

Computación Gráfica

Clase 7 - Sampling, Anti Aliasing, Area Lights/Soft Shadows, Distributed Ray Tracing



Sampling

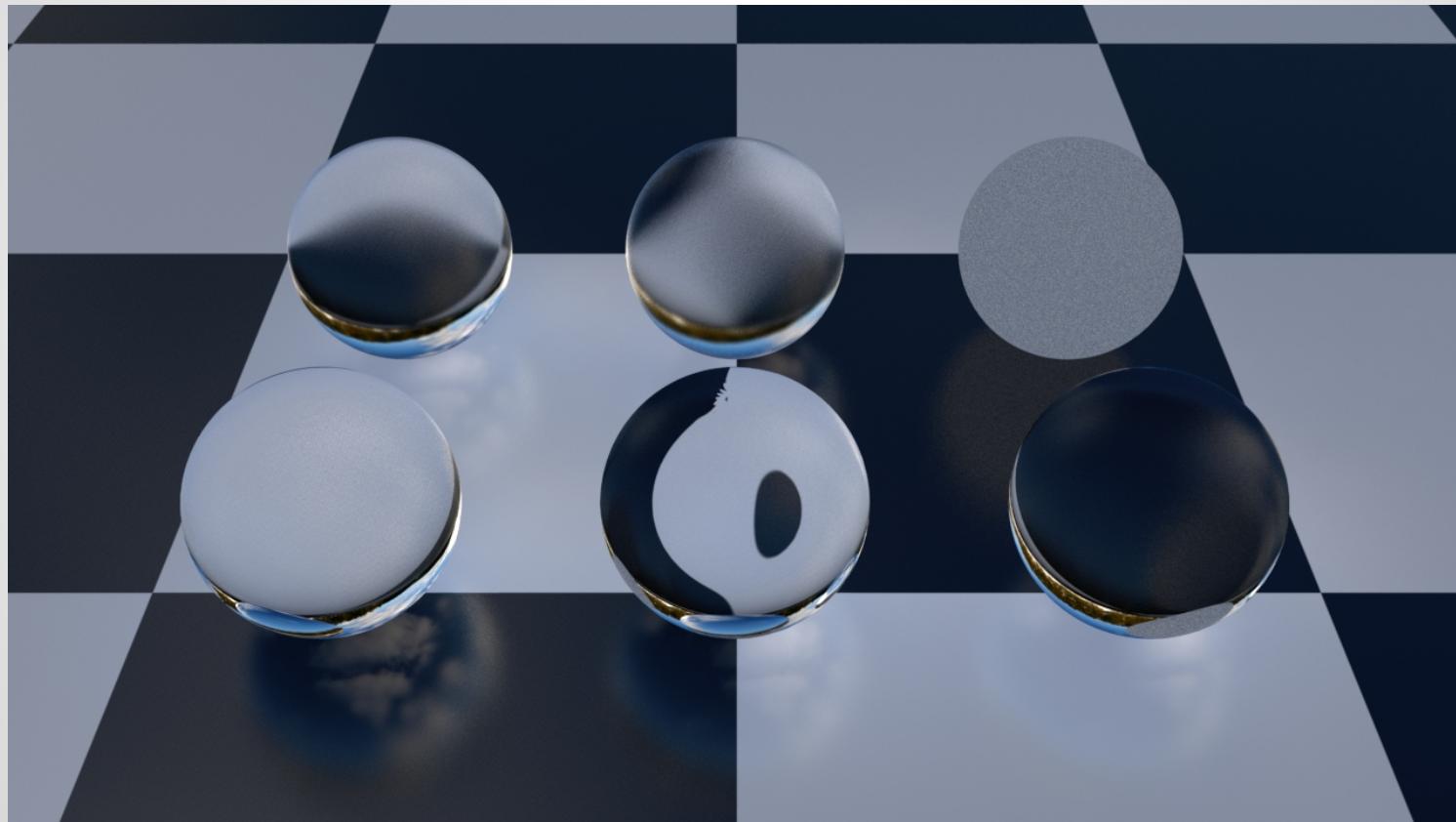
Hasta ahora, utilizamos simplificaciones de la realidad que no son físicamente correctas, y por lo tanto, se ven muy “artificiales”.

Sólo estamos usando soluciones analíticas con un muestreo adicional opcional.

Sombras



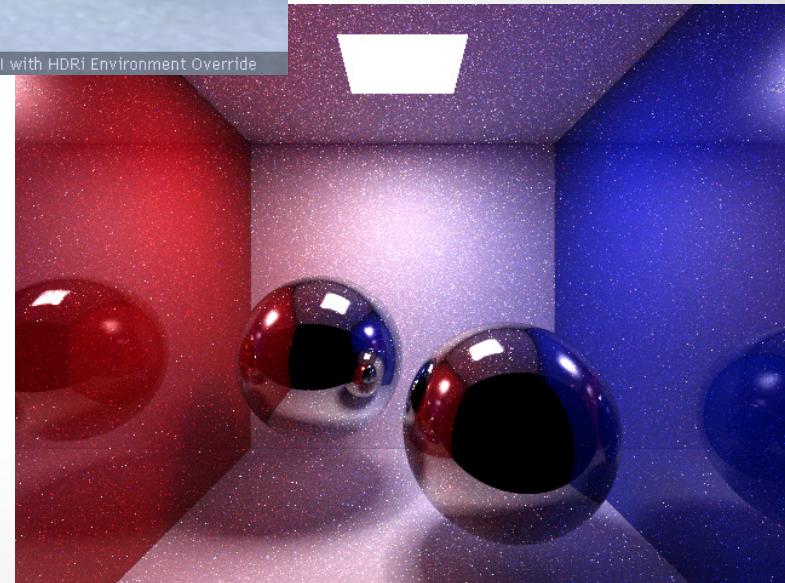
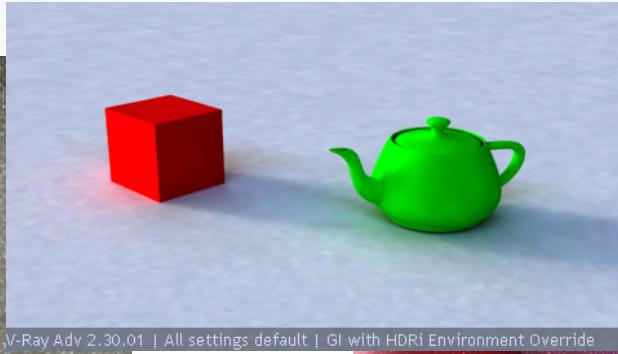
Refraccion



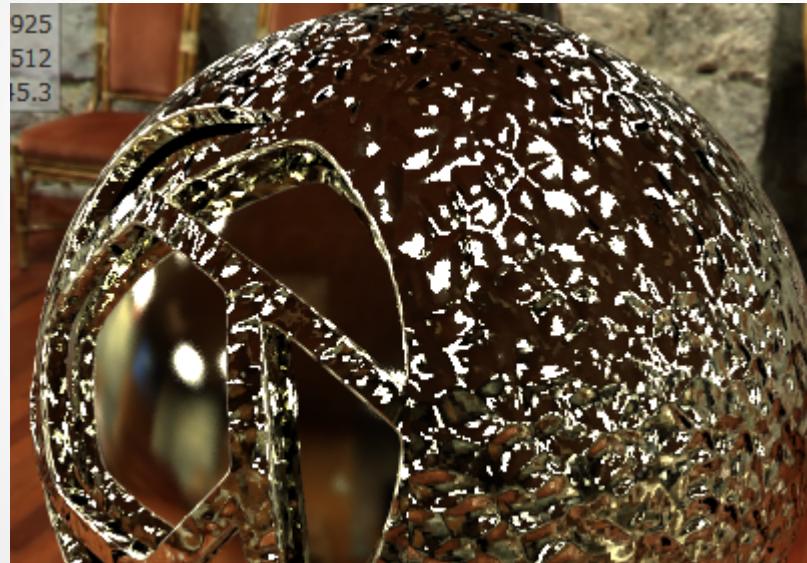
Geometria



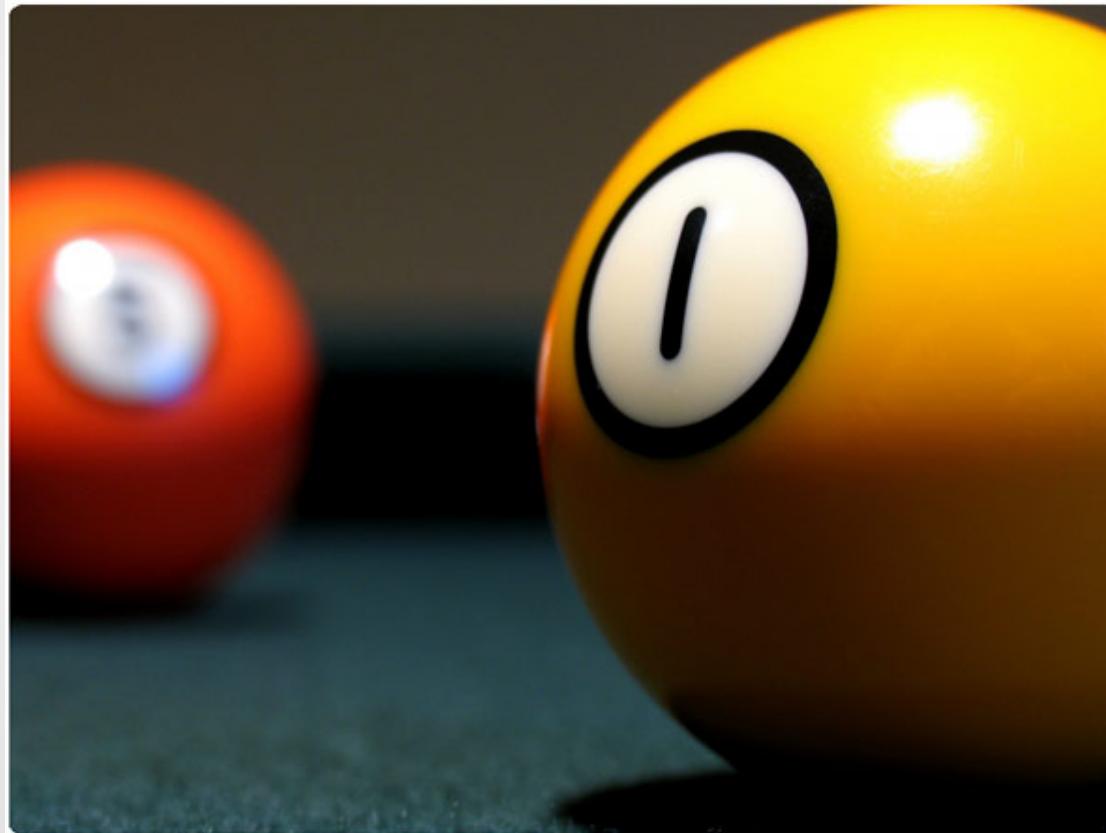
Artifacts



Specular Aliasing



Depth of Field



Sampling

El objetivo de un renderer es poder reproducir el comportamiento de la luz.

Sin embargo, computacionalmente puede ser imposible calcular la cantidad de información necesaria.

Sampling

¿Se podrá aproximar?

Sampling

Utilizando distintos métodos de muestreo espaciales, se puede aproximar la solución de la ecuación de Rendering de forma físicamente correcta.

Veremos cuáles son y cómo se utilizan.

Sampling Espacial

Sobre un área 2D

- Distribución uniforme
- Muestreo estratificado
- Jittered sampling
- N-Rooks
- Multi-jittered sampling
- Poisson Disks
- Hammersley

Función de Densidad de Probabilidad

$$\int_D p(x)dx = 1 \quad \forall x: p(x) \geq 0$$

Probabilidad de que una variable aleatoria y pertenezca al intervalo $[a,b]$:

$$Prob[a \leq y \leq b] = \int_a^b p(x)dx$$

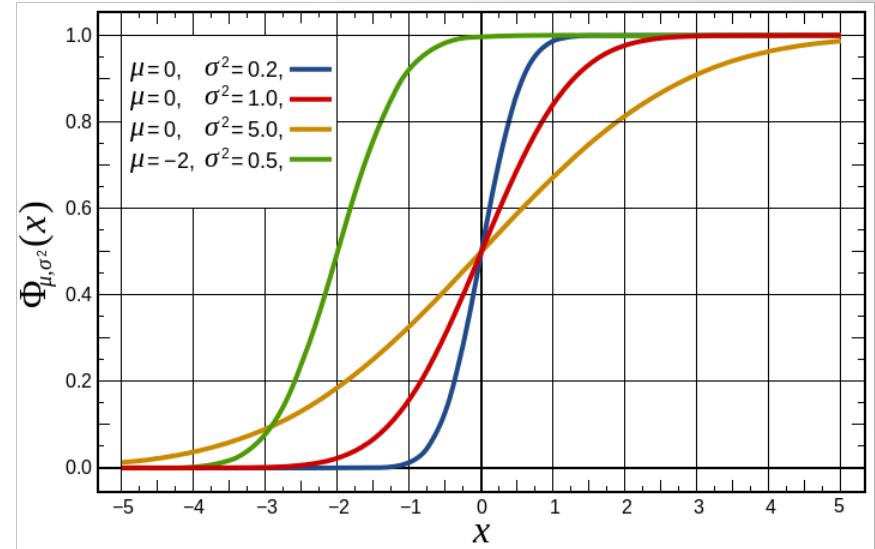
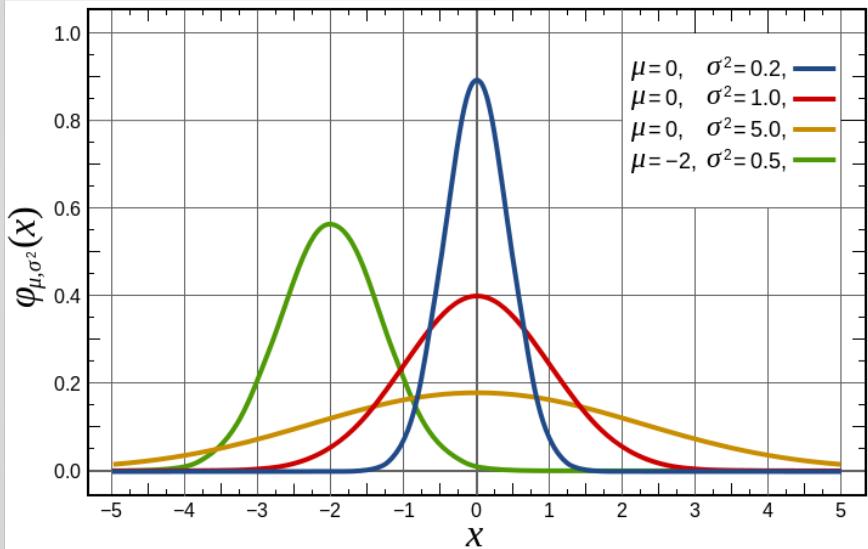
Función de Distribución Acumulativa

La probabilidad de que una variable aleatoria y , generada utilizando $p(y)$, tenga un valor igual o menor que x

$$P(x) = \int_{-\infty}^x p(x)dx$$

$$0 = P(-\infty) \leq P(x) \leq P(\infty) = 1$$

Función de Distribución Acumulativa



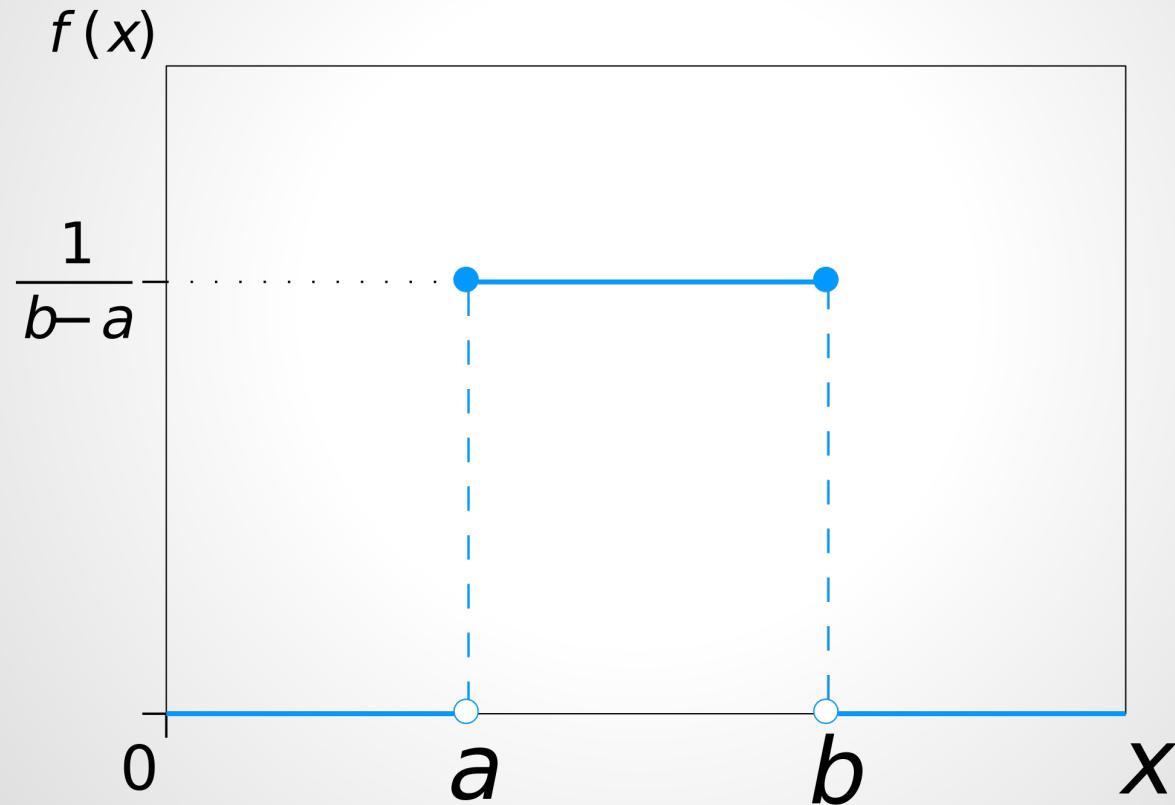
Distribución Uniforme

Una distribución uniforme es definida como una distribución en la que todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados.

$$p(x) = \frac{dP}{dx}(x) = \text{const.}$$

Se desea mantener una distribución uniforme que maximice el área cubierto por muestra.

Distribución Uniforme



Distribución Uniforme

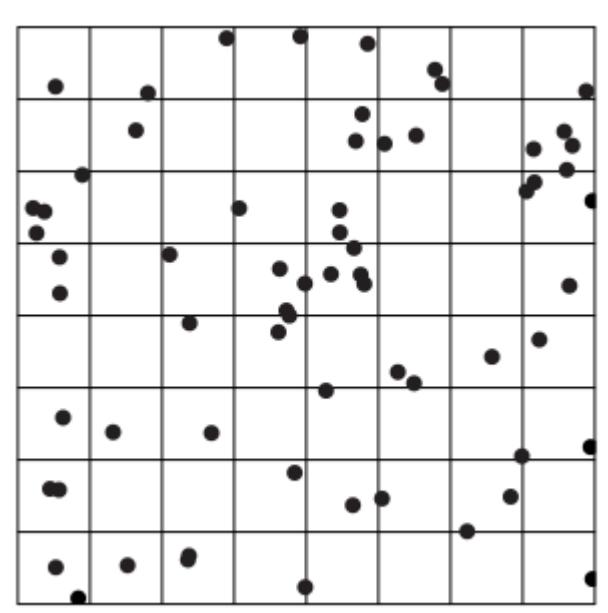
Para poder afirmar, en la implementación, que una distribución sea uniforme, el algoritmo de generación de números pseudoaleatorios también debe serlo.

Las características de cada distribución utilizada impactan mucho en el resultado final.

Distribución Uniforme

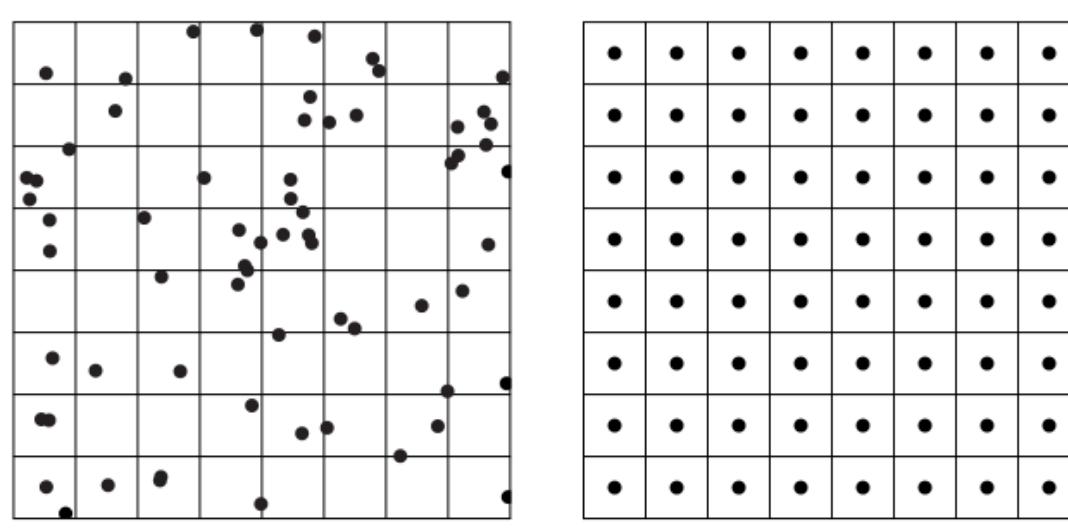
Cualquier generador de muestras uniforme convergerá correctamente con suficientes iteraciones.

Las que nos interesan son las que funcionan bien con pocas muestras.



Muestreo estratificado

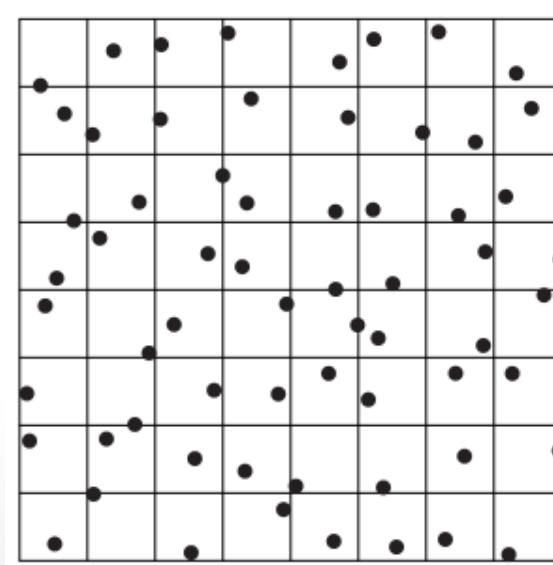
Una forma de mejorar el muestreo simple es segmentar el espacio en una grilla.



Jittered Sampling

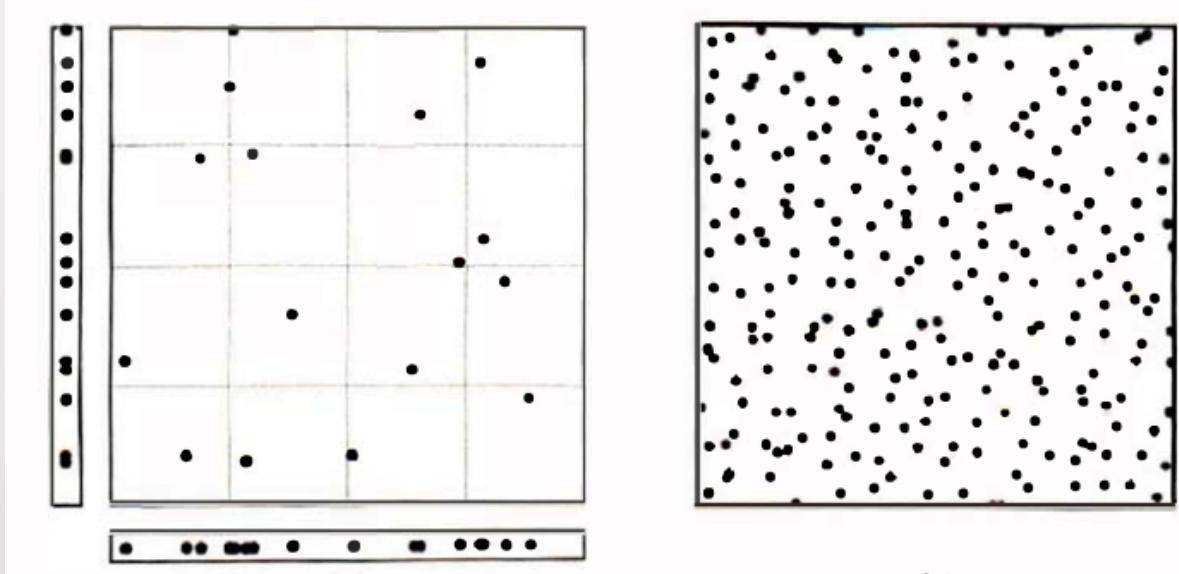
Sin embargo, esta nueva subdivisión va a generar errores (aliasing), por lo que se aleatoriza nuevamente.

Esto se denomina
Jittered sampling



Jittered Sampling

Si proyectamos las muestras a una dimensión, veremos clustering!



N-Rooks

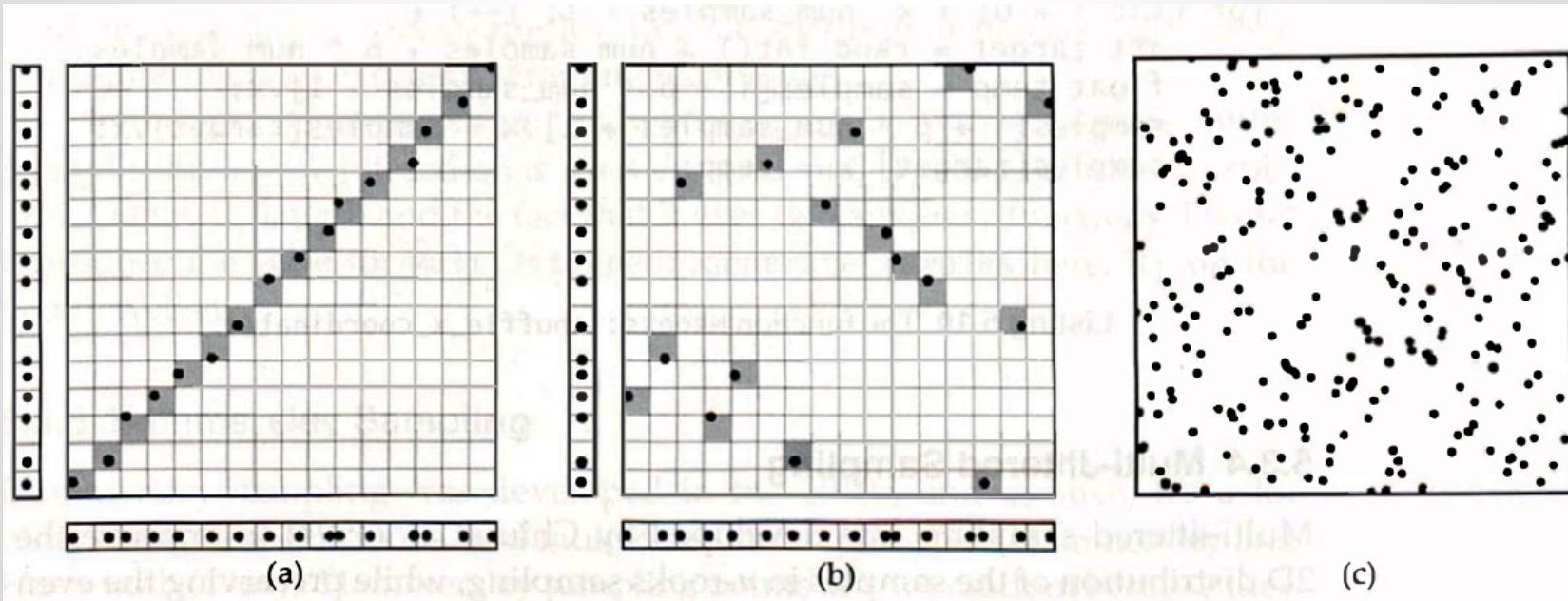
N muestras dentro de una grilla de base y altura n, donde existe solo una muestra en cada columna y cada fila

N-Rooks

1. Generar una muestra aleatoria dentro de cada celda en la diagonal de la grilla
2. Barajar las coordenadas x e y, manteniendo la condición inicial

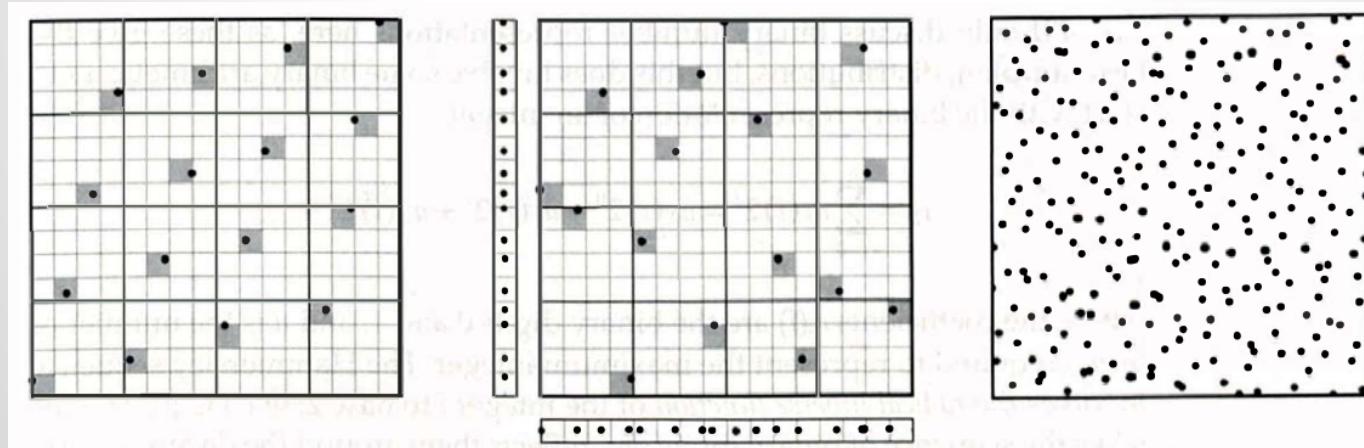
Es más uniforme en la proyección 1D, pero en 2D no mejoró mucho más que el sampleo simple

N-Rooks



Multi-Jittered Sampling

El objetivo es preservar la proyección uniforme en 1D, pero mejorar la proyección 2D. Es una combinación de jittering con n-rooks.



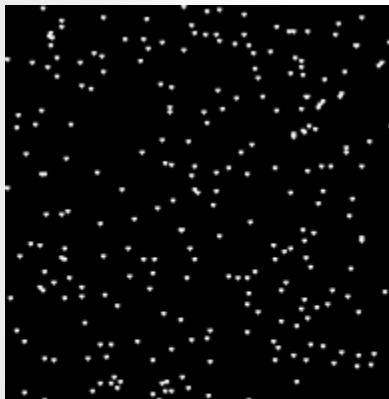
Poisson Disk

Genera puntos dentro de una grilla, asegurándose que entre cada punto hay una mínima distancia r .

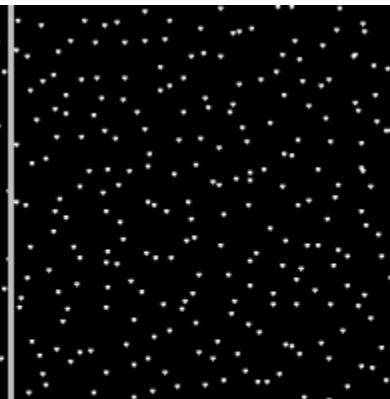
Computacionalmente es menos eficiente, pero el resultado es muy uniforme.

Manipulando la mínima distancia permitida se pueden lograr fenómenos interesantes.

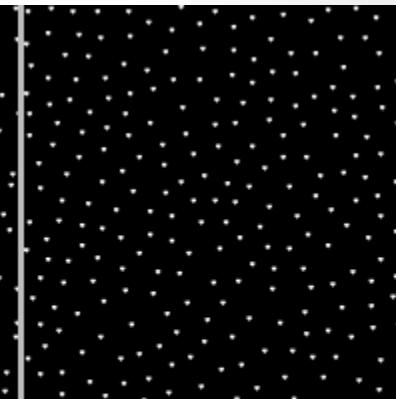
Poisson Disk



Uniform Random Points. The x and y coordinates of these points have been chosen randomly within the width of the image.

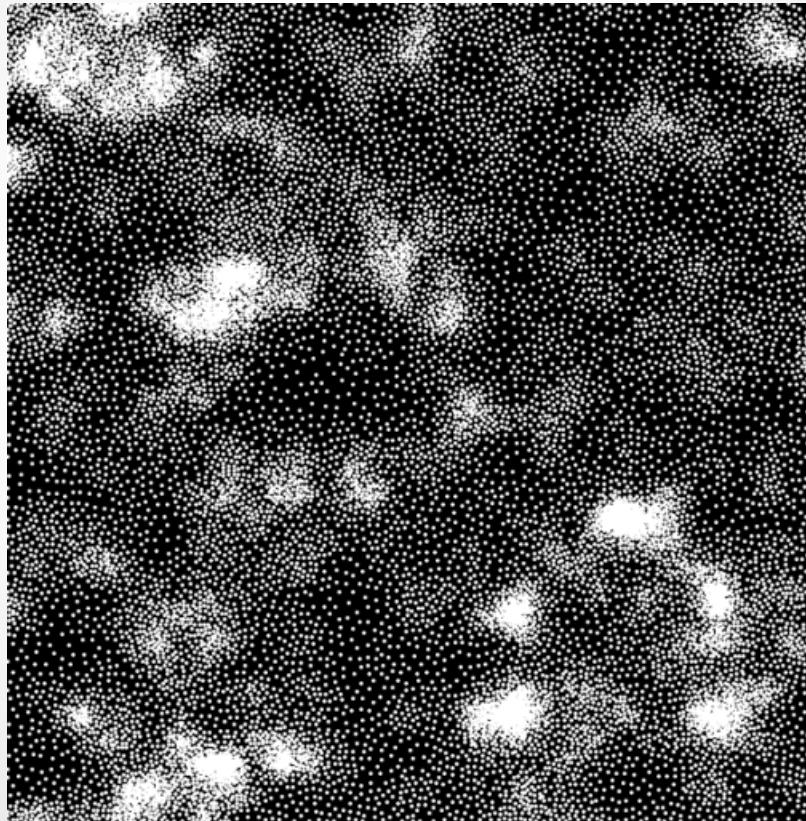


Jittered Grid. The image is divided into a grid, and one point is randomly selected from every cell in the grid.



Poisson disc sample points

Poisson Disk



Hammersley

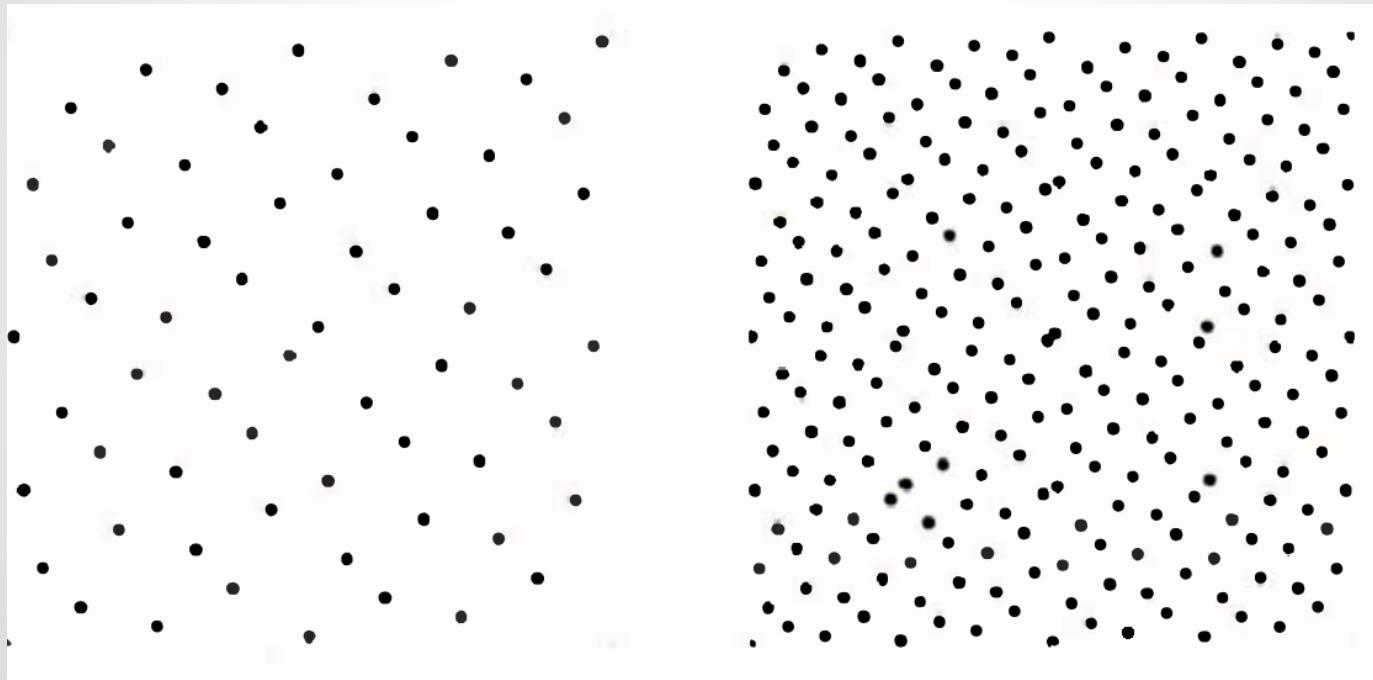
Secuencias cuasi-aleatorias!

$$\Phi_2(i) = \sum_{j=0}^n a_j(i) 2^{-j-1} = a_0(i) \frac{1}{2} + a_1(i) \frac{1}{4} + a_2(i) \frac{1}{8} + \dots$$

No son aleatorias, ya que utilizan la representación binaria de números primos.

Posee mucha uniformidad para ciertos fines, pero tiene desventajas de aliasing.

Hammersley



Sampling Espacial

Algoritmos

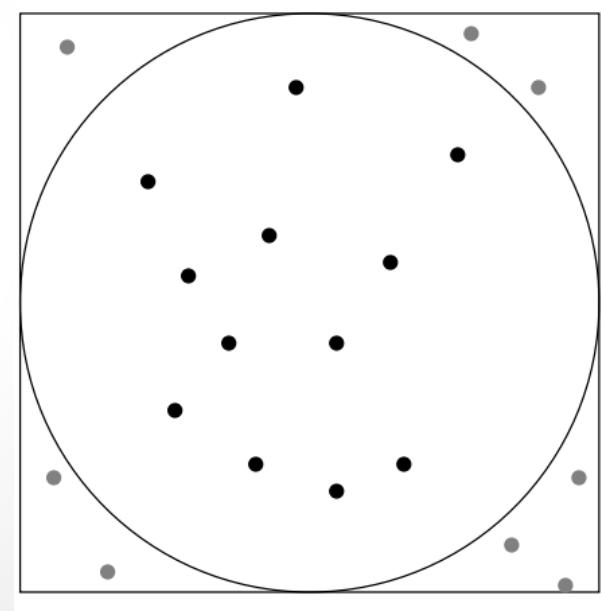
- Disco
- Hemisferio
- Cosine-Weighted Hemisphere

Muestreo de un Disco

Rejection sampling

Muestrea la grilla y rechaza si no pertenece al disco

Muy lento!



Muestreo de un Disco

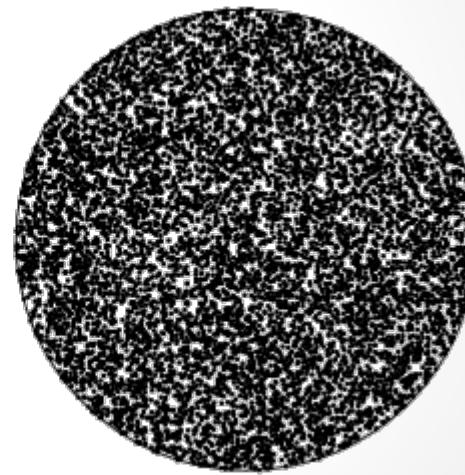
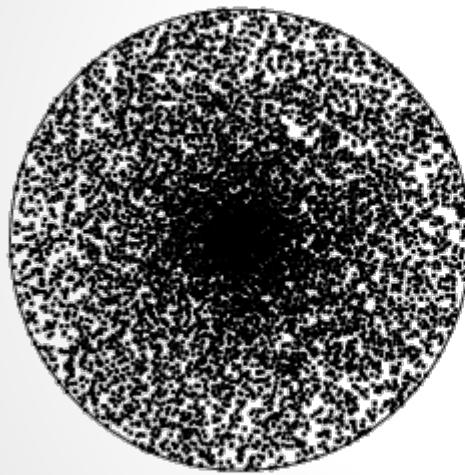
Utilizando dos variables r y theta uniformemente distribuidas, podría muestrearse de la siguiente forma:

$$x = r \cdot \cos(\theta)$$

$$y = r \cdot \sin(\theta)$$

¿Qué sucede?

Muestreo de un Disco



Muestreo de un Disco

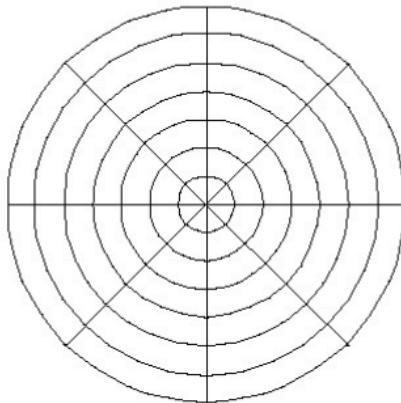
Solución:

$$x = \sqrt{r} \cdot \cos(\theta)$$

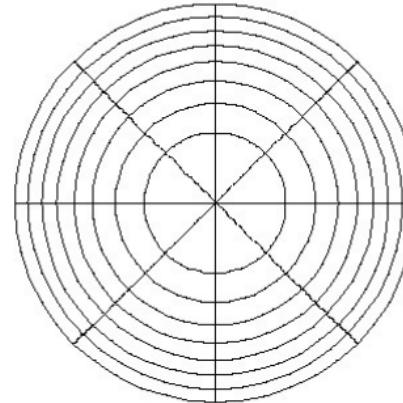
$$y = \sqrt{r} \cdot \sin(\theta)$$

Distribución uniforme!

Muestreo de un Disco

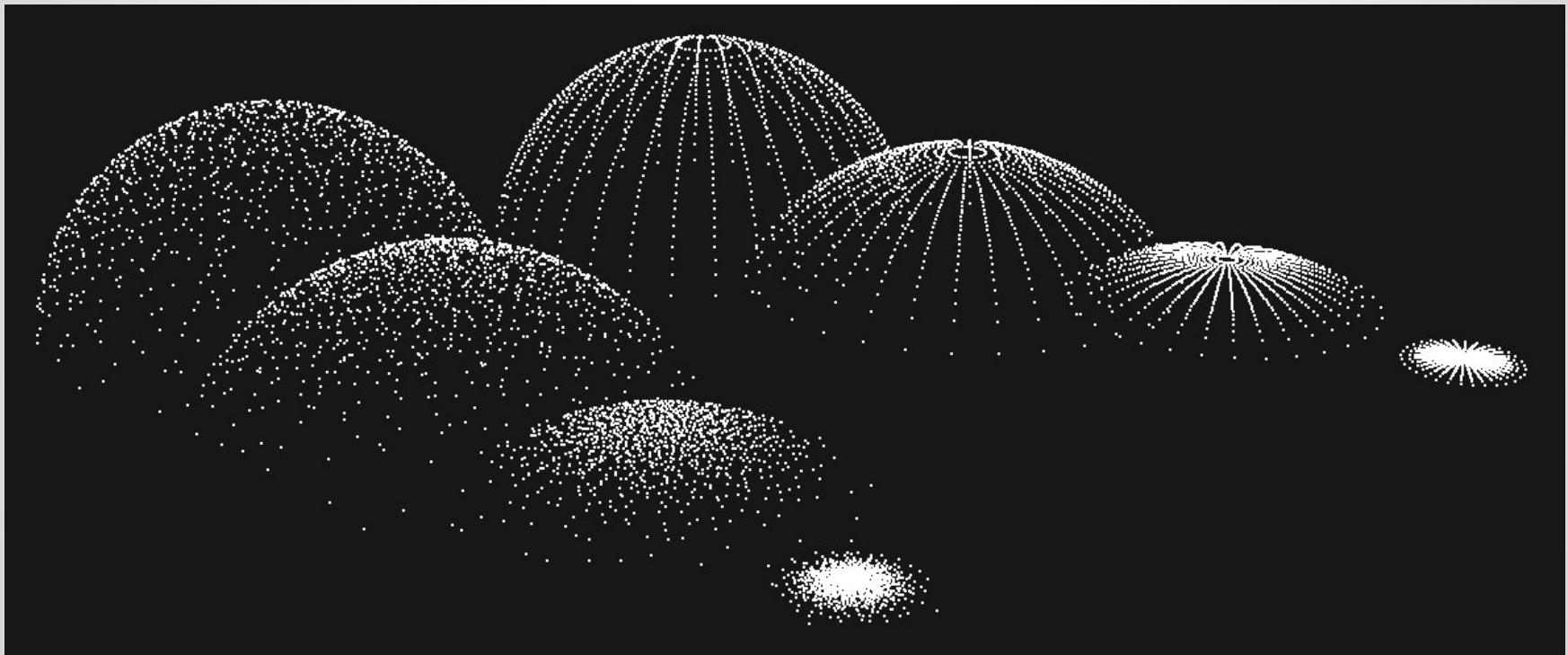


$$r = \xi_1$$
$$\theta = 2\pi\xi_2$$



$$r = \sqrt{\xi_1}$$
$$\theta = 2\pi\xi_2$$

Muestreo de un Hemisferio



Muestreo de un Hemisferio

La función de densidad es uniforme:

$$p(\phi|\theta) = \frac{p(\theta, \phi)}{p(\theta)} = \frac{1}{2\pi}.$$

Muestreo de un Hemisferio

Parametrización:

$$\theta = \cos^{-1} \xi_1$$

$$\phi = 2\pi \xi_2.$$

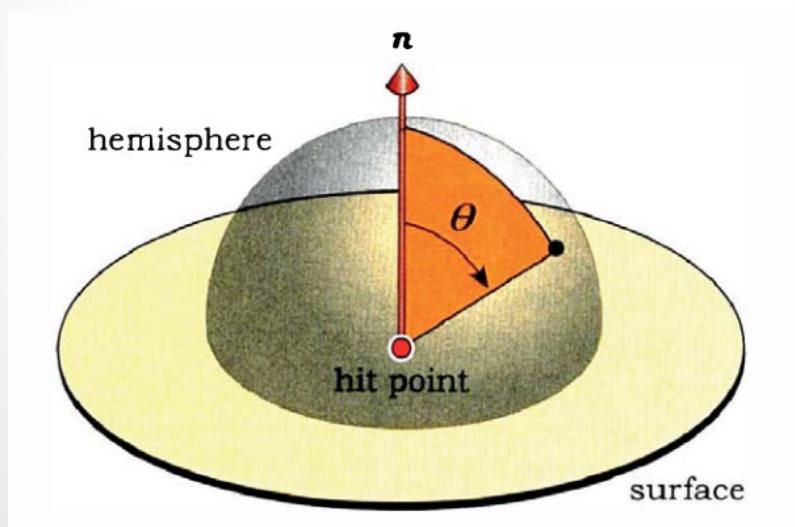
$$x = \sin \theta \cos \phi = \cos(2\pi \xi_2) \sqrt{1 - \xi_1^2}$$

$$y = \sin \theta \sin \phi = \sin(2\pi \xi_2) \sqrt{1 - \xi_1^2}$$

$$z = \cos \theta = \xi_1.$$

Cosine Weighted Hemisphere

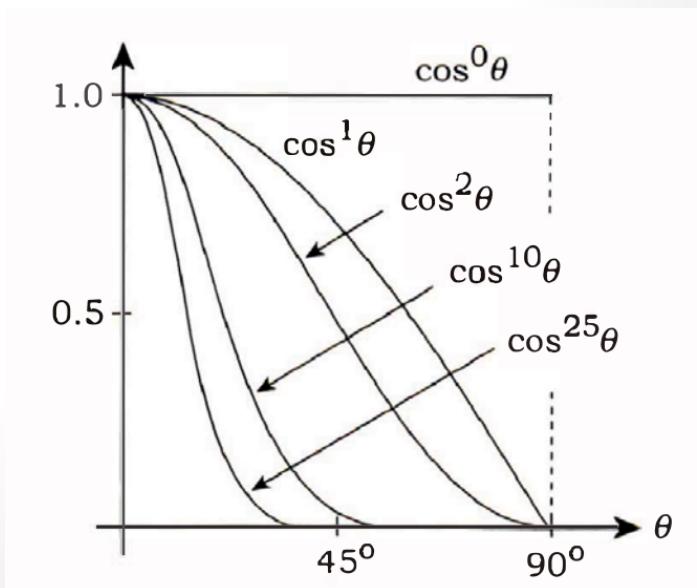
Si definimos un ángulo de apertura máxima que limita la superficie muestreada,



Cosine Weighted Hemisphere

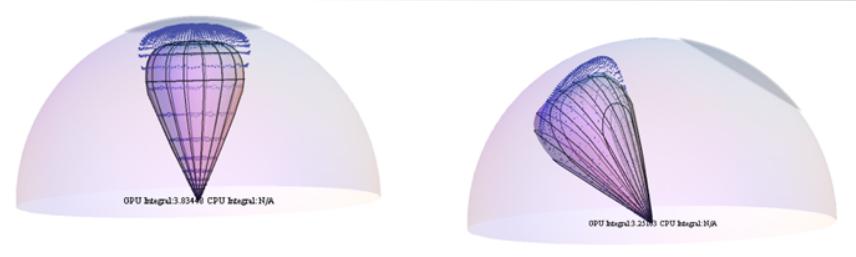
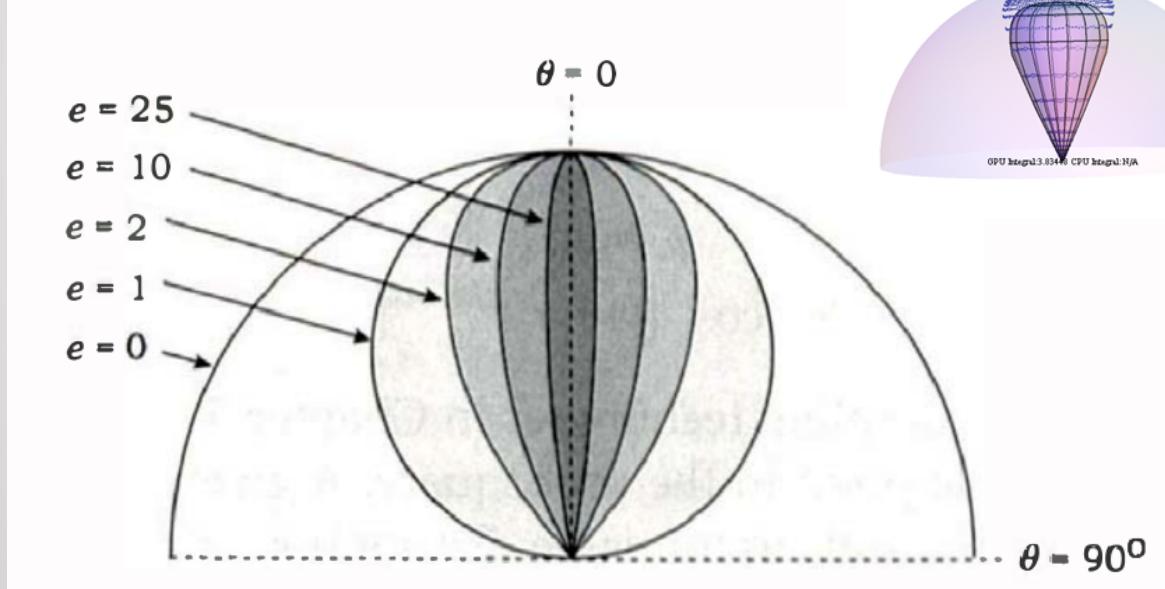
La densidad de las muestras está definida por un exponente,

$$d = \cos^e \theta,$$



Cosine Weighted Hemisphere

Phong lobes

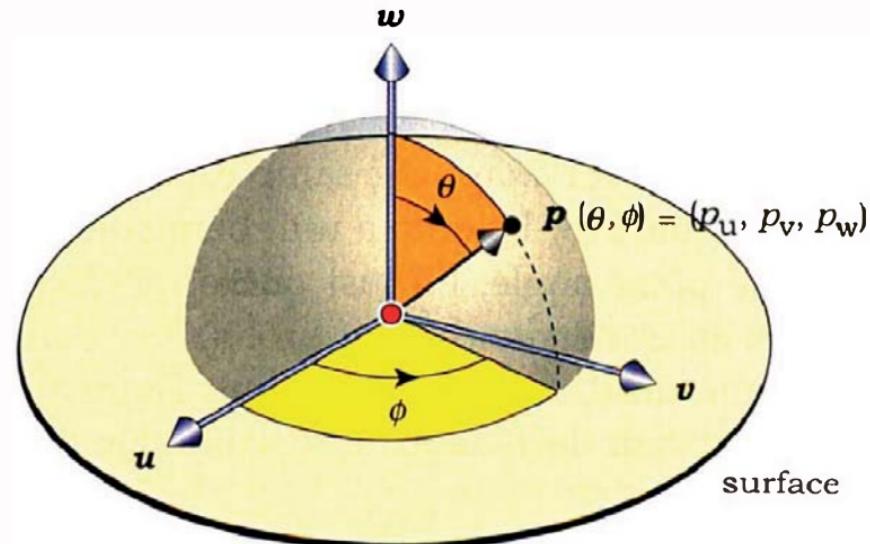


Cosine Weighted Hemisphere

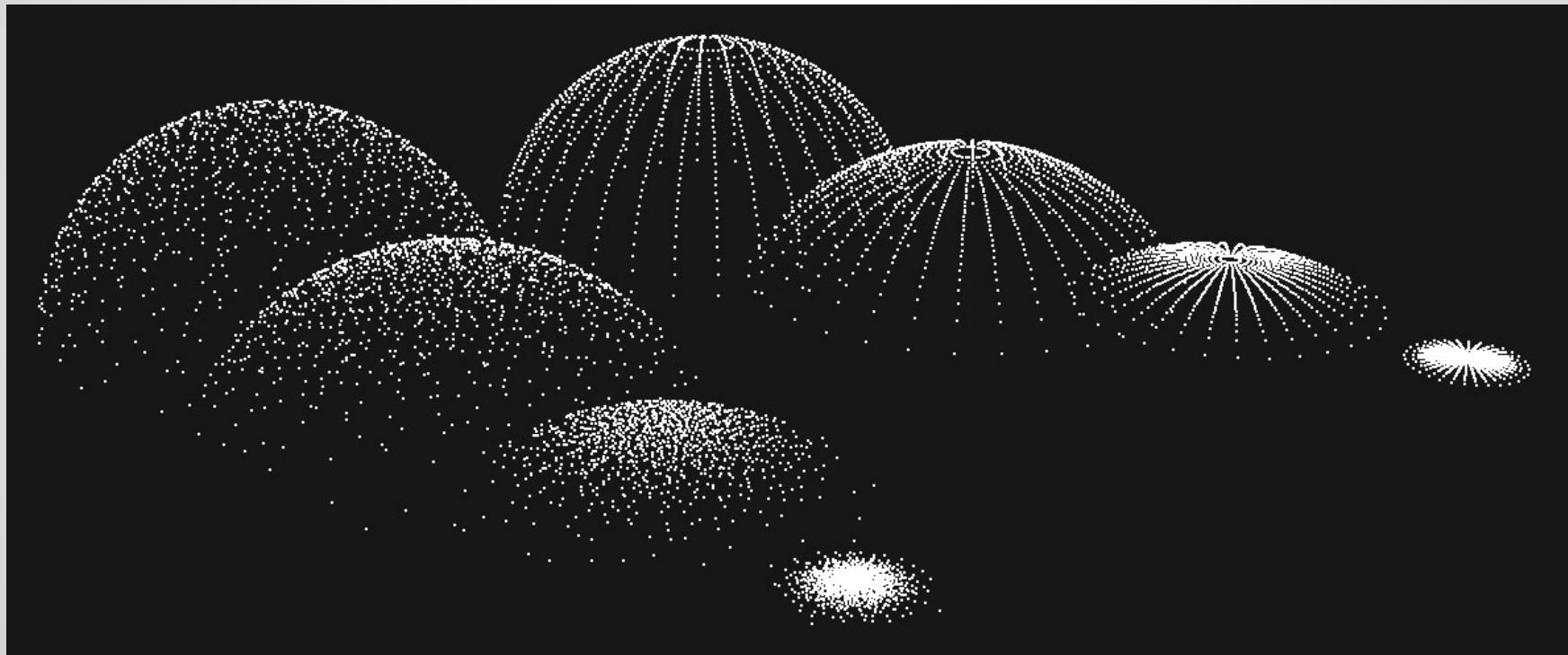
$$\phi = 2\pi r_1,$$

$$\theta = \cos^{-1}[(1 - r_2)^{1/(e + 1)}].$$

$$p = \sin \theta \cos \phi \ u + \sin \theta \sin \phi \ v + \cos \theta \ w.$$



Cosine Weighted Hemisphere



Sampling Espacial

Algoritmos

- Disco
- Hemisferio
- Cosine-Weighted Hemisphere

Acordarse de usar los métodos de muestreos
2D que vimos!

Monte Carlo

¿Cómo se compone el resultado final de una serie de muestreos probabilísticos?

Monte Carlo

Los métodos de Monte Carlo son algoritmos que aproximan una solución mediante funciones probabilísticas como entrada.

Nuestro objetivo final es aproximar la integral sobre un hemisferio de una función (BTDF, BRDF, etc)

Monte Carlo

Para una función f y una distribución p , el estimador de f es

$$F_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{f(X_i)}{p(X_i)}$$

Sampling

Podemos aplicar estos conceptos para resolver diversos problemas dentro de un raytracer.

A la primera solución se le llama Distributed Ray Tracing (o Stochastic Ray Tracing)

Sampling

- Anti Aliasing
- Area lights
- Soft shadows
- Glossiness
- Ambient Occlusion

Distributed Ray Tracing

Genera un árbol de rayos dentro de la escena.

No es físicamente correcto, es decir, es un biased renderer.

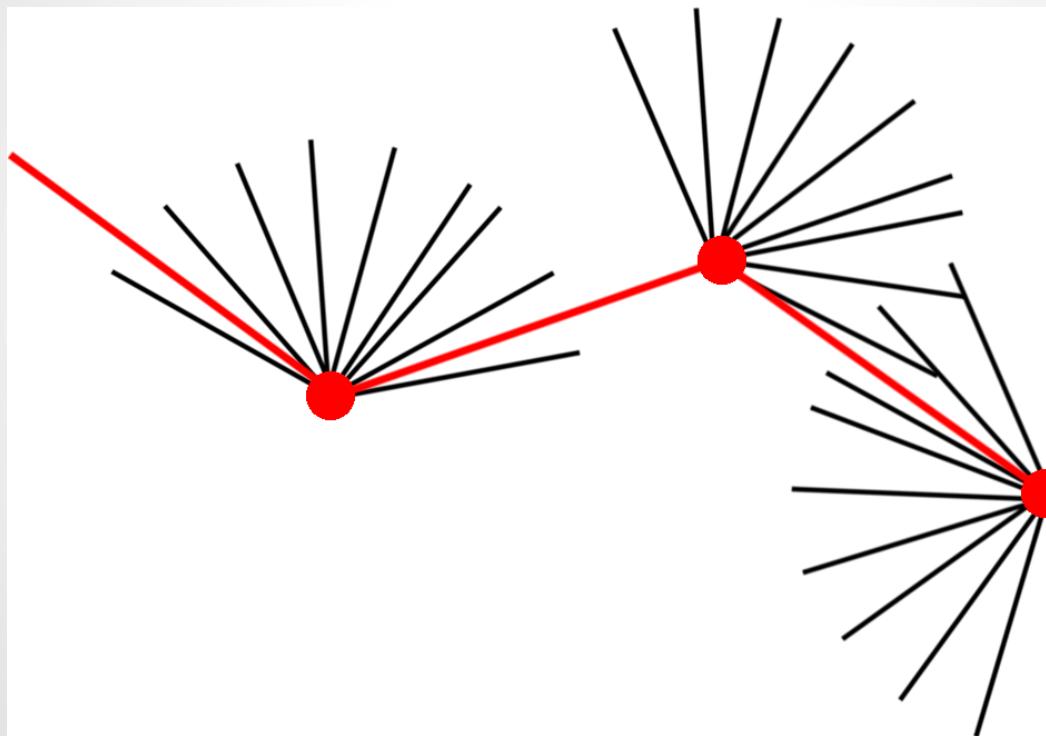
¿Por qué?

Distributed Ray Tracing

Al ser un árbol de rayos, cada intersección con la escena restringe las soluciones posibles, dándole más importancia a los puntos intersectados.

Idealmente, el objetivo es muestrear uniformemente toda la escena.

Distributed Ray Tracing



Anti Aliasing

¿Qué es el aliasing?

Es el error de la estimación en base a las muestras con respecto al valor real.



X360

300%
ZOOM



PS3

300%
ZOOM

Anti Aliasing

¿Cómo se evita el aliasing?

1. Over sampling
2. AA Filter

Anti Aliasing - Over sampling

Se muestrea a mayor precisión que la que tiene la imagen de salida.

Computacionalmente muy costosa, pero da muy buenos resultados, ya que usa el 100% de la información disponible en la escena.

Anti Aliasing - Over sampling

Se puede utilizar cualquiera de los algoritmos de sampling vistos en esta clase.

Se toman múltiples muestras por pixel y se las promedia.

Anti Aliasing - Filter

Se procesa la imagen luego del render.

Se detectan los bordes y se los suaviza.

Sumamente eficientes (muy usados en RT),
pero de peores resultados.

Anti Aliasing - Métodos Híbridos

Últimamente se han propuestos varios métodos híbridos, que hacen un primer render, hacen detección de bordes, y sobre los bordes hacen oversampling para mejorar la imagen final.

Dan resultados muy buenos, con una fracción del costo computacional.

Anti Aliasing - Métodos Híbridos

Algoritmos:

- SMAA
- Adaptive Supersampling for Deferred Anti-Aliasing

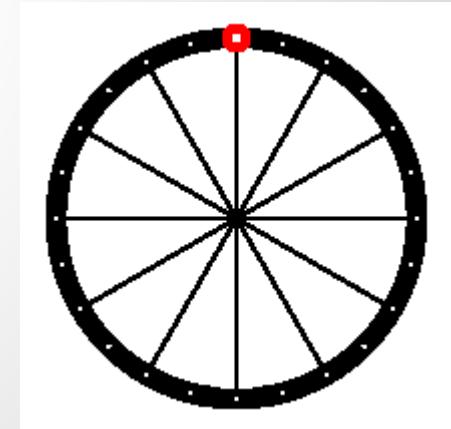
Anti Aliasing

El aliasing no sólo ocurre en imágenes estáticas sobre los bordes.

¡También ocurre en animaciones!

El movimiento es continuo, pero el rendering crea cuadros discretos

<http://www.soest.hawaii.edu/wessel/courses/gg313/wheel.gif>



Anti Aliasing

Teorema de Nyquist-Shannon:

- estos efectos desaparecen si la velocidad de sampleo es el doble del ancho de banda.

Movimientos más rápidos requieren mayor velocidad de rendering.

Area Lights

Hasta ahora, las luces que vimos son simples y no reflejan la realidad.

Físicamente, las luces siempre son volumétricas, por lo que veremos algunas de ellas.

Area Lights

La función de visibilidad ahora está limitada además por la superficie de la luz.

Nuevamente, las sombras surgen naturalmente!

Area Lights

Por cada punto intersecado

Para cada luz

Para cada muestra de la superficie

Evaluar la función de visibilidad, acumular

Integrar y utilizar como luz incidente

Area Lights

- Sphere Lights
- Area Lights
- Mesh Lights
- Dome Lights

Area Lights

- Sphere Lights

Samplear el hemisferio en la dirección hacia el centro de masa de la luz!

Area Lights

- Sphere Lights
- Area Lights

Samplear una grilla con algunos de los métodos 2D mencionados!

Area Lights

- Sphere Lights
- Area Lights
- Dome Lights

Samplear el hemisferio orientado a los ejes del mundo!

Light Decay

Al ser una onda electromagnética, la intensidad de la luz disminuye con la distancia recorrida.

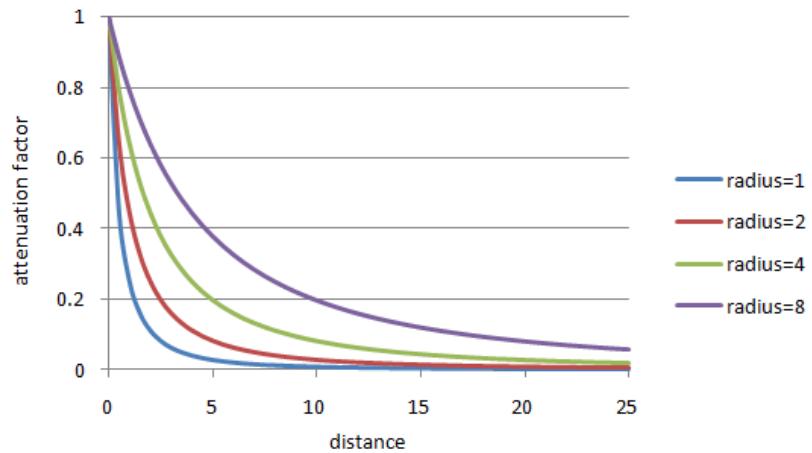
Se pueden utilizar tres enfoques distintos para la manipular atenuación.

Esto ofrece mayor control artístico.

Light Decay

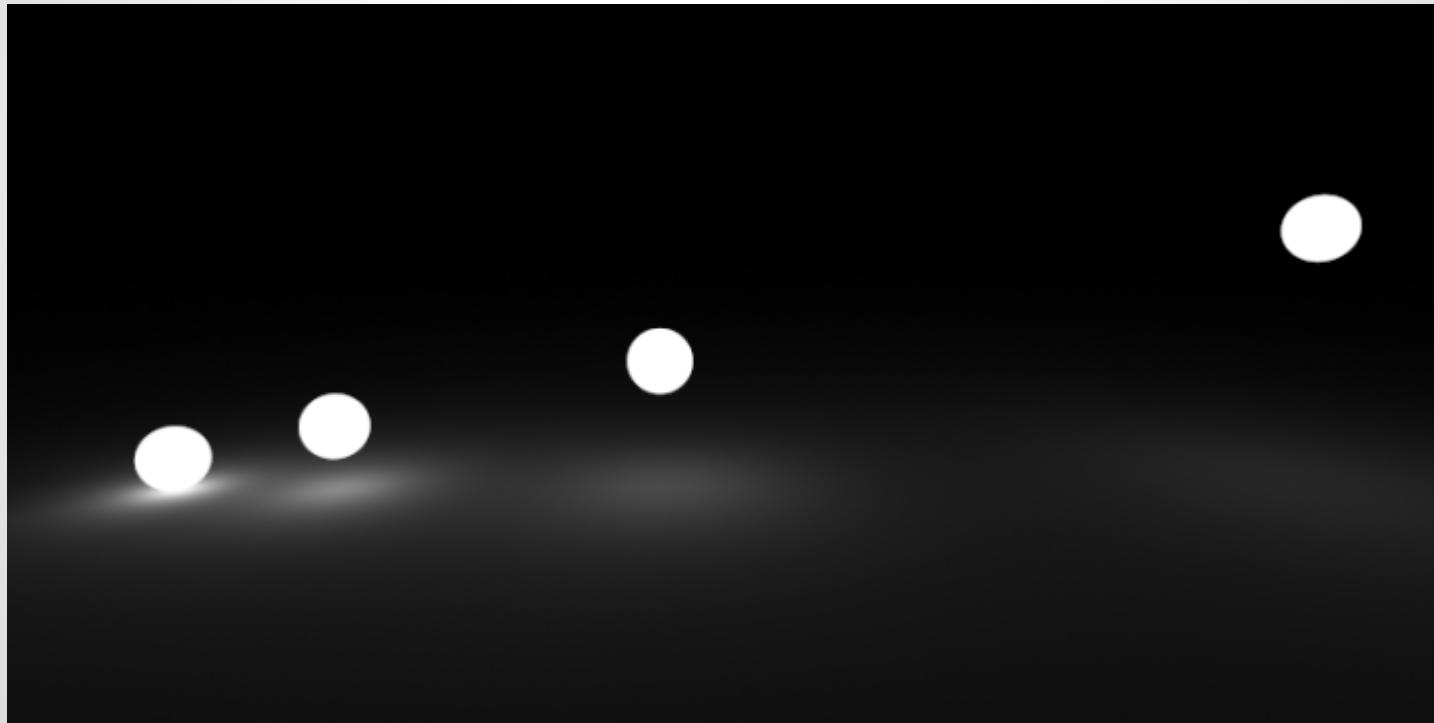
Tipos de atenuación:

- Constante
- Lineal
- Cuadratico



$$f_{att} = \frac{1}{k_c + k_l d + k_q d^2}$$

Light Decay

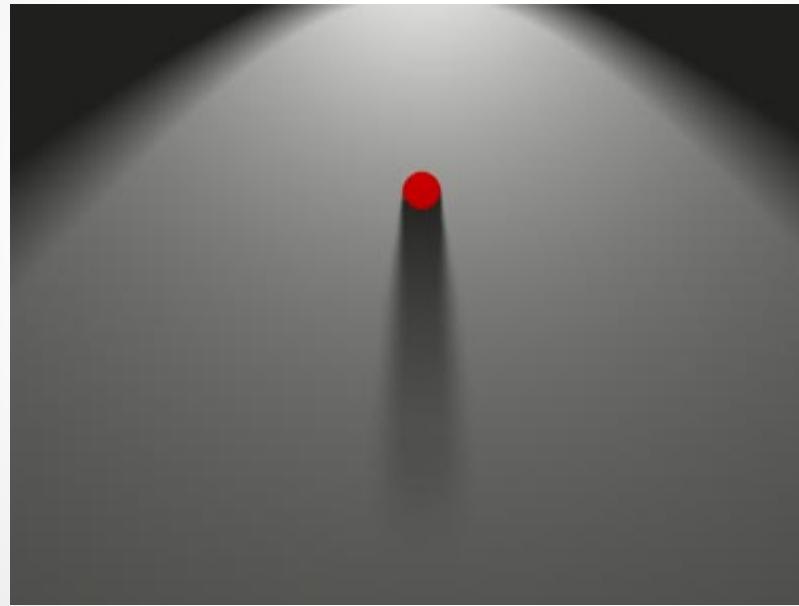


Soft Shadows

Utilizando area lights, las sombras se suavizan según la distancia a la luz.

¿Por qué sucede esto?

Soft Shadows



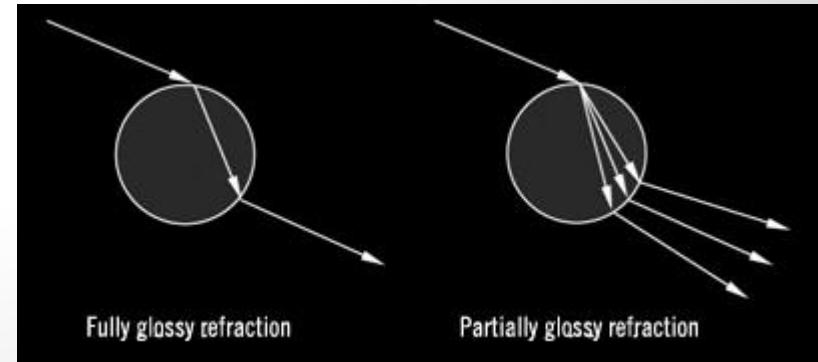
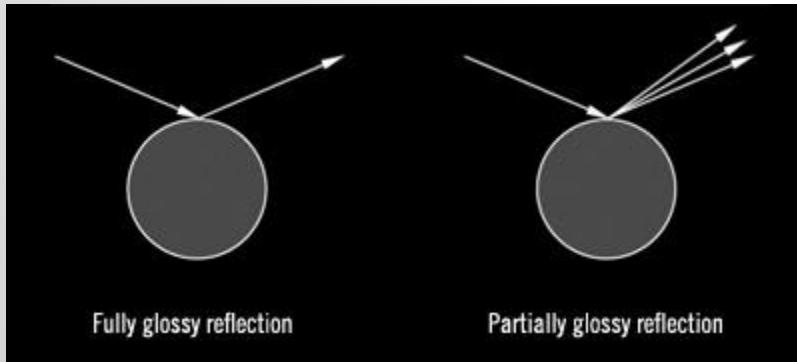
Glossiness

Aplicando el mismo concepto de Distributed Ray Tracing, podemos aproximar reflejos y refracciones más difusas.

- Reflexiones
- Refracciones

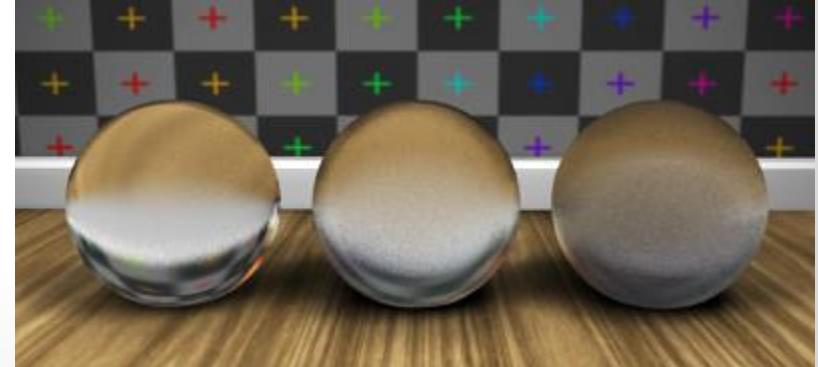
Glossiness

Hasta acá vimos como crear reflexiones y refracciones perfectas, pero si la superficie tiene imperfecciones...

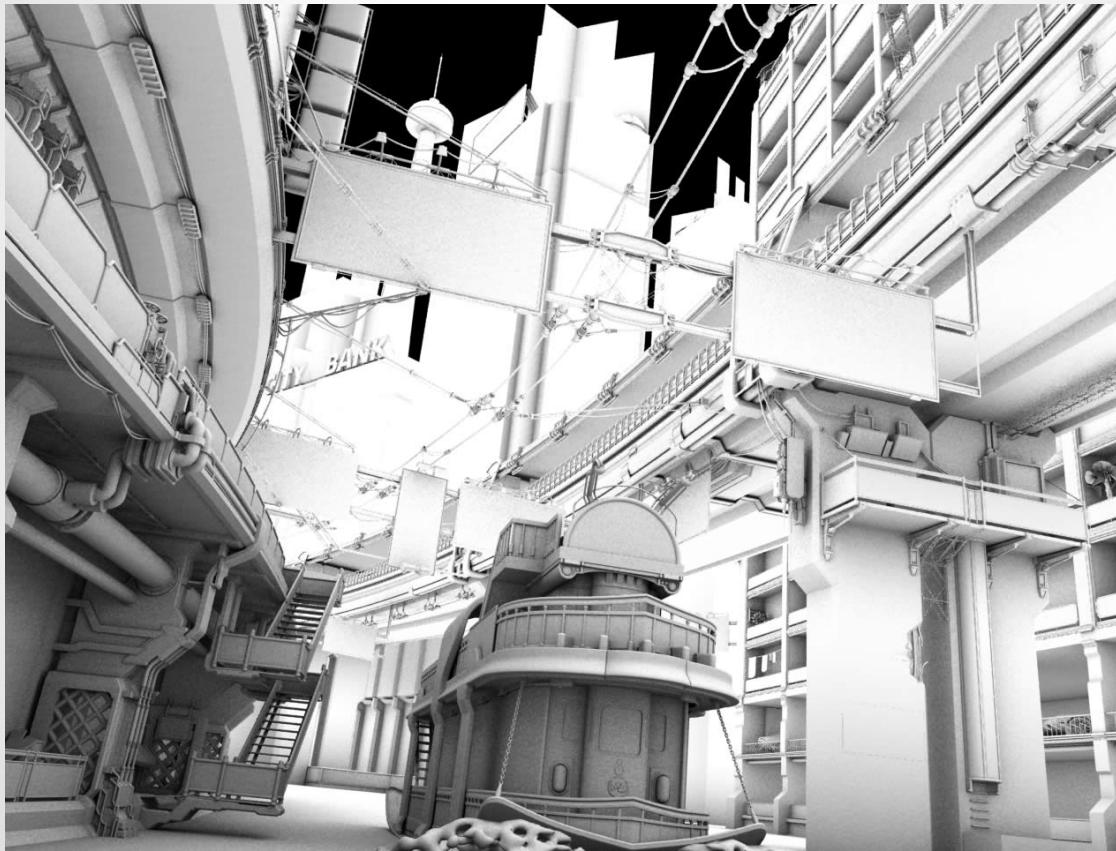


Glossiness

Se disparan múltiples rayos sobre un hemisferio cosine-weighted y se promedia el resultado.



Oclusión Ambiental



Oclusión Ambiental

Hasta ahora, nuestro modelo de un material difuso es analítico, utilizando la ecuación de Lambert.

Pero este modelo no considera el ambiente, sólo las luces.

Oclusión Ambiental

Un paso hacia una aproximación más correcta sería muestrear uniformemente el hemisferio en el punto evaluado, y utilizar esa información como luz incidente.

La oclusión ambiental es una simplificación.

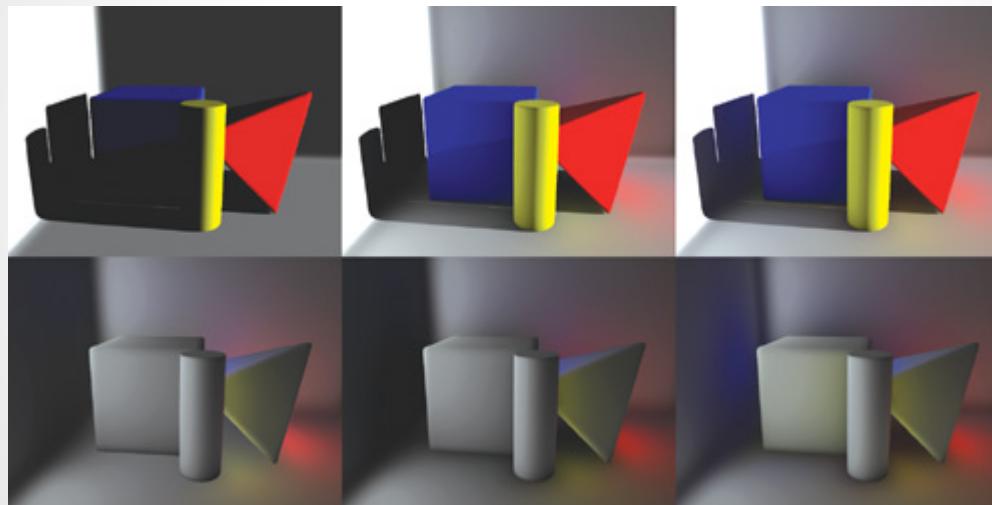
Oclusión Ambiental

Samplea solo la función de oclusión, definida como la integral de la función de visibilidad sobre el hemisferio.

$$A_{\bar{p}} = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega} V_{\bar{p}, \hat{\omega}}(\hat{n} \cdot \hat{\omega}) \, d\omega$$

Es un truco para generar realismo, pero no es físicamente correcto.

Oclusión Ambiental



Oclusión Ambiental

