

# Hacia la configuración óptima de entornos autoestereoscópicos para desarrollo de videojuegos

Ricardo Loreto, José M. Sotoca, Miguel Chover

Universidad Jaume I, Castellón, España,  
al285743@uji.es, sotoca@uji.es, chover@uji.es,  
Página principal: <http://www.uji.es>

**Abstract.** This paper explains some of the autostereoscopy research areas and presents a system to create autostereoscopic content in a 3D game engine. Several camera configuration sets for the system are proposed and some user tests are carried out. These tests aim to determine which of the different configuration sets: dynamic converging optical axis, static converging optical axis and parallel optical axis, shows better results. Such tests evaluate the quality of experience regarding speed and eye discomfort. Finally, the preference for one or another configuration is evaluated. The results of the tests show a preference towards the dynamic converging optical axis configuration set. This setup seems to be the trend due to its capacity to maintain the action focus clear.

**Abstract.** En este artículo se explican las áreas de investigación de la autoestereoscopia y se desarrolla un sistema de creación de contenidos autoestereoscópicos en un motor 3D. Sobre este, se realiza un test de usuario para determinar cual de los métodos de configuración de cámaras propuestos es el mejor: el de ejes ópticos convergentes dinámicos (EOCD), el de ejes ópticos convergentes estáticos (EOCE) o el de ejes paralelos (EOP). El test evalúa la calidad de la experiencia respecto a la velocidad, la molestia y determina la preferencia del usuario por uno u otro. El resultado del test muestra que existe una tendencia de preferencia por el método EOCD por su capacidad de mantener el foco de la acción nítido.

**Keywords:** Autoestereoscopia, Videojuegos, Televisión 3D, Conflicto de convergencia-acomodación

## 1 Introducción

Los monitores autoestereoscópicos son una de las tendencias emergentes en el uso de dispositivos de visualización, con un enorme potencial y en el cual la generación de contenidos todavía no está suficientemente explotado. Las consolas de Nintendo (3DS, new 3DS, etc.) han conseguido llevar la autoestereoscopia al mercado, lo cual es un indicativo de que a pesar de que el público sigue prefiriendo monitores convencionales, las nuevas tecnologías están empezando a considerarse como un medio más donde crear y experimentar contenidos especialmente en el campo de los videojuegos. Las televisiones autoestereoscópicas de múltiples vistas (3DATV) permiten a múltiples personas observar el mismo contenido en 3D en tiempo real sin ningún aparato extra, a diferencia de otras tecnologías de estereoscopia que requieren de conexión multijugador y gafas 3D. Cuando se crea un videojuego para un monitor autoestereoscópico existen diversos problemas, que desde el punto de vista del diseño hay que tener en cuenta: Astenopia[1], *crossstalk* o *ghosting*[2], *simulator sickness*, etc. El hecho de que existan ya videojuegos estereoscópicos desarrollados por compañías multinacionales, no es sino un indicativo de la expansión de estas tecnologías y se puede explotar al máximo el rendimiento de los monitores 3D. Por todo esto, en este trabajo se pretende hallar cual es la configuración de parámetros (tanto de cámaras como de velocidad de los objetos) que mejor convenga a un videojuego autoestereoscópico.

Para el desarrollo del trabajo se han creado diversas herramientas: Sistema de creación de contenidos en un motor de videojuegos comercial, un videojuego tipo ARS (Autoestereoscopic Rail Shooter) y un cuestionario de evaluación de la calidad de la visualización.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se proveerá una explicación sobre el estado del arte relacionado con autoestereoscopia, videojuegos y experiencia de usuario con esta tecnología. En la sección 3 constituye la hipótesis de partida. En la sección 4 se explicará el método de creación de contenidos: el sistema y el *shader* empleado. Finalmente, se mostrarán los resultados y las conclusiones en las secciones 5 y 6, respectivamente.

## 2 Estado del arte

Cuando se trabaja en la autoestereoscopia aparecen diversas áreas de investigación que buscan validarla. Entre ellas encontramos: el estudio de los problemas fisiológicos y físicos que ocasiona sobre el ser humano, la experiencia de usuario (*user experience* o UX) y la calidad de la experiencia (*quality of experience* o QoE) y cómo influye la estereoscopia en las capacidades y rendimiento humano.

### 2.1 El estudio de los problemas fisiológicos y físicos

Existen diferentes problemas relacionados con la visualización de contenidos estereoscópicos y autoestereoscópicos.

1. La fatiga ocular o visual también denominada astenopía, se refiere a una reducción del rendimiento del sistema visual humano provocado por una tensión fisiológica resultante de un esfuerzo excesivo [1]. Los síntomas que se manifiestan tardan en aparecer y en desaparecer del cuerpo humano, incluso después de la visualización [3]
2. El malestar ocular, es el estado físico y/o fisiológico que se percibe como un cierto grado de molestia en la visión. Aparece y desaparece rápidamente durante el periodo de actividad[3]. Se manifiesta de forma subjetiva y dependiente de cada persona.
3. *Simulator sickness* [4]: síntomas producidos por la información conflictiva que el sistema de equilibrio y el visual le envían al cerebro. El de equilibrio no recibe ningún estímulo de movimiento mientras que el de visión está constantemente recibiendo este tipo de estímulos.

## 2.2 Conflicto de convergencia-acomodación

El conflicto de convergencia-acomodación es un problema extensamente documentado, está provocado por cómo los ojos están acostumbrados a enfocar de una determinada manera y cómo engañan al cerebro forzando un cambio en la manera de enfocar provocando efectos adversos.

La acomodación de los ojos es el proceso mediante el cual estos órganos adaptan el cristalino para enfocar un objeto. Se lleva a cabo mediante el músculo ciliar. Los ojos cambian la potencia óptica modificando la curvatura del cristalino haciendo que el objeto se vea definido.[1].

La convergencia, es el proceso por el cual ambos ojos se mueven en direcciones opuestas, de forma que el objeto a enfocar quede enfocado en la retina[5]. Se dice que el objeto está enfocado cuando los ejes visuales están alineados en el punto.

La acomodación y la convergencia se dan en conjunto y simultáneamente, cuando el ojo humano enfoca un punto cercano, los ojos convergen hacia ese punto, mientras que cuando enfocan a un punto lejano se quedan paralelos. Esto sucede a la par que el cristalino se contrae y la pupila deja pasar más o menos luz para ver una imagen lo más nítida posible (miosis). Al conjunto de acomodación, convergencia y miosis se le denomina comúnmente triada acomodativa [6].

Cuando una persona mira a un punto, la distancia de acomodación y la de convergencia son la misma, así como el estímulo que va al sistema de acomodación y al de convergencia [7]: los ojos enfocan y convergen al plano donde está el estímulo. Cuando se da el caso de la autoestereoscopia, los ojos están enfocados en el monitor y la distancia a este es constante [3], con lo que el cerebro recibe información de “planaridad” y ausencia de 3D, No obstante, a cada ojo le llega una imagen diferente provocando el efecto 3D. La distancia de convergencia es diferente a la de enfoque (ver Fig.1). El conflicto convergencia-acomodación se da porque la triada acomodativa crea estímulos contradictorios.

Algunas investigaciones establecen que favorecer constantemente el conflicto de convergencia-acomodación no ocasiona fatiga ocular si la diferencia entre distancias se mantiene en unos límites [8].

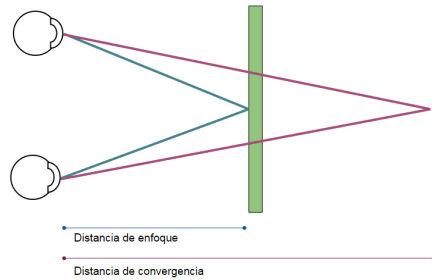


Fig. 1: Conflicto de convergencia acomodación en la visualización tridimensional

### 2.3 Efectos del movimiento virtual en la visualización de contenido estereoscópico

Existen dos tipos de movimiento principalmente: el movimiento en el plano y el movimiento en profundidad. Investigaciones determinan que el movimiento planar con movimiento angular de los objetos provoca fatiga ocular [9]. El movimiento en profundidad, al igual que el movimiento en el plano en imágenes estáticas provoca fatiga visual. En concreto, los movimientos rápidos provocan un incremento de la incomodidad en imágenes dinámicas [3]. Cuando se maneja la velocidad de los objetos es importante tener en cuenta también la disparidad binocular, cuando se tiene una escena frenética, es importante tener una disparidad pequeña (distancia entre cámaras) o lo que es lo mismo mantener un ángulo de diferencia de las imágenes pequeño. Largos periodos de visualización pueden inducir que los síntomas aparezcan.[10]

### 2.4 Estudio de UX y la calidad de la experiencia de las 3DTV

UX es un término difícil de definir en el ámbito de la interacción humano-computador. El consenso establece que UX es un término definido por 3 elementos: el usuario, el sistema y el contexto [11]. El usuario es el que manipula el sistema, que es el software requerido para que el producto funcione. El contexto comprende las circunstancias en las que la actividad se lleva a cabo.

Los usuarios objetivos son jóvenes que pierden el interés a medida que las incomodidades o efectos fisiológicos de las 3DTV aumentan. Los contenidos que demandan son los propios de una televisión normal, pero que ofrezca una experiencia más allá de objetos contenidos en una caja, que el contenido sea interactivo y para varias personas. Según [12],

[13] Afirma que los monitores estéreo provocan mayor sensación de presencia, inmersión y profundidad. No obstante, [14] indica que la cantidad justa de estéreo es un factor importante para una buena calidad de experiencia.

Más de 160 experimentos investigan sobre el rendimiento humano, diferentes tareas y la diferencia entre resolverlas en un sistema estéreo o un sistema monoscópico. Un 60% de los sujetos resuelven mejor las tareas en estéreo.[13]

### 3 Hipótesis

La literatura existente hasta ahora deja una serie de guías para mejorar la calidad de experiencia de los usuarios en la visualización de medios estereoscópicos.

1. Los movimientos en profundidad han de ser suaves y lentos, la acción principal se debe llevar a cabo en el plano cercano. Si el centro de atención está en el plano cercano, los planos lejanos carecen de importancia y pueden ser frenéticos. Siguiendo estas directrices se reduce potencialmente el conflicto de convergencia acomodación [3][13][15][9].
2. Es importante mantener una correcta separación entre cámaras y un renderizado lo más perfecto posible, puesto que la aparición de errores en éste conlleva a un incremento de la fatiga ocular [15][16].
3. La Interfaz de usuario, si existe, debe de estar rediseñada para no romper el efecto de profundidad con planos. La profundidad está otorgada por elementos en el plano medio y lejano que tengan tanto profundidad como altura. [15][17].
4. Los periodos de visionado han de ser cortos [10].

Centrando el trabajo en el punto 1, nuestra hipótesis establece que: *si existe una escena donde la acción principal se mantiene en el plano cercano, dejar el plano de convergencia estático favorecerá la sensación de tridimensional y otorgará la mejor experiencia de usuario.*

### 4 Sistema

Para la realización de este trabajo se ha desarrollado un sistema de creación de contenidos autoestereoscópicos y se ha estudiado el funcionamiento del monitor empleado.

#### 4.1 Configuración del mundo virtual

Dentro del motor, se necesitan 8 cámaras configuradas para producir el efecto de autoestereoscopia, una cámara de visualizado general y un *quad* (un polígono de 4 vértices, formado por dos triángulos).

La configuración de las cámaras es sencilla, cada una de ellas debe de estar configurada de forma que su *viewport* ocupe un octavo del campo de visualización. Esto es así puesto que cada una de las cámaras plasmarán lo que la cámara está renderizando a una textura (*Render to texture*). Este paso inicial, provocará que dispongamos de un conjunto de 8 imágenes de 720x360 de resolución distribuidas a lo largo y ancho de una imagen de 1440x1440 siguiendo la distribución de 4 filas y 2 columnas como se dispone en la figura 2a.

Cada una de las ocho cámaras ha de estar separada de su vecina la instancia interpupilar, que debe de ser la distancia aproximada entre las pupilas. No obstante, a la hora de crear un videojuego donde se busca la mejor experiencia,

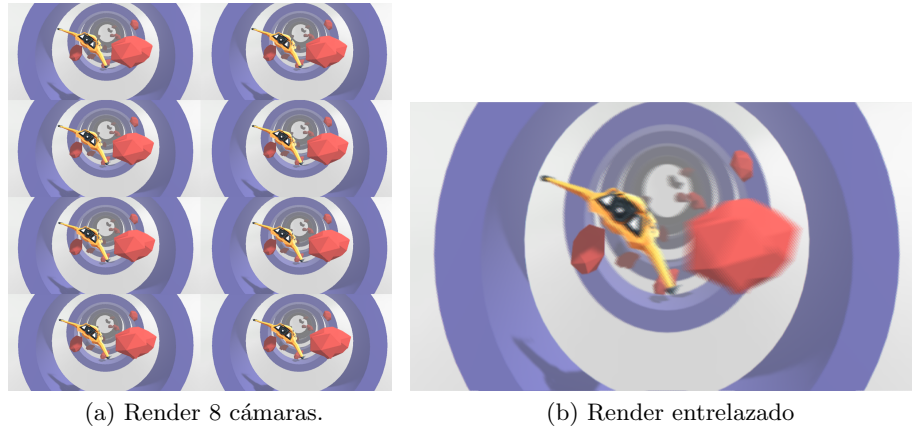


Fig. 2: misma escena sin entrelazar y entrelazada

esta distancia puede variar en pos de la claridad y la reducción de la astenopía. En su estudio Carlos González et al. [18], demostraron que la configuración que produce sensaciones más naturales y realistas es la configuración planar. Para el trabajo que aquí se expone, las cámaras cuentan con parámetros variables ya que la configuración también es planar pero la orientación de los ejes ópticos será modificable.

Cada una de las 8 imágenes ocupa una posición en el *quad* formando la imagen de 4 filas y 2 columnas. Este sufre una transformación en el *shader* que provocará la creación de la imagen entrelazada para enviarla al dispositivo y permitiendo así la visualización en 3D.

## 4.2 Generación de imagen entrelazada

Para conseguir la sensación 3D es muy importante que la información proporcionada por cada led de la 3DATV esté ajustado a la configuración de la barrera lenticular que hay delante. Para ello, las 8 imágenes sufren un proceso de entrelazado: de una imagen de 1440x1440 con 720x360 píxeles de información de cada una de las cámaras dispuestas en 4 filas y 2 columnas (como se observa en la 2a). El resultado de este proceso es una única imagen de 1920x1080 (mostrado en la fig 2b) que sigue el patrón de distribución RGB mostrado en la Fig.3 y contiene toda la información de las cámaras. La baja resolución de las imágenes usadas para el entrelazado, puede inducir *aliasing* que va en detrimento de la calidad de la visualización. Sin embargo, aplicando un proceso de *antialiasing* a la imagen de 1440x1440 que contiene las 8 imágenes de 720x360 deja de apreciarse.

**4.2.1 Vertex shader** Al *Quad* que se crea se le aplicará una transformación sencilla para convertirlo en un *Full Screen Quad* (FSQ), denominado así puesto que pone la geometría del *quad* ocupando la región de visualización, es decir,

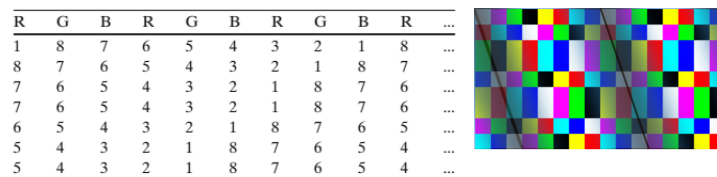


Fig. 3: Izquierda: Patrón de distribución de acceso a cámaras para obtener valores R,G o B.Derecha: patrón sobre barrera lenticular

coloca el *quad* delante de la cámara. Dicha transformación consiste en que las coordenadas locales se modifican de forma que ocupen los extremos del *clip space* (que es un espacio cúbico tiene un rango de -1 hasta 1). Las coordenadas de textura se configuran para que queden en el rango positivo. Este procedimiento se puede observar en el algoritmo 1

---



---

**Algorithm 1** Algoritmo para full screen quad

---



---

```

1: procedure VERTEXSHADER(DatosVertice)
2:   DatosParaFragment.pos  $\leftarrow$  float4(DatosVertice.pos.xy * 2, 0, 1)
3:   DatosParaFragment.uv  $\leftarrow$  float4(DatosVertice.pos.xy +
   float2(0.5, 0.5), 0, 1)
4:   return DatosParaFragment

```

---

**4.2.2 Fragment shader** En el *fragment shader* es donde se produce el entrelazado (algoritmo 2). A este se le suministran datos sobre la posición de las coordenadas de textura cuyo rango es  $[0, 1]$ .

El sistema desarrollado parte de la fila y columna del píxel. En función de la resolución de salida y la coordenada de textura se puede obtener el número que aparecería en el patrón de píxeles de la 3DATV(definido en la función de la fila 9 del algoritmo 2).

Hallado el número del patrón solo se conoce la cámara de la que se obtendrá la información R, G o B, falta determinar de qué fila y de qué columna. Para hallar estos valores se han de realizar cálculos con las resoluciones para hallar la coordenada a la que se ha de acceder de la textura no entrelazada y en función a esa posición obtener el valor acorde al patrón en R, en G y en B. El algoritmo 2 detalla en las filas 5 y 6 la obtención de dichas coordenadas.

Una vez obtenidos los valores de la fila y de la columna locales de cada cámara, para hallar el valor del texel es preciso que se halle la posición donde empieza la información de esa cámara en la textura de 1440x1440.(filas 18-20 del algoritmo 2 ) Obtenido el valor del texel, es opcional realizar una corrección de color, que consiste en mezclar la información de la fila del patrón que se

---

---

**Algorithm 2** Algoritmo de entrelazado

---

---

```
1: procedure ENTRELAZADO(FragData)
2:   fila  $\leftarrow (1.0 - \text{FragData}.uv.y) * (1080)$ 
3:   columna  $\leftarrow \text{round}(\text{FragData}.uv.x * 1920)$ 
4:   PatronRGB  $\leftarrow \text{ObtenerPatronRGB}(\text{fila}, \text{columna})$ 
5:   filaCamLoc  $\leftarrow (\text{fila})/3$ 
6:   colCam  $\leftarrow (\text{columna}) * 3.0$ 
7:   R  $\leftarrow \text{ValorRGB}(\text{patronRGB}, \text{filaCamLoc}, \text{colCam}, 1)$ 
8:   G  $\leftarrow \text{ValorRGB}(\text{patronRGB}, \text{filaCamLoc}, \text{colCam}, 2)$ 
9:   B  $\leftarrow \text{ValorRGB}(\text{patronRGB}, \text{filaCamLoc}, \text{colCam}, 3)$ 
10:  Color  $\leftarrow \text{floatA}(R, G, B, 1)$ 
11:  return DatosParaFragment
12: procedure OBTENERPATRONRGB(fila, columna)
13:  patronNormal  $\leftarrow (3 * ((1920 - \text{row} - 1) * 1080 + \text{columna})) \bmod 8$ 
14:  displacement  $\leftarrow (2 * (\text{row})/3) \bmod 8$ 
15:  adjustment  $\leftarrow (\text{patronNormal} - \text{displacement})$ 
16:  pR  $\leftarrow \text{adjustment} < 0 ? 8 + \text{adjustment} : \text{adjustment}$ 
17:  [...]
18:  return int3(pR, pG, pB)
19: procedure VALORRGB(patron, fila, columna, RGB)
20:  colCam  $\leftarrow (\text{col}_cam - \text{RGB})/8.0$ 
21:  pixelCam  $\leftarrow \text{float2}(\text{getCamera}(\text{pattern}).y + \text{col}_cam, \text{getCamera}(\text{pattern}).x -$   

   row}_cam - 1)
22:  texelValue  $\leftarrow \text{tex2D}(\text{MainTex}, \text{float2}(\text{pixelcam}.x, \text{pixelcam}.y)/1440)$ 
23:  return RGB == 3? texelValue.r : RGB == 2? texelValue.g : texelValue.b
```

---

---

repite con la información de la siguiente. Esto provoca que la transición entre las imágenes del conjunto de cámaras sea mucho más suave.

### 4.3 Monitor

Para la realización del trabajo se ha empleado una 3DATV que se caracteriza por generar el contenido a través de una barrera lenticular. Este tipo de monitores suelen tener una distancia de visionado correcta de 4 metros.

Una barrera lenticular es una hoja transparente compuesta por lentes cilíndricas espaciadas uniformemente [19]. El conjunto de LEDs de la 3DTV o pantalla de difusión junto con la barrera lenticular permite visualizar y ocultar cierta información lumínica provocando el efecto 3D [19]. Este se obtiene mediante el fenómeno de refracción de la luz, la barrera lenticular modifica el camino de la luz de la pantalla de difusión para que a cada ojo de cada persona realizando la visualización le llegue una imagen distinta.

La pantalla de difusión sigue un patrón de acceso a cada imagen específico, detallado en la figura 3. Este patrón, consiste en una redistribución de la información RGB de cada una de las cámaras siguiendo un orden concreto. La información de un pixel se puede hallar en una región de 3x9 píxeles de la imagen final.



## 5 Resultados

Como se mencionó anteriormente, con este trabajo se busca hallar la configuración de cámaras óptima para la visualización de contenido interactivo. La hipótesis del equipo es que si el plano de convergencia no varía, la sensación 3D es mejor. A continuación se desarrolla el experimento que busca validarla y la descripción de los diferentes modelos de configuración

### 5.1 Datos técnicos

Para la visualización se emplea una 3DATV de barrera lenticular de 46", fabricada por la compañía XyZ. Para la visualización de la escena (que consiste en una nave que navega por un campo de asteroides) se usa el motor de videojuegos Unity3D 5.2 [20]. La separación de cámaras es de 0.01 unidades y el mundo está escalado a 0.03 unidades. El FOV de las cámaras es de 30. Los ejes ópticos de las cámaras pueden cambiar el enfoque de paralelos a convergentes, obteniendo 3 métodos de configuración

1. **Ejes ópticos convergentes dinámicos (EOCD)**. La configuración de cámaras es paralela, los ejes ópticos apuntan al plano de convergencia situado en la nave, por lo que la distancia de convergencia varía durante la visualización.
2. **Ejes ópticos convergentes estáticos (EOCE)**. Los ejes ópticos de las cámaras apuntan a un punto de convergencia estático.
3. **Ejes ópticos paralelos (EOP)**. La calidad de la visualización se determinará mediante una configuración de cámaras paralela, con los ejes ópticos paralelos también.

Con estos tres métodos se pretende evaluar la QoE durante la visualización 3D. Para ello se ha desarrollado un test de usuario para recoger las opiniones y obtener resultados sobre la QoE. Éste evalúa cada una de las experiencias otorgadas por los modelos en relación a tres características: velocidad, preferencia de método y molestia. La evaluación varía en un rango de 5, la mejor calidad de visionado, a 1, la peor. En el caso de la molestia, se evalúa en grado de molestia, siendo 5 la mayor molestia y uno la menor. A cada usuario se le presenta un cuestionario de evaluación.

La velocidad se evalúa variando la velocidad de los objetos desde lenta a normal, siendo lenta la mitad de la normal. Para evaluar la QoE respecto a la velocidad se someterá a los participantes a un visionado corto, de 30 segundos, de cada uno de los métodos a dichas velocidades. Tras cada uno de los periodos los usuarios evalúan el método respecto a la velocidad solamente. Los usuarios también han de evaluar que método les ha otorgado la mejor sensación, lo cual se hace tras la finalización de las 3 visualizaciones.

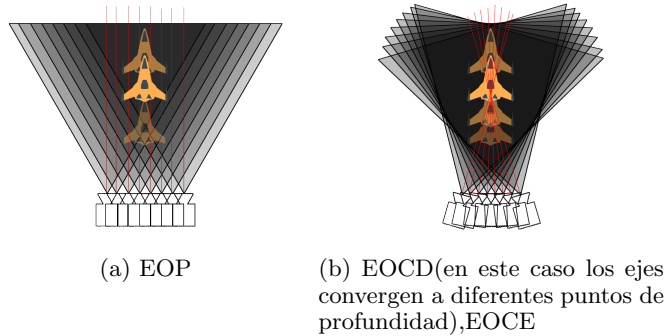


Fig. 4: Configuración de los métodos

## 5.2 Analisis de los resultados

Para analizar la significancia estadística de los resultados, se han aplicado los tests no paramétricos de Friedman y Quade. Estos permiten medir la significancia estadística de los resultados de los 3 diferentes experimentos, agrupando los resultados de los usuarios en rankings. Ambos métodos estadísticos utilizan la distribución de Fisher para discernir la significancia de los 3 métodos. En este test se han utilizado 26 datos de usuarios diferentes ( $NB=26$ ) y 3 métodos( $NM=3$ ). La distribución sigue  $(NM-1)$  y  $(NM-1)*(NB)$ . Como valor de la distribución de Fisher obtenemos  $F(2,50)=5.9$  con un nivel de confianza  $p=0.005$ , indicándonos que valores inferiores a este implicarían que no hay significancia estadística suficiente.

En las tablas 1 y 2 se muestran las medias obtenidas por cada uno de los métodos y entre paréntesis su desviación estándar (3 primeras columnas) y los dos test estadísticos aplicados (dos ultimas). La diferencia es que la tabla 1 muestra las medias del grado de preferencia y el de molestia y la otra tabla muestra la QoE atendiendo a la velocidad[21].

Table 1: Tabla de preferencias de experimentos y molestias

	<b>EOCD</b>	<b>EOCE</b>	<b>EOP</b>	<b>Friedman</b>	<b>Quade</b>
<b>Preferencias</b>	4,14 ( $\pm 0,85$ )	3,14( $\pm 0,91$ )	3,48( $\pm 1,29$ )	4,19(-)	2,92(-)
<b>Grado Molestia</b>	1,29( $\pm 0,56$ )	2,00( $\pm 1,14$ )	1,95( $\pm 1,02$ )	2,75(-)	2.93(-)

Al analizar los resultados de la tabla 1 puede observarse que la preferencia de los usuarios tiende a ser el método EOCD , puesto que la desviación estándar sigue siendo alta respecto a los otros dos para poder diferenciarla claramente. En cuanto al grado de molestia, los métodos que peor rendimiento tienen son EOCE y el EOP. Lo que apoya la elección de el método 1 como tendencia a ser el mejor.

Table 2: Tabla de QoE según velocidad

	<b>EOCD</b>	<b>EOCE</b>	<b>EOP</b>	<b>Friedman</b>	<b>Quade</b>
<b>Lenta</b>	3,33 ( $\pm 0,8$ )	3,00 ( $\pm 0,71$ )	2,90 ( $\pm 0,94$ )	2,45	1,13
<b>Normal</b>	4,00 ( $\pm 0,71$ )	3,24 ( $\pm 1,04$ )	3,38 ( $\pm 1,20$ )	2,92	3,46

Respecto a la QoE según la velocidad (atendiendo a los resultados de la tabla 2) se puede observar que a pesar de que la tendencia sea que la velocidad normal es la más agradable, no se puede apreciar una clara diferencia entre ambas por la similitud de los resultados y por las altas desviaciones estándar. Esto puede ser debido a que mientras el movimiento de los componentes se mantengan en un rango de profundidad aceptable, no se aprecia una clara diferencia por una velocidad u otra. La lenta recibe esa puntuación probablemente porque con los movimientos lentos el ojo puede divagar por la escena con más frecuencia favoreciendo el conflicto de convergencia-acomodación

Respecto a la QoE, parece coherente pensar que mantener el plano estático reduce los efectos adversos de la estereoscopia, puesto que se evitan cambios de enfoque y, por tanto, de nitidez en los objetos lejanos, provocando que este método sea el elegido por los usuarios por ser el más agradable y el que mejor calidad otorga. No obstante, dados los resultados, la tendencia indica que lo que importa a los usuarios es que el foco de atención se mantenga nítido siempre aún a riesgo de perder nitidez en la escena. Esto abre las puertas a nuevas líneas de investigación sobre autoestereoscopia y la QoE de videojuegos autoestereoscópicos.

## 6 Conclusiones

En este artículo se han explicado las diferentes áreas de investigación en torno a un monitor autoestereoscópico de 8 vistas de barrera lenticular, se ha hecho una descripción del conflicto de convergencia acomodación, el efecto del movimiento y del rendimiento humano. Después se ha desarrollado un sistema de creación de contenidos autoestereoscópicos en un motor 3D resolviendo el problema de ajuste del entrelazado al patrón del monitor. Tras esto, se presenta un test de usuario para determinar cual de los métodos de configuración propuestos es el mejor: el de ejes ópticos convergentes dinámicos (EOCD), el de ejes ópticos convergentes estáticos (EOCE) o el de ejes paralelos (EOP). En la comparativa entre métodos se evalúan la velocidad y la molestia que provocan. Los resultados tienden a expresar que los métodos 2 y 3 provocan más molestia que el 1, pero la significancia estadística no es suficiente para que estos resultados sean concluyentes. En cuanto a la velocidad no se ha hallado ningún indicio significativo de que esta influya en la percepción de tridimensionalidad o que mejore la QoE.

Finalmente existe una tendencia a que el método de visionado de cámaras paralelas con ejes ópticos convergentes y dinámicos (EOCD) sea el preferido por los usuarios de videojuegos.

En este trabajo se abren nuevas áreas de investigación: la influencia de la UI, el periodo de visualización, la complejidad del juego a nivel de diseño, experiencia de usuario en diferentes entornos y tipos de juego. Además de establecer un consenso respecto a unas guías de diseño que exploten la capacidad de los videojuegos autoestereoscópicos.

## 7 Agradecimientos

Este trabajo ha sido respaldado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (TIN2016-75866-C3-1-R) y el plan de promoción de la investigación de la Universitat Jaume I de Castellón (P11B2014-37).

## References

1. Lambooi, M., Fortuin, M., Ijsselsteijn, W., Evans, B., Heynderickx, I.: Measuring visual fatigue and visual discomfort associated with 3-d displays. *Journal of the Society for Information Display* **18**(11) (2010) 931–943
2. Woods, A.: Understanding crosstalk in stereoscopic displays. In: in 3-D Systems and Applications Conf. (2010)
3. Li, J., Barkowsky, M., Callet, P.L.: Visual discomfort of stereoscopic 3d videos: Influence of 3d motion. *Displays* **35**(1) (2014) 49 – 57
4. Johnson, D.M., for the Behavioral, U.A.R.I., Sciences., S.: Introduction to and review of simulator sickness research [electronic resource] / David M. Johnson
5. Hoffman, D.M., Girshick, A.R., Akeley, K., Banks, M.S.: Vergence–accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of Vision* **8**(3) (2008)
6. Charman, W.N.: The eye in focus: accommodation and presbyopia. *Clinical and Experimental Optometry* **91**(3) (2008) 207–225
7. Howarth, P.A.: Potential hazards of viewing 3-d stereoscopic television, cinema and computer games: a review. *Ophthalmic and Physiological Optics* **31** (2011)
8. Ukai, K., Howarth, P.A.: Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: Background, theories, and observations. *Displays* **29**(2) (2008) 106 – 116 *Health and Safety Aspects of Visual Displays*.
9. Li, J., Barkowsky, M., Le Callet, P.: The Influence of Relative Disparity and Planar Motion Velocity on Visual Discomfort of Stereoscopic Videos. In: International Workshop on Quality of Multimedia Experience QoMEX, Mechelen, Belgium (September 2011) pp.1–6
10. Chen, C., Wang, J., Li, K., Liu, Y., Chen, X.: Visual fatigue caused by watching 3d tv: an fmri study. *BioMedical Engineering OnLine* **14**(1) (2015) S12
11. Hassenzahl, M., Tractinsky, N.: User experience - a research agenda. *Behaviour & Information Technology* **25**(2) (2006) 91–97
12. Jumisko-Pyykkö, S., Weitzel, M., Strohmeier, D.: Designing for user experience: What to expect from mobile 3d tv and video? In: Proceedings of the 1st International Conference on Designing Interactive User Experiences for TV and Video. UXTV '08, New York, NY, USA, ACM (2008) 183–192
13. McIntire, J.P., Havig, P.R., Geiselman, E.E.: Stereoscopic 3d displays and human performance: A comprehensive review. *Displays* **35**(1) (2014) 18–26
14. Takatalo, J., Kawai, T., Kaistinen, J., Nyman, G., Häkkinen, J.: User experience in 3d stereoscopic games. *Media Psychology* **14**(4) (2011) 387–414
15. Mahoney, N., Oikonomou, A., Wilson, D.: Stereoscopic 3d in video games: A review of current design practices and challenges. In: 2011 16th International Conference on Computer Games (CGAMES). (July 2011) 148–155

16. Schild, J., Masuch, M.: Fundamentals of stereoscopic 3d game design. In: Proceedings of the 10th International Conference on Entertainment Computing. ICEC'11, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag (2011) 155–160
17. Jin, Z.X., Zhang, Y.J., Wang, X., Plocher, T. In: Evaluating the Usability of an Auto-stereoscopic Display. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2007) 605–614
18. González, C., Martínez Sotoca, J., Pla, F., Chover, M.: Synthetic content generation for auto-stereoscopic displays. *Multimedia Tools and Applications* **72**(1) (2014) 385–415
19. Onural, L., Ozaktas, H.M. In: Three-dimensional Television: From Science-fiction to Reality. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2008) 1–9
20. : Unity 3d game engine. <https://unity3d.com/es> Accessed: 2017-02-02.
21. García, S., Fernández, A., Luengo, J., Herrera, F.: Advanced nonparametric tests for multiple comparisons in the design of experiments in computational intelligence and data mining: Experimental analysis of power. *Information Sciences Special Issue on Intelligent Distributed Information Systems*.