



# PAUTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL TRATAMIENTO BINOCULAR DE LA AMBLIOPÍA CON LA TÉCNICA ANAGLIFA EN VIDEOJUEGOS DESARROLLADOS CON UNITY 3D

## GUIDELINES FOR IMPLEMENTATION OF BINOCULAR TREATMENT OF AMBLYOPIA WITH ANAGLYPH TECHNIQUE IN VIDEO GAMES DEVELOPED WITH UNITY 3D

Yenner Joaquín Díaz Núñez<sup>1</sup>, Orestes Luis Céspedes Wong<sup>2</sup>, Randy Delgado Ramírez<sup>3</sup>, José Nolberto Ledea Madrigal<sup>4</sup>, Yisel de los Ángeles González Pompa<sup>5</sup>, Yanet Cristina Díaz Núñez<sup>6</sup>

1 Universidad de Granma, Cuba, [vdiazn@udg.co.cu](mailto:vdiazn@udg.co.cu), Calle 31 # 1 Alto % 32 y 36 Reparto Rosa la Bayamesa. Bayamo Granma

2 Desoft, Cuba, [orestes.cespedes@lt.desoft.cu](mailto:orestes.cespedes@lt.desoft.cu)

3 Universidad de Granma, Cuba, [rdelgador@udg.co.cu](mailto:rdelgador@udg.co.cu)

4 Universidad de Granma, Cuba, [jledeam@udg.co.cu](mailto:jledeam@udg.co.cu)

5 Universidad de Granma, Cuba, [ypompa@udg.co.cu](mailto:ypompa@udg.co.cu)

6 Hospital Docente Quirúrgico Carlos Manuel de Céspedes, Cuba, [yanetcristinad@infomed.sld.cu@udg.co.cu](mailto:yanetcristinad@infomed.sld.cu@udg.co.cu)

**RESUMEN:** En la última década, se han obtenidos resultados alentadores en estudios clínicos sobre el tratamiento binocular de la ambliopía mediante videojuegos. La técnica anaglifa es una de las más factibles económicamente para la implementación de este enfoque binocular. Se ha reconocido que la disponibilidad de un paquete de videojuegos es esencial para asegurar la aceptación del este tratamiento. En este trabajo, se presentan las pautas para adaptar cualquier videojuego en un videojuego terapéutico para el tratamiento binocular de la ambliopía, utilizando el motor de videojuegos Unity. Se usaron dos cámaras en la misma posición y orientación y **culling mask** para la obtención de las imágenes dicópticas y se implementó el proceso de multiplexación mediante un efecto **post-processing**. Se utilizaron interfaces gráficas de usuario para la selección de ojo ambliope, nivel de supresión y algoritmo anaglifo. Las pautas propuestas son independientes del videojuego y sus principios se pueden aplicar en otros motores de videojuegos.

**Palabras Clave:** ambliopía, tratamiento binocular, anaglifo, videojuego serio, Unity 3D.

**ABSTRACT:** In the last decade, encouraging results have been obtained in clinical studies about the binocular treatment of amblyopia through video games. The anaglyph technique is one the more feasible economically for the implementation of this binocular approach. It has been recognized that the availability of a video game package is essential to ensure the acceptance of this treatment. In this work, guidelines for adapting any video game in therapeutic video game for binocular treatment of amblyopia, using the video game engine Unity is presented. Two cameras were used in the same position and orientation and culling mask to obtain the dicoptic images and the multiplexing process was implemented through a post-processing effect. Graphical user interfaces are used

*for selection of amblyopic eye, suppression level and anaglyph algorithm. The guidelines proposed are independent of the video game and it's principles can be applied in another video game engines. It was verified that multiplexing process is done in real time in 3D video game prototype.*

**KeyWords:** amblyopia, binocular treatment, anaglyph, serious video game, Unity 3D.

## 1. INTRODUCCIÓN

La ambliopía ha sido definida como una disminución de la agudeza visual mejor corregida, que no puede ser atribuida a alguna anomalía estructural del ojo o de la vía visual posterior [1]; aunque también está asociada a disfunciones binoculares, que incluyen el deterioro o ausencia de la estereopsia [2], [3]. La disfunción aparece en la infancia temprana, durante el periodo crítico de desarrollo de la visión, como consecuencia de disfunciones sensoriales asociadas fundamentalmente al estrabismo y errores refractivos [4].

Según estudios de la American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus, afecta entre un 3 % y un 5 % de la población infantil a nivel mundial y cerca de un 4 % de la población general. En estudios similares de dicha organización, se plantea que cerca del 50 % de los niños que necesitan llevar espejuelos antes de los 6 años de edad para corregir alguna afectación visual, sufren de algún tipo de ambliopía. Esta enfermedad es más frecuente que todas las otras causas juntas de pérdida de visión en niños [5].

En Cuba se han realizado pocos estudios sobre la prevalencia de esta enfermedad. Específicamente en dos de ellos realizados en escuelas primarias, el 1.39 % [6] y 4.2 % [7] de los niños tenían ambliopía.

En la última década se ha utilizado un enfoque binocular para el tratamiento de la ambliopía con resultados alentadores [8], [9], [10], [11]. La característica principal de este nuevo enfoque es la utilización de ambos ojos con el objetivo de promover la visión binocular, en contraposición a los tratamientos clásicos como la oclusión y penalización. En la implementación de este tratamiento se han utilizado mayoritariamente videojuegos por las potencialidades que brindan para desarrollar tratamientos activos [12], [13].

La capacidad dicóptica<sup>1</sup> es un requerimiento de los sistemas utilizados para el tratamiento binocular de la ambliopía, el cual ha sido satisfecho mediante la utilización de tecnologías. En numerosos estudios clínicos sobre tratamiento binocular con videojue-

gos, se ha seleccionado la tecnología estereoscópica conocida como anaglifa [14], [13], [15] por ser muy fácil de construir y tener requerimientos mínimos; ya que solamente es necesaria una computadora con un monitor convencional y gafas de bajo costo. Esta tecnología también tiene a su favor la posibilidad de implementarse en dispositivos móviles [16], lo cual brinda mayor libertad al paciente para realizar el tratamiento en cualquier lugar y a su propia conveniencia.

Un factor clave en la aceptación y en consecuencia del éxito del tratamiento binocular, es la disponibilidad de un paquete de videojuegos variados y atractivos que capte el interés de pacientes con diferentes edades, gustos e intereses. Una alternativa viable y expedita de garantizar este requisito, y en especial en sistemas de salud públicos y gratuitos y en países subdesarrollados, es la posibilidad de transformar cualquier videojuego libre o de código abierto en un videojuego terapéutico. Esta estrategia permite reducir el costo de la producción de los videojuegos y por lo tanto hace más accesible el tratamiento.

En este trabajo se presentan pautas para implementar el tratamiento binocular de la ambliopía con la técnica anaglifa, en un videojuego desarrollado con Unity 3D. Este motor de videojuegos es uno de los productos líderes a nivel mundial, con una amplia presencia en el mercado y un alto nivel de satisfacción entre los clientes.

## 2. CONTENIDO

El contenido de este trabajo está organizado de la siguiente forma: en la sección 2.1 se caracteriza el TBA y su aplicación mediante videojuegos. En la sección 2.2 se aborda los principios de funcionamiento de la tecnología anaglifa, una solución genérica con esta tecnología y se explica cómo implementar esta solución desde el punto de vista gráfico. En la sección 2.3 se presentan las pautas para la implementación del TBA en un videojuego con el motor gráfico Unity y en la sección 2.4 se presenta un prototipo de videojuego como validación.

### 2.1 Tratamiento binocular de la ambliopía mediante videojuegos

<sup>1</sup> Observar un campo separado e independiente por cada ojo, en la visión binocular.

El tratamiento binocular de la ambliopía se materializa mediante la exposición del paciente a condiciones artificiales de visión, con estímulos dicópticos en imágenes relacionadas. Dos estrategias generales se describen en la literatura: tratamiento binocular interactivo (TBI) y tratamiento antipresión (TAS); el primero con el objetivo primario de mejorar la agudeza visual y el segundo con el propósito de mejorar las funciones binoculares a partir de la reducción de la supresión.

Los videojuegos permiten realizar tratamientos activos basados en software, donde se requiere cierta actividad visual del paciente, lo cual permite mejorar la aceptación y efectividad del tratamiento [17]. Los videojuegos también permiten que el tratamiento se pueda ajustar a pacientes de diferentes edades, por lo cual constituye una alternativa real para adultos que no recibieron tratamiento durante la infancia o con historial de tratamientos fallidos.

### 2.1.1 Tratamiento binocular interactivo

El objetivo primario del TBI es mejorar la agudeza visual; pero a diferencia de la oclusión, se requiere la cooperación de ambos ojos para completar las actividades terapéuticas. La mejoría de la visión monocular se espera a partir de la estimulación preferencial del ojo ambliope, mediante la presentación, solamente al ojo vago, de los elementos más dinámicos, activos e interesantes de la imagen. Al ojo sano se le muestran los elementos de menor interés y gran parte de la imagen debe presentarse a ambos ojos con el objetivo de favorecer la fusión.

En los videojuegos la estimulación preferencial se ha materializado fundamentalmente presentando solamente al ojo ambliope los elementos u objetos dinámicos y controlables de la escena [8]. Cualquiera que sea la estrategia de diseño, esta debe garantizar que constituya un requisito la utilización de ambos ojos para que el paciente pueda resolver los desafíos del videojuego.

### 2.2.1 Tratamiento antipresión

A diferencia del TBI, el TAS asume la ambliopía como consecuencia de un funcionamiento anormal de la visión binocular y por lo tanto, está orientado a la reducción de la supresión y al fortalecimiento de la fusión. Tiene como precedente la cuantificación de la supresión a partir de la medición del desequilibrio de contraste intraocular [18]. Se necesitan tres actividades para completar este tratamiento: reconocimiento de la capacidad de fusión, cuantificación de la supresión y reducción de la supresión [2].

En los videojuegos se establece un desequilibrio dicóptico que permita reducir la supresión lo suficiente para lograr la combinación binocular. Al ojo ambliope se le presenta información al máximo contraste posible, mientras al ojo fijador se le presenta con un contraste reducido [19]. El punto de balance calculado en la etapa de cuantificación de la supresión, se utiliza como el contraste relativo inicial de la información presentada al ojo fijador. Durante el tratamiento es necesario variar el contraste del ojo fijador para lograr el efecto terapéutico, teniendo en cuenta el desempeño del jugador y la esperada reducción de la supresión. Para el ojo ambliope siempre se utiliza el mismo contraste, fijado al inicio del tratamiento.

## 2.2 Solución genérica

Los métodos que se describen a continuación rigen las pautas, que se describen en la sección 2.3, para la implementación del TBA en un videojuego desarrollado con Unity; pero no son exclusivos de este motor de videojuegos, sino que constituyen una solución genérica sustentada en las estrategias del TBA y el sistema de codificación de la técnica anaglifa.

Lo que se describe en la literatura como técnicas estereoscópicas son esencialmente técnicas que permiten realizar presentaciones dicópticas [20]. La tecnología anaglifa utiliza una técnica basada en multiplexación por división de longitud de onda (TDMLO), que en este contexto, se refiere a una técnica basada en la división del espectro visible, que permite superponer en una única imagen, imágenes dicópticas que son representadas en canales decolores diferentes [21].

En los sistemas de visualización 3D, tanto la técnica como la imagen obtenida del proceso de multiplexación, se conocen como anaglifa [22]. Un sistema de este tipo incluye gafas especiales cuyos lentes contienen filtros de colores diferentes, que permiten realizar la demultiplexación de la información visual (ver figura 1).

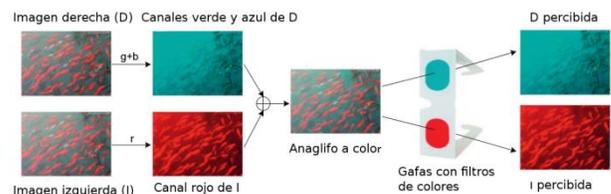


Figura. 1: Sistema de visualización 3D con el algoritmo anaglifa a color y filtros rojo/cian. Imagen tomada de [23] y traducida al español.

### 2.2.1 Presentación dicóptica

En la figura 2 se presenta el procedimiento utilizado para alcanzar la presentación dicóptica requerida por el tratamiento, con las notaciones utilizadas en la formulación matemática descrita en [24].

El *Clasificador de escena* es el componente que permite aplicar el TBI, pues establece los elementos que serán visibles por el ojo fijador y por el ojo adelfo, respectivamente. Para obtener  $I_{L,RGB}(x)$  se renderiza una escena que contenga los elementos comunes y los elementos dirigidos al ojo izquierdo, mientras que  $I_{R,RGB}(x)$  se obtiene al renderizar otra escena compuesta por los elementos comunes y los elementos dirigidos al ojo derecho. La selección del ojo fijador y la distribución de los elementos para cada ojo, determinan la composición de las imágenes dicópticas.

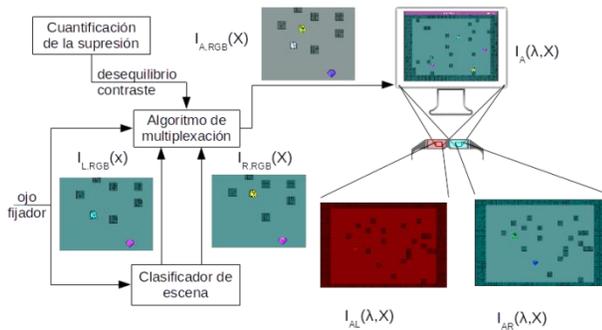


Figura. 2: Procedimiento para obtener la presentación dicóptica.

El componente para cuantificar la supresión y el *Clasificador de escena* pueden ser utilizados de forma alterna, lo cual permite realizar estudios comparativos de la efectividad de las estrategias TBI y TAS por separado y cuando se aplican al mismo tiempo.

### 2.2.2 Implementación gráfica

Es necesario realizar dos renderizados por cada fotograma del videojuego para generar las imágenes  $I_{L,RGB}(x)$  e  $I_{R,RGB}(x)$  y el proceso de multiplexación tiene que completarse en tiempo real. Lo primero se consigue renderizando las escenas dirigidas a cada ojo en dos texturas que se utilizan como entradas para obtener la imagen anaglifa. El segundo requisito se satisface mediante la implementación del algoritmo de multiplexación en un pro-

grama que sea ejecutado por el procesador gráfico, conocido como shader. Estos dos elementos constituyen el núcleo del procedimiento para la implementación gráfica de la presentación dicóptica (ver figura 3).

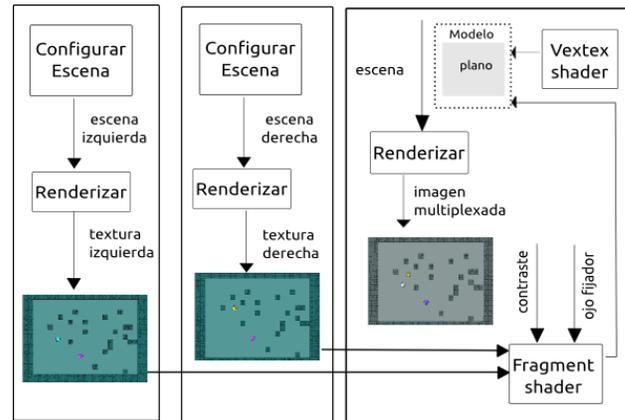


Figura. 3: Implementación gráfica de la presentación dicóptica en un videojuego.

Las dimensiones de las texturas debe coincidir con las dimensiones del videojuego y es necesario renderizar una tercera escena para obtener la imagen anaglifa. Esta última escena utiliza una proyección ortogonal y solo tiene que estar compuesta por un plano, aunque el videojuego sea 3D. En el *vertex shader*<sup>2</sup> solo es necesario aplicar el flujo clásico de transformaciones de proyección, vista y modelado, mientras que en el *fragment shader*<sup>3</sup> se implementa en su totalidad el algoritmo de multiplexación.

## 2.3 Implementación en Unity

Se sigue el procedimiento descrito en la sección 2.2.3, pero solamente una de las cámaras renderiza en texturas. En esta sección primero se explica cómo generar las imágenes dicópticas, luego cómo realizar el proceso de multiplexación para obtener la presentación dicóptica requerida por el tratamiento.

### 2.3.1 Imágenes dicópticas

El primer paso es utilizar dos cámaras con idéntica posición y orientación que se correspondan con la información visual que van a percibir los ojos izquierdo y derecho respectivamente, la cual podría

<sup>2</sup> Programa que transforma cada vértice en el espacio virtual 3D a coordenadas 2D del dispositivo de visualización.

<sup>3</sup> Programa que calcula el color y otros atributos de los candidatos a píxeles.

diferir en cuanto a los objetos visibles o al contraste relativo. Para el TBI, los objetos de interés de la escena se agrupan en tres capas: los objetos comunes, los objetos solamente visibles por el ojo ambliope y los objetos visibles solamente por el ojo sano. Con la propiedad *Culling Mask* se le especifica a cada cámara, cuáles serán las capas visibles en dependencia de cuál ojo es el ambliope.

El siguiente paso es asociar a una de las cámaras (cámara principal) un script (TBAScript) que reciba como parámetro la otra cámara (cámara secundaria) y los valores de contraste asociado al nivel de supresión del paciente (ver listado de código 1). Cuando la escena inicia, TBAScript establece la propiedad *Target texture* de la cámara secundaria para que está realice el renderizado en una textura.

```
using System;
using UnityEngine;

public class TBA : MonoBehaviour
{
    public Camera secondary_camera;
    public float left_eye_contrast;
    public float right_eye_contrast;

    void Awake() {
        secondary_camera.targetTexture =
            new RenderTexture (Screen.width, Screen.height, 24);
    }
}
```

Listado de código. 1: Renderización de la cámara secundaria en una textura.

### 2.3.2 Proceso de multiplexación

La presentación dicóptica se obtiene mediante la aplicación de un efecto *post-processing*, lo que se materializa con la implementación del método *OnRenderImage* en TBAScript. El post procesamiento se realiza mediante un *fragment shader* asociado a un material que además contiene la textura donde renderiza la cámara secundaria y los valores de contraste asociado al nivel de supresión (ver listado de código 2). El *fragment shader* realiza el proceso de multiplexación mediante la aplicación de un algoritmo anaglifo (ver listado de código 3).

También es necesario incluir un componente que permita configurar el tratamiento y el proceso de multiplexación. De esta forma, desde interfaces gráficas de usuario (GUI por sus siglas en inglés), el especialista médico podría especificar cual es el ojo ambliope y el nivel de supresión (rango de 0 a 1). Si se especifica que el ojo izquierdo es el ambliope, el parámetro *left\_eye\_contrast* del script TBAScript se establece en 1 y el parámetro *right\_eye\_contrast* se establece al valor de supresión introducido.

```
public class TBA : MonoBehaviour
{
    public Camera secondary_camera;
    public Shader anaglyph_algorithm;
    public float left_eye_contrast;
    public float right_eye_contrast;
    private Material material;

    void Awake() {
        secondary_camera.targetTexture =
            new RenderTexture (Screen.width, Screen.height, 24);
        material = new Material (anaglyph_algorithm);
    }

    void OnRenderImage(RenderTexture source, RenderTexture destination) {
        material.SetTexture ("_OtherTex", secondary_camera.targetTexture);
        material.SetFloat("_LeftContrast", left_eye_contrast);
        material.SetFloat("_RightContrast", right_eye_contrast);
        Graphics.Blit(source, destination, material);
    }
}
```

Listado de código. 2: Efecto post-processing para la cámara principal.

```
Shader "Custom/ColorAnaglyph" {
    Properties {
        _MainTex ("Main image", 2D) = "white" {}
        _OtherTex ("Left image", 2D) = "white" {}
        _LeftContrast ("Left contrast", float) = 1
        _RightContrast ("Right contrast", float) = 1
    }
    SubShader {
        Pass {
            CGPROGRAM
            #pragma fragment frag
            #pragma vertex vert
            #include "UnityCG.cginc"

            sampler2D _MainTex;
            sampler2D _OtherTex;
            float _LeftContrast;
            float _RightContrast;

            struct v2f {
                float4 upos: SV_POSITION;
                float2 uv: TEXCOORD0;
            };

            float4 _MainTex_ST;

            v2f vert(appdata_base v){
                v2f o;
                o.upos = mul(UNITY_MATRIX_MVP, v.vertex);
                o.uv = TRANSFORM_TEX(v.texcoord, _MainTex);
                return o;
            }

            fixed4 frag (v2f i): SV_Target {
                //Matrices para la multiplexacion
                fixed4x4 leftMatrix = half4x4(
                    1, 0, 0, 0,
                    0, 0, 0, 0,
                    0, 0, 0, 0,
                    0, 0, 0, 1
                );
                fixed4x4 rightMatrix = half4x4(
                    0, 0, 0, 0,
                    0, 1, 0, 0,
                    0, 0, 1, 0,
                    0, 0, 0, 1
                );

                float4 leftColor = tex2D (_MainTex, i.uv);
                float4 rightColor = tex2D (_OtherTex, fixed2(i.uv.x, 1 - i.uv.y));

                // Inicio tratamiento antisupección
                float4 g = float4(0.5, 0.5, 0.5, 1);
                leftColor = leftColor + (1 - _LeftContrast) * (g - leftColor);
                rightColor = rightColor + (1 - _RightContrast) * (g - rightColor);
                // Fin tratamiento antisupección

                return mul(leftMatrix, leftColor) + mul(rightMatrix, rightColor);
            }
        }
        ENDCG
    }
}
```

Listado de código. 3: Efecto post-processing para la cámara principal.

Si el ojo ambliope es el derecho se procede de forma contraria. El proceso de multiplexación y la calidad de la imagen anaglifa están condicionados por el algoritmo anaglifo seleccionado.

## 2.4 Prototipo de videojuego

Pesadilla es un prototipo de videojuego desarrollado para soportar investigaciones sobre el TBA realizadas por profesores del Departamento de Tecnología de la Universidad de Granma y de la Cátedra de Oftalmología del Hospital Docente Quirúrgico Carlos Manuel de Céspedes; es un videojuego 3D, del género First-person shooter desarrollado con Unity 5.3.2. Este prototipo permite configurar el tratamiento mediante la especificación del ojo ambliope y el contraste asociado al nivel de supresión (ver figura 4).



Figura. 4: Configuración del tratamiento.

Pesadilla soporta tanto el TBI como el TAS; pero la aplicación de la primera estrategia es obligatoria, porque no es configurable la visibilidad de los objetos. En todos los niveles, los enemigos y recompensas solo se muestran al ojo ambliope (ver figura 5). Por el contrario, el TAS se puede desactivar si el contraste se establece en uno durante la configuración del tratamiento.



Figura. 5: Imágenes dicópticas de un fotograma del videojuego Pesadilla. La imagen de la izquierda se le presenta al ojo ambliope y la derecha al ojo sano.

En las opciones del videojuego (ver figura 4), también es posible escoger entre los algoritmos: *anaglifo a color*, *anaglifo color a medias* y *anaglifo en escala de grises*. En la figura 6 y 7 se muestran las

imágenes anaglifas resultante de aplicar el primer y tercer algoritmo respectivamente a las imágenes dicópticas de la figura 5.

## 2.5 Resultados

Las pautas propuestas en este trabajo permiten implementar el TBA y TAS, tanto de forma independiente como al unísono, en cualquier videojuego desarrollado con Unity 3D. Se presentan soluciones con este motor de videojuegos para todos requerimientos del TBA: presentación dicóptica, selección de los objetos visibles para cada ojo y establecimiento del nivel de contraste relativo entre las imágenes dicópticas. También se explica cómo realizar las configuraciones necesarias para especificar el ojo ambliope y el algoritmo de multiplexación deseado.

Aunque este trabajo está enfocado para el motor Unity 3D, los principios de la solución general y de la implementación gráfica, son independientes del motor de videojuego utilizado, por lo que son igualmente válidos para proyectos e investigaciones que requieran la utilización de otras tecnologías para el desarrollo de los videojuegos.

El prototipo de videojuego Pesadilla permitió comprobar la validez de Unity 3D para la implementación del TBA en videojuegos, pues previo a esta investigación ya se conocía que este motor implementa las funcionalidades (renderizado en texturas y post-procesamiento con shaders) que se requieren para lograr la presentación dicóptica en un videojuego. También se observó un similar rendimiento de los fotogramas por segundo (FPS) del videojuego Pesadilla, después de la implementación del tratamiento.

En Cuba no hay registros de estudios clínicos sobre el tratamiento binocular de la ambliopía. Sin embargo, una parte de la comunidad oftalmológica ha conocido sobre esta alternativa de tratamiento en eventos científicos y actividades de superación. Las investigaciones realizadas entre la Cátedra de Oftalmología del Hospital Docente Quirúrgico Carlos Manuel de Céspedes han permitido tener un *know how* sobre la implementación del TBA, desarrollar varios prototipos de videojuegos en diferentes motores y la implementación de algoritmos de multiplexación que mitigan los factores que afectan la calidad de la presentación dicóptica con la técnica anaglifa.

Sin embargo todavía no se han realizado estudios clínicos que permita corroborar los resultados que se reportan en la bibliografía consultada. El déficit de videojuegos ha sido una de las principales cau-

sas. Los resultados de esta investigación ponen al equipo de investigación en mejores condiciones de eliminar esta limitante, pues se facilita el desarrollo de nuevos videojuegos y prototipos, y existe la posibilidad de implementar el TBA en videojuegos libres y de código abierto desarrollados con Unity 3D. También es posible alcanzar acuerdos que permitan implementar el TBA en videojuegos desarrollados con este motor por instituciones y personas naturales de Cuba.



Figura. 5: Fotograma del videojuego pesadilla con el algoritmo anaglifa a color.

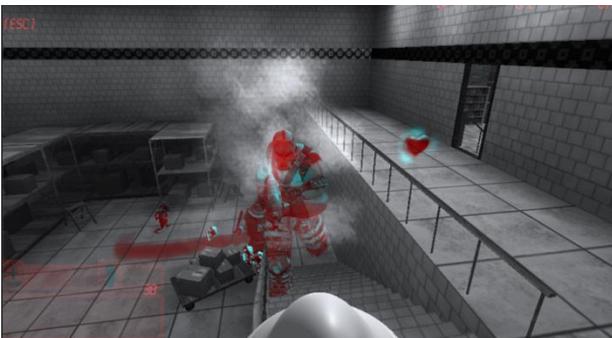


Figura. 6: Fotograma del videojuego pesadilla con el algoritmo anaglifo en escala de grises.

### 3. CONCLUSIONES

Las pautas propuestas en este trabajo son independientes del videojuego y fueron validadas en un prototipo de videojuego 3D. Sus principios se pueden aplicar en otros motores de videojuegos, pues están basadas en las estrategias del TBA y en el sistema de codificación de la técnica anaglifa. En trabajos futuros se pretende profundizar en la configuración de la pertenencia de los objetos del videojuego a los grupos que definen su visibilidad por cada ojo.

### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **F. Martínez Eguía, M. Rió Torres, and A. Capote Cabrera:** Manual de Diagnóstico y Tratamiento en Oftalmología. La Habana: Editorial Ciencias Médicas, 2009.
2. **R. F. Hess and B. Thompson:**, "New insights into amblyopia: Binocular therapy and noninvasive brain stimulation," *Journal of AAPOS*, vol. 17, no. 1, pp. 89-93, 2013.]
3. **R. Sireteanu:** "The Binocular Visual System in Amblyopia," *Strabismus*, vol. 8, no. 1, pp. 39-52, 2000.
4. **E. E. Birch:** "Amblyopia and Binocular Vision," *Progress in Retinal and Eye Research*, vol. 33, pp. 67-84, 2013.
5. **D. A. Bacal:** "Amblyopia," *American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 2014. [Online]. Available: <http://eyewiki.aaop.org/Amblyopia>. [Accessed: 10-Nov-2015].
6. **O. C. Biart, I. T. Casado, Z. M. Legón, S. R. Caso, and A. B. Hernández:** "Frecuencia de la ambliopía en escolares," *Revista Cubana de Pediatría*, vol. 83, no. 4, pp. 372-381, 2011.
7. **G. Jiménez, L. R. Hernández, and M. Soto:** "Ambliopía en escolares del seminternado 'Juventud de acero', del municipio de Caimito," *Revista Cubana de Oftalmología*, vol. 26, no. 2, pp. 593-604, 2013.
8. **P. E. Waddingham, S. V. Cobb, R. M. Eastgate, and R. M. Gregson:** "Virtual reality for interactive binocular treatment of amblyopia," in 6th International Conference on Disability, Virtual Reality & Associated Technologies, 2006, pp. 201-208.
9. **M. Cleary, A. D. Moody, A. Buchanan, H. Stewart, and G. N. Dutton:** "Assessment of a computer-based treatment for older amblyopes: the Glasgow Pilot Study," *Eye*, vol. 23, no. 1, pp. 124-131, 2007.
10. **L. To, B. Thompson, J. R. Blum, G. Maehara, R. F. Hess, and J. R. Cooperstock:** "A Game Platform for Treatment of Amblyopia," *IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING*, vol. 19, no. 3, pp. 280-289, 2011.
11. **J. K. Hovis and S. L. Guth:** "Dichoptic Opponent Hue Cancellations.pdf," *Optometry and Vision Science*, vol. 66, no. 5, pp. 304-319, 1989.

12. **R. W. Li, C. Ngo, J. Nguyen, and D. M. Levi:** "Video-Game Play Induces Plasticity in the Visual System of Adults with Amblyopia," *PLoS Biology*, vol. 9, no. 8, 2011.
13. **S. T. Jeon, D. Maurer, and T. L. Lewis:** "The Effect of Video Game Training on the Vision of Adults with Bilateral Deprivation Amblyopia," *Seeing and Perceiving*, vol. 25, no. 5, pp. 1-28, 2012.
14. **C. X. Guo, R. J. Babu, J. M. Black, and W. R. Bobier:** "Binocular treatment of amblyopia using videogames (BRAVO): study protocol for a randomised controlled trial," *Trials*, vol. 17, no. 1, p. 504, 2016.
15. **Z. Rajavi, H. Sabbaghi, E. Amini Sharifi, N. Behradfar, and M. Yaseri:** "The role of Interactive Binocular Treatment system in amblyopia therapy," *Journal of Current Ophthalmology*, vol. 28, no. 4, pp. 217-222, 2016.
16. **R. F. Hess, R. J. Babu, S. Clavagnier, J. Black, W. Bobier, and B. Thompson:** "The iPod binocular home-based treatment for amblyopia in adults: efficacy and compliance," *Clinical And Experimental Optometry*, vol. 97, no. 5, pp. 389-398, 2014.
17. **C. M. Suttle:** "Active treatments for amblyopia: a review of the methods and evidence base," *Clinical and Experimental Optometry*, vol. 93, no. 5, pp. 287-299, 2010.
18. **B. Mansouri, B. Thompson, and R. F. Hess:** "Measurement of suprathreshold binocular interactions in amblyopia," *Vision Research*, vol. 48, no. 28, pp. 2775-2784, 2008.
19. **A. Gargantini, M. Bana, and F. Fabiani:** "Using 3D for Rebalancing the Visual System of Amblyopic Children," in *International Conference on Virtual Rehabilitation*, 2011.
20. **P. C. F. Law, B. K. Paton, R. H. Thomson, G. B. Liu, S. M. Miller, and T. T. Ngo:** "Dichoptic Viewing Methods for Binocular Rivalry Research: Prospects for Large-Scale Clinical and Genetic Studies," *Twin Research and Human Genetics*, vol. 16, no. 6, pp. 1033-1078, 2013.
21. **J. Konrad and M. Halle:** "3-D Displays and Signal Processing," *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 24, no. 6, pp. 97-111, 2007.
22. **B. G. Blundell:** *An Introduction to Computer Graphics Creative 3-D Environments*. London: Springer, 2008.
23. **S. Li, L. Ma, and K. N. Ngan:** "Anaglyph image generation by matching color appearance

attributes," *Signal Processing : Image Communication*, vol. 28, no. 6, pp. 597-607, 2013.

24. **V. M. Tran:** "New methods for rendering of anaglyph stereoscopic images on CRT displays and photo-quality ink-jet printers," *University of Ottawa*, 2005.

## 5. SÍNTESIS CURRICULARES DE LOS AUTORES



**Yenner Joaquín Díaz Núñez** es profesor Asistente a tiempo completo del Departamento de Tecnología de la Universidad de Granma. Se graduó de Ingeniería en Ciencias Informáticas en la Universidad de Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba, 2009. Recibió el título de Máster en Informática Aplicada en la Universidad de Las Tunas, Cuba, 2016. Dentro de sus intereses de investigación se encuentra programación de gráficos por computadoras, procesamiento digital de imágenes, videojuegos serios, ingeniería y gestión de software.