Representaciones geométricas precisas de los diferentes tipos de objetos
- buena simulación de los efectos de la iluminación presentes en la escena



Surface x Volume

- *Surface Rendering*: escena es renderizada considerando la interacción de la luz con las superficies de los objetos de la escena
 - para la mayoría de los objetos manufacturados y para muchos objetos “naturales”.
- *Volume Rendering*: el *rendering* considera la interacción de los rayos de luz con las superficies y con los interiores de los objetos
 - agua, nieve, nubes, fuego, ...



Wireframe x shaded

- Visiones hilos de alambre: dibuja las fronteras de las superficies de los objetos
 - (no precisa de un modelo de iluminación! \Rightarrow rápidas, mas ambíguas y no “realísticas”).
 - pueden exigir un proceso de remoción de líneas “ocultas”.
- Visiones tonalizadas (“*shaded*”): superficies rellenas con color, apariencia (pulida, rugosa, áspera, lisa, ...) \Rightarrow + realismo.



Fontes de Luz

- vemos un objeto opaco no-luminoso debido a la luz reflejada por su superficie.
- El total de luz reflejada es resultado de las contribuciones de la luz que llega al objeto
 - Provenientes por las fontes de luz presentes en la escena
 - reflejada por otros objetos en la escena
- fuente de luz: termino usado para denotar un emisor de energia radiante (lampara, sol)



Modelos de Iluminación

- Intentan simular como la luz es reflejada por los objetos, produciendo lo que percibimos como color
 - La luz que sale de un emisor es reflejada por las múltiples superficies de los objetos, eventualmente llegando al ojo del observador
 - modelos locales (1a. orden): operan como si la iluminación de una superficie fuese independiente de las otras superficies en la escena
 - modelos globales: incluyen la contribución de la luz reflejada por otras superficies de la escena



Modelos de Iluminación

- clásico: *Phong* (patrón, simple, rápido, totalmente empírico)
- modelos físicos: para producir resultados mas realistas usan la teoría que describe el fenómeno físico de la propagación de energía luminosa y su interacción con la superficie de los objetos.
 - teoría clásica de las ondas eletromagnéticas (para superficies lisas)
 - modelos de reflexión por superficies rugosas.

Modelo de Iluminación: Ejemplo





Proceso de *Rendering*

- Un modelo de iluminación es integrado a un método de *rendering*: diferentes métodos pueden ser usados para implementar el proceso.
- Envuelve diversos factores:
 - como la escena está modelada (modelo geométrico), el grado de foto-realismo deseado, el *hardware* disponible.
 - abordage clásico: *scanline*, *ray tracing*, radiosidad.



Métodos de *Rendering*: Classificación

- operan en el **orden de la imagen** (genera la imagen pixel a pixel), o en el **orden de los objetos** (renderiza cada objeto en la escena)
- usan **modelos de iluminación locales** (consideran apenas la contribución directa de la fuente de luz), o **modelos globales** (que incorporan la contribución debida a la interacción entre los objetos: reflexiones múltiples, transparencia, sombras, ...)



Algoritmos Clásicos

- *scanline*: “patrón” en sistemas gráficos
 - opera sobre objetos poligonales
 - usa modelos de iluminación locales simples, efectos adicionales pueden ser incorporados por varias técnicas *ad hoc*, como sombreado y textura.
 - opera en el orden de la imagen: rasteriza la escena proyectada siguiendo el orden de las líneas de barradura.
 - asociado a un proceso de remoción de superficies ocultas



Algoritmos Clásicos

Ray tracing: “clásico” para generar imágenes de escenas con objetos especulares

- opera sobre diferentes geometrias
- orden de la imagen
- usa un modelo de iluminación global, integrando efectos de sombra, reflexiones especulares entre objetos, transparencia
- integra naturalmente el proceso de remoción de superficies ocultas
- alto costo computacional



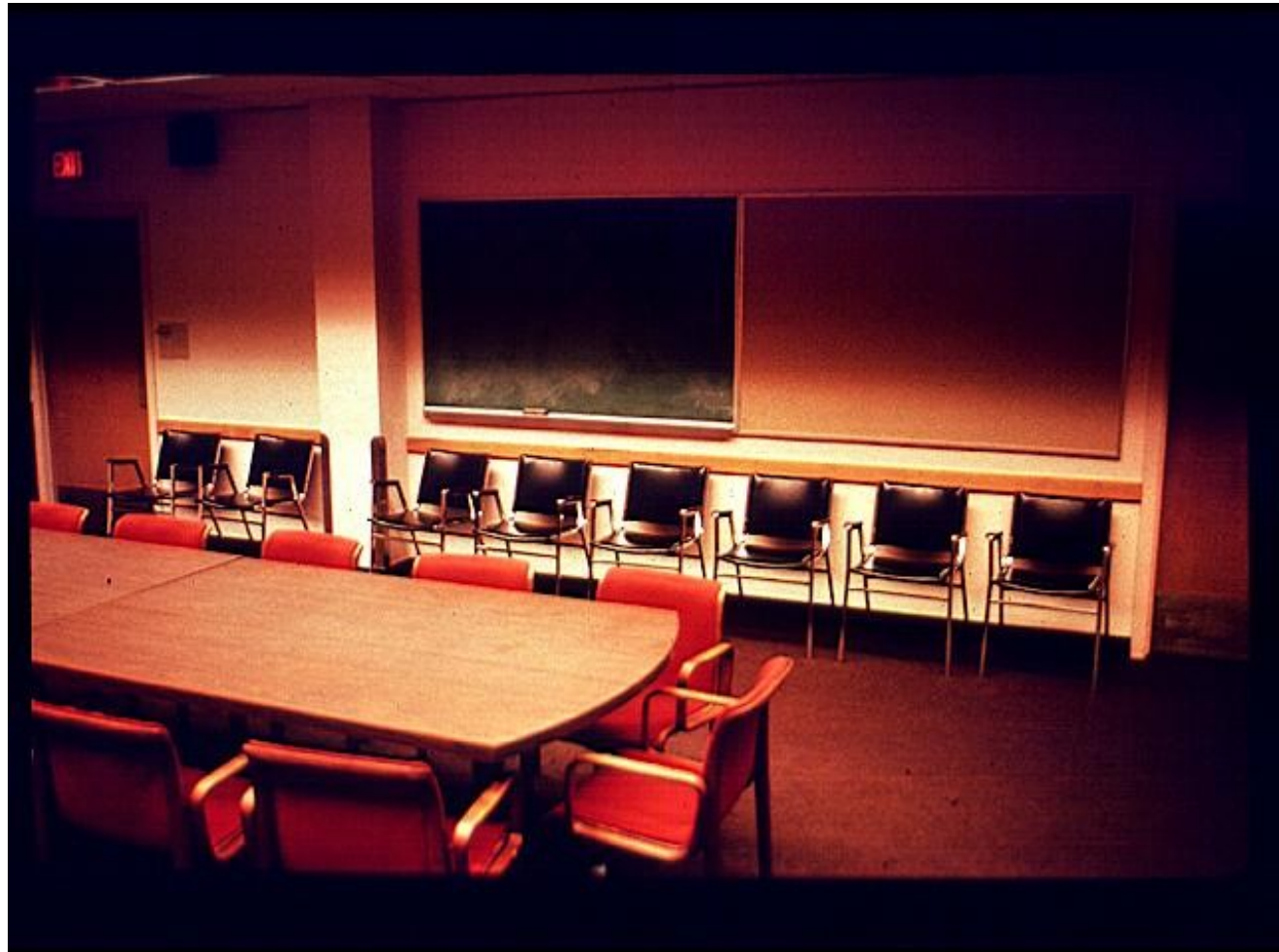
Algoritmos Clásicos

- Radiosidad:
 - modelo global
 - adecuado para modelar la reflexión de luz difusa resultando de la interacción de la luz entre los diferentes objetos en una escena
 - intenta simular el proceso de transferencia de energía radiante entre las superficies de los objetos
 - alto costo computacional
 - fotorealismo

Radiosidad: Ejemplo



Radiosidad: Ejemplo



Radiosidad: Ejemplo





Fuentes de Luz

- Un objeto luminoso puede ser un emisor y también un reflector de luz.
- En general, consideramos las fuentes apenas como emisoras.
- Fuentes de luz son, en general, especificadas en terminos de su geometria (formato físico de la fuente), intensidad de la luz emitida, y distribución espectral.



Fuentes de Luz: Geometria

- Puntuales
 - emite luz uniformemente en todas las direcciones. Aproximación por fuentes de dimensiones pequeñas en relación a los objetos en la escena (sol, lampara incandescente); modelo (idealizado) simple.
- Direccionales: fuente puntual, pero que emite rayos en una única dirección. Aproximación para un *spot*.
- Distribuídas: la fuente tiene área y una geometria própia (lamparas fluorescentes)



Fuentes de Luz: Intensidad y Distribución Espectral

- intensidad: función que describe la intensidad luminosa de la luz emitida, a cada punto de la superficie emisor (en el caso de fuentes distribuídas)
- distribución espectral: energía luminosa emitida descrita en terminos de la contribución en cada longitud de onda del espectro visible (define el “color” de la luz)



Color

Energia luminosa, u onda electromagnetica

- banda visible del espectro eletromagnético: cada frecuencia (o cada longitud de onda) del espectro visible corresponde a un color
- Rojo: 4.3×10^{14} Hz
- Violeta: 7.5×10^{14} Hz
- Longitudes de onda entre 700nm (Rojo) y 400nm (violeta) corresponden a la luz visible



Modelo de Iluminación de Phong

- Interacción luz incidente/superficie:
 - Reflexión, absorción (calor), refracción.
 - El proceso real es extremadamente complejo: el modelo de Phong es una aproximación extremadamente simplificada del fenómeno real (modelo empírico).
 - Considera, inicialmente, apenas la reflexión.
- Reflexión
 - Cantidad de luz reflejada depende del material
 - materiales lustrosos/brillantes/lisos reflejen mas luz, superficies opacas/rugosas absorben mas luz; materiales transparentes refractan (transmiten) parte de la luz.



Modelo de Iluminación de Phong

- Reflexión difusa: luz incidente reflejada igualmente en todas las direcciones.
 - determina el color del objeto, predominante en las superficies opacas
- Reflexión especular: la reflexión es mas intensa en una dirección (dada por el angulo de reflexión especular)
 - *highlights*: regiones de brillo intenso, predominante superficies muy lisas/lustrosas (“espejos”)
- la mayoría de las superficies exhibe los dos tipos de reflexión



Modelo de Iluminación de Phong

- El modelo considera el comportamiento de una superficie idealmente difusa
- despues incluye el de una superfície idealmente especular
- e incluye el componente de iluminación ambiente
 - para “aproximar” la contribución de los objetos no emisores para la iluminación de la escena
 - usa un termino de iluminación constante, que conigue de la misma forma (o casi) todos los objetos

Modelo de Iluminação de Phong

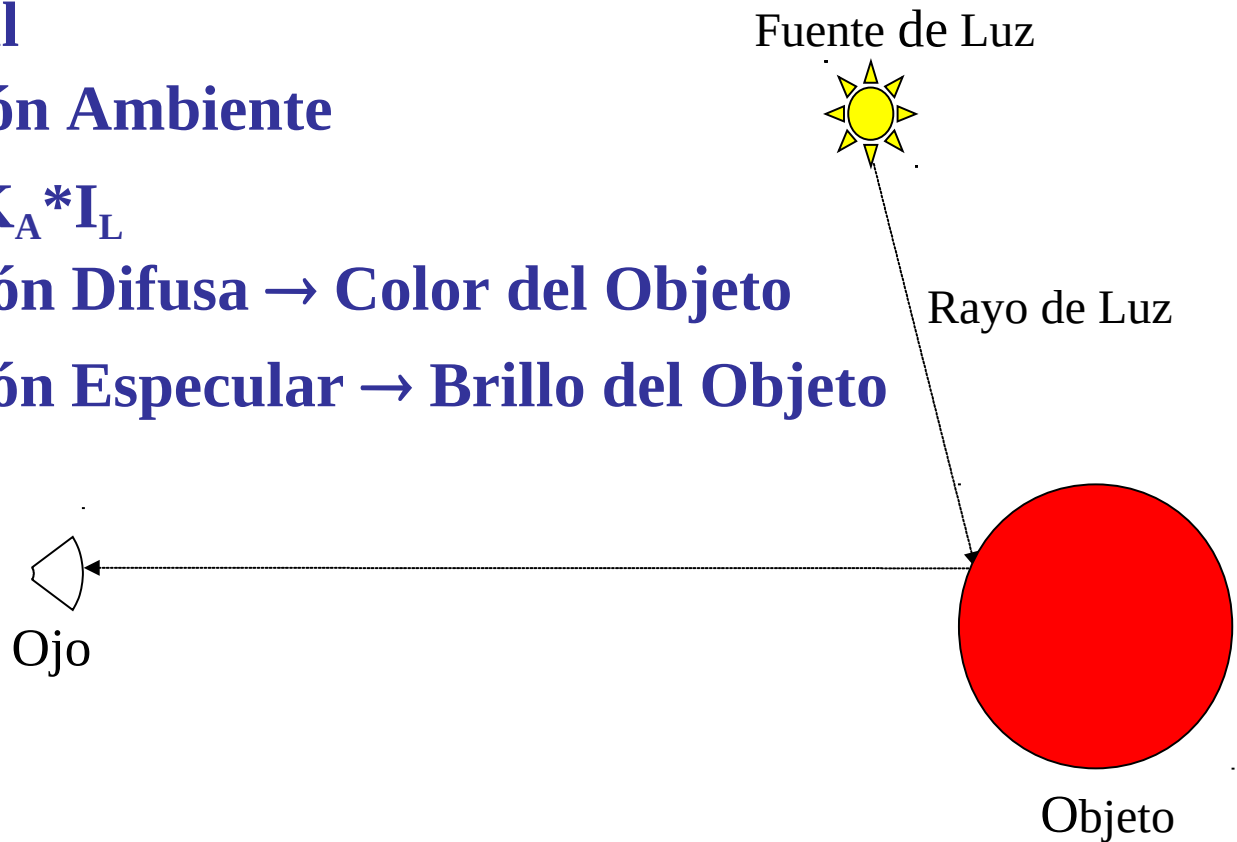
Modelo Local

Iluminación Ambiente

$$I_A = K_A * I_L$$

Iluminación Difusa → Color del Objeto

Iluminación Especular → Brillo del Objeto

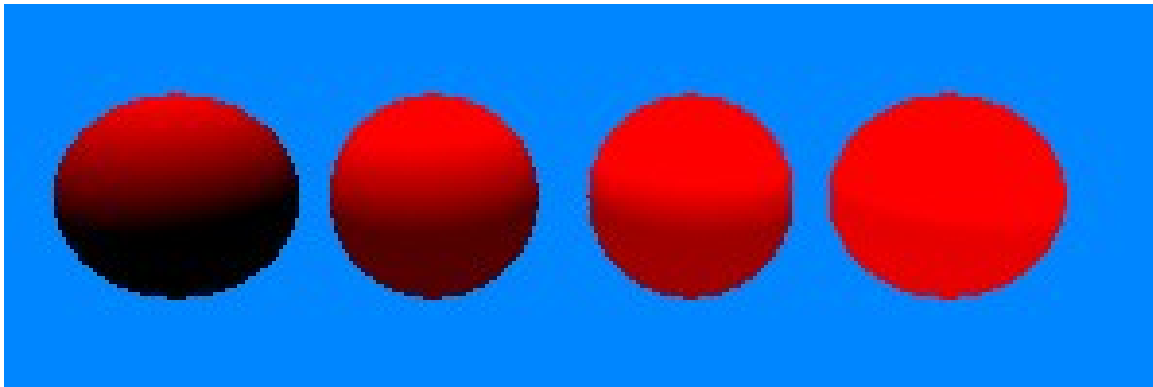




Modelo de Iluminación

Modelo Local

Iluminación Ambiente



Modelo de Iluminación y Métodos de *Rendering*

The ambient lighting in the upper-right image is approximated by a constant value. This is typical of most scanline algorithms. The middle and lower-left images were rendered with a ray tracing global illumination algorithm.



The middle image was rendered with no ambient light calculations. The lower-left image was rendered with several levels of diffuse re-reflection to give a better approximation of the ambient light in this scene.



Modelo de Phong: Reflexión Difusa

- Ocurre cuando la superficie refleje la luz incidente igualmente en todas las direcciones
 - reflexión independiente de la dirección de observación
 - Cantidad de luz reflejada es controlada por un parametro $K_d \in [0,1]$ (coeficiente de reflexión difusa)
 - superficie reflectora idealmente difusa: reflexión en cualquier punto de la superficie es gobernada por la Lei de los Cosenos de Lambert



Modelo de Phong: Reflexión Difusa

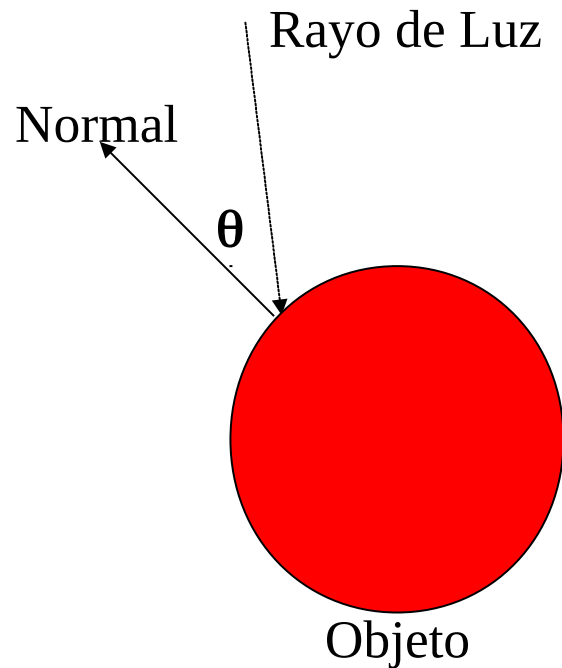
- Ley de los Cosenos de Lambert:
 - la energía radiante de retorno de una pequeña área de la superficie dA , debida a la luz incidente en cualquier dirección θ (relativa a la normal a la superficie) es proporcional al $\cos \theta$.
 - la intensidad de la luz reflejada, entretanto, depende de la energía radiante por área proyectada en la dirección perpendicular a θ , dada por $dA \cdot \cos \theta$.
 - Apesar del esparcimiento de la luz ser igual en todas las direcciones (superficie reflectora idealmente difusa), a la intensidad del color con que la superficie es vista, depende de la orientación en relación a la fuente.

Modelo de Phong: Reflexión Difusa

Modelo Local

Iluminación Difusa (*Ley de los Cosenos de Lambert*)

$$I_D = K_D * I_L * \cos \theta$$





Modelo de Phong: Reflexión Difusa

- θ : angulo entre el vector dirección de la luz incidente y a la normal a la superficie.
- La área proyectada de una region de la superficie, perpendicular a la dirección de la luz es proporcional al $\cos \alpha \Rightarrow$ la cantidad (intensidad) de iluminación depende de $\cos \theta$.
- Ecuación de la reflexión difusa debida a la luz de regreso de una fuente puntual: $I_{ld} = K_d I_l \cos \theta$.
- La superficie es iluminada por la fuente si $\theta \in [0, 90^\circ]$. Para **N**, **L** vectores unitarios:

$$I_{ld} = K_d I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L})$$



Modelo de Phong: Reflexión Difusa

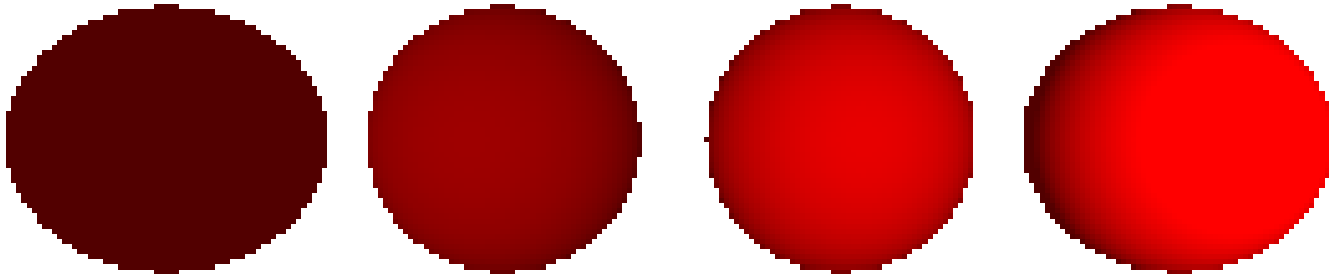
- Se Puede combinar las contribuciones (difusas) debidas a la luz ambiente y la fuente de luz puntual
 - caso contrario el objeto solo será visible caso reciba iluminación directa de la fuente, lo que esta lejos de la realidad!
- Algunos paquetes introducen una constante K_a para controlar la intensidad de la iluminación ambiente para cada superficie:

$$I_{\text{difusa}} = I_a K_a + K_d I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L})$$

Modelo de Phong: Reflexión Difusa

Modelo Local

Iluminación Difusa

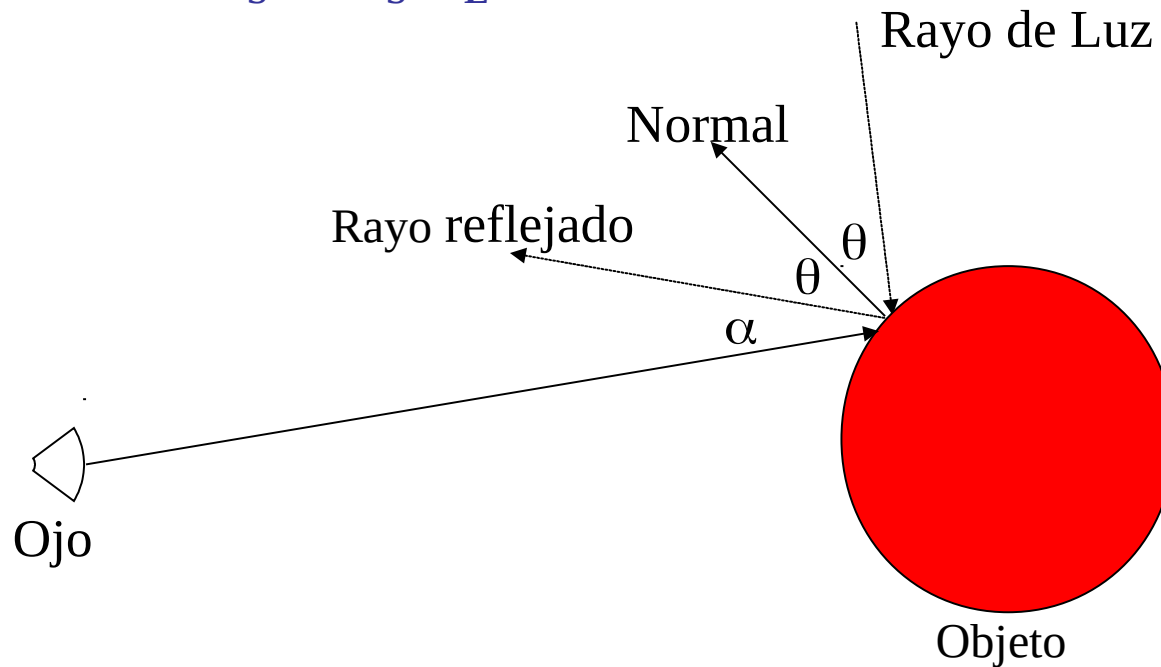


Modelo de Phong: Reflexión Especular

Modelo Local

Iluminación Especular (por Phong Bui Tuong)

$$I_s = K_s * I_L * \cos^n \alpha$$

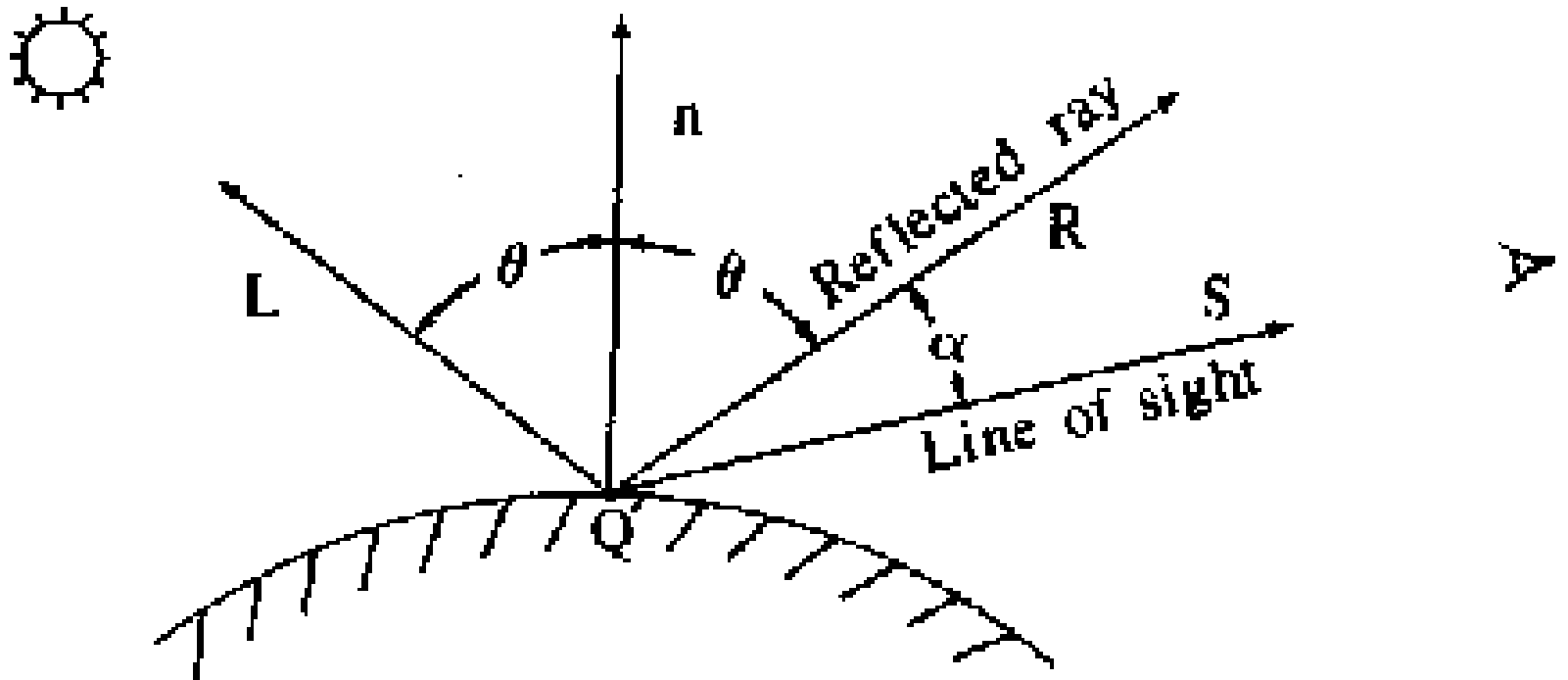




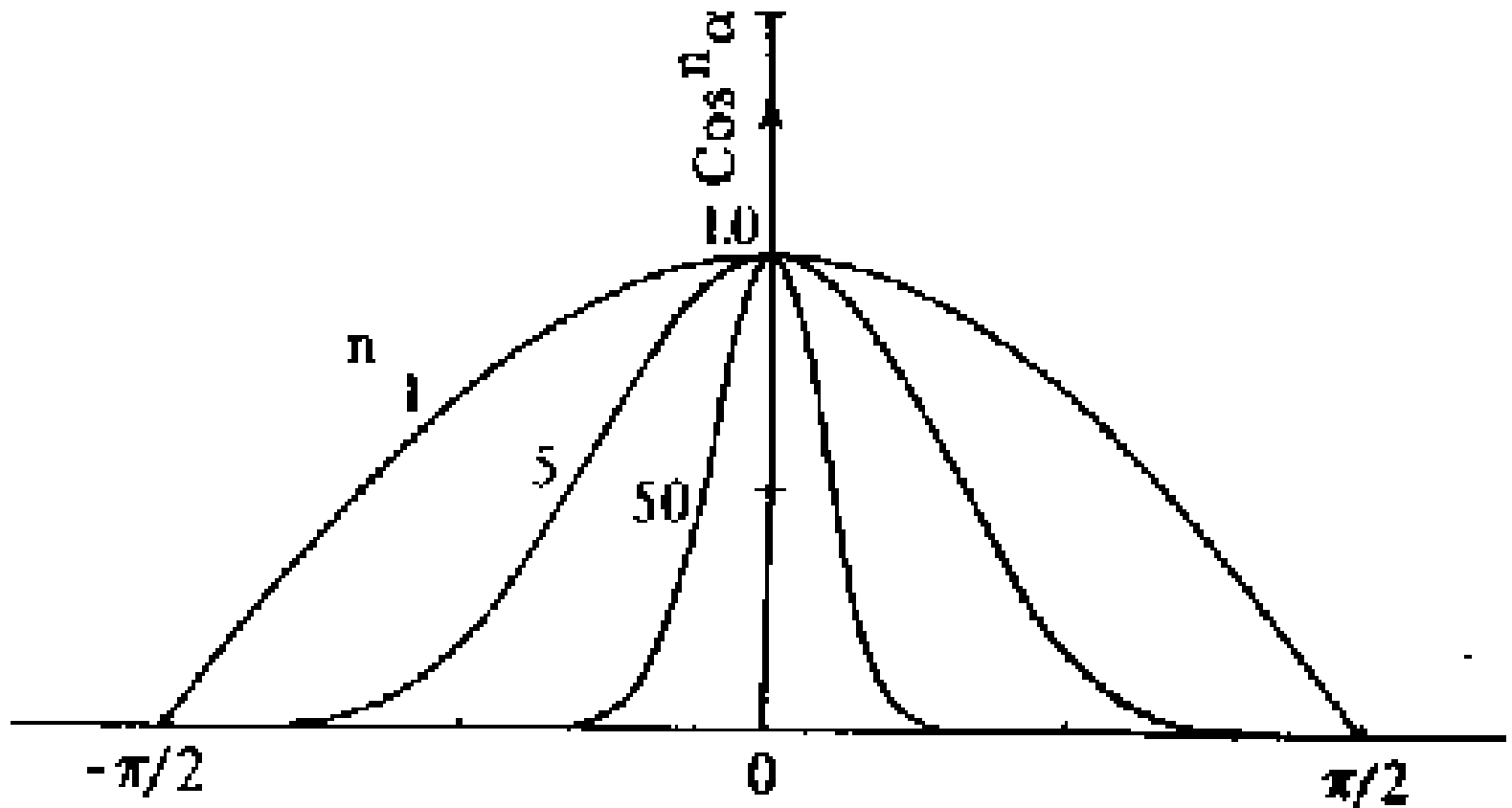
Modelo de Phong: Reflexión Especular

- Dirección de reflexión especular (**R**)
- Superficie idealmente especular: toda la luz incidente es reflejada en la dirección **R** (la luz reflejada solo será vista si la dirección de observación y la dirección de reflexión coinciden).
- Reflectores especulares no ideales: reflexión especular sobre un intervalo finito de posiciones de observación, en torno de **R**. Ese intervalo es mas estrecho para superficies mas pulidas, y mas abierto para superficies mas opacas.
- Phong propuso un modelo empirico para calcular ese intervalo, al cual atribuye intensidad proporcional a $\cos^n \alpha$, $\alpha \in [0, 90^\circ]$.

Modelo de Phong: Reflexión Especular



Modelo de Phong: Reflexión Especular





Modelo de Phong: Reflexión Especular

- El valor de n es determinado por el tipo de superficie: n es mayor (> 100) para superficies mas pulidas, y pequeño (hasta 1) para superficies mas opacas.
- La intensidad de la reflexión especular depende de factores:
 - propiedades del material, angulo de incidencia, distribución espectral de la luz incidente
 - Variaciones de la intensidad especular (para luz monocromática) pueden ser aproximadas por una función coeficiente de reflexión especular, definida para diferentes superficies (materiales) $W(\alpha, \lambda)$.
 - en general, $W(\alpha, \lambda)$ aumenta a medida que aumenta θ . La variación de la intensidad de la reflexión especular en función del angulo de incidencia es gobernada por la Ley de Fresnel.



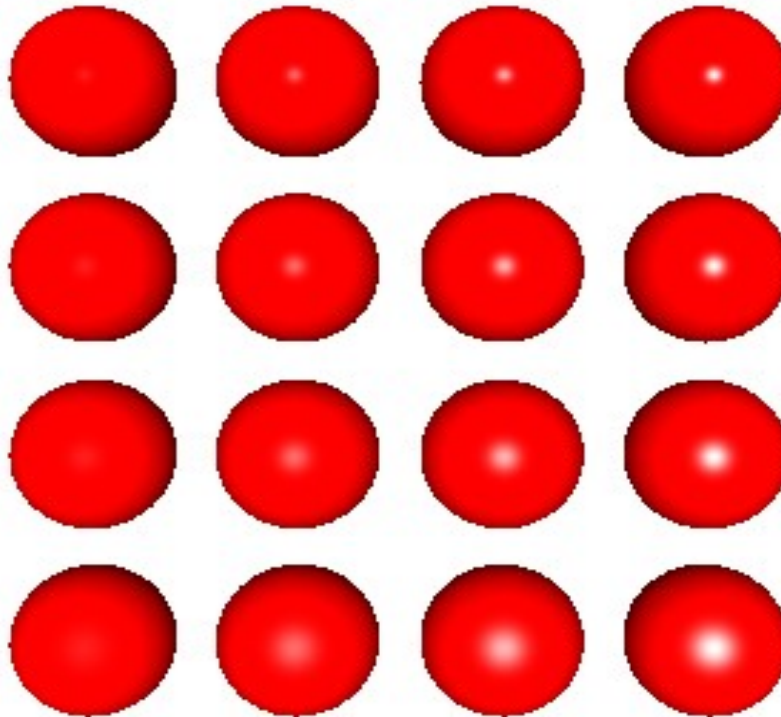
Modelo de Phong: Reflexión Especular

- El término especular de Phong es descrito por $I_s = W(\alpha, \lambda) I_l \cos^n \phi$
- Para materiales opacos, la reflexión especular es aproximadamente constante para todos los ángulos de incidencia \Rightarrow Phong aproxima la función por una constante: $I_s = K_s I_l (V \cdot R)^n$
- el vector **R** puede ser calculado a partir de **L** y **N**
- múltiples fuentes de luz: suma las contribuciones de cada una

Modelo de Phong: Reflexión Especular

Modelo Local

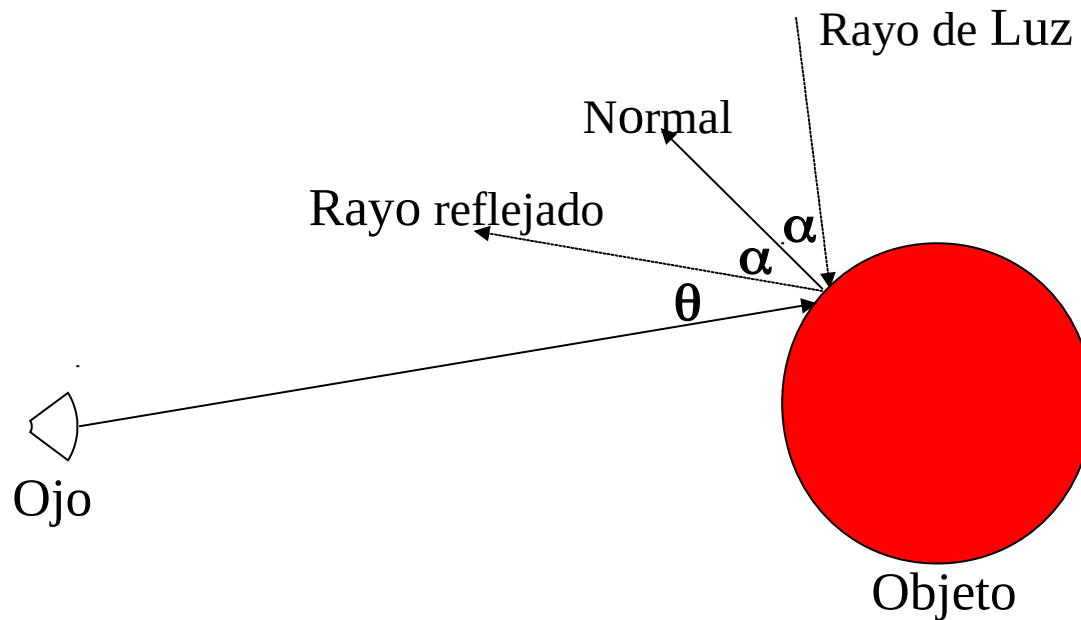
Iluminación Especular



Modelo de Phong completo

Modelo Local Completo

$$I = I_A + I_D + I_S$$





Mejorias en el modelo

- Atenuación debido a la distancia
 - energía radiante de una fuente puntual es atenuada por un factor cuadrático ($1/d^2$) \Rightarrow superficie mas distante de la fuente recibe menos luz.
 - En la práctica, es usado un factor de atenuación lineal en relación a la distancia ($1/d$, o una función mas compleja) para garantizar una variación mas suave.



Mejorias en el modelo

■ Incorporación del Color

- Colores: el color de la luz reflejada es una función de la longitud de onda de la luz incidente
- la ecuación de iluminación debe ser expresada como una función de las propiedades del color de las fuentes de luz y de las superficies de los objetos.
- En general, las superficies son iluminadas por fuentes de luz blanca
- En el modelo RGB: se especifica los componentes RGB que describen la luz de las fuentes y los colores de las superficies



Mejoras en el modelo

- Incorporación del Color
 - Se calcula una aproximación para el color muestreando la función de iluminación en las 3 longitudes de onda correspondientes a los tres colores primarios R, G, B.
 - Una forma de definir los colores de las superficies es especificar los coeficientes de reflexión en terminos de sus componentes RGB (Kdr, Kdg, Kdb, idem para Ks y Ka)
 - expresados como triplas RGB (en el intervalo $[0,1]$) \Rightarrow intensidades calculadas para cada color primario



Mejorias en el modelo

Incorporación del Color

- Muestra limitada del espectro de la luz emitida.
- La intensidad calculada (3 valores en el intervalo $[0,1]$ será cuantizada para valores enteros en el intervalo $[0,255]$).
- originalmente, Phong dijo K_s como una constante independiente del color \Rightarrow reflexiones especulares del mismo color de la luz incidente (en general, blanca) (aparencia plástica).



Mejorias en el modelo

- Transparencia
 - superficies transparentes, en general, reflejan y transmiten luz.
 - las ecuaciones de iluminación deben ser modificadas para incluir la contribución de la luz que pasa por la superficie (retorno de objetos reflectores posicionados atras de ella).
 - Transmisión difusa y especular: efectos realistas requieren un modelo de refracción de la luz



Mejorias en el modelo

- Transparencia
 - *Ley de Snell*: determina la dirección de la luz reflejada, a partir de la dirección de la luz incidente y de los coeficientes de refracción de cada material (ese índice es una función de la longitud de onda, pero es aproximado por una constante)
 - a partir de la Ley de Snell se puede determinar el vector unitario que da la dirección del rayo refractado.

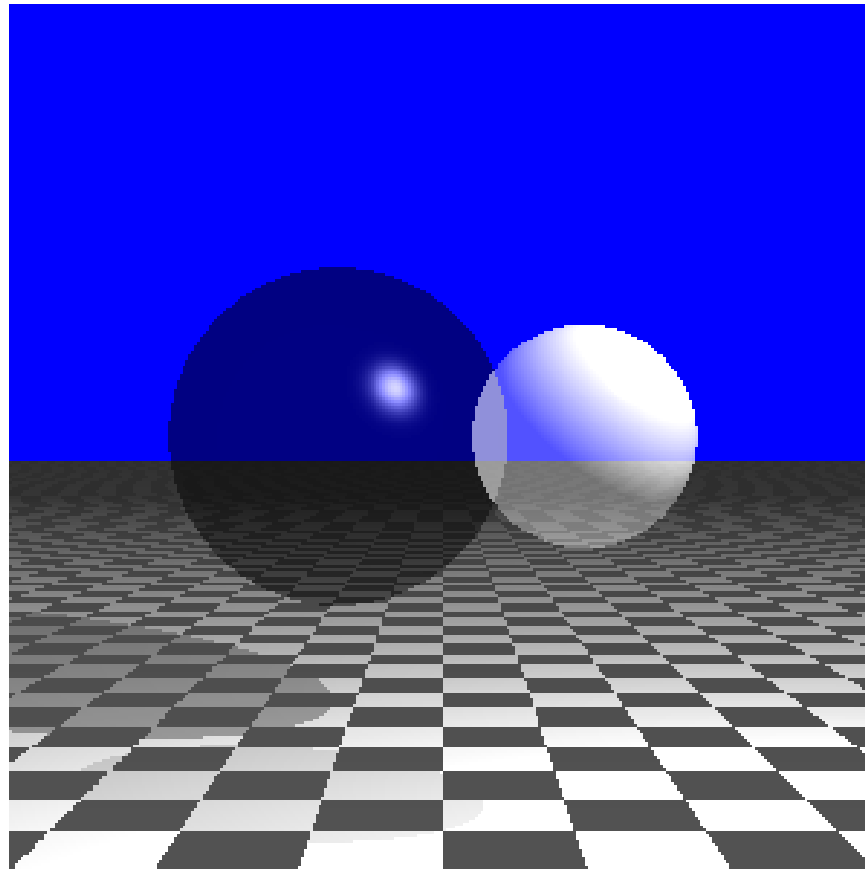


Mejorias en el modelo

- Transparencia

- un abordaje simplista ignora el desvio, y simplemente combina la intensidad calculada para la superficie transparente (superficie 1) con la intensidad calculada para otra superficie 2, visible a través de ella, segundo un factor de transparencia t :
 - $I = (1 - kt)I_1 + KtI_2 \quad 0 \leq t \leq 1$
- aproximación lineal no adecuada para superficies curvas, u objetos que esparcen la luz, como nubes.

Transparencia por interpolación: ejemplo



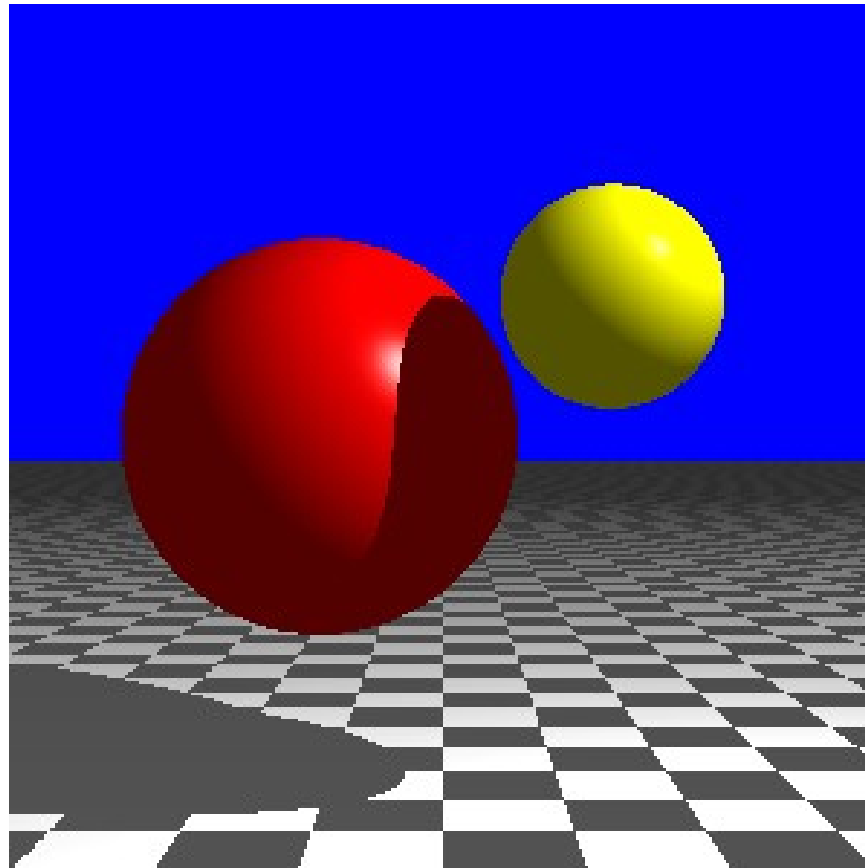


Mejorias en el modelo

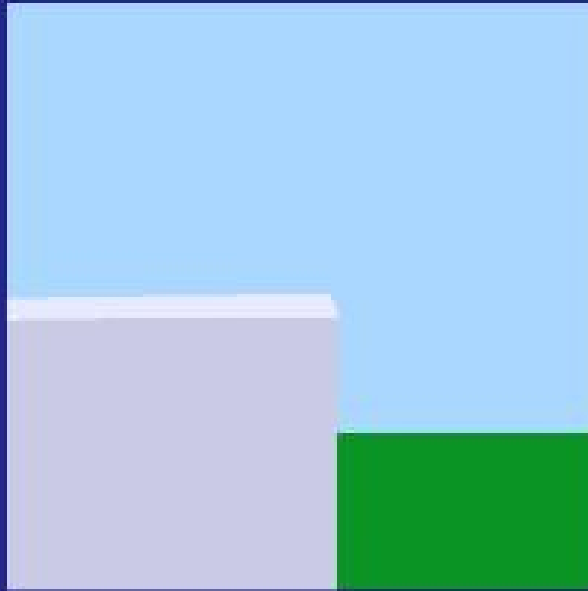
- Sombras
 - importante para realismo y *depth cueing*.
 - penumbra
 - Necesita localizar las áreas en que las fuentes de luz producen sombra
- efectos adicionales: textura



Sombras: ejemplo



Textura: ejemplo



Textura: ejemplo





Modelo de Iluminación Global

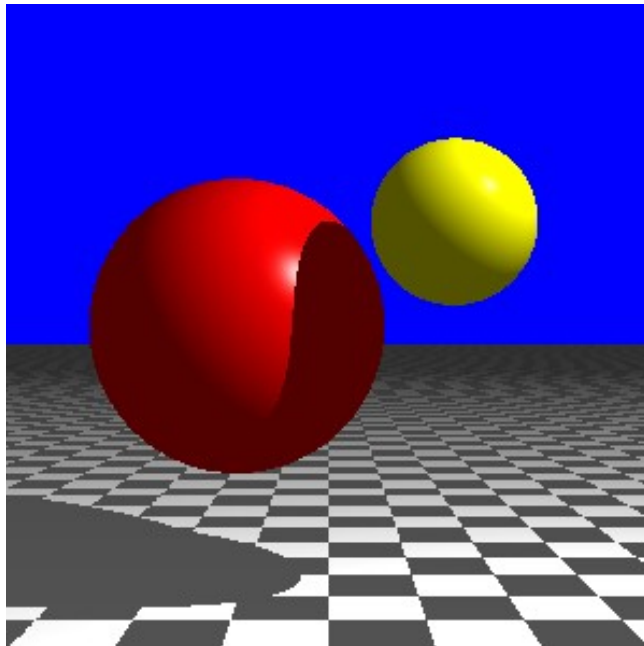
- modelo local completo +
 - sombras
 - reflexiones múltiples
 - transparencia
 - texturas

Modelo de Iluminación Global

Modelo Global

Sombras

Detección de Puntos No Iluminados Directamente



Si el Punto es Iluminado ($I_L = 1$)
Si no ($I_L = 0$)



Modelos de *Shading* (tonalización)

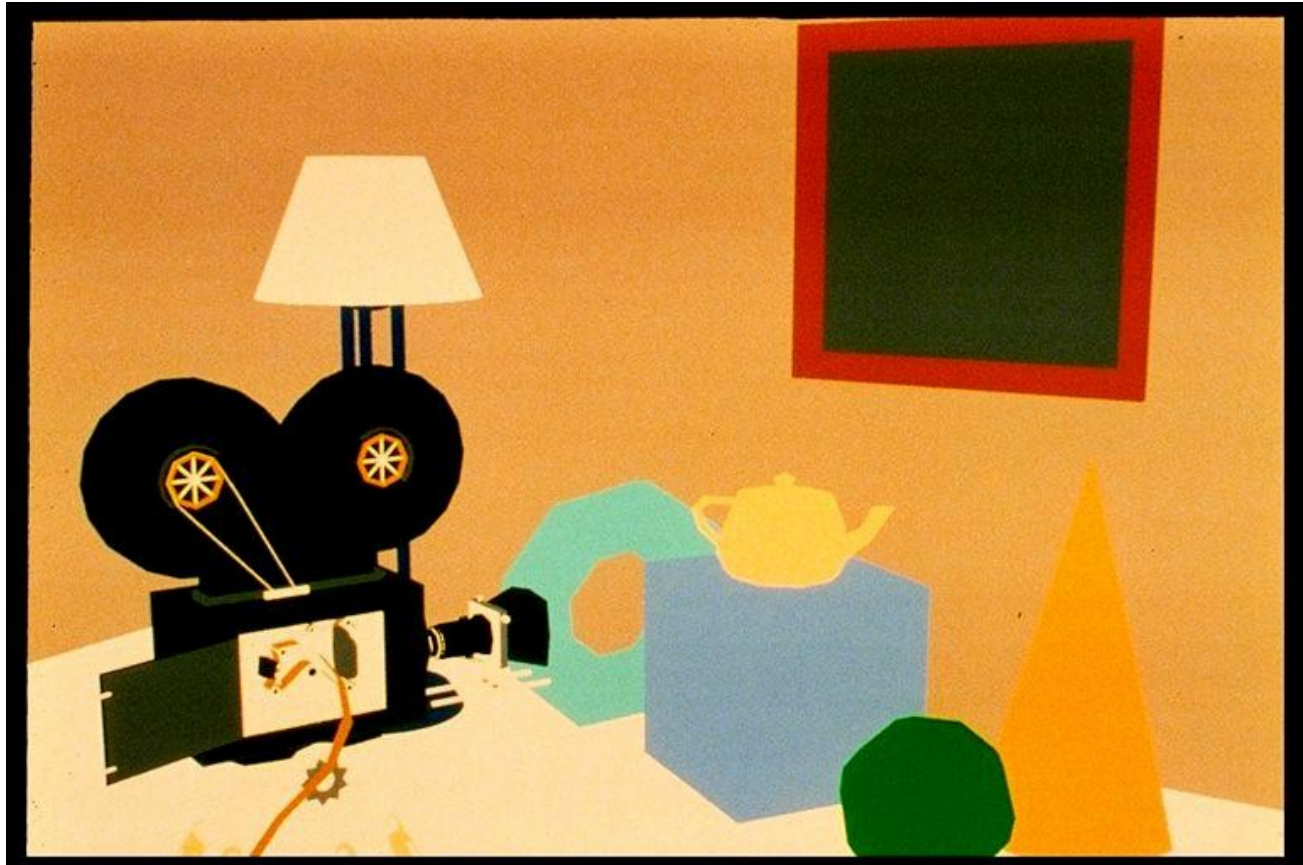
- un método para aplicar un modelo de iluminación local a un objeto (en general, modelado como una malla poligonal).
- Normalmente, el método de *shading* es integrado a un algoritmo *scanline* (*scanline graphics*)
 - el proceso de tonalización es hecho para cada cara visible de los modelos que componen la escena, para determinar el color (tono, intensidad) asociada a cada punto visible de la cara



Modelos de *Shading*

- 4 modelos: *Constant*, *Faceted*, *Gouraud*, e *Phong*
 - orden creciente de calidad de imagen y de costo computacional
- *Constant Shading*
 - calcula un único color para todo el objeto
 - no hay variaciones de tonalidad a lo largo del objeto, i.e., no hay *shading*.

Constant Shading

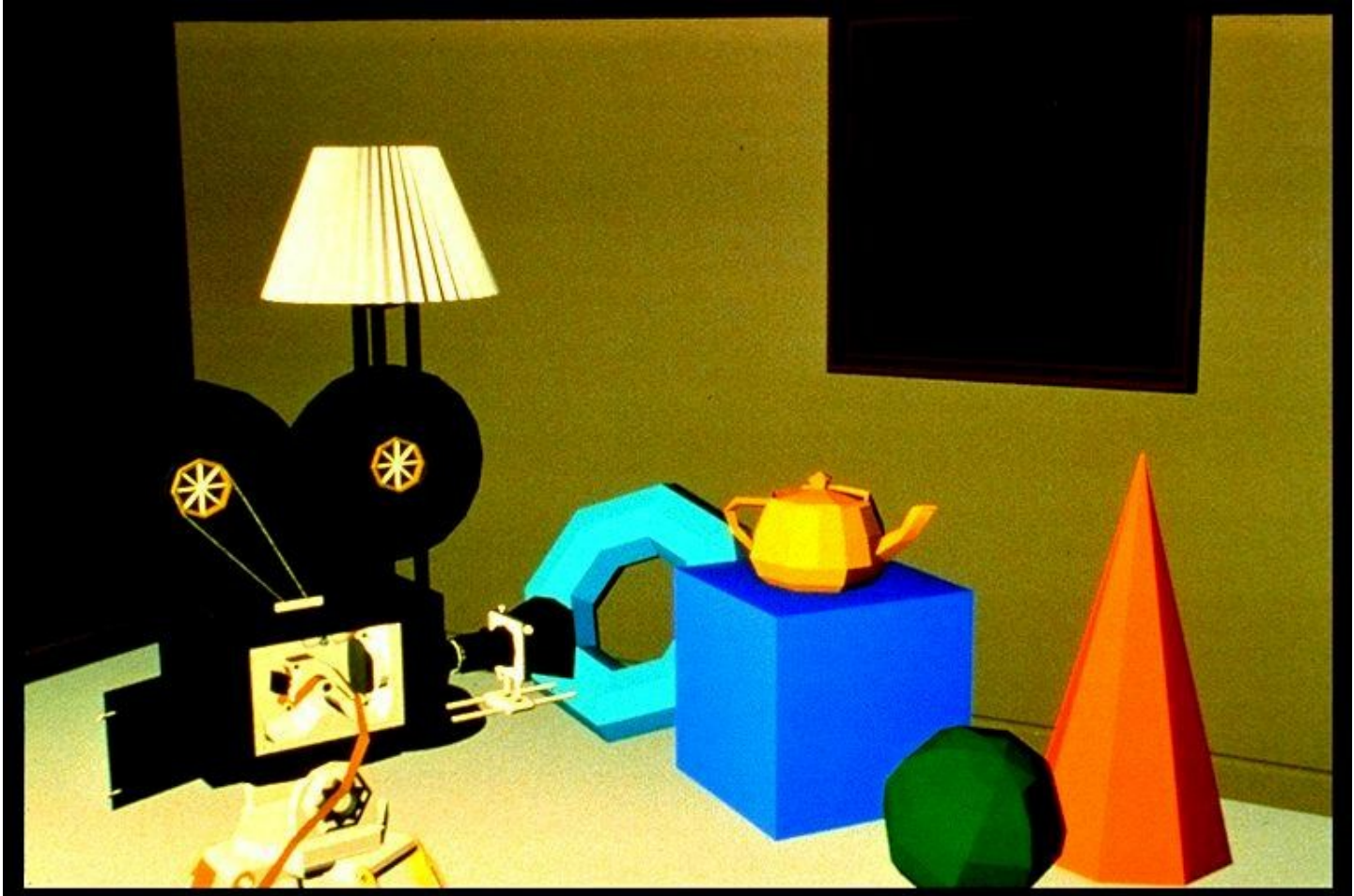




Flat shading

- modelo mas simple: calcula un color (tonalidad) para cada polígono
- vector **L** en el modelo de iluminación: va de cualquier punto en el polígono a la posición de la fuente de luz
- en general, usa apenas los terminos ambiente y de reflexión difusa del modelo de iluminación.
- Simple y rápido, mas aristas entre caras son acentuadas

Flat shading





Gouraud Shading

- aplica el modelo de iluminación en los vértices de cada cara poligonal para obtener el color (intensidad) en cada vértice de la cara
- interpola los valores obtenidos en los vértices para determinar el color en los puntos interiores a los polígonos
- interpolación bilineal de las intensidades a lo largo de las líneas de barradura



Gouraud Shading: Algoritmo

1. determina la normal \mathbf{N} en cada vértice del polígono
2. usa \mathbf{N} y \mathbf{L} para calcular la intensidad I en cada vértice del polígono
3. usa interpolación bilineal para calcular la intensidad I_i en cada pixel en el cual el polígono visible es proyectado
4. “pinta” el pixel de acuerdo con el color determinado



Gouraud Shading

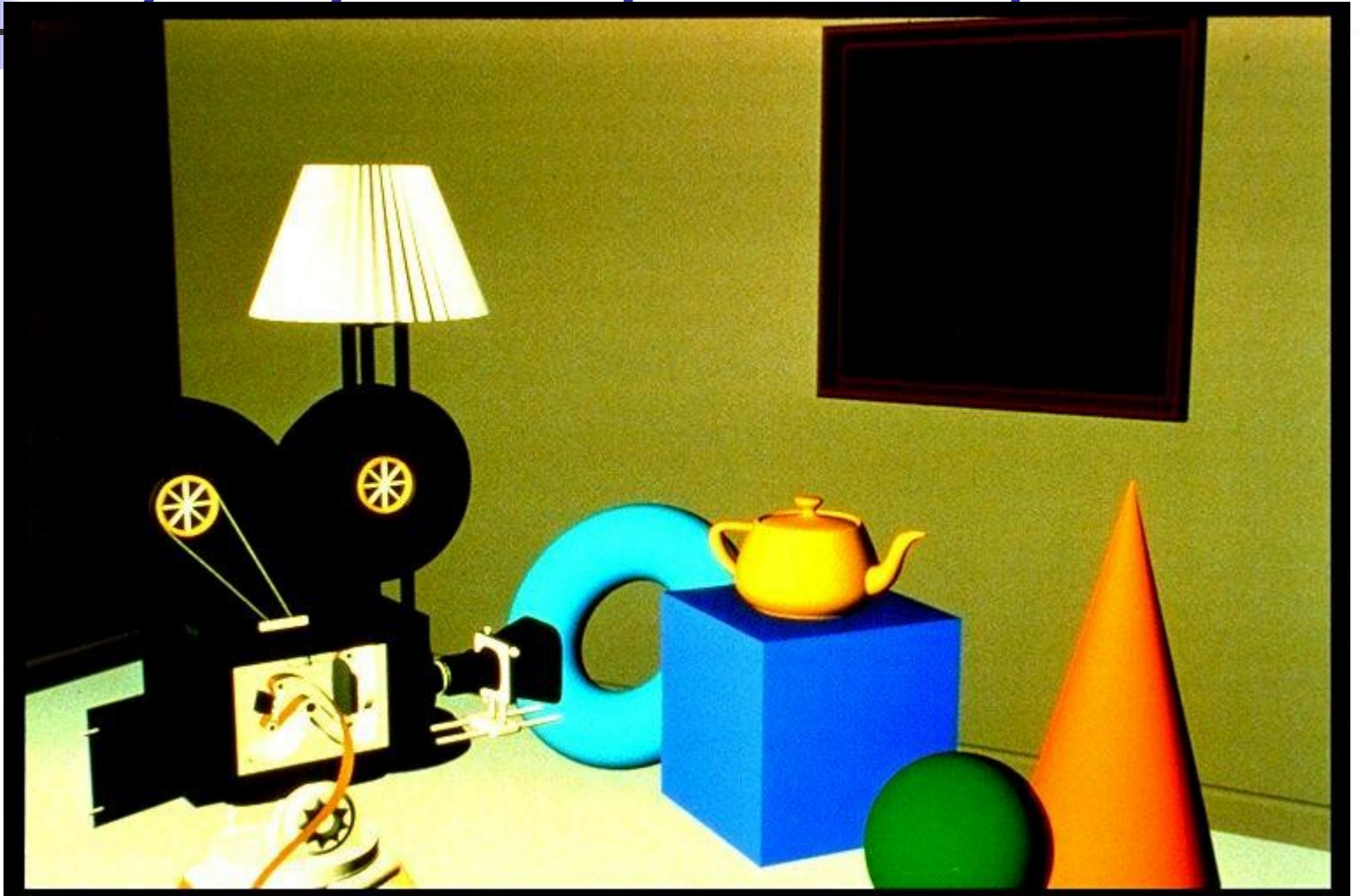
- Como calcular **N** para un vértice?
 - podemos tomar la média de las normales las caras que comparten el vértice... (precisa buscar esa información en la estructura de datos...)
- Y la interpolación bilineal?
 - interpola los valores en 2 vértices para obtener los valores en las aristas formadas por ellas
 - para cada linea de barradura interpola los valores en las aristas para obtener el valor en cada pixel en el interior



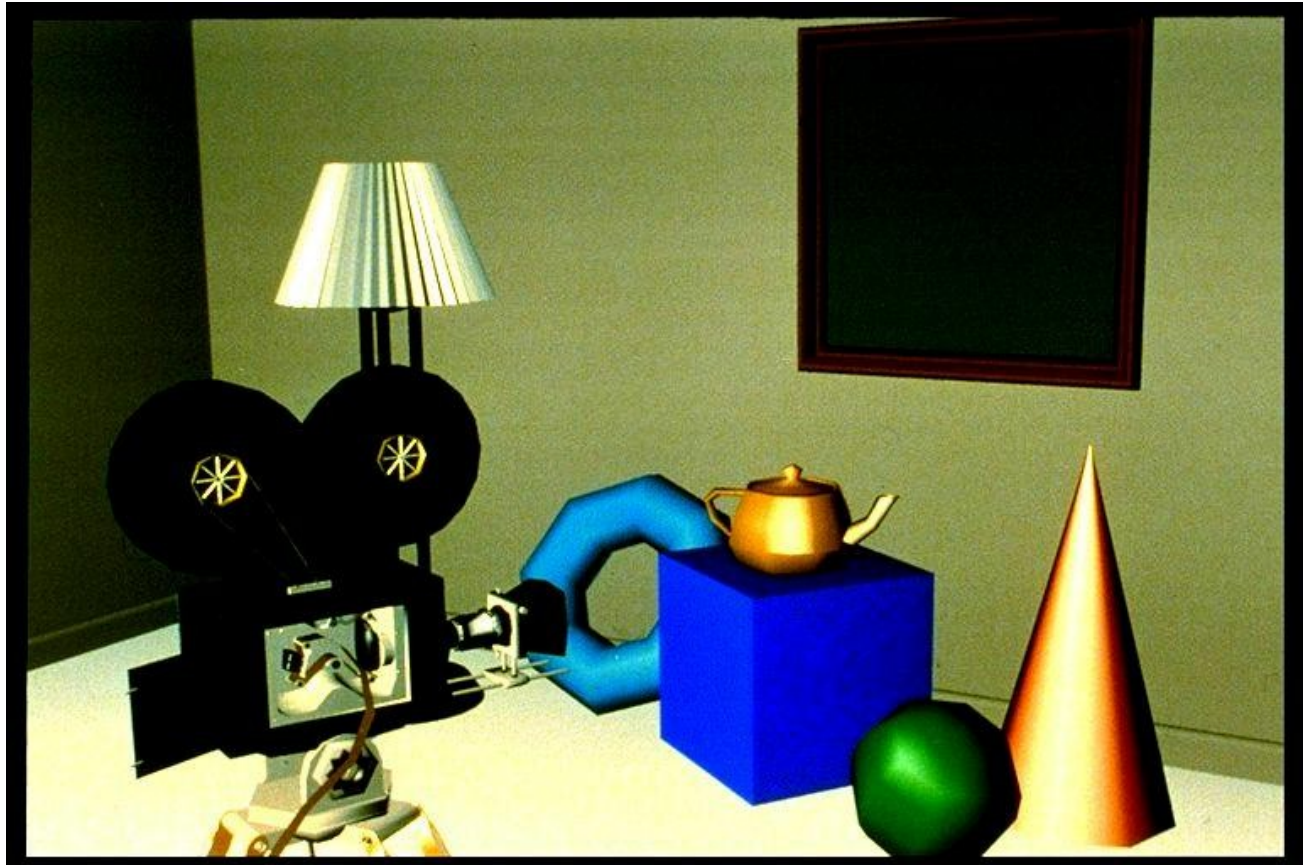
Gouraud Shading

- suaviza las transiciones entre caras: apariencia mucho mejor que el *'faceted'*
- no es muy caro computacionalmente
- por otro lado, suaviza caras que deberían ser mantenidas (ex. cubo)
- no trabaja bien con los *highlights* especulares, porque las intensidades son calculadas apenas en los vértices...

Gouraud Shading (sin highlight specular)



Gouraud Shading (con highlight specular)

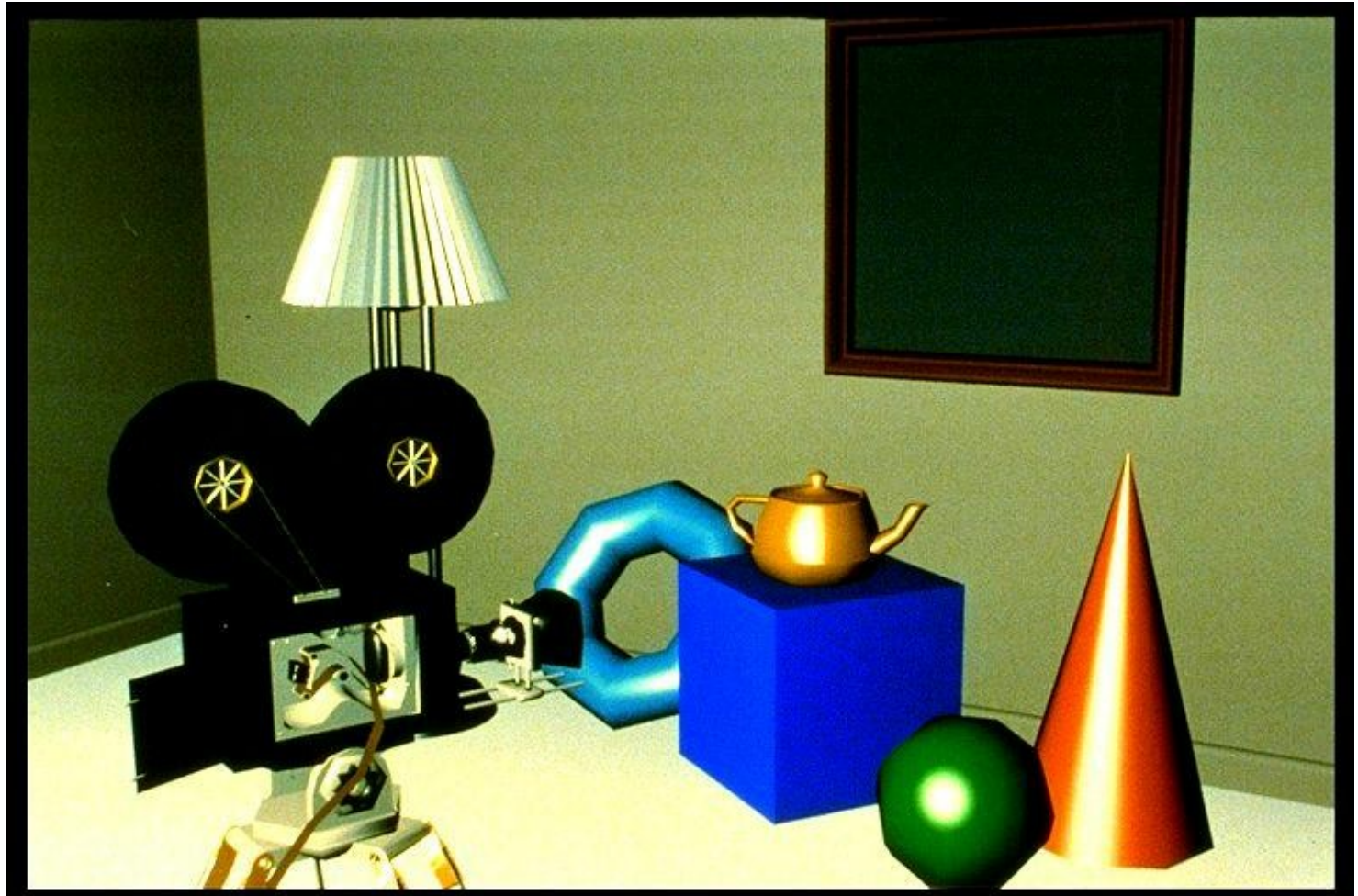




Phong Shading

- interpola las normales calculadas en los vértices para determinar la normal en cada punto del polígono
- aplica el modelo de iluminación en cada punto visible del polígono
- mejor que *Gouraud* para *highlights* especulares
- costo computacional mucho mayor

Phong Shading





Bibliografia

- **curso de CG da ACM SIGGRAPH) (de onde foram tiradas muitas das imagens):**
www.education.siggraph.org/materials/HyperGraph/hypergraph.htm
- **GLASSNER, Andrew S. (Edited) - *An Introduction to Ray Tracing*, Academic Press, 1989.**
- **BAKER, M. Pauline e HEARN, Donald - *Computer Graphics*, Prentice Hall Ed, 1997.**
- **FOLEY, James D., VAN DAM, Andries, FEINER, Steven e HUGHES, John - *Computer Graphics: Principles and Practice* - Addison-Wesley Ed., 1990.**