



Tema 4

Fuentes luminosas

- Simulación del transporte de luz
 - Se necesita una o varias fuentes luminosas

$$L(\mathbf{x}, \omega_o) = \int_{\Omega} L_e(\mathbf{x}', -\omega_i) f_r(\mathbf{x}, \omega_o, \omega_i) (\mathbf{n}_x \cdot \omega_i) d\omega_i$$

- De otro modo, el integrando siempre tendrá un valor de 0

- Simulación del transporte de luz
 - Se necesita una o varias fuentes luminosas

$$L(\mathbf{x}, \omega_o) = \int_{\Omega} L_e(\mathbf{x}', -\omega_i) f_r(\mathbf{x}, \omega_o, \omega_i) (\mathbf{n}_x \cdot \omega_i) d\omega_i$$

- De otro modo, el integrando siempre tendrá un valor de 0
- Monte Carlo: **muestreo y probabilidad de direcciones** proporcional a la fuente luminosa

Radiometría

- En este curso asumiremos óptica geométrica para trabajar con la luz:
 - Linealidad
 - Conservación de energía
 - No polarización
 - No fosforescencia ni fluorescencia
 - Estado estable:
 - La luz en la escena ya ha alcanzado un estado estable

Óptica geométrica vs de onda



Óptica geométrica vs de onda



Radiancia

- Es la medida radiométrica más utilizada en rendering:
 - *Cantidad de luz recibida en un punto desde una única dirección en un instante*
 - Sus unidades son $\text{W}/\text{m}^2 \text{sr}$
 - Watts (que son J/s) sobre metro cuadrado por steradian (la medida de ángulos sólidos)

Tipos de fuentes de luz

- Puntuales
- De área
- Mapas ambientales
- Otras: segmento de línea, direccionales, emisión variable en superficie (texturizadas)

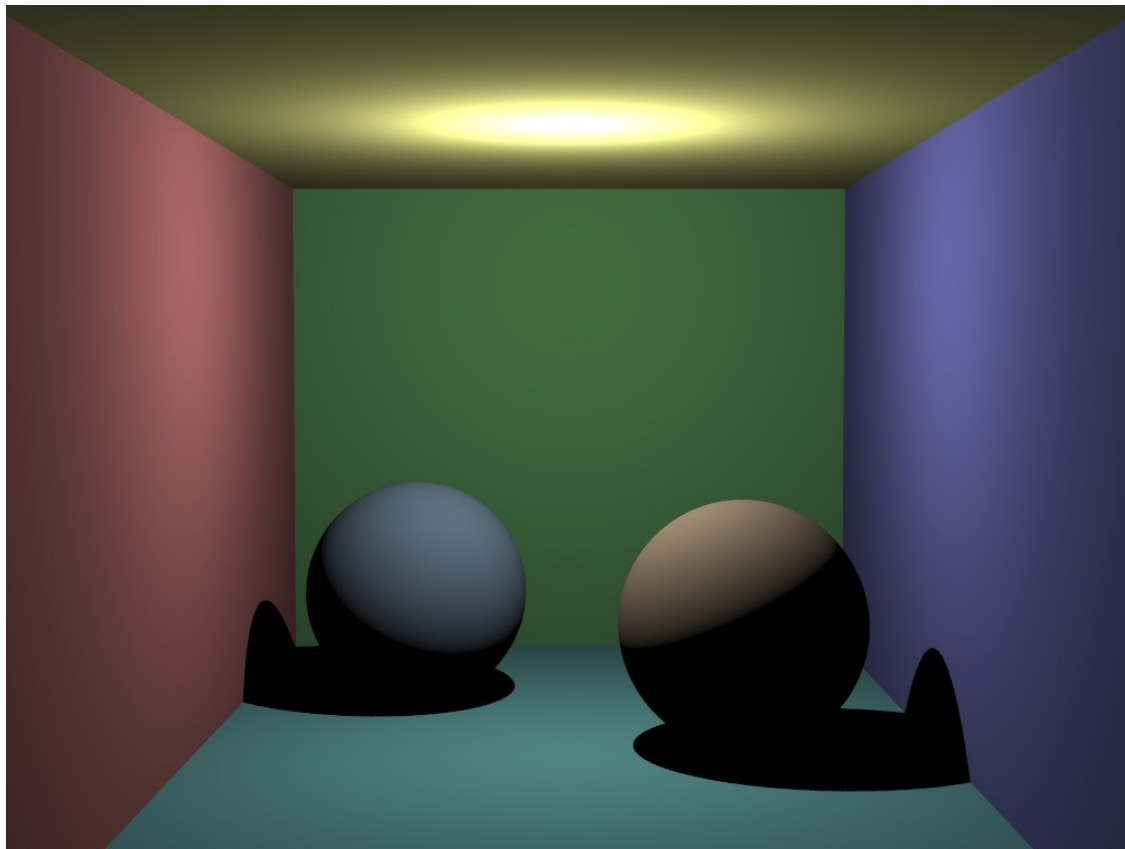
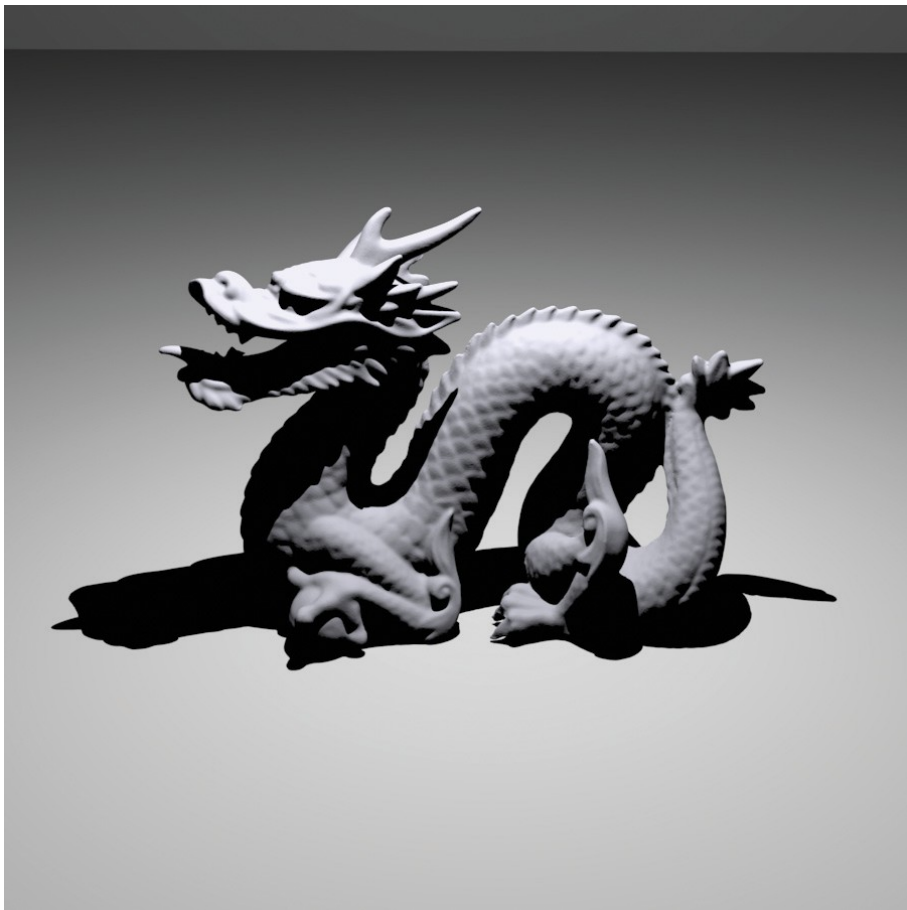
Integración Monte Carlo

- Para implementar un estimador Monte Carlo son necesarias tres operaciones:
 - Evaluación de la función
 - Muestreo
 - Probabilidad

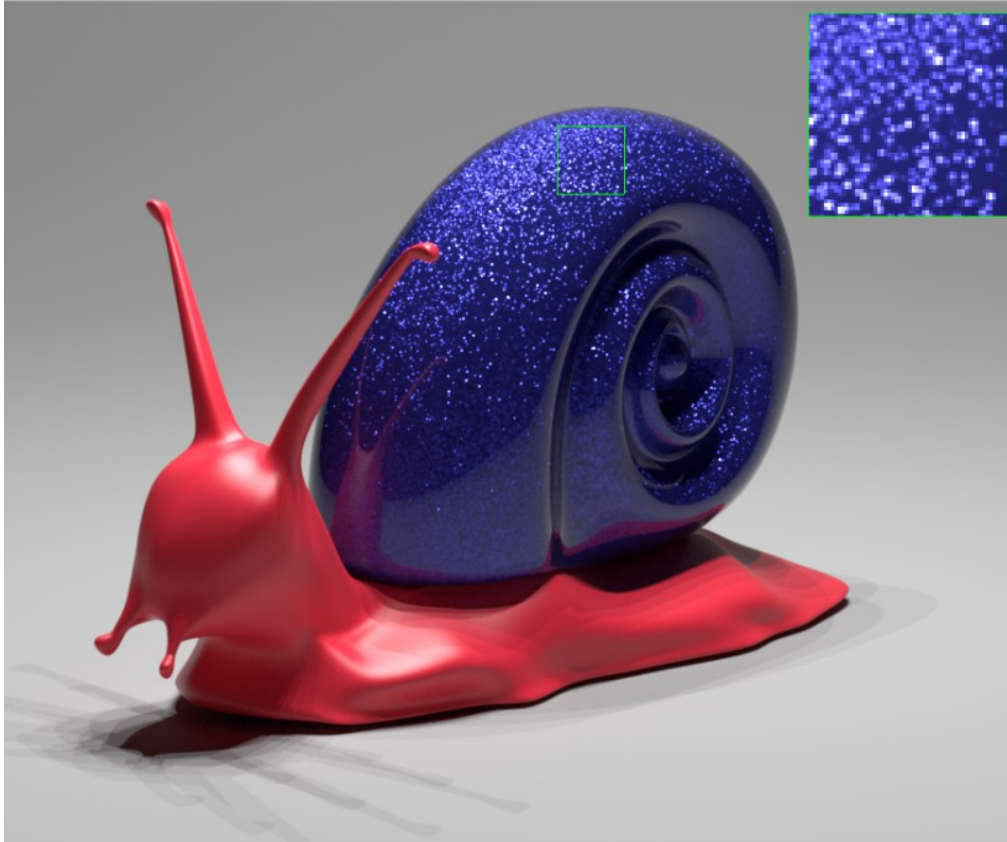
Fuentes puntuales

- Es una fuente que emite luz desde algún punto en el espacio
 - Es puntual: no tiene una superficie ni un área
 - Emite la misma cantidad de luz hacia todas las direcciones
 - Su emisión no es radiancia sino intensidad radiante (es necesario convertir unidades de medida).
 - Físicamente imposible, pero ampliamente utilizada
- Crean *sombras duras* y la frecuencia de iluminación es *infinita*

Fuentes puntuales: sombras duras



Fuentes puntuales: iluminación de alta frecuencia



Fuentes puntuales: evaluación

- Su emisión disminuye con la distancia conforme a:

$$L_e(\mathbf{x}, \omega) = \frac{I}{\|\mathbf{x} - \mathbf{x}'\|^2}$$

- *La intensidad de la luz puntual decae proporcionalmente al cuadrado de la distancia*
 - Dividiendo la intensidad radiante por el cuadrado de la distancia se obtiene la radiancia incidente en un punto

Fuentes puntuales: muestreo

- Al ser puntual, es *imposible* que un rayo intersecte esta fuente luminosa
 - Se debe calcular entonces la dirección correcta (muestreo):
 - Se traza un rayo desde la fuente puntual hacia el punto que se desea iluminar
 - Se verifica que ambos puntos tengan *visibilidad*
 - De ser así, entonces se calcula la emisión basada en la distancia
 - Las luces puntuales tienen una distribución especial que se denomina *delta*
 - Es decir, sólo existe un valor distinto de cero en todo el dominio de direcciones.

Fuentes puntuales: probabilidad

- Si sólo existe una respuesta, entonces la probabilidad de cualquier dirección distinta a la correcta sería 0...
- ¿Cuál es la probabilidad para la dirección correcta?
 - La pdf debe integrar a 1
 - La integral es un área, pero en este caso no hay ninguna curva ni área bajo la curva

Fuentes puntuales: probabilidad

- Si sólo existe una respuesta, entonces la probabilidad de cualquier dirección distinta a la correcta sería 0...
- ¿Cuál es la probabilidad para la dirección correcta?
 - La pdf debe integrar a 1
 - La integral es un área, pero en este caso no hay ninguna curva ni área bajo la curva
 - El tratamiento de distribuciones delta nos indica que la probabilidad de la dirección correcta será 1

Fuentes de área

- Su superficie (área) emite luz
 - Asociadas a un cuerpo u objeto con superficie
 - Generalmente tridimensional
 - Aunque es posible 2D
- Como todos los puntos de la superficie emiten, se crean sombras suaves
 - Visibilidad



Fuentes de área (sombras suaves)



Emisor de disco pequeño



Emisor de disco grande

Fuentes de área (evaluación)

- Como en todas las fuentes luminosas la visibilidad es un problema
 - Se debe verificar al diseñar nuestro integrador Monte Carlo
- Para evaluar la emisión sobre algún punto en la superficie basta con regresar la radiancia en ese punto
 - No es necesario computar algún decaimiento como en las fuentes puntuales.

$$L_e(x, \omega) = \text{radiancia}$$

Fuentes de área (muestreo en área)

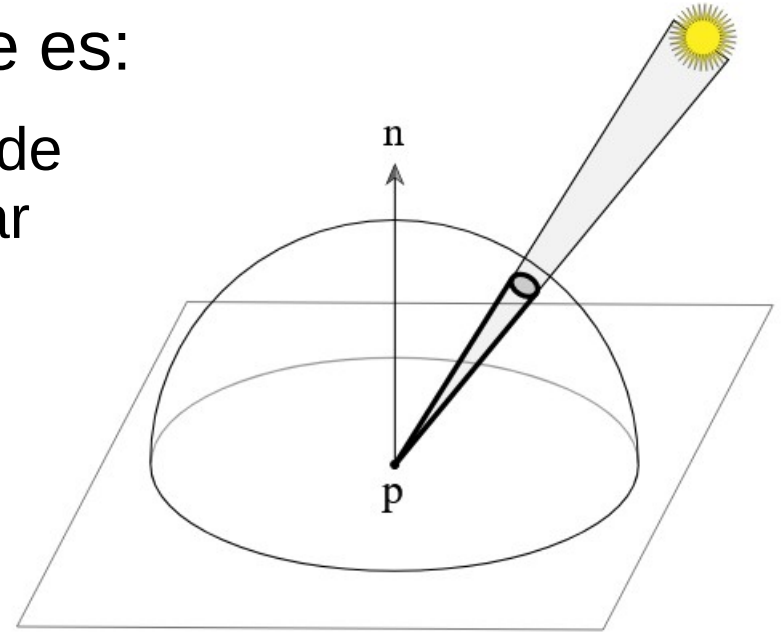
- Muestreo de un punto en la superficie
 - Se escoge un punto aleatorio en la superficie
 - Muestreo uniforme esférico
 - Su probabilidad es el inverso del área
- Como se muestrea un punto, es necesario convertir la medida a ángulo sólido:

$$p(\omega) = \frac{1}{A} \frac{d_{\mathbf{x}-\mathbf{x}'}^2}{\cos \theta_o}$$

donde $d_{\mathbf{x}-\mathbf{x}'}^2$ es el cuadrado de distancia entre el punto en el emisor y el punto a iluminar, y θ_o es el ángulo de la dirección de emisión con la normal en la superficie del emisor.

Fuentes de área (muestreo del ángulo sólido)

- Dada una emisor esférico y un punto a iluminar, la estrategia más eficiente es:
 - Muestrear una dirección en el *cono* de direcciones desde el punto a iluminar hacia el emisor esférico

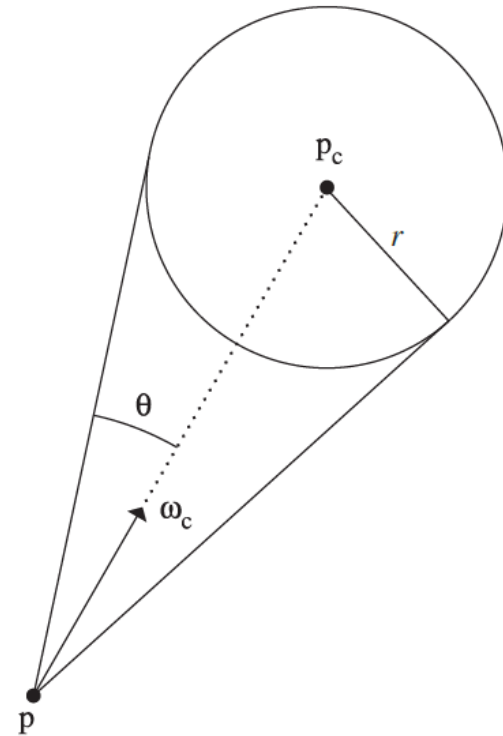


Fuentes de área (muestreo del ángulo sólido)

- Desde el punto a iluminar p el ángulo sólido subtendido por una esfera en p_c con radio r es:

$$\sin \theta_{\max} = \frac{r}{\|p_c - p\|}$$

$$\theta_{\max} = \arcsin \left(\frac{r}{\|p_c - p\|} \right) = \arccos \sqrt{1 - \left(\frac{r}{\|p_c - p\|} \right)^2}$$



Fuentes de área (muestreo del ángulo sólido)

- Una vez que se tiene θ_{\max} procedemos a muestrear una dirección uniformemente en el cono de direcciones utilizando:

$$\theta = \arccos \left((1 - \xi_0) + \xi_0 \cos \theta_{\max} \right)$$

$$\phi = 2\pi\xi_1$$

- Nota: la dirección muestreada está en el cono de direcciones orientado hacia el eje $\mathbf{z} = (0, 0, 1)^T$ por lo que será necesario convertirlo al marco de referencia orientado respecto a ω_c

Fuentes de área (muestreo del ángulo sólido)

- La probabilidad de la dirección muestreada es:

$$p(\omega) = \frac{1}{2\pi(1 - \cos \theta_{\max})}$$

- NOTA: tanto en el muestreo uniforme de puntos en superficie como en muestreo de ángulo sólido, *no se garantiza* que exista visibilidad entre los dos puntos en la escena.

Mapas ambientales (environment map)

- Típicamente es una imagen panorámica de 360°
 - Describe la luz entrante desde todas las direcciones
- Su manejo es muy similar al de una *textura*
 - El valor para alguna posición en la imagen será la radiancia saliente en la dirección asociada

Mapas ambientales: museo



Mapas ambientales: Grace Cathedral



Ejemplo: iluminación directa con mapa ambiental

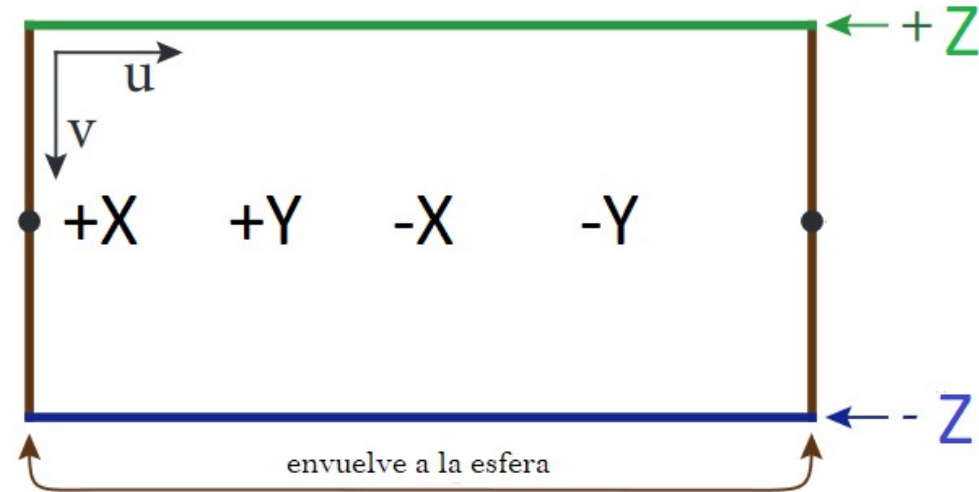


Mapas ambientales: parametrización

- Se asume que el mapa ambiental *envuelve* a la escena
 - Mapeo esférico
- Cada punto en el mapa ambiental se encuentra a una distancia *infinita*
 - Lo que importa es únicamente la dirección con la que se ilumina
 - La posición a iluminar es despreciable



Mapas ambientales parametrización



- En lugar de referirnos a la coordenada del *texel*, utilizamos coordenadas (u, v) en $[0, 1]^2$ dadas por el mapeo esférico:

$$u = \frac{\phi}{2\pi}$$

$$v = \frac{\theta}{\pi}$$

De uv a texel

- Dada una coordenada uv queremos encontrar la posición en la imagen correspondiente:

$$x = uw$$

$$y = vh$$

- Donde w y h especifican la resolución horizontal y vertical (en píxeles) de la imagen.
 - La posición resultante puede caer *entre* texeles
 - Filtrado de texturas (ej. interpolación bilinear)

Mapas ambientales: muestreo

- La forma más sencilla es utilizar muestreo uniforme esférico
- Es necesario verificar que el rayo *escape* de la escena para la dirección muestreada:
 - De otro modo el mapa ambiental estaría obstruido para esa dirección

Mapas ambientales: muestreo avanzado

- Podríamos utilizar el mapa ambiental para construir un método de muestreo de importancia
 - Densidad marginal y condicional
 - Y sus respectivas versiones acumulativas
 - Muy similar al procedimiento para obtener el muestreo de coseno hemisférico
- Detalles en sección 13.6.7 de PBRT3

Mapas ambientales: muestreo avanzado

- Se construye una tabla de menor resolución
- Primero se selecciona un valor para v (renglon), utilizando la cumulativa marginal (no mostrada)
- Posteriormente se selecciona un valor para u , utilizando la cumulativa condicional

