Gráficos y visualización 3D

7. Iluminación con WebGL

Boni García
Web: http://bonigarcia.github.io/
Email: boni.garcia@urjc.es

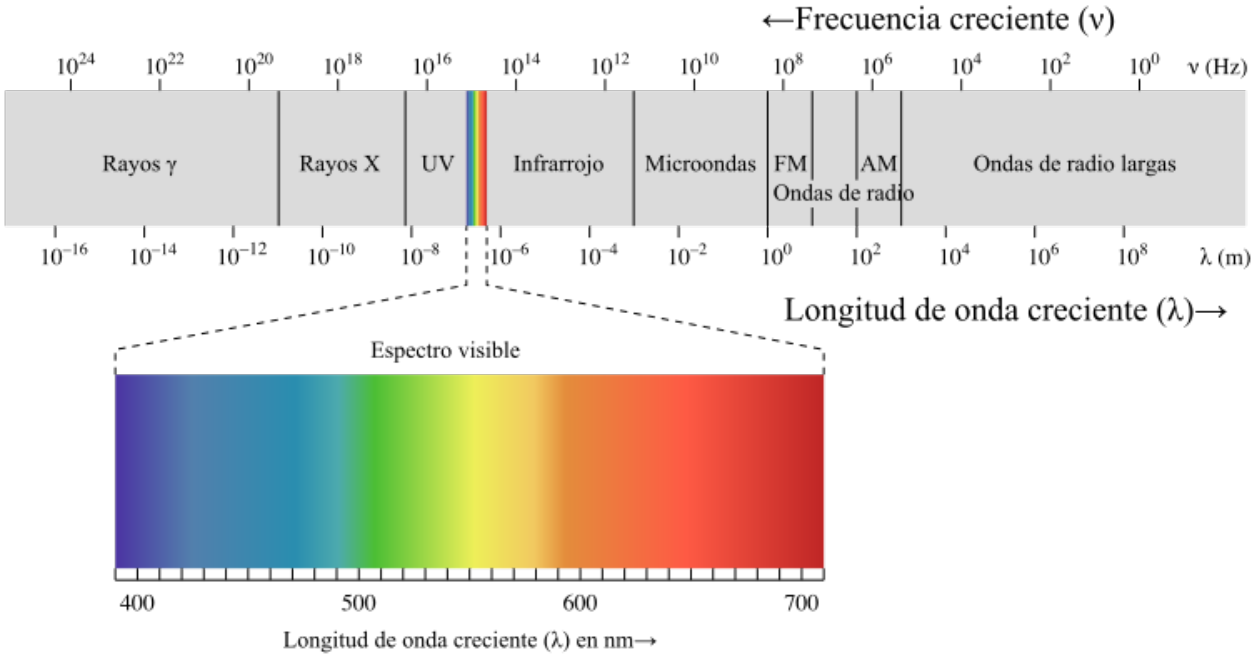
Dept. Teoría de la Señal y Comunicaciones y Sistemas Telemáticos y Computación (GSyC)
Escuela Superior De Ingeniería De Telecomunicación (ETSIT)
Universidad Rey Juan Carlos (URJC)

Índice de contenidos

Índice de contenidos

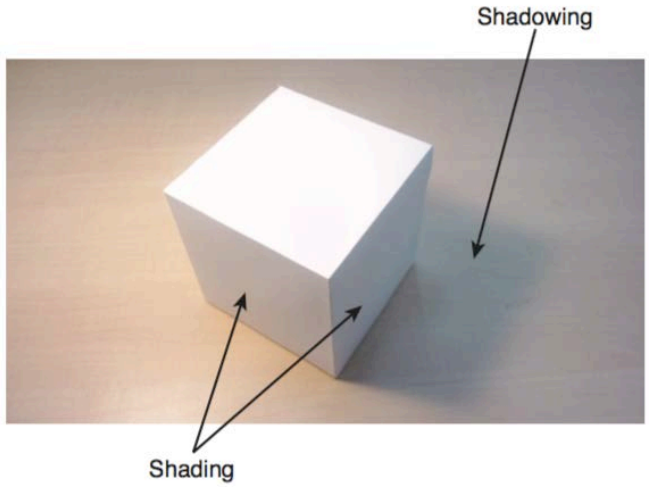
1. Introducción

- La **luz** es la parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano



1. Introducción

- Cuando una onda de luz alcanza un objeto en el mundo real, parte de la luz es reflejada por la superficie del objeto, y cuando esa luz llega a nuestros ojos nuestro cerebro interpreta el color
- Hay varios fenómenos que se producen cuando la luz alcanza un objeto:
  - Degradación (*shading*): diferencia de colores de una superficie
  - Sombreado (*shadowing*): región de oscuridad



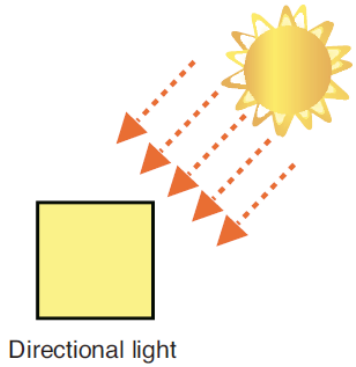
1. Introducción

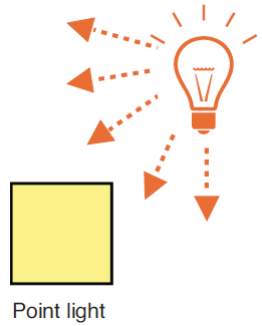
- En gráficos 3D consideramos ambos aspectos:
  - El término ***shading*** se usa para describir el proceso que recrea el fenómeno por el cual el color de las distintas caras de una figura difiere a causa de la luz
  - El término ***shadowing*** se usa para describir el proceso que recrea el fenómeno por el cual un objeto proyecta su sombra
- En la recreación de estos fenómenos, es importante tener en cuenta aspectos:
  - El tipo de **fuente de luz** que está emitiendo
  - La luz es **reflejada** por las caras de un objeto

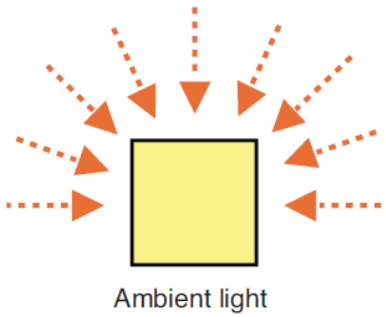
Índice de contenidos

2. Fuente de luz - Tipos

1. **Direccional**: sus rayos de luz son paralelos, debido a la distancia infinita de la fuente de la que provienen, como el sol. Por lo tanto, sólo se puede especificar utilizando **dirección** y **color**
2. **Puntual**: emite luz en todas direcciones desde un único punto: bombillas, lámparas, llamas. La luz se atenúa con la distancia. Se especifica por medio de **posición** y **color**
3. **Ambiental** (o indirecta): es un modelo de luz emitida por las luces anteriores (direccional o puntal), reflejada por otros objetos y que alcanza los objetos de forma indirecta. No tiene ni dirección ni posición, se especifica únicamente por el **color**





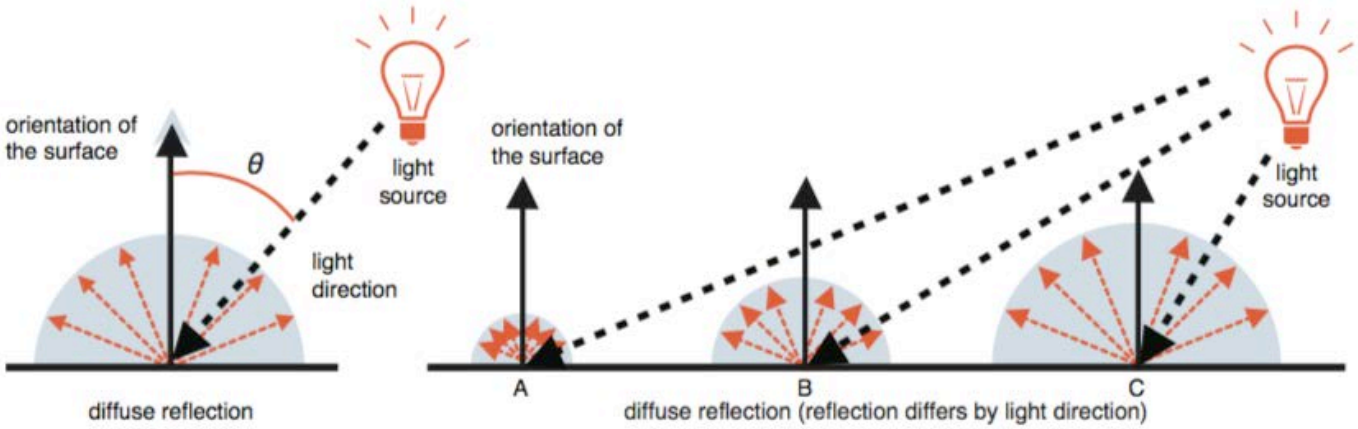


2. Fuente de luz - Tipos

- El tipo de fuente de luz también tendrá incidencia directa en el tipo de **luz reflejada**
- Hay dos tipos principales de reflexión (que serán modelados en un sistema 3D):
  - Reflexión **difusa**. Se trata de la luz reflejada procedente de una fuente de luz direccional o puntual
  - Reflexión **ambiental**. Se trata de la luz reflejada procedente de una fuente de luz ambiental

2. Fuente de luz – Reflexión difusa

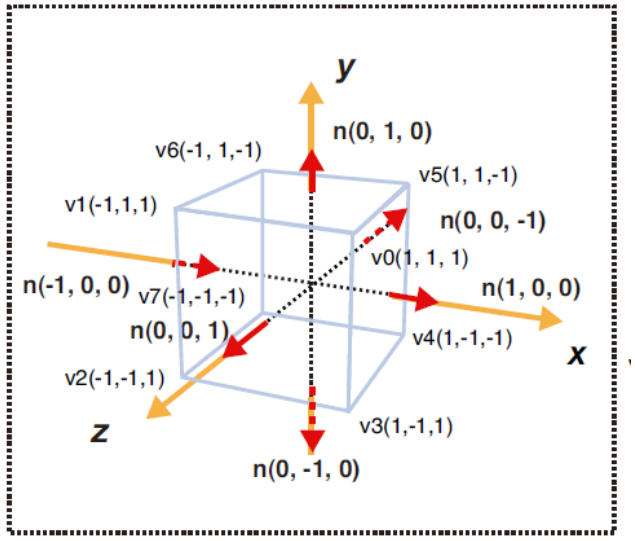
- En la reflexión difusa, la luz es reflejada equitativamente en todas direcciones
- Si la superficie es lisa, toda la luz que incide en la superficie es reflejada




```
(color_superficie_reflexión_difusa) = (color_luz) × (color_base_superficie) × cos θ
```

2. Fuente de luz – Reflexión difusa

- Para realizar el cálculo de la reflexión difusa, es necesario conocer la dirección de la luz y la orientación de la superficie (para calcular cos θ)
- La dirección de la luz reflejada es la dirección opuesta a la fuente de luz
- Para determinar la orientación de la superficie, usaremos la **normal** (orientación de una superficie se especifica por la dirección perpendicular a la superficie)



2. Fuente de luz – Reflexión difusa

- El cos θ se calcula por medio del producto escalar de la dirección de la luz por la orientación de la superficie:

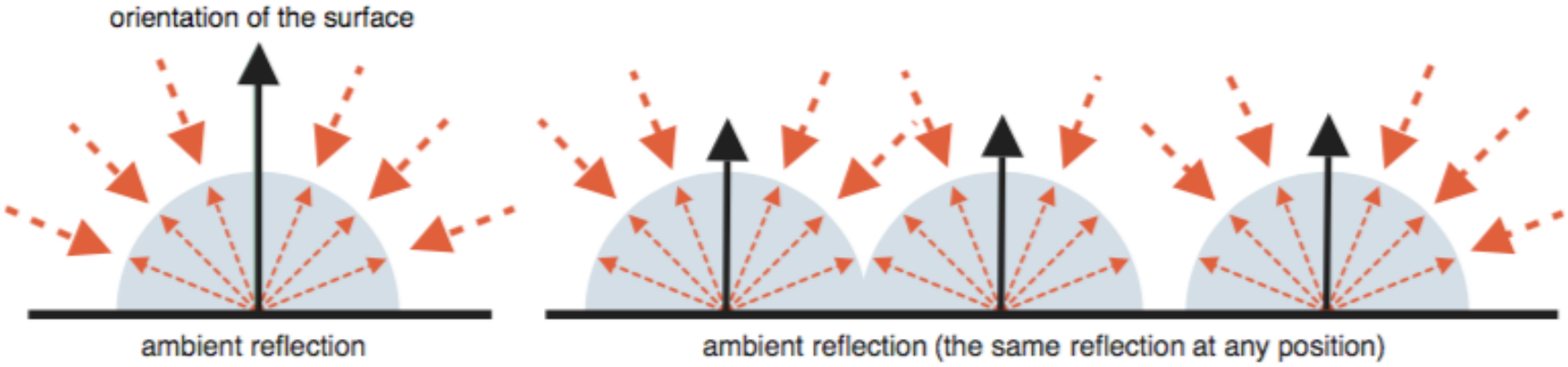
```
cos θ = (dirección_luz)·(orientación_superficie)
```

- De esta forma, la ecuación para el cálculo del color de la superficie reflejada por reflexión difusa:

```
(color_superficie_reflexión_difusa) = (color_luz) × (color_base_superficie) ×
                  ((dirección_luz)·(orientación_superficie))
```

2. Fuente de luz – Reflexión ambiental

- En la reflexión ambiental, la luz es reflejada con el mismo ángulo con el que incide
- Como la luz ambiental ilumina un objeto por igual desde todas las direcciones con la misma intensidad, su brillo es el mismo en cualquier posición




```
(color_superficie_reflexión_ambiental) = (color_luz) x (color_base_superficie)
```

2. Fuente de luz – Reflexión difusa y ambiental

- Cuando ambas reflexiones (ambiental y difusa) están presentes, el color de la superficie se calcula sumando ambas reflexiones

```
(color_superficie_reflexión_ambiental_y_difusa) =
      (color_superficie_reflexión_difusa) +
     (color_superficie_reflexión_ambiental)
```

Índice de contenidos

3. Referencia API GLSL ES

Name

normalize — calculates the unit vector in the same direction as the original vector

Declaration

```
genType normalize( genType v);

genDType normalize( genDType v);
```

Parameters

v

Specifies the vector to normalize.

Description

normalize returns a vector with the same direction as its parameter, *v*, but with length 1.

https://www.khronos.org/registry/OpenGL-Refpages/gl4/html/normalize.xhtml

3. Referencia API GLSL ES

Name

max — return the greater of two values

Declaration

```
genType max( genType x,
             genType y);
```

Parameters

x

Specify the first value to compare.

y

Specify the second value to compare.

Description

max returns the maximum of the two parameters. It returns *y* if *y* is greater than *x*, otherwise it returns *x*.

https://www.khronos.org/registry/OpenGL-Refpages/gl4/html/max.xhtml

Índice de contenidos

4. Referencia glMatrix

(static) normalize(out, a) → {vec3}

Normalize a vec3

Parameters:

Name	Type	Description
out	vec3	the receiving vector
a	vec3	vector to normalize

Source: vec3.js, line 335

Returns:

out

Type

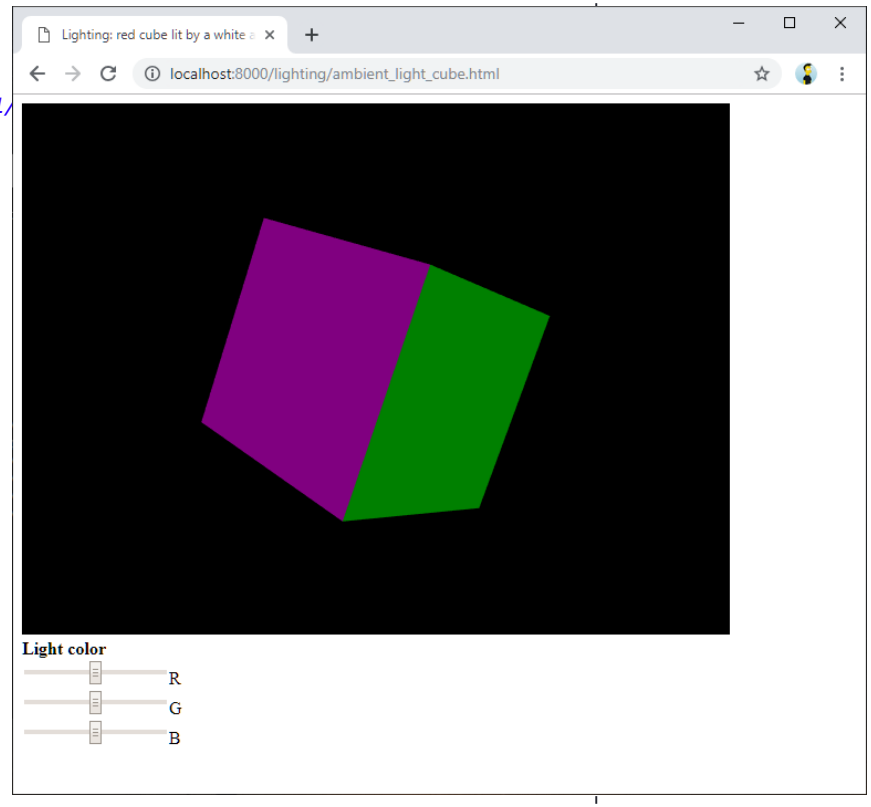
vec3

http://glmatrix.net/docs/module-vec3.html

Índice de contenidos

5. Ejemplo: cubo con luz ambiental

```
<!DOCTYPE html>
<html>

<head>
<title>Lighting: cube lit by ambient light</title>

<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/gl-matrix/2.8.1/

<script id="shaderVs" type="x-shader/x-vertex">
    attribute vec4 a_Position;
    attribute vec3 a_Color;

    uniform vec3 u_AmbientLight;
    uniform mat4 u_pMatrix;
    uniform mat4 u_vMatrix;
    uniform mat4 u_mvMatrix;

    varying highp vec4 v_Color;

    void main(void) {
        vec4 vertexPosition = u_mvMatrix * a_Position;
        gl_Position = u_pMatrix * u_vMatrix * vertexPosition;

        vec3 ambient = u_AmbientLight * a_Color;
        v_Color = vec4(ambient, 1.0);
    }
</script>

<script id="shaderFs" type="x-shader/x-fragment">
    varying highp vec4 v_Color;

    void main(void) {
        gl_FragColor = v_Color;
    }
</script>

...

</html>
```



Para el cálculo de la reflexión difusa debido a luz ambiental sólo influye el color de la luz

5. Ejemplo: cubo con luz ambiental

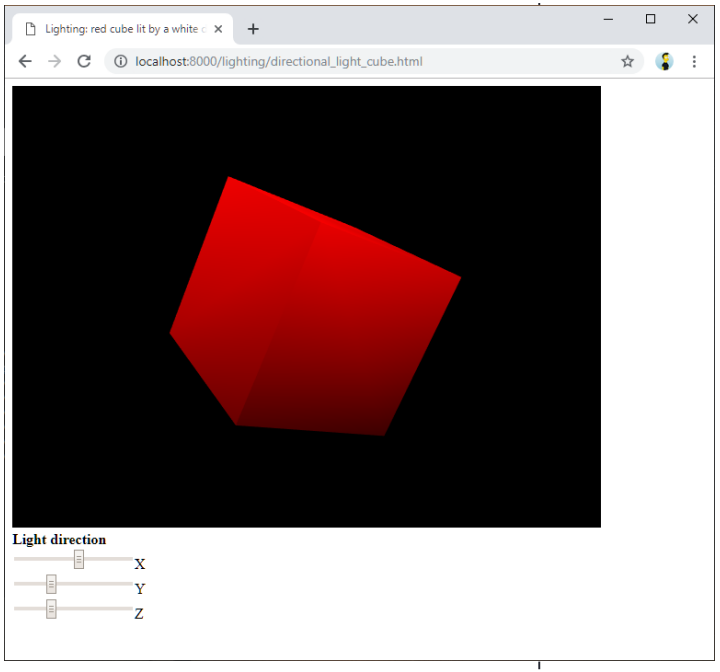
```
<script>
 function initProjection(gl, canvas) {
      // Write u_pMatrix
      var ratio = canvas.width / canvas.height;
      var pMatrix = mat4.perspective(mat4.create(), 150, ratio, 0.1, 100);
      var pMatrixUniform = gl.getUniformLocation(gl.program, "u_pMatrix");
      gl.uniformMatrix4fv(pMatrixUniform, false, pMatrix);

      // Write u_vMatrix
      var vMatrix = mat4.lookAt(mat4.create(), [ 0, 0, -3 ], [ 0, 0, 0 ], [ 0, 1, 0 ]);
      var vMatrixUniform = gl.getUniformLocation(gl.program, "u_vMatrix");
      gl.uniformMatrix4fv(vMatrixUniform, false, vMatrix);

      // Write u_AmbientLight
      var r = document.getElementById("r").value;
      var g = document.getElementById("g").value;
      var b = document.getElementById("b").value;
      var ambientLight = [ r, g, b ];
      var ambientLightUniform = gl.getUniformLocation(gl.program, "u_AmbientLight");
      gl.uniform3fv(ambientLightUniform, ambientLight);
   }
</script>
```

El color de la luz se obtiene desde la interfaz de usuario y se escribe en la variable del vertex shader `u_AmbientLight`

Índice de contenidos

6. Ejemplo: cubo con luz direccional

```
<!DOCTYPE html>
<html>

<head>
<title>Lighting: cube lit by directional light</title>

<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/gl-matrix/2.8.1/gl-matrix-min.js"></script>

<script id="shaderVs" type="x-shader/x-vertex">
    attribute vec3 a_Color;
    attribute vec3 a_Normal;
    attribute vec4 a_Position;

    uniform vec3 u_LightColor;
    uniform vec3 u_LightDirection;
    uniform mat4 u_pMatrix;
    uniform mat4 u_vMatrix;
    uniform mat4 u_mvMatrix;

    varying highp vec4 v_Color;

    void main(void) {
        gl_Position = u_pMatrix * u_vMatrix * u_mvMatrix * a_Position;

        vec3 normal = normalize(a_Normal - vec3(gl_Position));
        float nDotL = max(dot(u_LightDirection, normal), 0.0);

        vec3 diffuse = u_LightColor * a_Color.rgb * nDotL;
        v_Color = vec4(diffuse, 1.0);
    }
</script>


...

</html>
```



Para el cálculo de la reflexión difusa debido a luz direccional influye el color y dirección de la luz

6. Ejemplo: cubo con luz direccional

```
<script>
   function initVertexShader(gl) {
      var vertices = new Float32Array([ // Coordinates
      ]);

      var colors = new Float32Array([ // Colors
      ]);

      var normals = new Float32Array([ // Normal
      0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 1.0, // v0-v1-v2-v3 front
      1.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, // v0-v3-v4-v5 right
      0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, // v0-v5-v6-v1 up
      -1.0, 0.0, 0.0, -1.0, 0.0, 0.0, -1.0, 0.0, 0.0, -1.0, 0.0, 0.0, // v1-v6-v7-v2 left
      0.0, -1.0, 0.0, 0.0, -1.0, 0.0, 0.0, -1.0, 0.0, 0.0, -1.0, 0.0, // v7-v4-v3-v2 down
      0.0, 0.0, -1.0, 0.0, 0.0, -1.0, 0.0, 0.0, -1.0, 0.0, 0.0, -1.0 // v4-v7-v6-v5 back
      ]);

      // ...

      var vertexNormalAttribute = gl.getAttribLocation(gl.program, "a_Normal");
      gl.enableVertexAttribArray(vertexNormalAttribute);
      gl.vertexAttribPointer(vertexNormalAttribute, 3, gl.FLOAT, false, 0, 0);

      var indices = new Uint8Array([  // indices
      ]);

      gl.bindBuffer(gl.ELEMENT_ARRAY_BUFFER, gl.createBuffer());
      gl.bufferData(gl.ELEMENT_ARRAY_BUFFER, indices, gl.STATIC_DRAW);
   }
</script>
```

Es necesario especificar los vectores normales cada uno de los vértices

6. Ejemplo: cubo con luz direccional

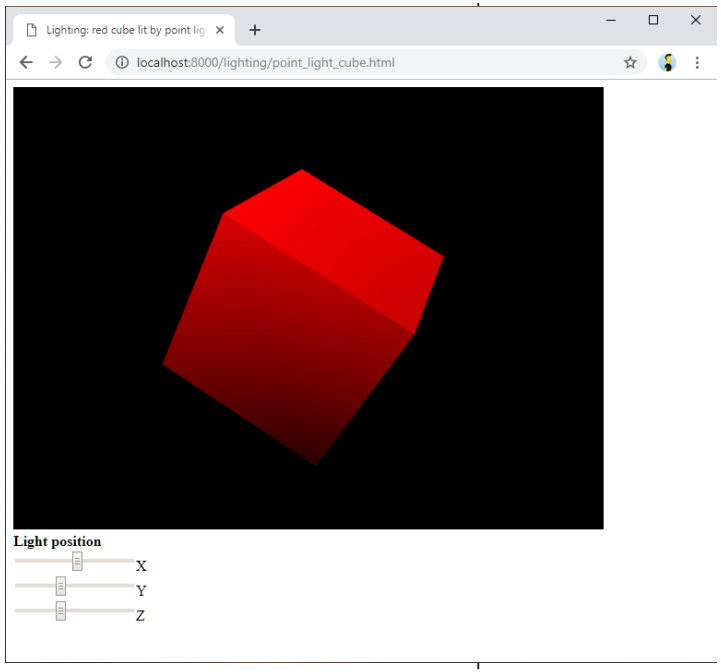
```
<script>
 function initProjection(gl, canvas) {
      // Write u_pMatrix
      var ratio = canvas.width / canvas.height;
      var pMatrix = mat4.perspective(mat4.create(), 150, ratio, 0.1, 100);
      var pMatrixUniform = gl.getUniformLocation(gl.program, "u_pMatrix");
      gl.uniformMatrix4fv(pMatrixUniform, false, pMatrix);

      // Write u_vMatrix
      var vMatrix = mat4.lookAt(mat4.create(), [ 0, 0, -3 ], [ 0, 0, 0 ], [ 0, 1, 0 ]);
      var vMatrixUniform = gl.getUniformLocation(gl.program, "u_vMatrix");
      gl.uniformMatrix4fv(vMatrixUniform, false, vMatrix);

      // Write u_LightColor
      var lightColor = [ 1.0, 1.0, 1.0 ]; // white
      var lightColorUniform = gl.getUniformLocation(gl.program, "u_LightColor");
      gl.uniform3fv(lightColorUniform, lightColor);

      // Write u_LightDirection
      var x = document.getElementById("x").value;
      var y = document.getElementById("y").value;
      var z = document.getElementById("z").value;
      var lightDirection = [ x, y, z ];
      vec3.normalize(lightDirection, lightDirection);
      var lightDirectionUniform = gl.getUniformLocation(gl.program, "u_LightDirection");
      gl.uniform3fv(lightDirectionUniform, lightDirection);
   }
</script>
```

La dirección de la luz se obtiene desde la interfaz de usuario y se escribe en la variable del vertex shader `u_LightDirection`

Índice de contenidos

7. Ejemplo: cubo con luz puntual

```
<!DOCTYPE html>
<html>

<head>
<title>Lighting: cube lit by point light</title>

<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/gl-matrix/2.8.1/gl-matrix-min.js"></script>

<script id="shaderVs" type="x-shader/x-vertex">
    attribute vec3 a_Color;
    attribute vec3 a_Normal;
    attribute vec4 a_Position;

    uniform vec3 u_LightColor;
    uniform vec3 u_LightPosition;
    uniform mat4 u_pMatrix;
    uniform mat4 u_vMatrix;
    uniform mat4 u_mvMatrix;

    varying highp vec4 v_Color;

    void main(void) {
        gl_Position = u_pMatrix * u_vMatrix * u_mvMatrix * a_Position;

        vec3 lightDirection = normalize(u_LightPosition);
        vec3 normal = normalize(a_Normal - vec3(gl_Position));
        float nDotL = max(dot(lightDirection, normal), 0.0);

        vec3 diffuse = u_LightColor * a_Color.rgb * nDotL;
        v_Color = vec4(diffuse, 1.0);
    }
</script>

...

</html>
```



Para el cálculo de la reflexión difusa debido a luz direccional influye el color y posición de la luz

7. Ejemplo: cubo con luz puntual

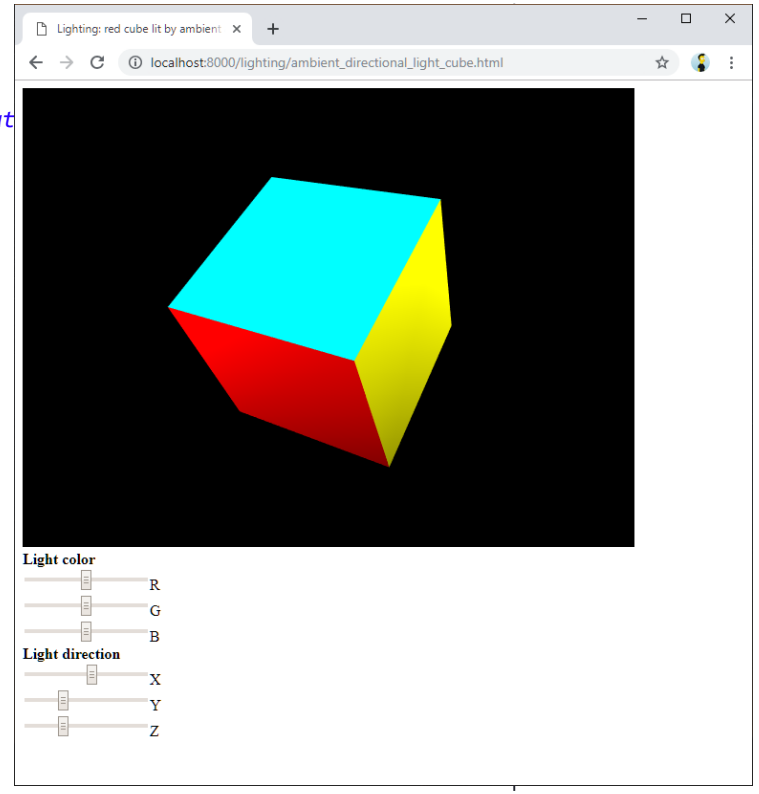
```
<script>
 function initProjection(gl, canvas) {
      // Write u_pMatrix
      var ratio = canvas.width / canvas.height;
      var pMatrix = mat4.perspective(mat4.create(), 150, ratio, 0.1, 100);
      var pMatrixUniform = gl.getUniformLocation(gl.program, "u_pMatrix");
      gl.uniformMatrix4fv(pMatrixUniform, false, pMatrix);

      // Write u_vMatrix
      var vMatrix = mat4.lookAt(mat4.create(), [ 0, 0, -3 ], [ 0, 0, 0 ], [ 0, 1, 0 ]);
      var vMatrixUniform = gl.getUniformLocation(gl.program, "u_vMatrix");
      gl.uniformMatrix4fv(vMatrixUniform, false, vMatrix);

      // Write u_LightColor
      var lightColor = [ 1.0, 1.0, 1.0 ]; // white
      var lightColorUniform = gl.getUniformLocation(gl.program, "u_LightColor");
      gl.uniform3fv(lightColorUniform, lightColor);

      // Write u_LightPosition
      var x = document.getElementById("x").value;
      var y = document.getElementById("y").value;
      var z = document.getElementById("z").value;
      var lightPosition = [ x, y, z ];
      var lightPositionUniform = gl.getUniformLocation(gl.program, "u_LightPosition");
      gl.uniform3fv(lightPositionUniform, lightPosition);
   }
</script>
```

La posición de la luz se obtiene desde la interfaz de usuario y se escribe en la variable del vertex shader `u_LightPosition`

Índice de contenidos

8. Ejemplo: cubo con luz ambiental y direccional

```
<!DOCTYPE html>
<html>

<head>
<title>Lighting: cube lit by point light</title>

<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/gl-matrix/2.8.1/gl-mat

<script id="shaderVs" type="x-shader/x-vertex">
    attribute vec3 a_Color;
    attribute vec3 a_Normal;
    attribute vec4 a_Position;

    uniform vec3 u_LightColor;
    uniform vec3 u_LightDirection;
    uniform vec3 u_AmbientLight;

    uniform mat4 u_pMatrix;
    uniform mat4 u_vMatrix;
    uniform mat4 u_mvMatrix;

    varying highp vec4 v_Color;

    void main(void) {
        gl_Position = u_pMatrix * u_vMatrix * u_mvMatrix * a_Position;

        vec3 normal = normalize(a_Normal - vec3(gl_Position));
        float nDotL = max(dot(u_LightDirection, normal), 0.0);

        vec3 diffuse = u_LightColor * a_Color.rgb * nDotL;
        vec3 ambient = u_AmbientLight * a_Color.rgb;
        v_Color = vec4(diffuse + ambient, 1.0);
    }
</script>
...

</html>
```



La reflexión ahora es la suma de reflexión difusa y ambiental

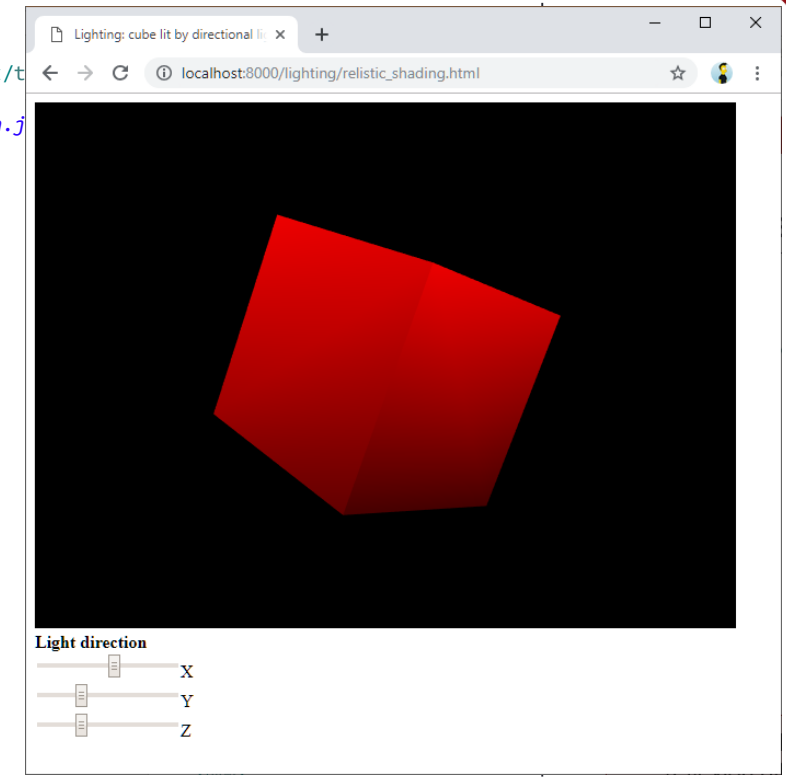
Índice de contenidos

9. Ejemplo: cubo con degradado realista

- En los ejemplos anteriores hemos calculado el color de la reflexión (difusa, ambiental) **por vértice**
- Este color se pasa del vertex al fragment shader mediante una variable de tipo `varying` (los colores de los fragmentos se calcula por interpolación de esos valores)
- Se puede conseguir un degradado (shading) más realista si el color de reflexión se calcula **por fragmento**, esto es, en el fragment shader
- Es un proceso más costoso a nivel de procesado en la GPU, ya que normalmente hay más fragmentos que vértices en una escena

9. Ejemplo: cubo con degradado realista

```
<!DOCTYPE html>
<html>

<head>
<title>Lighting: cube lit by directional light (shading calculated per fragment)</t

<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/gl-matrix/2.8.1/gl-matrix-min.j

<script id="shaderVs" type="x-shader/x-vertex">
    attribute vec3 a_Color;
    attribute vec3 a_Normal;
    attribute vec4 a_Position;

    uniform mat4 u_pMatrix;
    uniform mat4 u_vMatrix;
    uniform mat4 u_mvMatrix;

    varying highp vec4 v_Color;
    varying highp vec3 v_Normal;

    void main(void) {
        gl_Position = u_pMatrix * u_vMatrix * u_mvMatrix * a_Position;
        v_Normal = normalize(a_Normal - vec3(gl_Position));
        v_Color = vec4(a_Color, 1.0);
    }
</script>

<script id="shaderFs" type="x-shader/x-fragment">
    precision mediump float;

    uniform vec3 u_LightColor;
    uniform vec3 u_LightDirection;

    varying highp vec4 v_Color;
    varying highp vec3 v_Normal;

    void main(void) {
        float nDotL = max(dot(u_LightDirection, v_Normal), 0.0);

        vec3 diffuse = u_LightColor * v_Color.rgb * nDotL;
        gl_FragColor = vec4(diffuse, v_Color.a);
    }
</script>
 ...
```



Movemos el cálculo del color de la reflexión difusa al fragment shader