

## El Ray Tracing

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Escuela de Matemática  
Jorge Monge Fallas  
[jomonge@itcr.ac.cr](mailto:jomonge@itcr.ac.cr)

---

### *Resumen*

Con este artículo, se pretende dar una idea intuitiva de la técnica de representaciones de imágenes: el Ray Tracing. En este sentido se explica, como el ray tracing trata de garantizar el realismo en el diseño de una escena. Para ello se acude a algunos conceptos físicos relacionados con la naturaleza de la luz y su interacción con los objetos.

### **Introducción**

Desde hace algunas décadas nació el interés por la temática de gráficos por computadoras. Pero en los últimos años ha evolucionado con mayor rapidez gracias a factores como el mejoramiento en materia de hardware e investigaciones realizadas en técnicas de representaciones gráficas. El aprendizaje de alguna de estas técnicas para la representación de imágenes por computadora según [5] presenta barreras para los que deseen estudiarla, esto por el alto contenido matemático y físico.

En este artículo nos referimos a una de ellas, el trazado de rayos o ray tracing.

Curiosamente esta técnica no fue creada por la comunidad de computer graphics. Aparece publicada por primera vez, en un tratado realizado por René Descartes en 1637. Utilizada en óptica geométrica para explicar la forma del arco iris. Descartes utilizaba el ray tracing como un armazón teórico para la explicación de ciertos fenómenos.

En la óptica geométrica se prescinde del tratamiento ondulatorio de la luz. En esta se presenta la propagación de luz por medio de rayos, cuya trayectoria a través de un sistema óptico está determinada por la aplicación de las leyes de reflexión y refracción. Estas leyes serán consideradas posteriormente en el artículo.

El ray tracing permite modelar la propagación electromagnética a través de varios ambientes.

Fue hasta los años ochenta que la comunidad de computer graphics inició estudios respecto al tema. Como consecuencia de ello, en las décadas siguientes se estudia extensamente.

El ray tracing respecto a otras técnicas, tiene la ventaja de incorporar interacciones de luz, consideradas bastante complejas y la interacción con los objetos. Modelos que anteriormente eran tratados en forma separada.

Esta técnica de generación de imágenes permite aplicar a la escena un modelo de iluminación global, fundamentado en las leyes de la óptica geométrica. Con ella, se pretende modelar la realidad con ciertas restricciones. A pesar de estas limitaciones, en las escenas o imágenes se pueden apreciar espejos, objetos transparentes, sombras, objetos corrugados, mapeo de textura sobre objetos y otros.

En la primera parte del artículo se explica en términos generales cómo trabaja el ray tracing en la representación de escenas en tres dimensiones. En la segunda parte, se trata el modelo de iluminación global que utiliza, en el cual se consideran las leyes de reflexión y refracción. Por último se mencionan algunos elementos que enriquecen las escenas en el ray tracing y la descripción de una de ellas.

### **Descripción del ray tracing**

Antes de hacer la descripción del ray tracing, debemos tener claro, qué es una escena y cómo está compuesta. Una escena es lo que vamos a representar tridimensionalmente. Estas escenas están compuestas por un conjunto de objetos, los cuales son modelados matemáticamente. Esto implica que los objetos que estarán allí, deben estar compuestos por planos, esferas, cilindros, superficies cuádricas y otros como el toro. También pueden incluir objetos que se obtienen como producto de la intersección varios de estos objetos. El siguiente texto muestra una forma de describir una escena:

```

OJO                = 25.0 250.0 -250
VENTANA            = 0.0 0.0 0.0
                  400.0 350.0 0.0
RESOLUCION        = 700 500
AMBIENTE          = 0.8

N_TEXTURA         = 2
ATENUACION        = 1.0 0.0 0.0
FONDO              = 0.7550 0.7390
0.7190
NIVELES           = 1
TRANSPARENCIA     = 1

N_LUCES           = 2

POSICION          = 500 400.0 300.0
INTENSIDAD        = 0.9

POSICION          = 250 350.0 -200.0
INTENSIDAD        = 0.8

ESFERAS           = 13

CENTRO            = 685.8490 105.0
345.750
RADIO             = 11.0

TEXTURA           = -1
BUMP_MAP          = -1
COLOR             = 1.0 0.0 0.0
Ka                = 0.8
Kd                = 0.2
Ks                = 0.8
Kn                = 5
Kt                = 0.0
MIX               = 0.85 0.10 0.05

```

En esta escena se especifican algunos elementos generales como la posición del ojo, las dimensiones de la ventana, la resolución, la luz ambiente, el color por defecto del espacio donde está la escena y otros.

Posteriormente se define la cantidad de luces en la escena, la posición de la fuente de luz y su intensidad.

Es de interés tener en cuenta que la fuerza de una lámpara o cualquier fuente de luz está expresada por una cantidad que se le denomina intensidad luminosa. En el ray tracing la fuente de iluminación está determinada por un punto de luz, al cual se le asocia una cierta intensidad, que corresponde a un número entre 0 y 1.

La selección de la ubicación de este punto de luz debe ser cuidadosa, para que la cantidad de luz caiga adecuadamente en cada unidad de área del ambiente que se quiere iluminar.

Entre la caracterización del objeto hay algunas componentes comunes tales como: textura, que indica si el objeto se va a mapear con alguna textura, de igual forma con el bump mapping, el color del objeto, y las constantes ka, kd y ks que representan: coeficiente de luz ambiente, coeficiente de reflexión difusa y coeficiente de reflexión especular respectivamente. También propiedades propias a los objetos como en el caso de la esfera, el radio y el centro. En el caso de un polígono, la cantidad de lados, la ubicación de cada uno de los vértices.

Nuestra forma natural de ver las cosas, puede ser presentado por la figura (1)

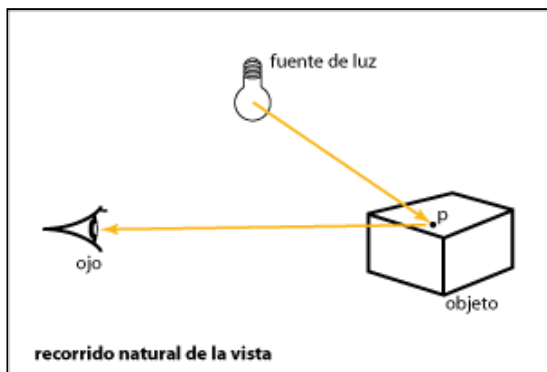


Figura (1)

En este esquema, tenemos una fuente de luz, un objeto y el ojo humano. La fuente de luz emite los rayos de luz hacia todas direcciones, golpeando a los objetos en ciertos puntos. En estos puntos cierta cantidad de luz es rebotada y percibida por el ojo humano. Puntualmente percibimos el color del objeto en dicho punto.

Mientras en el ray tracing se sigue el procedimiento indicado el esquema, que se muestra en la figura (2).

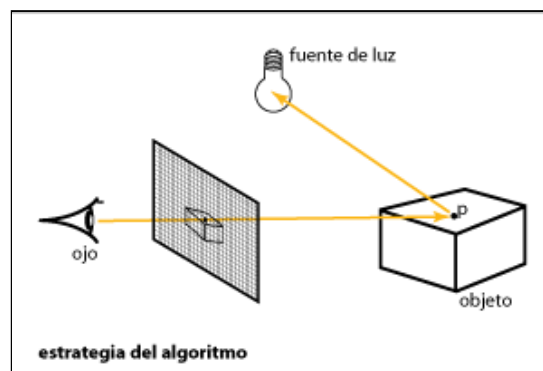


Figura (2)

Desde el ojo se establecen un conjunto de direcciones desde las cuales llega la información sobre el objeto interceptado, es decir el objeto visto. Dado que el conjunto de direcciones es infinito hay que seleccionar un subconjunto finito que determina la resolución de la imagen que generemos. En general se hace un recorrido píxel por píxel de la pantalla y para cada uno de ellos se aplica el algoritmo, el cual nos permitirá a partir del color del objeto, de la intensidad de luz asociada al punto y de las características propias del objeto, determinar el color del píxel que será representado en la pantalla.

Más explícitamente, desde el ojo se lanza un rayo como se muestra en la figura (2), si en esa dirección, el rayo no interseca a ningún objeto, entonces el color del punto que se está observando tiene un color por defecto. Si el rayo interseca a varios objetos entonces elegimos el objeto que está más cerca del ojo.

Cuando el rayo interseca a un objeto en un punto, se consideran ciertas propiedades del objeto, como de que color es, si es opaco, si emite luz etc. También el objeto podría recibir luz de alguna fuente de iluminación ubicada en la escena, por lo que es necesario considerar las leyes físicas que rigen la interacción entre la luz y los materiales que componen los objetos, ya que dependiendo de las características del material y de las condiciones de iluminación del ambiente que rodea al objeto, así será la luz que llegue hasta el observador en esa dirección.

Por ejemplo si el objeto es opaco, sólo habrá que considerar la cantidad de luz que llega a la superficie del objeto a partir de los emisores de luz que están a su alrededor. Pero si el objeto fuera de un material semitransparente, entonces además de considerar las reflexiones, habría que considerar la iluminación que atraviesa el objeto en la dirección del rayo de refracción.

Cuando se hacen estas consideraciones, aparecen algunos componentes importantes que dan el realismo a una escena, como lo son; la sombra, la transparencia y la reflexión.

## La sombra

En el algoritmo del ray tracing la sombra está considerada en forma implícita. De acuerdo con el siguiente esquema

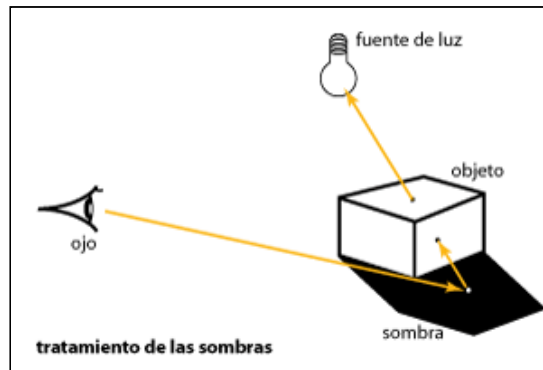


Figura (3)

El rayo que sale del ojo interseca el piso en un punto  $P$ , en el algoritmo, se ubica el ojo en el punto de intersección  $P$  y el rayo que sale del ojo, es ahora el rayo que va hacia la fuente de luz. En este punto se determinan las intersecciones con los objetos de la escena y en el caso que las halla, se considera si el objeto está a una distancia menor que la distancia que hay entre el punto  $P$  y la fuente de luz, si así fuera, el punto no recibe luz en forma directa y como muestra el esquema se genera "automáticamente" la sombra de los objetos.

### Reflexión y refracción

La óptica es una rama de la física que estudia la propagación y comportamiento de la luz. El estudio de ésta se divide en dos: la óptica física y la óptica geométrica. Esta última, que mencionamos al inicio, prescinde de la teoría ondulatoria de la luz y presenta la propagación de la luz por medio de rayos en vez de ondas. La trayectoria de los rayos a través de un sistema óptico se determina aplicando las leyes de reflexión y refracción.

La ley de la reflexión establece que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión y que el rayo incidente, el rayo reflejado y la normal en el punto de incidencia se encuentran en el mismo plano como se muestra en la figura (4).

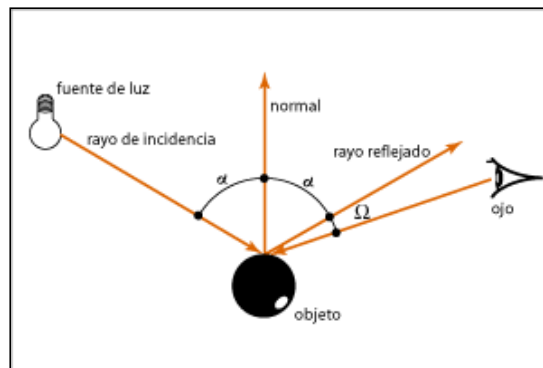


Figura (4)

Cuando  $\Omega = 0$  implica que el rayo reflejado va en dirección al ojo y sólo verá luz blanca o cuando  $\Omega$  tome valores cercanos a 0. A este punto de luz blanca se le llama Phong, y depende del ángulo de incidencia y de la posición del ojo.

### Como maneja el ray tracing la reflexión

De acuerdo con la figura

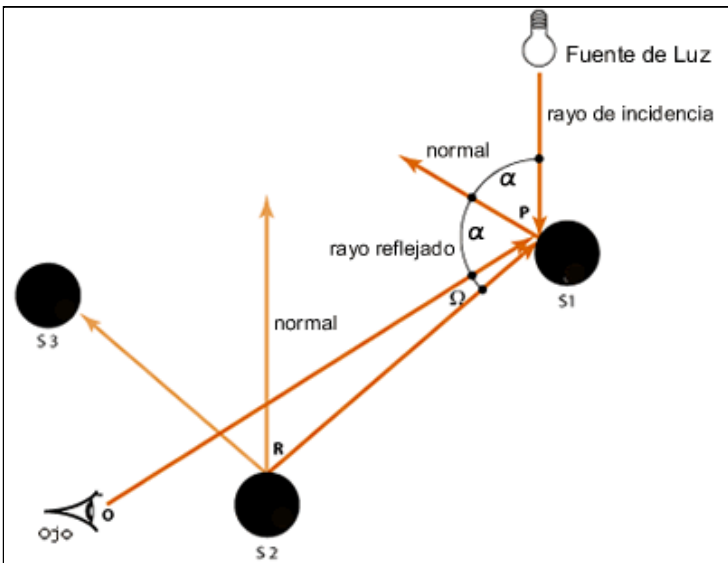


Figura (5)

El vector  $\vec{OP}$  es el vector que sale del ojo e interseca a la superficie  $S1$  en el punto  $P$ . Si la superficie es reflectiva y hay una fuente de luz que ilumina el punto  $P$ , entonces se genera el rayo  $\vec{PR}$ , que es el rayo reflejado. El ojo es ubicado ahora en el punto  $P$  y con dirección  $\vec{PR}$ . En  $S2$  se procede de igual forma, esto implica que debemos limitar los niveles de reflexión que se manejen en el programa. Es en esta parte, donde el algoritmo se vuelve recursivo.

En el caso de la refracción se considera lo que sucede cuando un rayo pasa a través de un objeto parcial o totalmente transparente como se muestra en la figura (5).

La ley de Snell establece que el producto del índice de refracción ( la razón de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad en un material dado) del primer medio y el seno del ángulo de incidencia de un rayo es igual al producto del índice de refracción del segundo medio y el seno del ángulo de refracción. De igual forma, el rayo de incidencia, el rayo refractado y la normal a la superficie de separación de los dos medios en el punto de incidencia están en el mismo plano como se muestra en la figura (6).

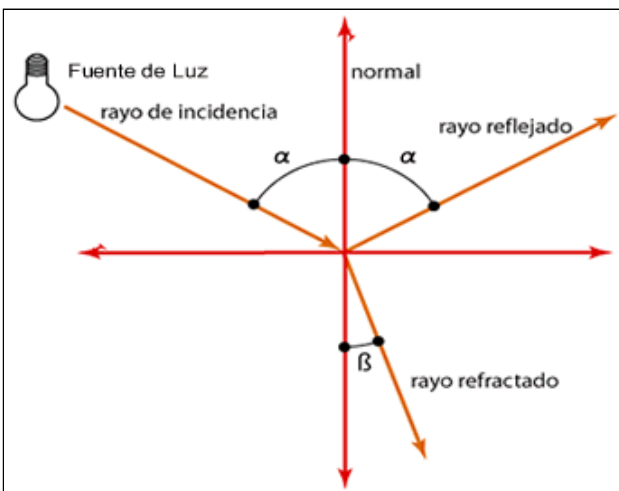


Figura (6)

De acuerdo con la figura se dice que la transparencia es no refractiva y refractiva si  $\beta = \alpha$  cuando  $\beta \neq \alpha$ .

Por lo general el índice de refracción de una sustancia transparente más densa es mayor que el de un material menos denso, es decir la velocidad de la luz es menor en una sustancia de mayor densidad.

### Cómo maneja el ray tracing la transparencia.

De acuerdo con la figura (7) cuando entre el punto de intersección del rayo que sale del ojo con el objeto, y la fuente de luz existe un objeto transparente la intensidad en el punto de intersección debe disminuirse. Para ello, a cada objeto

transparente se le pueden a asociar factores que influyen directamente sobre la intensidad en el punto de interacción.

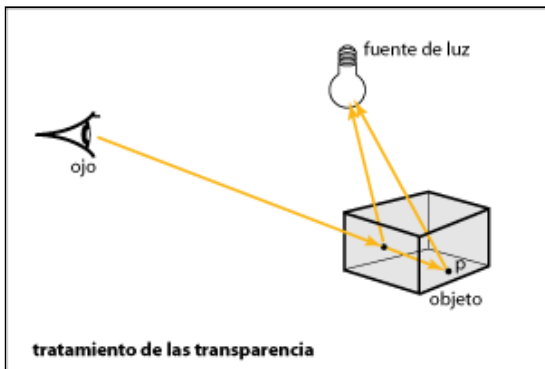


Figura (7)

Además de estos elementos se consideran otros que enriquecen una escena, tales son los casos del "mapeo de textura" de imágenes, el bump mapping que permite que las superficies se vean corrugadas y los mapas de calado.

En la figura (8) se muestra una escena renderizada con ray tracing. Las paredes del cuarto a excepción del piso, son planos con un color definido previamente. Al piso le fue mapeado con una textura de madera, la cual fue puesta en grandes cantidades sobre el piso. Además el piso se le asoció un alto porcentaje de reflexión.

El rodapie son planos mapeados con una textura de madera diferente a la del piso. Los dos cuadros son planos mapeados con dos texturas o fotos, la monalisa y un paisaje. El árbol, es un conjunto de polígonos de 21 lados, diferenciados únicamente por su rotación. La estrella también es un polígono. Las bolitas del árbol, son esferas cuyos centros están estratégicamente definidos, en estas esferas podemos notar el punto blanco al que le llamamos Phong. En la escena se definieron dos fuentes de luz con diferentes intensidades.



Figura (8)

En esta escena se presentan los elementos generales del ray tracing, sin embargo no están contemplados, el bump mapping, la transparencia. Las siguientes escenas mostradas en las figuras (9) y (10) son mucho más elaboradas y fueron realizadas por compañeros en la Maestría de Computación del Instituto Tecnológico de Costa Rica en un curso de Computer Graphics.



Figura (9)

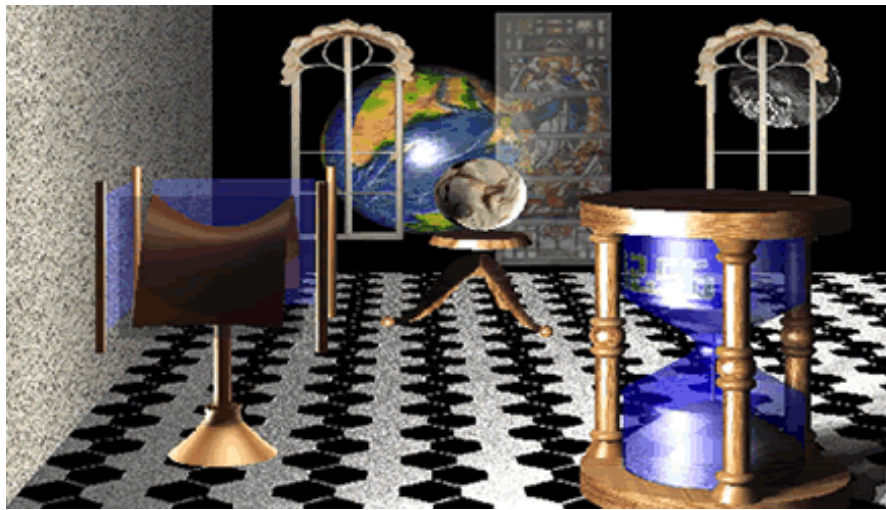


Figura (10)

## Bibliografía

1. ] Foley, D. Van Dam, A. Feiner, S. Hughes, J. Computer Graphics. U.S.A, Addison-Wesley, 1997.
2. ] Magnenat, N. Thalmann, D. Computer Animation. Japon, Springer-Verlag, 1990.
3. ] Rogers, D. Procedural Elements for Computer Graphics. U.S.A, McGraw-Hill, 1985.
4. ] Rogers, D. Earnshaw, R. State of the Art in Computer Graphics. U.S.A, Springer-Verlag, 1991.
5. ] Watt[94] Watt, A. Watt, M. Advanced Animation on Rendering Techniques. Great Britain, Addison-Wesley, 1994.
6. ] Harrington, S. Computer Graphics. U.S.A, McGraw-Hill.1983.

## Internet

1. [http://atenea.udistrital.edu.co/estudiantes/ogil/paginas/fractales\ %20caos.html](http://atenea.udistrital.edu.co/estudiantes/ogil/paginas/fractales\%20caos.html)
2. <http://ima.udg.es/gonzalo/teaching/tranpas/Ray-tracing.pdf>
3. <http://www.ii.uam.es/pedro/graficos/teoria/RayTracing/RayTracing.htm>
4. <http://personal1.iddeo.es/romeroa/vectores/polares.htm>
5. <http://goecities.com/capecanaveral/cockpit/5889/intro.html>
6. <http://www.eluniversal.com/zona/2002/07/28/manual2.shtml>
7. <http://www.cse.ucsc.edu/grphics/caustics/causticWeb/>

8. <http://www.ucm.es/info/opticaf/Objetivos/objetivos.htm>
  9. [http://library.thinkquest.org/C003776/espanol/book/luz\\_iluminacion.htm](http://library.thinkquest.org/C003776/espanol/book/luz_iluminacion.htm)
  10. <http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/fisicaInteractiva/OptGeometrica/historia/Historia.htm>
-