

# 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

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

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

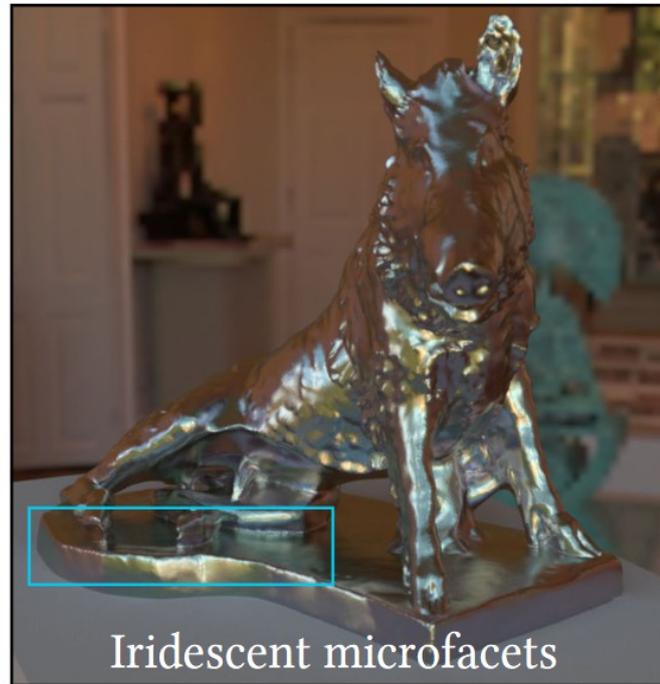
# Radiometría

- 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)

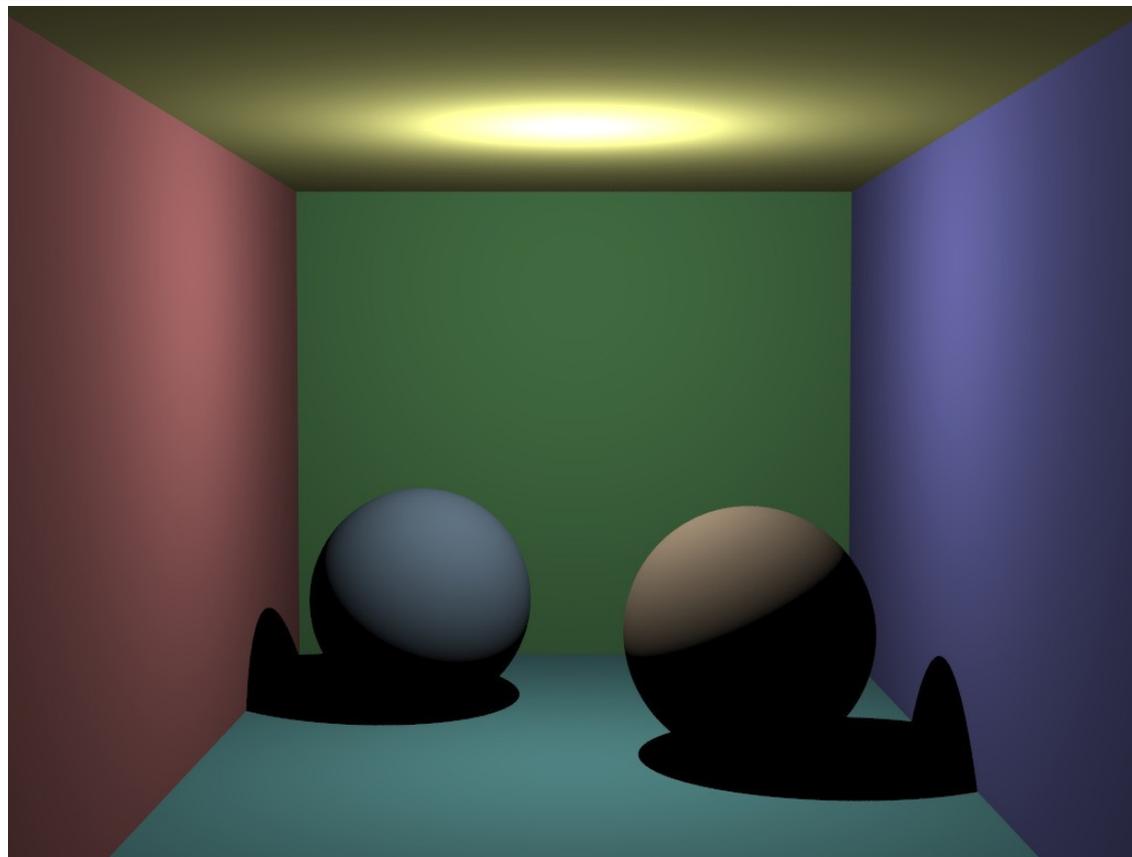
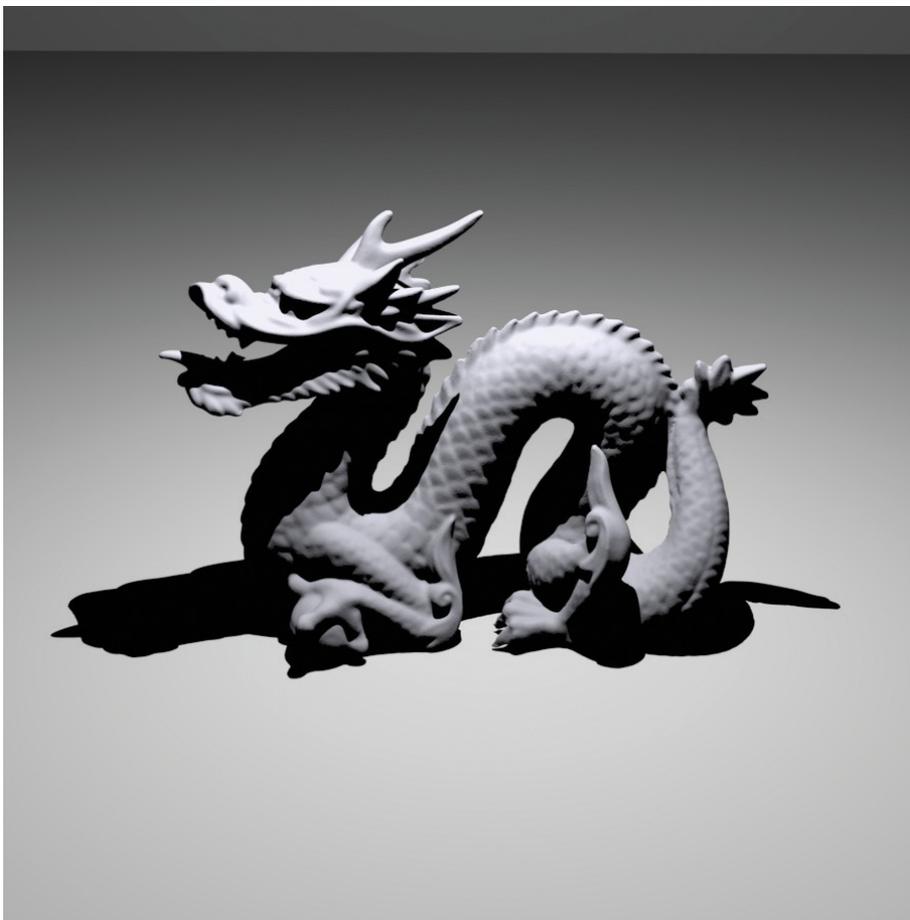
# Integración Monte Carlo

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

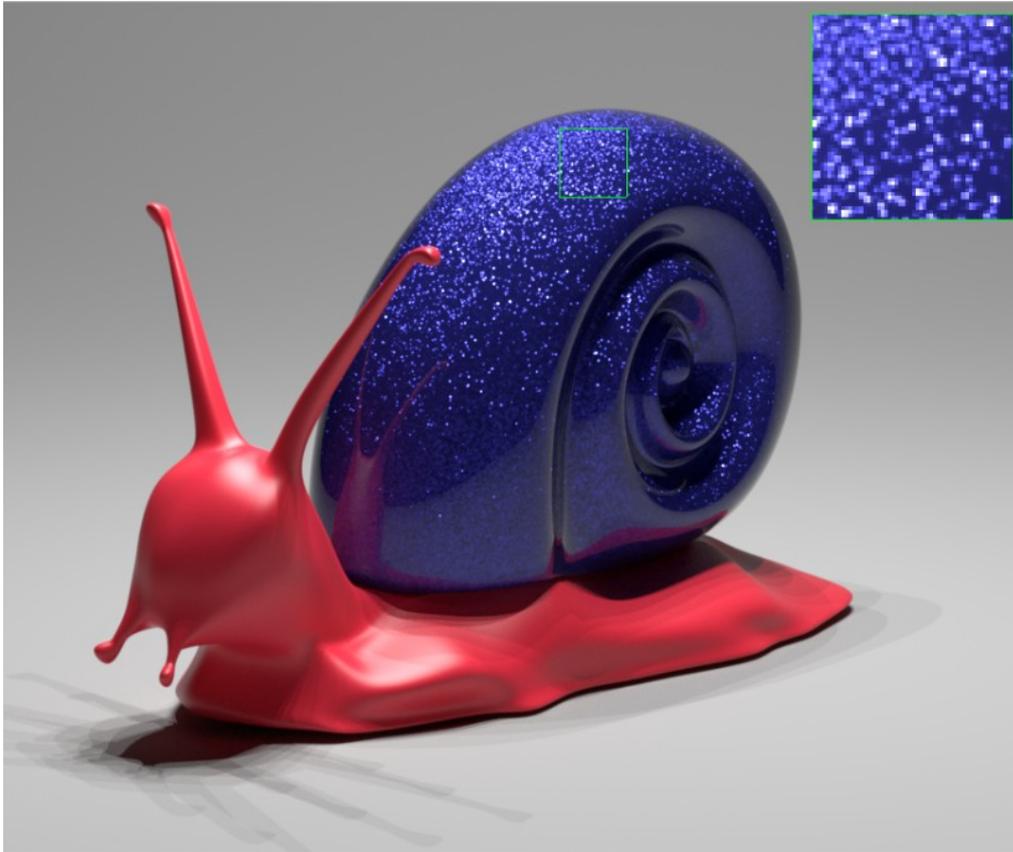
# Fuentes puntuales

- 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



[Yan2014] Destellos ocasionados por superficie e 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.

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

# Fuentes de área (muestreo en área)

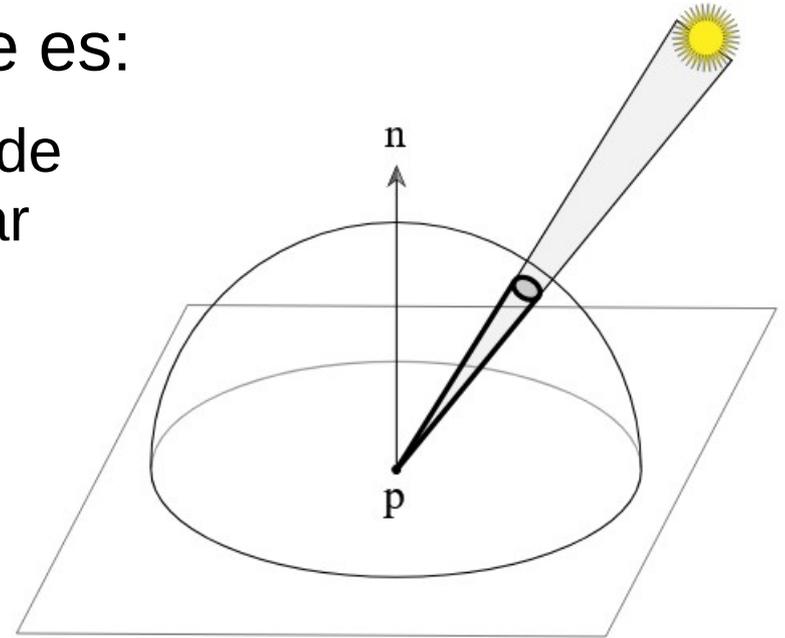
- Muestreo de un punto en la superficie
  - Se escoge un punto aleatorio en la superficie
    - Muestreo uniforme esférico
  - Su probabilidad es el inverso del área
- Como se muestrea un punto, es necesario convertir la medida a ángulo sólido:

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

donde  $d_{\mathbf{x}-\mathbf{x}'}^2$  es el cuadrado de distancia entre el punto en el emisor y el punto a iluminar, y  $\theta_o$  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

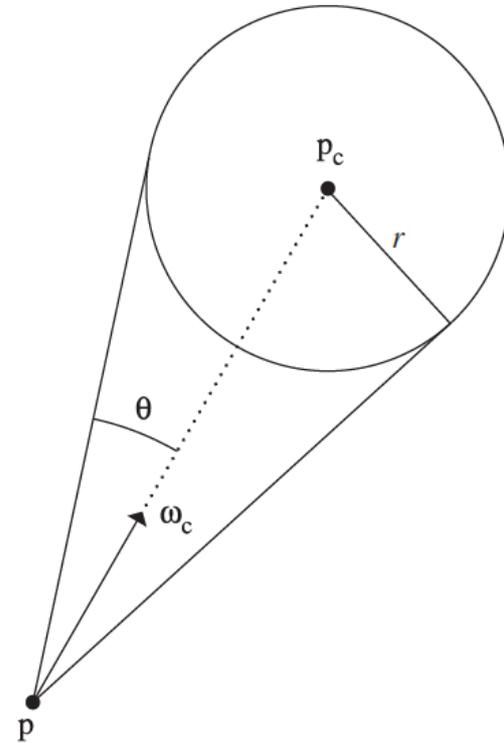


# Fuentes de área (muestreo del ángulo sólido)

- 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  $\theta_{\max}$  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  $\omega_c$

# 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

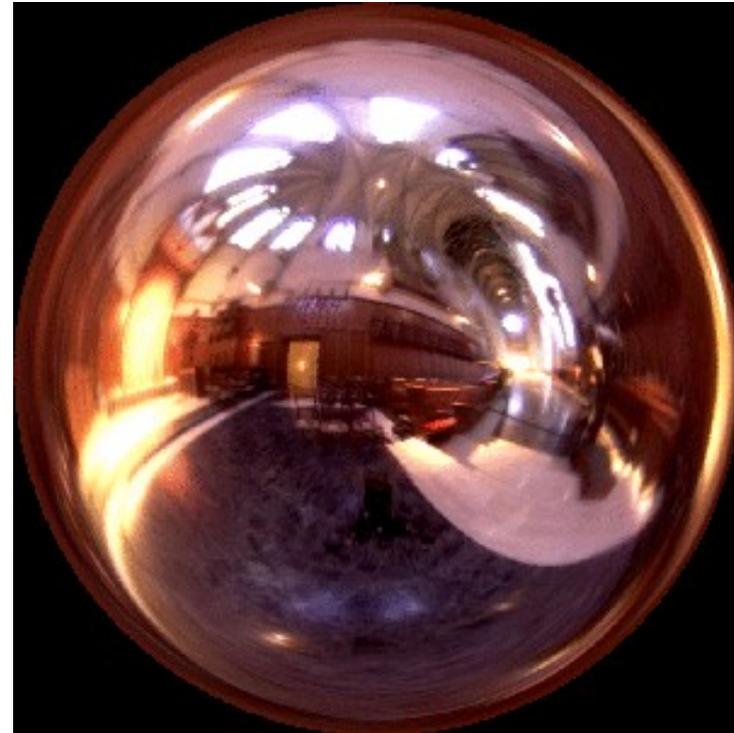


# Ejemplo: iluminación directa con mapa ambiental

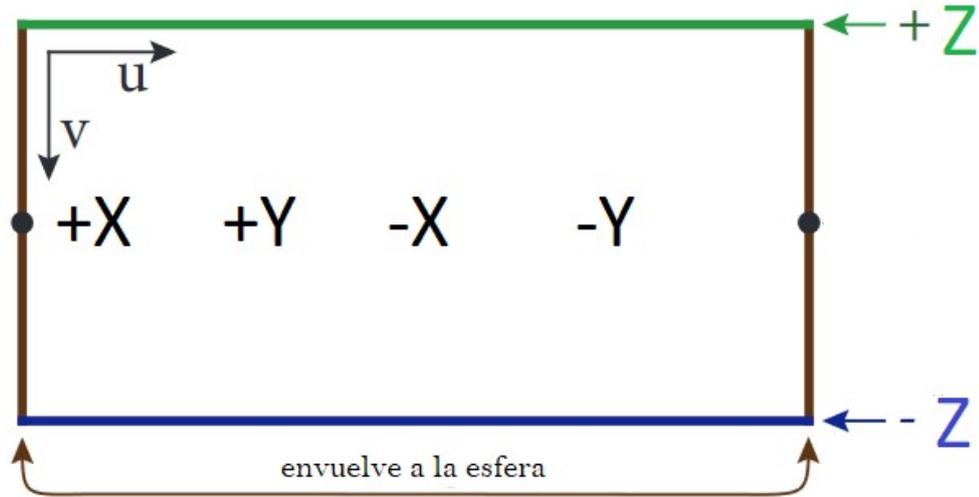


# Mapas ambientales: parametrización

- 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

