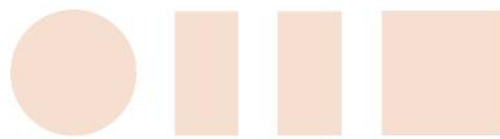


Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior

Grado en Ingeniería Electrónica y Automática Industrial



Trabajo Fin de Grado

Desarrollo de aplicaciones 3D para
terapia visual en estereopsis.

ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR

Autor: Miguel Ángel de la Iglesia Salido

Tutor/es: Rafael Barea Navarro

2018

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ

Escuela Politécnica Superior

Grado en Ingeniería electrónica y automática industrial

Trabajo Fin de Grado

Desarrollo de aplicaciones 3D para
terapia visual en estereopsis.

Autor: Miguel Ángel de la Iglesia Salido

Tutor/es: Rafael Barea Navarro

TRIBUNAL:

Presidente: LUCIANO BOQUETE VÁZQUEZ

Vocal 1º: MARÍA SOLEDAD ESCUDERO HERNANZ

Vocal 2º: RAFAEL BAREA NAVARRO

FECHA:

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a toda mi familia y a mis amigos por el apoyo brindado durante estos cuatro años. Años de duro trabajo, presión y sufrimiento, pero que no empañan en ningún momento las ilusiones y las grandes amistades que me han proporcionado.

Momentos buenos y malos que siempre se recordarán con una sonrisa.

Quiero agradecer en especial el apoyo de Sara y Gonzalo, grandes personas y mejores amigos, de los que también he aprendido a crecer como persona.

Y por supuesto agradecer a mi tutor, Rafa, toda la ayuda que me ha proporcionado, su flexibilidad y apoyo.

*“Nunca andes por el camino
trazado pues te conducirá a donde otros ya fueron.”*

Alexander Graham Bell

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	5
RESUMEN EN CASTELLANO	13
ABSTRACT	14
1. INTRODUCCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA OPTOMETRÍA Y FUNCIONAMIENTO OCULAR.....	17
1.1 LA OPTOMETRÍA.	17
1.2 HISTORIA DE LA TERAPIA VISUAL.....	20
1.3 ESTRUCTURA DEL OJO Y FUNCIONAMIENTO DE LA VISIÓN.	21
1.4 FUNCIONAMIENTO DEL OJO.....	23
1.5 VISIÓN ESTEREOSCÓPICA.....	25
1.5.1 MÉTODOS ACTUALES.....	28
2. CONOCIMIENTOS GENERALES DE LA TERAPIA VISUAL EN LA ACTUALIDAD.....	33
2.1 OBJETIVO.....	33
2.2 ENFERMEDADES TRATADAS	33
2.3 PROGRAMA DE TRATAMIENTO EN TERAPIA VISUAL.....	35
2.3.1 EJERCICIOS PRESENCIALES.....	37
2.3.2 APLICACIONES MÉDICAS ORDENADOR.	44
2.3.3 APLICACIONES IOS Y ANDROID.....	47
2.4 RESULTADOS.	51
2.4.1 DEFENSORES.....	51
2.4.2 DETRACTORES.....	52
2.4.3 CONCLUSIONES.....	52
3. ASPECTOS ESPECÍFICOS DE LA APLICACIÓN.	56
3.1 Ejercicio 1. Práctica de movimientos de seguimiento.	57
3.2 Ejercicio 2. Práctica de movimientos de seguimiento y sacádicos.	60
3.3 Ejercicio 3.1. Convergencia de imágenes.	62
3.4 Ejercicio 3.2. Creación de imágenes 3d.	64
3.5 Ejercicio 4. Práctica de ejercicios sacádicos.....	65
3.6 Ejercicio 5. Práctica de movimientos de vergencias.....	66

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

3.7	Ejercicio 6. Pelota de marsden.	69
4.	MANUAL DE USUARIO	73
4.1.1	VENTANAS INTRODUCTORIAS GENERALES.	73
4.1.2	Ejercicio 1.....	74
4.1.3	Ejercicio 2.....	76
4.1.4	Ejercicio 3.....	77
4.1.5	Ejercicio 4.....	79
4.1.6	Ejercicio 5.....	80
4.1.7	Ejercicio 6.....	81
5.	PRESUPUESTO.....	84
5.1.	COSTES MATERIALES	84
5.2.	COSTES PROFESIONALES	84
5.3.	COSTES TOTALES.....	84
6.	PLIEGO DE CONDICIONES	87
6.1.	REQUISITOS HARDWARE	87
6.2.	REQUISITOS SOFTWARE	87
7.	BIBLIOGRAFÍA	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.Neuróloga Susan R.Barry	21
Figura 1.2. Estructuras del ojo	22
Figura 1.3.Descripción refracción.....	24
Figura 1.4.Gafas utilizadas en el sistema Dolby 3D.....	29
Figura 1.5.Diferencia entre gafas activa (izquierda) y pasivas (derecha).....	30
Figura 2.1.Descripción Cordón de Brock.	36
Figura 2.2.Focalización	36
Figura 2.3.Pelota de Marsden.	37
Figura 2.4.Test de trazos de Groffman	38
Figura 2.5.En esta imagen se puede comprobar el ángulo que abarca la visión binocular.....	38
Figura 2.6.Tablas con los test de Wayne.	39
Figura 2.7.Cartas ARB.	40
Figura 2.8.Cordón de Brock.	41
Figura 2.9.Tarjetas de convergencia/divergencia	41
Figura 2.10.Ejemplo de círculos excéntricos.	42
Figura 2.11.Estereoscopio de espejo móvil.....	42
Figura 2.12.Sinóptforo.....	43
Figura 2.13.Captura del programa HTS.	44
Figura 2.14.Captura del juego Letter Hunt de IOS.	48
Figura 2.15.Captura del juego SNAKE de IOS.	48
Figura 2.16.Captura del juego TETRIS de IOS.	49
Figura 2.17.Captura del juego BUBBLE SHOOT	49
Figura 2.18.Captura del juego LAZY EYE BREAJER.....	50
Figura 3.1.Gafas filtro rojo-azul.....	56
Figura 3.2.Ejercicio 1. Cuadrado rojo, posición inicial.....	57
Figura 3.3.Ejercicio 1. Cuadrado rojo, posición a.	58
Figura 3.4.Ejercicio 1. Cuadrado rojo, posición b.	58
Figura 3.5.Ejercicio 1. Cuadrado azul, posición inicial.....	59
Figura 3.6.Ejercicio 1. Cuadrado azul, posición a.	59
Figura 3.7.Ejercicio 1. Cuadrado azul, posición b.	60
Figura 3.8.H Roja posición inicial.....	61
Figura 3.9. H azul posición inicial.....	61
Figura 3.10. Evolución de la trayectoria	61
Figura 3.11.Ejercicio 3, logos UAH en rojo-azul.....	62
Figura 3.12.Ejercicio 3, posición a.	63
Figura 3.13.Ejercicio 3, posición b.	63
Figura 3.14.Ejercicio 3, posición c.....	63

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

Figura 3.15.Ejemplo de creación de imágenes 3D.	64
Figura 3.16.Ejercicio 4. Tablero rojo.....	65
Figura 3.17.Ejercicio 4. Tablero azul.....	65
Figura 3.18.Ejercicio 4. Ejemplo de visión del tablero rojo.	66
Figura 3.19.Ejercicio 5. Práctica de vergencias.....	67
Figura 3.20.Ejercicio 5. Práctica de vergencias. Posición a.	67
Figura 3.21.Ejercicio 5. Práctica de vergencias. Posición b.	68
Figura 3.22.Ejercicio 5. Práctica de vergencias. Posición c.....	68
Figura 3.23.Pelota de Marsden. Posición a.	69
Figura 3.24.Pelota de Marsden. Posición b.	70
Figura 3.25.Pelota de Marsden. Posición c.	70
Figura 4.1.Ventana inicial de la aplicación.	73
Figura 4.2.Ventana introductoria número 2.	73
Figura 4.3.Menú de la aplicación.....	74
Figura 4.4.Ventana introductoria del ejercicio 1.....	74
Figura 4.5.Ventana 1 del ejercicio 1.	75
Figura 4.6.Ventana 2 del ejercicio 1.	75
Figura 4.7.Ventana introductoria del ejercicio 2.....	76
Figura 4.8.Ventana 1 del ejercicio 2.....	76
Figura 4.9.Ventana 2 del ejercicio 2.....	76
Figura 4.10.Ventana introductoria del ejercicio 3.....	77
Figura 4.11.Ventana 1 del ejercicio 3.1.	77
Figura 4.12.Ventana introductoria 2 del ejercicio 3.....	78
Figura 4.13.Ventana 1 del ejercicio 3.2.	78
Figura 4.14.Ventana introductoria del ejercicio 4.....	79
Figura 4.15.Ventana 1 del ejercicio 4.....	79
Figura 4.16.Ventana 2 del ejercicio 2.....	79
Figura 4.17.Ventana introductoria del ejercicio 5.....	80
Figura 4.18.Ventana introductoria del ejercicio 6.....	81
Figura 4.19. Ventana 1 del ejercicio de 6.	81

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Resumen de costes materiales.....	84
TABLA 2. Resumen de costes profesionales.....	84
TABLA 3. Resumen de costes totales.....	84
TABLA 4. Requisitos hardware.....	87
TABLA 5. Requisitos software.....	87

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

RESUMEN EN CASTELLANO

El desarrollo de las nuevas tecnologías ha traído consigo la adaptación de numerosas aplicaciones médicas que anteriormente solo se llevaban a cabo en consulta. Es el caso, por ejemplo, de la terapia visual.

El desarrollo de dispositivos móviles ha permitido llevar hasta nuestras casas, aplicaciones fáciles de usar que además añaden un aliciente: la comodidad.

Estas aplicaciones cada vez más aceptadas por los optometristas, están siendo una auténtica revolución en la forma de tratar estas disfunciones visuales.

En este proyecto se desarrollará una aplicación con el objetivo de mejorar problemas tales como el ojo vago o el estrabismo.

Palabras clave: Terapia visual, optometría, ambliopía, 3D, estrabismo, aplicación, visual studio, filtro.

ABSTRACT

The development of new technologies has brought with it the adaptation of numerous medical applications that previously only took place in consultation. This is the case, for example, of visual therapy.

The development of mobile devices has allowed us to bring easy-to-use applications to our homes that also add an incentive: comfort.

These applications are increasingly accepted by optometrists are being a real revolution in the way to treat these visual dysfunctions.

In this project you will develop an application with the aim of improving problems such as lazy eye or strabismus.

Keywords: Visual therapy, optometry, amblyopia, 3D, strabismus, application, visual studio, filter.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA OPTOMETRÍA, FUNCIONAMIENTO OCULAR Y VISIÓN ESTEREÓPTICA.

1. INTRODUCCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA OPTOMETRÍA Y FUNCIONAMIENTO OCULAR.

Este proyecto abordará un tema bastante extendido en la sociedad actual: los problemas visuales. A pesar del elevado número de síntomas que dificultan la vida a diario de las personas que los sufren, no existe un conocimiento en la sociedad acerca de una serie de ejercicios que pueden corregir estos defectos sin necesidad de la utilización de ningún tipo de intervención quirúrgica.

La respuesta que desde el ámbito médico se ha proporcionado para la mejora de estos problemas ha sido el de desarrollo de ejercicios oculares, enmarcados dentro de lo que se conoce como terapia visual.

Para poder conocer en concreto que trata este tipo de terapia es imprescindible el conocimiento de la optometría, que en definitiva es la ciencia que abarca el estudio, prevención y tratamiento de los problemas de funcionamiento visual. [1]

Es la encargada del estudio de problemas tales como la miopía, hipermetropía o astigmatismo, si bien durante este trabajo se centrará más en dos en concreto: el estrabismo y el ojo vago (ambliopía).

La terapia visual será la fórmula para tratar estos tipos de problemas.

Los principales síntomas que aparecen tanto en adultos como niños son la aparición de visión borrosa tanto de lejos como de cerca, picor y ojos rojos, dificultad de concentración, no poder mantener la lectura o dolor de cabeza.

El objetivo de la terapia visual es la solución de estas disfunciones. Para ello tratará las habilidades visuales como la divergencia, convergencia, enfoque o movimiento ocular para mejorar la percepción ocular, habilidades que quedarán plasmados a la hora del desarrollo de la aplicación.

1.1 LA OPTOMETRÍA.

Conceptos imprescindibles para la comprensión del campo de trabajo de la terapia visual son los conceptos de visión y vista.

Se define a la visión como la capacidad de nuestro cerebro para percibir nuestro entorno. Es el sentido que más información nos proporciona del medio, por lo que su grado de funcionalidad hace que sea imprescindible para la relación de nuestro cuerpo con el entorno.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

Por otro lado, el concepto de vista está más relacionado con la capacidad de nuestro ojo de presentar una visión nítida a una distancia media de seis metros. [2]

Como se mencionó en el apartado de la introducción la optometría es la ciencia que se encarga del estudio de la salud visual y de las habilidades visuales de la persona en cuestión, siendo la encargada de crear los tratamientos necesarios para la detección, prevención y tratamiento de los problemas derivados. El objetivo por tanto sería tratar de conceder a la persona el máximo rendimiento visual.

Dentro de la optometría se pueden diferenciar dos ramas:

- Optometría clásica: Evalúa principalmente la agudeza visual, el error refractivo y la salud visual.
- Optometría funcional: Evalúa la eficacia del sistema visual, centrándose en aspectos como la binocularidad, la acomodación y movilidad visual. Es en este tipo de modalidad la que persigue resolver los problemas visuales para poder dotar a la persona de una mejor eficacia a nivel visual. [3]

Es conveniente que se detecten lo antes posible estos defectos visuales ya que pueden afectar directamente en el aprendizaje. La eficacia de la que se habla anteriormente radica en las habilidades que permiten rendir sin que aparezca fatiga ocular.

El sistema visual depende de las capacidades de acomodación, visual binocular y de la movilidad ocular.

La visión binocular es la capacidad de integrar las imágenes procedentes de los dos ojos en el cerebro gracias a la adecuada coordinación y correcto alineamiento de los ojos sobre el objeto del que se está fijando, obteniendo la visión en tres dimensiones. Dentro de la binocularidad lo que se valorará es la convergencia, la divergencia, el estrabismo. [4].

En cuanto a la acomodación, consta de la rapidez del ojo de crear enfoques distantes y precisos para conseguir una visión óptima a distintas distancias.

Las posibles disfunciones en este ámbito son las siguientes:

- Insuficiencia o fatiga acomodativa.
- Exceso o espasmo acomodativo.
- Inflexibilidad acomodativa.

Por último, la movilidad ocular se refiere a los movimientos que permiten a los ojos moverse de forma rápida y precisa. Dependen en exclusiva de los músculos que rodean la cuenca ocular.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

Estos se pueden clasificar en:

- Movimientos de seguimientos: Permiten seguir con eficacia un objeto en movimiento.
- Movimientos sacádicos: Permiten fijar la mirada de un punto a otro con eficacia.
- La fijación: Trata de mantener con precisión la estabilidad de la fijación sobre el punto que se mira con micromovimientos del ojo que no se pueden percibir a simple vista. [5]

Una vez que se conocen cada una de las habilidades que debería tener un ojo sano, la aplicación desarrollada tratará de incluir ejercicios ligados para permitir tratar, desarrollar y mejorar las condiciones de los ojos a tratar.

- Optometría comportamental: Se encarga del estudio de la visión desde un punto de vista neuronal para la explicación de cada una de las habilidades visuales. Integra el conocimiento del órgano encargado de la perfección (el ojo) así como del órgano encargado de la interpretación recibida: el cerebro. [6]

Siguiendo la descripción realizada anteriormente, se concluye que la terapia visual es una técnica de tratamiento neurofisiológico que trata mediante la realización de ejercicios visuales la mejora de problemas visuales, que en la mayor medida posible tratan de adaptarse a las necesidades del paciente. Esta personalización permite que las personas que eligen este medio para la mejora de sus disfunciones consigan desarrollar y mejorar sus habilidades visuales.

Una vez hemos conocido que es la terapia visual, se pueden distinguir dos ramas en ella:

1. Terapia visual pasiva. Tratará de corregir las debilidades oculares mediante el uso de lentes o bien recurriendo al uso de cirugía.
2. Terapia visual activa: Encaminada a mejorar el rendimiento visual en la persona media la realización de unos ejercicios concretos controlados. [7]

Este trabajo se centrará en la creación de una serie de ejercicios concretos basados en el seguimiento de una secuencia de movimientos previamente estudiados y escogidos dentro de la terapia visual activa. El objetivo será conseguir que la persona sea capaz de crear el hábito de adaptación a los estímulos visuales para que una vez fuera de la terapia el ojo y el cerebro sepan actuar frente a las exigencias del entorno.

1.2 HISTORIA DE LA TERAPIA VISUAL.

La utilización de la terapia visual para la mejora de las disfunciones visuales es relativamente novedosa. La creencia bastante extendida de la incapacidad de modificar el entramado neuronal durante el siglo XX truncó el desarrollo de una de las ramas más importantes de la medicina.

Sin embargo, el impulso de las nuevas tecnologías, sobre todo durante la última década, ha permitido que los científicos adquieran nuevas herramientas con las que estudiar nuestro cuerpo, y en especial también lo que en este trabajo atañe, las redes neuronales.

Durante los primeros años del siglo XXI se evidenció la plasticidad de nuestras neuronas. Este aspecto abrió un inmenso campo de investigación sobre todo en la optometría comportamental que desembocó en la creación de lo que se ha denominado terapia visual.

A la hora de hablar de historia no se puede pasar por alto el importante papel que ha tenido la doctora Susan R. Barry, quien sufrió en primera persona las consecuencias negativas del no desarrollo de la visión tridimensional.

La doctora Susan R. Barry con apenas cuatro años de edad sufrió un problema ocular que le ocasionó una visión doble. La disparidad de la información que recibía su cerebro implicó una discapacidad a la hora de percibir la profundidad de los objetos, es decir, la doctora era incapaz de percibir la realidad 3D.

Esta disfunción la motivó una vez en la universidad, a centrarse en el estudio de la estereopsis. Gracias a sus investigaciones, fue capaz de desmontar la teoría que regía hasta entonces según la cual, las disfunciones visuales no podían reeducarse una vez pasada la primera etapa de la infancia.

A la par que cursaba su doctorado en biología consiguió desarrollar una terapia visual comportamental personalizada supervisada por optometristas comportamentales profesionales. Los optometristas comportamentales centran su estudio en evaluar aquellos problemas de visión que pueden provocar un retraso en el aprendizaje del niño en sus primeras etapas de desarrollo.

Terminada la terapia, la doctora fue capaz de recuperar aproximadamente el 100 por ciento de la visión estereoscopia. Gracias a los ejercicios que había desarrollado había sido capaz de reactivar la zona del cerebro que crea la visión binocular.

Fue en 2009, cuando Susan R. Barry publicó su libro "Fijar la mirada: un viaje científico a la visión en tres dimensiones". En este libro de carácter autobiográfico, Susan recoge su evolución y sus logros conseguidos a la hora de recuperar su visión tridimensional. Tal

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

fue el grado de popularidad de este libro, que durante todo 2009 se convirtió en el cuarto libro más vendido en Amazon en el apartado de ciencia. [8]



Figura 1.1. Neuróloga Susan R. Barry

Fuente: <http://www.stereosue.com/>

Actualmente, el desarrollo de la terapia visual se ha centrado principalmente en la creación de ejercicios más eficientes que permitan al paciente mejorar en un periodo de tiempo más corto aquellos problemas de visión que poseen. El desarrollo del mundo de la tecnología, con la creación de dispositivos electrónicos, está consiguiendo que todo el mundo pueda acceder fácilmente a aplicaciones destinadas a mejorar el comportamiento visual.

1.3 ESTRUCTURA DEL OJO Y FUNCIONAMIENTO DE LA VISIÓN.

Para poder entender desde un primer momento el porqué de las diferentes disfunciones visuales es imprescindible el conocimiento del ojo y del mecanismo de cómo conocemos como visión.

El ojo humano es el órgano responsable de la entrada de la información, que permitirá posteriormente al cerebro la consiguiente interpretación del medio. Es un órgano primordialmente fotorreceptor ya que trabaja mediante los estímulos que recibe de los rayos luminosos procedentes del medio exterior para poder crear impulsos eléctricos que serán conducidos al centro nervioso de la visión en la parte posterior del cerebro.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

El ojo es una auténtica máquina fotográfica que requiere de la adaptación lumínica para los cambios de luminosidad a lo largo del día. La naturaleza ha proporcionado al ser humano un sistema de control complejo para conseguir dicho fin.

Las partes que conforman la estructura ocular son las siguientes:

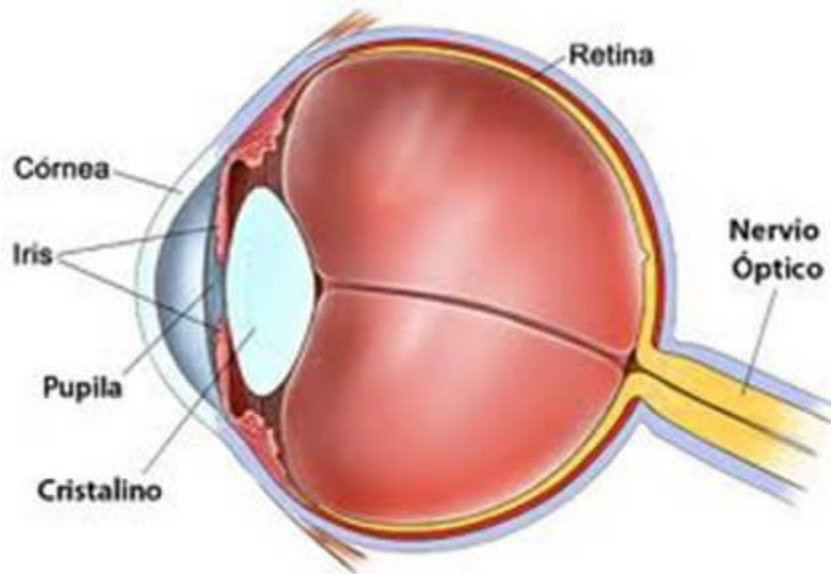


Figura 1.2. Estructuras del ojo

Fuente: <https://dacarett.com/como-funciona-el-ojo-humano/>

El ojo es además de enfocar, es capaz de seguir información procedente de varias direcciones. Para ello el ojo posee una red formada por seis músculos que garantizan un movimiento rápido y preciso. Gracias a ello, el ojo es capaz de enfocar en al menos cien mil puntos diferentes del campo visual.

Los músculos de los dos ojos trabajan de forma coordinada para que el enfoque converja y las imágenes captadas coincidan. Un problema derivado, que será comentado más adelante, será en aquellos ojos en los que la debilidad de alguno de los músculos conlleva pérdida de la simultaneidad del enfoque conllevando la aparición de la doble visión.

Este aspecto es muy importante ya que puede conllevar serios problemas a la hora de la estimación de la distancia y del tamaño de los objetos.

Antes de que el estímulo lumínico consiga llegar a la retina, el haz ha de atravesar las siguientes estructuras [9]:

- **Córnea:** Se puede identificar como el primer tejido que funciona a modo de lente, capaz de enfocar en primera instancia. Este órgano posee cierta relevancia

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

ya que además de proporcionar una protección externa al medio, una deformidad en su superficie puede provocar una mala imagen en la retina.

- **Pupila e iris:** El iris es un diafragma que regula la intensidad lumínica que recibe el ojo. Posee una abertura central con un diámetro aproximado de 3mm, conocido como pupila. Si el foco lumínico es intenso, la pupila se contrae (miosis), por el contrario, si la luz es insuficiente, la pupila se dilata (midriasis). Ambos movimientos son involuntarios y están controlados por el sistema nervioso simpático y parasimpático.
- **Cristalino:** Es un cuerpo lenticular biconvexo y transparente cuya función principal es refractar la luz y como se verá a posteriori proveer acomodación.
- **Humor vítreo:** Fluido interno que mantiene la forma ocular.

Cualquier anomalía en la morfología de cualquiera de los órganos anteriores implicará una malformación en la creación de la imagen.

Como se ha indicado, finalmente el haz luminoso consigue proyectarse sobre la retina. La superficie curva de la retina es imprescindible ya que permitirá compensar cambios en la trayectoria del haz al sufrir cambios de difracción con el paso por distintos medios.

Una vez se ha recibido el estímulo visual, la información se transmitirá por el nervio óptico, sin embargo, es necesario saber, que las imágenes se proyectan de forma invertida, y será el cerebro el encargado de reestablecer el sentido de la imagen.

Tras conocer las principales estructuras del ojo, la pregunta que se plantea ahora es la siguiente: ¿Cómo funciona el ojo y cuál es el proceso de formación de una imagen?

1.4 FUNCIONAMIENTO DEL OJO.

Se conoce que el ojo recibe los estímulos luminosos procedentes del reflejo de la luz sobre los objetos del entorno. La luz atraviesa los medios transparentes y forma una imagen invertida sobre la retina. En la retina conos y bastones transforman la información lumínica en impulsos nerviosos. El encargado de transmitir el estímulo será el nervio óptico hasta que el cerebro mediante una red compleja de millones de neuronas consiga en la región posterior del cerebro la creación de la imagen.

Dentro de este apartado, se va a hablar del proceso de acomodación.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

La acomodación es el proceso mediante el cual la luz procedente del medio se proyecta y enfocan sobre la retina. Los rayos de luz penetran por el ojo y se enfocan con exactitud sobre la retina para que la imagen sea nítida. Cuando no sucede esto, es decir, la imagen se proyecta por delante o por detrás surgen los tan conocidos problemas de miopía o hipermetropía. Este proceso está controlado por la contracción del musculo ciliar unido al cristalino. [10]

La contracción del muscular implicará un cristalino más esférico, aumentando la refracción sufrida por el haz de luz. Este proceso ocurrirá en el caso de que los objetos que se quieren enfocar sean cercanos. Por el contrario, con la tracción del músculo ciliar, el cristalino adquiere una forma menos esférica impidiendo una elevada refracción, lo cual implicará una visión más nítida de los objetos lejanos.

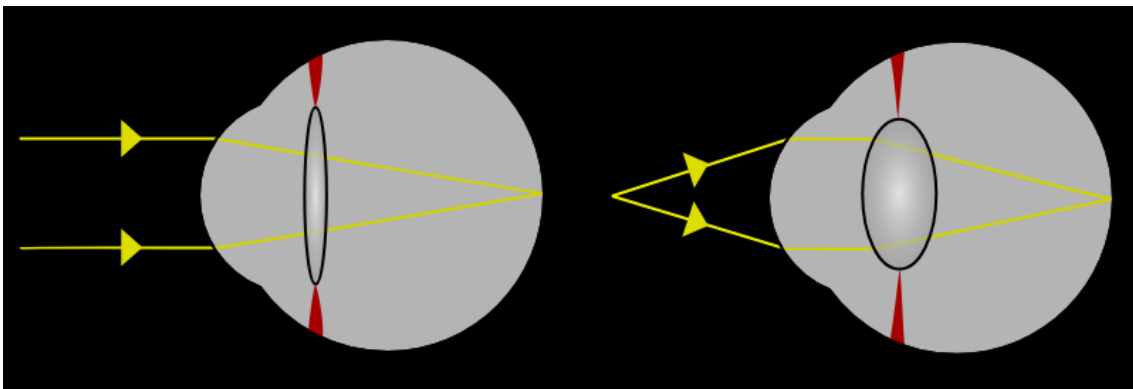


Figura 1.3. En el caso derecho los haces lumínicos llegan al ojo de forma paralela al tratarse de un objeto lejano. El cristalino apenas refracta los haces. Por el contrario, los haces procedentes de un objeto cercano (derecha) implican un mayor poder de refracción

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Acomodaci%C3%B3n_\(ojo\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Acomodaci%C3%B3n_(ojo))

La retina se encuentra repleta de pequeñas células como si de una película fotosensible se tratara. Estas células son capaces de captar la luz visible (solo la comprendida entre 400 nanómetros de la luz violeta y los 750 nanómetros de la luz roja). Como vemos es solo un pequeño tramo del espectro electromagnético. [11]

Estas células son los conos y bastones.

En función de la respuesta a la luz y a los colores serán una u otras células las que intervengan en la creación del impulso. Los bastones se activan en ausencia de luz, es decir, son los que permiten ver al ser humano en la oscuridad y también distinguir entre el negro, el blanco y los grises. Los conos, por el contrario, trabajan en condiciones de luminosidad y hacen posible la visión en colores.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

En el ojo humano existen tres tipos de conos, que nos permiten diferenciar los tres colores primarios: rojo, azul, y verde. Cada uno respectivamente absorbe la radiación correspondiente mediante unos pigmentos llamados opsinas. La eritropsina tiene mayor sensibilidad para las longitudes de onda largas de alrededor de 560 nm (luz roja), la cloropsina para longitudes de onda medias de unos 530 nm (luz verde) y por último la cianopsina con mayor sensibilidad para las longitudes de onda pequeñas de unos 430 nm (luz azul). [12]

Cada cono y bastón está conectado individualmente con el centro visual del cerebro, lo que permite distinguir a una distancia de 10 metros dos puntos luminosos separados por solo un milímetro.

La luz crea una serie de reacciones químicas y fenómenos eléctricos que se traducen en impulsos nerviosos.

1.5 VISIÓN ESTEREOSCÓPICA

Una vez que la imagen es recibida por el cerebro, este no se limita a mostrarla de forma plana, sino que le da profundidad, hace que la imagen esté viva. Este aspecto evolutivo ha sido imprescindible en el caso de los humanos, puesto que nos ha proporcionado una visión tridimensional del espacio, haciéndonos capaces de percibir aspectos como la profundidad o la distancia.

Por otro lado, no todos los animales poseen este tipo de visión, pues como el resto de las características fisiológicas de los seres vivos, esta responde a la necesidad de supervivencia. Para cuyo papel es el de presas, es importante tener una visión lo más amplia para identificar a los posibles depredadores. Estos animales tienen los ojos a ambos lados de la cabeza y la visión de los dos casi no se superpone.

Sin embargo, los depredadores suelen tener visión estereoscópica para identificar a la presa, perseguirla. Poseer una visión tridimensional desarrollada aumenta sus posibilidades de éxito en la cacería.

La visión estereoscópica es la capacidad de integrar en una sola imagen 3D (con profundidad) dos imágenes, las cuales son recibidas por cada uno de los ojos. La distancia mínima existente entre ambos ojos es la que nos permite crear esa sensación de profundidad al identificar el objeto desde ángulos ligeramente diferentes.

Sin embargo, no nacemos con esta capacidad desarrollada, esta se adquiere durante la infancia a medida que desarrollamos la visión binocular. Según un estudio de la Universidad de Londres, prácticamente no vemos con exactitud en 3D hasta los 12 años. [13]. Hay quienes no llegan a lograr la visión estereoscópica. Esta "ceguera estéreo" o

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

"visión plana", puede responder a un mal alineamiento de los ojos o a un problema de funcionamiento del cerebro. Según diferentes fuentes, esta disfunción puede afectar a entre el 4% y el 10% de la población, especialmente niños. Con este proyecto perseguiremos que mediante los ejercicios planteados se consiga desarrollar un cierto grado de visión binocular al tratar de ejercitar ambos ojos, tanto de forma individual como conjunta.

Los problemas más comunes que impiden que se desarrolle esta visión, más que a nivel ocular o cerebral, se encuentran en pequeñas disfunciones de los músculos que rodean al ojo, los conocidos como microestrabismos. Estos músculos, sobre todo durante los primeros años de vida, no llegan a desarrollarse correctamente, conllevando problemas de bizquera. A base de ejercicios que impliquen el entrenamiento, actualmente se están consiguiendo que el porcentaje de adultos que heredan estos problemas de la infancia se aún menor.

Como bien se ha indicado, la visión binocular es la responsable de ofrecer una realidad tridimensional, pero este aspecto no implica que las personas que han sido capaces de desarrollarla no consigan crear una información 3D a partir de información 2D. Esto se debe a que el cerebro adquiere otra serie de datos como por ejemplo la nitidez de la imagen. Una imagen que no se recibe con una gran nitidez es entendida por el cerebro como un estímulo que procede de una distancia lejana. También la velocidad de movimiento lateral, los objetos que tienden a moverse más rápidos son aquellos que se encuentran más cerca. Por ejemplo, cuando se viaja en automóvil, las casas más cercanas se mueven más rápido que aquellas que se encuentran más alejadas. Los cambios de tamaño también influyen: los objetos a medida que se acercan parecen más grandes, mientras que, por lo contrario, los que se alejan van siendo más pequeños.

Comprender la verdadera importancia de la visión estereoscópica se comprueba fácilmente con un experimento. Al tapar uno de nuestros ojos con una venda durante un cierto periodo de tiempo descubriremos como aquellas tareas cotidianas las cuales realizábamos sin apenas esfuerzo adquieren dificultad al privarnos de dimensiones como la profundidad.

El afán del ser humano por tratar de crear un mecanismo similar al del cerebro humano que permitiese crear esa sensación de profundidad llevó en 1838, al físico británico Charles Wheatstone la invención del estereoscopio. Consistía en un aparato que permitía crear la sensación de estar percibiendo una imagen en tres dimensiones.

El efecto se conseguía fotografiando dos veces el mismo entorno, pero con ángulo ligeramente distinto, el físico perseguía reproducir el mismo efecto que crean los ojos, pero con dos cámaras. Posteriormente las imágenes se montaban y fusionaban mediante espejos. Actualmente, aún podemos encontrar visores de juguete basados en

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

el invento de Wheatstone, si bien el aspecto más importante es que fue el precursor del mecanismo de filmación de las películas actuales 3D.

En este afán de conseguir representar la realidad tridimensional en una pantalla como si de nuestro cerebro se tratase la humanidad ha desarrollado diferentes mecanismos.

Los estereogramas, por ejemplo, crean imágenes tridimensionales a partir de dos imágenes bidimensionales. Para obtener estas dos imágenes se emplean dos cámaras fotográficas dobles ligeramente separados. Utilizando un visor que provoca que cada ojo vea una sola imagen, se consigue generar una sensación 3D.

Uno de los estereogramas más comunes es la de crear dos imágenes, una de color rojo y otra de color verde. Para que el espectador pueda percibir la tridimensionalidad será necesario dotarle de unas gafas que funcionen a modo de filtro de la luz roja y verde.

El ojo con el filtro rojo verá en color negro la imagen en verde y no verá la imagen en rojo, mientras que con el verde ocurrirá lo contrario, de modo que, de nuevo, cada ojo percibe sólo una de dos imágenes ligeramente distintas. Este sistema se conoce como anaglifo.

El primer sistema de cine 3D se patentó en 1890 y lo realizó William Freese-Greene. El siguiente paso dado por Frederick Eugene Ives llegó diez años después con su cámara de dos lentes. La historia de la utilización de anaglifos en el cine 3D se remonta a 1915, cuando se usó por primera vez un anaglifo rojo y verde para proyectar una película 3D de prueba, fue en el Teatro Astor de Nueva York. Habría que esperar hasta 1922, para ver la primera película 3D en salas comerciales usando el sistema de dos proyectores. Su título fue *The Power of Love*.

Si bien, no fue hasta 1952 y 1955 cuando se grabaron varias cintas 3D que utilizaban polarizadores tanto en proyectores como en las gafas que utilizaba el público. Este empujón se dio gracias al desarrollo de la televisión. Por medio de estos polarizadores se conseguía que cada ojo percibiera una sola imagen. *Bwana Devil* fue la primera película en 3D a color y el primer gran éxito de taquilla, aunque la comodidad no era precisamente su máspreciado valor, teniendo que interrumpir la proyección para ajustar el sistema ideado por M.L. Gunzberg, que consistía en dos rollos de película que debían proyectarse al tiempo y sincronizados.

Sin embargo, los constantes fallos que se derivaron de las sincronizaciones de los proyectores obligaron que fuese con la implantación del sistema IMAX en los años 80 cuando se retomase el reto de conseguir películas 3D de calidad.

Arch Oboler proporcionó aire fresco a los sistemas 3D mediante la introducción del sistema Space-Vision 3D, que consistía en la superposición de las imágenes en la misma tira de la película y se proyectaban con un solo equipo utilizando una sola lente.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

El sistema IMAX utilizaba dos lentes de la cámara para representar a los ojos izquierdo y derecho. La grabación quedaba grabada en dos rollos de película que luego se proyectaban de forma simultánea para cada ojo.

La primera película proyectada en IMAX 3D fue Space Station, aunque el verdadero boom comercial en IMAX 3D fue The Polar Express.

El cine 3D adquiere de nuevo importancia en 2003 gracias a la introducción de cámaras de alta definición que dotan de una precisión más elevada a la diferenciación de las imágenes. El sistema 3D actual emplea un solo proyector con una sucesión de hasta 144 frames por segundo, alternando entre el ojo izquierdo y derecho. [14].

Los avances que han permitido que el cine en 3D sea comercialmente viable son, sin embargo, insuficientes. La ciencia y la industria siguen esperando la solución perfecta para crear ilusiones que simulen efectivamente la realidad tal como la vemos.

1.5.1 MÉTODOS ACTUALES.

Actualmente existen tres sistemas de representación 3D. Dos de las cuales utilizan un sistema de luz polarizada, la cual es filtrada gracias a unas gafas que posee el usuario. El tercer método es el XpanD y se diferencia del anterior al utilizar lo que posteriormente conoceremos como gafas activas. [15]

1. Dolby 3D.

Este sistema utiliza un filtrado de la imagen. Este sistema se basa en una tecnología de Infitec llamada división espectral. Mediante esta tecnología, el ojo del espectador recibe las tres componentes (rojo, verde y azul) de la imagen, llegando cada una de ellas con una longitud de onda diferente.

Al ojo izquierdo por ejemplo le llega un color con una longitud de onda inferior a la que le llega al ojo derecho. Esta mínima diferencia implica que un ojo identificará el color como rojo y el otro como verde. Esta separación hace que podamos inclinar la cabeza sin perder sensación de tres dimensiones.

Para poder crear la imagen 3D es necesario la presencia de una lente especializada en el proyector que gire de manera sincronizada para filtrar los fotogramas correspondientes de cada ojo.

Posteriormente será el sistema de gafas del usuario el filtre de manera correspondiente los frames que recibe. El sistema Dolby-3D es totalmente estático.

Pese a la simplicidad que ofrece el sistema, posee algunos inconvenientes, como son el que las gafas utilizadas (las cuales poseen un sistema completo de 50 filtros) son además

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

de ser poco económicas, imposibilitan que los usuarios con gafas puedan acoplárselas correctamente. En cuanto a lo que respecta a la parte del proyector, es necesario emitir con el doble de potencia.



Figura 1.4. Gafas utilizadas en el sistema Dolby 3D.

Fuente: <http://www.shortcourses.com/stereo/stereo1-12.html>

2. RealD

Es una tecnología de proyección digital 3D estereoscópica, mediante la cual se elimina la necesidad de tener dos proyectores para enviar cada una de las imágenes a los ojos derecho e izquierdo. Al poseer únicamente un proyector que alterna las imágenes proyectadas para cada ojo se gana en simplicidad y en economía. La polarización de las imágenes se realiza de forma circular, permitiendo que el espectador pueda mover la cabeza sin que la tridimensionalidad se pierda.

Se requiere por tanto que las gafas utilizadas filtren las imágenes correspondientes a cada ojo. Además, se necesita una pantalla que refleje la luz y que mantenga constante la polarización de las imágenes para cada ojo.

Este sistema reproduce el contenido a una velocidad de 144 fotogramas por segundo, de forma que el ojo es incapaz de percibir el parpadeo constante que existe entre ambas imágenes. Para el espectador la sensación es de una película común reproducida a 24p.

En este sistema, aunque ya está casi solucionado, el peligro viene de la mano de las imágenes fantasma que aparecen al no filtrarse la luz de forma completa en el ojo adecuado.

3. XpanD e IMAX 3D

A diferencia de los métodos anteriores, el XpanD utiliza un sistema de gafas activas. Esto significa que son las propias gafas del espectador las que funcionan como filtro, siendo las encargadas por medio de una señal digital sincronizada que imagen le corresponde a cada ojo. El proyector suprime por completo el filtro de imágenes.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

Si bien de nuevo, el sistema se simplifica, presenta dos grandes inconvenientes: el estructural y el económico, ambos correlacionados.

Las gafas activas son bastante voluminosas puesto que incluyen en su interior una compleja red electrónica que permite la selección como se indicó antes de la imagen correspondiente. Al ser autónomas también requieren baterías.

Por último, se encuentran los sistemas IMAX 3D en los que se usan cámaras especiales con dos lentes para grabar. Las lentes están separadas aproximadamente 70mm, simulando la distancia presente entre los ojos humanos. En el cine las dos películas se reproducen al mismo tiempo para crear la sensación tridimensional y las gafas polarizadas se encargan del resto.



Figura 1.5. Diferencia entre gafas activa (izquierda) y pasivas (derecha).

Fuente: <https://www.tecnonauta.com/televisores/fotos-televisores/870> y <http://www.220volt.sk/Sony+TDG-BR250+3D+szemuveg+fekete>

En este proyecto se utilizarán las gafas pasivas con filtro rojo-azul para poder ejecutar los ejercicios. Como se ha visto reúnen dos de las principales características que se buscan: son fáciles de usar y económicamente muy baratas.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

CAPÍTULO 2. CONOCIMIENTOS GENERALES DE LA TERAPIA VISUAL EN LA ACTUALIDAD.

2. CONOCIMIENTOS GENERALES DE LA TERAPIA VISUAL EN LA ACTUALIDAD.

A continuación, se exponen las tecnologías más frecuentes para la mejora y detección de las afecciones visuales en el ámbito del desarrollo de aplicaciones de la terapia visual.

Se podrá englobar esta exposición en dos grandes campos: en primer lugar, los instrumentos físicos, que permiten la realización de diferentes ejercicios de manera dinámica y presencial y los programas software/aplicaciones que se utilizan actualmente para el tratamiento de la ambliopía.

Se tratará de explicar el funcionamiento de cada uno de ellos, que ventajas ofrecen al usuario, y finalmente se tratará de fundamentar la evidencia científica que considera a estos ejercicios óptimos a la hora de obtener resultados.

Como se indicó en el apartado anterior, la terapia visual se puede definir como el conjunto de ejercicios que combinan técnicas para la mejora de las estructuras visuales con el fin de desarrollar una mejor calidad en la visión.

2.1 OBJETIVO

El desarrollo lógico de estos ejercicios es conseguir una independencia monocular para una posterior conjugación de ambos ojos. El objetivo siempre es desarrollar la capacidad, para que una vez se abandone la aplicación se consiga cierta automaticidad (conseguir el movimiento del ojo en ausencia de estímulos forzados).

A continuación, se indicarán los ejercicios más comunes que actualmente se están utilizando por parte de optometristas profesionales para la terapia presencial. En este caso, cuando la terapia tiene lugar en consulta, se utilizan medios materiales tales como pelotas, cordones o imágenes impresas como se verá en los siguientes apartados.

2.2 ENFERMEDADES TRATADAS

Las enfermedades objeto de estudio han sido la ambliopía (conocida comúnmente como ojo vago) y el estrabismo.

A continuación, se realizará un pequeño resumen de las características de ambos problemas visuales tratando de exponer las principales evidencias que demuestran la

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

mejora sufrida por los pacientes que han seguido programas similares a los de la terapia visual.

Ambliopía u ojo vago.

Se define como la pérdida progresiva en las estructuras oculares que provocan una disminución de la agudeza visual. En el 90% de los pacientes, el primer síntoma se manifiesta con visión borrosa.

En los casos de ojo vago, la deficiencia suele estar ocasionada en una disfunción en la motricidad de los músculos oculares responsables del control visual. Estos problemas se presentan principalmente durante la infancia, por lo que es durante esta etapa cuando tanto el tratamiento como la mejora suele ser más evidentes. El principal objetivo del tratamiento en todas las terapias es hacer que el ojo menos desarrollado sea capaz de adoptar un rol determinante en ausencia del otro ojo para que una vez ambos ojos estén en funcionamiento el rendimiento de ambos sea semejante. [16]

Existen otros motivos, más allá del relacionado con el funcionamiento de los músculos oculares, por los cuales puede presentarse ojo vago:

-Defecto de gafa en un solo ojo (anisometropía), o más raro, defectos elevados de ambos ojos

-Deprivación visual. Uno no percibe imágenes como consecuencia de una catarata o de una cicatriz sobre la córnea.

Según los oftalmólogos estos problemas solo pueden ser tratado hasta los 9 años, evidenciando que tras esta edad la tasa de éxito disminuye linealmente.

Existen multitud de estudios que reportan los beneficios ligados a la terapia visual. Uno de los más importantes es el referido al Grupo Pediátrico de Investigación de Enfermedades del Ojo en EE. UU. Sin embargo, es necesario indicar que la terapia visual solo ayuda a mejorar determinadas funciones visuales una vez que el paciente ha recuperado la agudeza visual, la cual solo puede recuperarse o bien mediante cirugía o mediante parches. Hay que indicar también que patologías como la miopía o hipermetropía no mejoran con el uso de estas terapias.

Estrabismo.

El estrabismo es una patología visual que afecta principalmente durante el desarrollo de la infancia y que consiste principalmente en la no alineación de los ejes visuales, es decir, la dirección de enfoque puede ser distinta para cada ojo. Esto es debido a problemas con los músculos oculares, incapaces de mantener la dirección de la mirada de los dos ojos en un mismo punto. [17]

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

La mayoría de los estudios publicados hasta la fecha están dirigidos al estudio de la terapia visual sobre el estrabismo. Si bien, aspectos como la mejora en la movilidad ocular o en el enfoque no han quedado del todo demostrado si se han apreciado mejoras en lo relacionado con la convergencia de ambos ojos. Lo que no se ha probado aun es la eficacia de la realización de estos ejercicios en función del lugar en el que se practican, o bien en la consulta médica o en casa.

Dentro del estrabismo, la terapia visual también se está usando para mejorar la exotropía intermitente. Esta patología que se enmarca en los trastornos asociados al estrabismo tiene la particularidad de que no provoca una desviación permanente en los ejes visuales, si no que está asociada a momentos puntuales que están relacionados con estrés. A diferencia de los típicos casos de estrabismo, la exotropía intermitente suele ser más común en personas adultas.

De nuevo ha de indicarse que no existen pruebas científicas que verifiquen con hechos experimentales mejoras asociadas al uso de la terapia visual en este tipo de trastorno. Si bien mediante la práctica se han conseguido mejorar las condiciones estéticas del paciente, pero no se ha resuelto el problema base.

Por último, también existen otro tipo de patologías relacionadas con la acomodación, vergencias, binocularidad las cuales solo han mostrados mejoras temporales mediante su tratamiento por medio de la terapia visual.

2.3 PROGRAMA DE TRATAMIENTO EN TERAPIA VISUAL

Los ejercicios más comunes se clasifican de la siguiente forma:

- **Ejercicios oculomotores.**

Enfocados a generar movimientos voluntarios mediante el uso de los músculos oculares, o bien movimientos involuntarios de contracción/dilatación de la pupila (enfoque o desenfoque).

- **Ejercicios acomodativos.**

Buscan ejercitar los estímulos de enfoque y/o desenfoque. El objetivo es conseguir una respuesta rápida de forma automática.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.



Figura 2.1. Como se muestra en la imagen, el denominado Cordón de Brock es muy utilizado en consulta para propiciar los movimientos de enfoque. Tapar cualquiera de los ojos, permite que el trabajo se focalice únicamente en uno de ellos.

Fuente: <https://www.theeyeworkshop.es/terapia-visual/>

▪ Ejercicios vergenciales.

Ejercitan la convergencia de los ojos tratados como un sistema binocular.

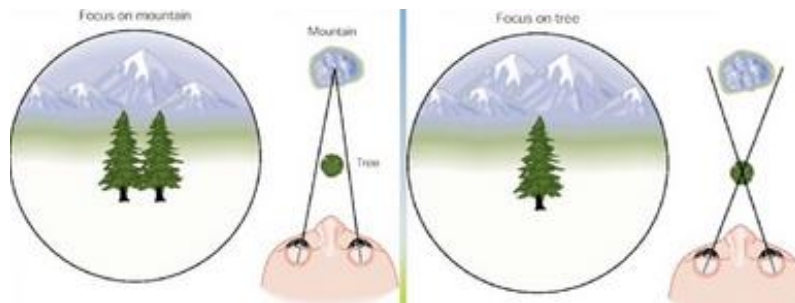


Figura 2.2. El trabajo de focalización con los dos ojos, permite de nuevo trabajar la capacidad del cerebro para converger imágenes. En la imagen anterior se muestra por ejemplo la necesidad de enfocar uno o dos árboles influye en el enfoque que el sistema crea.

Fuente: <http://www.qvision.es/blogs/patrizia-salvestrini/2016/09/24/vision-binocular-terapia-visual-para-los-movimientos-vergenciales/>

2.3.1 EJERCICIOS PRESENCIALES

A continuación, se expondrán los ejercicios más habituales que se llevan a cabo en las consultas de los optometristas.

2.3.1.1 EJERCICIOS OCULOMOTORES

Estos ejercicios incluyen una serie de movimientos característicos, los cuales se repiten en la mayoría de los ejercicios propuestos, son los siguientes:

1. **Seguimientos.** Son movimientos voluntarios conjugados de ambos ojos para mantener estabilizada la imagen fovea de estímulos que se desplazan lentamente por el campo visual.

Este tipo de movimientos se consiguen mediante el seguimiento manual de una determinada trayectoria marcada o bien por objetos dinámicos o bien por trayectorias previamente establecidas en imágenes.

Uno de los ejercicios más utilizados en la actualidad es la pelota de Marsden.

Mejora la movilidad ocular. Se utiliza para amplificar los movimientos oculares, mejorar las fijaciones, mejorar la habilidad en los seguimientos y trabajar la visión periférica. Existen evidencias que su práctica continua es muy útil para personas que utilizan el dedo para guiarse al leer. [18]



Figura 2.3. Pelota de Marsden.

Fuente: <https://www.amazon.es/Marsden-Pelota-letras-negras/dp/B01LZE1YS2>

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

Otro de los instrumentos utilizados actualmente son las pruebas visuales de trazos de Groffman.o pistas de carreras, consisten en trayectorias dibujadas sobre superficies las cuales han de ser seguidas por los ojos.

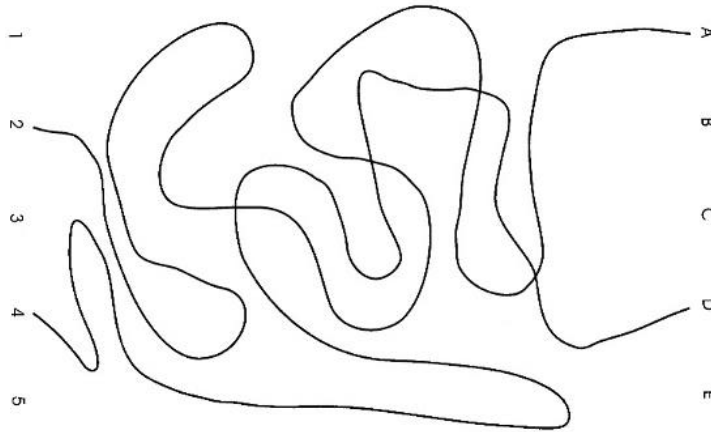


Figura 2.4. Test de trazos de Groffman

Fuente: https://www.coivision.com/index.php?main_page=popup_image&pID=1755&zenid=53e1c861ea76c11dc37843f6c2123453

2. **Sacádicos.** Son la mayoría de los movimientos se realizan para desplazar la mirada desde un punto de interés a otro punto situado fuera del campo de visión central. Dentro de esta rama se pueden encontrar los siguientes tipos de movimientos.

Algunos de los ejercicios más utilizados para su práctica son:

-Sacádicos manuales: Nuestros ojos son capaces de abarcar un ángulo de 150° , pero el solapamiento binocular hace que el ángulo sea ligeramente superior a 164° . Se observa claramente en la siguiente imagen: [19]

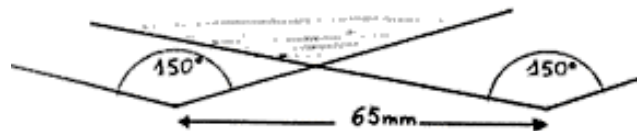


Figura 2.5. En esta imagen se puede comprobar el ángulo que abarca la visión binocular.

Fuente: http://www.ub.edu/pa1/node/movimientos_oculares

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

Por medio de estos movimientos, el ojo es capaz de fijar un objeto con la visión foveal, Son movimientos rápidos e intermitentes en la posición del ojo.

-Fijador de sacádicos de Wayne. La prueba permite valorar la habilidad de los ojos en la ejecución de movimientos sacádicos mediante una lectura vertical de 80 números (separado por 2 partes) y una lectura horizontal de 80 números dispuestos en 16 filas.

La lectura vertical y horizontal han de ser lo más rápido posible y en voz alta. El paciente ha de seguir que siga con el dedo ya que valoramos una habilidad puramente visual). Mientras tanto, el observador de la prueba anota los tiempos empleados por cada apartado vertical, horizontal y los errores en una hoja.

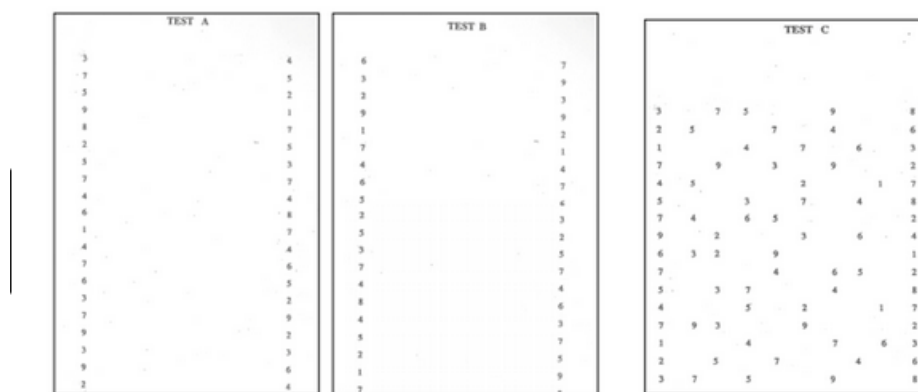


Figura 2.6. Tablas con los test de Wayne.

Fuente: <http://www.acotv.org/es/blog/3-evaluacion-y-tratamiento-de-los-movimientos-sacadicos-oculares.html>

-Tablas de Hart. En estos ejercicios se emplearán gafas de filtro rojo-verde. La dinámica de estas tablas consiste en una hoja de coordenadas. El sujeto tras oír las indicaciones del optometrista deberá fijarse en el elemento en cuestión de la columna x y fila y. Este ejercicio puede realizarse con tablas a una distancia cercana o una máxima de tres metros.

-Cartas ARB. La utilización de estas cartas permite el entrenamiento tanto de los movimientos de seguimiento, así como los movimientos sacádicos. El ejercicio consiste en seguir una serie de trayectorias ya sea mediante un movimiento continuo del ojo o bien mediante un movimiento espontáneo del ojo entre distintas posiciones. Se utilizan tanto formas como números.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

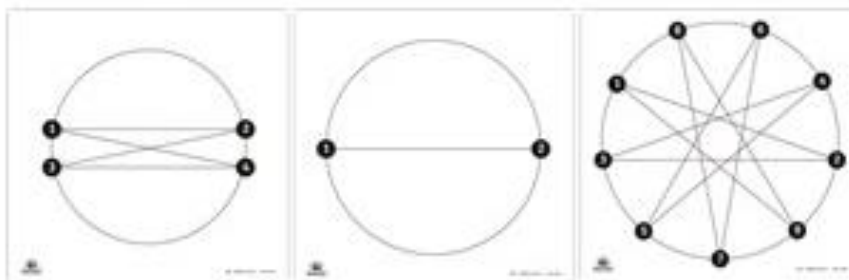


Figura 2.7. Cartas ARB.

Fuente: <http://www.promocionoptometrica.com/FichaArticulo.aspx?IDArticulo=364>

2.3.1.2 EJERCICIOS ACOMODATIVOS.

Como se indicó en las primeras páginas del proyecto, los movimientos acomodativos están ligados a la capacidad del cristalino de permitir el enfoque de la imagen en la retina. Por tanto, estos ejercicios estarán dirigidos a mejorar la rapidez del enfoque tanto en objetos cercanos como lejanos.

A parte de las tablas de Hart, previamente mencionadas, no existe un método específico que permita la ejercitación de este tipo de ejercicios. La mayoría de estos están basados en los cambios de enfoque con feedback con diversos procedimientos (rejillas o diana), ordenar lentes, balanceo de lentes o flipper con lentes.

2.3.1.3 EJERCICIOS VERGENCIALES.

Estos ejercicios se basan fundamentalmente tal y como indica su nombre en movimientos vergenciales. Estos movimientos binoculares permiten la estimación de la posición de los objetos a distintas distancias mediante el enfoque y fijación de ambas fóveas. Aproximan o separan los ejes visuales situados entre el objeto y la imagen en función de la distancia que les separa.

Los ejercicios más comunes son los siguientes:

-Cordón de Brock: Consiste en un cordón de cuerda con una serie de esferas separadas longitudinalmente. El optometrista pedirá al paciente que sujete el cordón delante de su nariz y le irá indicando que vaya focalizando las esferas que se encuentran en el cordón.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

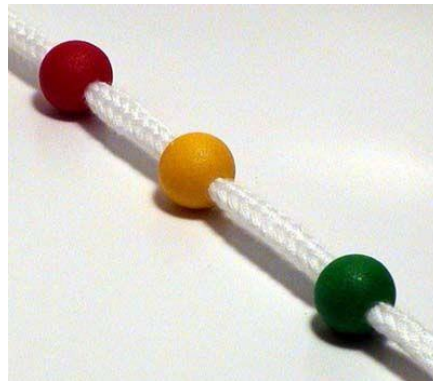


Figura 2.8. Cordón de Brock.

Fuente: <http://www.promocionoptometrica.com/FichaArticulo.aspx?IDArticulo=372>

-Tarjetas de convergencia o divergencia (cartas salvavidas).

Se utilizan dos tipos de cartas: las cartas opacas que trabajan la convergencia y las cartas translúcidas que por el contrario trabajan la divergencia. El uso de cartas opacas permite el uso por ejemplo de lápices a modo de puntero que ayuden al paciente a focalizar los círculos presentes en las mismas.

Es una técnica bastante compleja de ejecutar por lo que suele ser uno de los últimos ejercicios a los que se le somete al paciente.

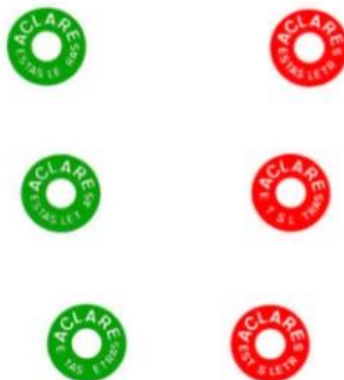


Figura 2.9. Tarjetas de convergencia/divergencia

Fuente: <https://es.slideshare.net/yeseniacastillo54966/terapia-visual-1>

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

-Círculos excéntricos.

A diferencia del ejercicio anterior, la complejidad de este ejercicio es bastante limitada. Estos ejercicios se basan en la utilización de cartas translucidas las cuales llevan grabadas en sus superficies una serie de figuras, desde cruces a cuadrados, pero siendo mayoritariamente círculos. Ambas plantillas suelen manejar los colores rojo-verde, para la utilización de gafas durante la realización del ejercicio. De esta forma, a medida que se trabaja de forma binocular, cada ojo trabaja de forma individual. [20]



Figura 2.10. Ejemplo de círculos excéntricos.

Fuente: <http://visionparalaaccion.com/CIRCULOS-EXCENTRICOS-PO>

-Estereoscopio de espejo móvil.

Los estereoscopios de espejos están formados por cuatro espejos ubicados de modo que las imágenes se transmitan por reflexión hacia los oculares, realizándose la observación de las fotografías en forma ortogonal a éstas. Mediante la utilización de estos instrumentos, el optometrista puede proyectar imágenes 3D directamente sobre el paciente, trabajando de forma inmediata la binocularidad. El primer estereoscopio data de 1849 y fue desarrollado por el científico británico David Brewster.

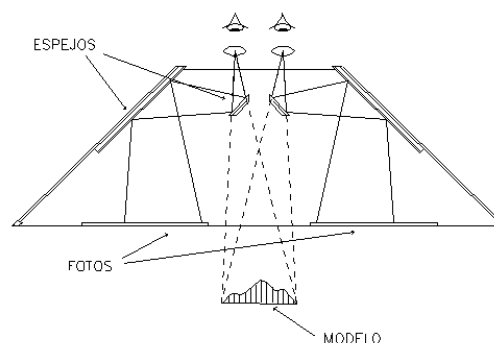


Figura 2.11. Estereoscopio de espejo móvil.

Fuente: http://www.gisiberica.com/estereoscopos/estereoscopios_de_espejos.htm

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

2.3.1.4 SINOPTÓFORO.

El sinoptóforo es un instrumento utilizado principalmente por los optometristas para el diagnóstico de los problemas visuales presentes en los pacientes. Sin embargo, este aparato permite a la par el tratamiento de multitud de disfunciones de las cuales se habló anteriormente como es el estrabismo, el ojo vago o también para la mejora de problemas binoculares no estrábicos. [21]

Es, además, un sistema ideal para la reeducación visual, sobre todo de problemas tales como la supresión, las fijaciones excéntricas o desequilibrios oculomotores.



Figura 2.12.Sinoptóforo.

Fuente: http://www.gisiberica.com/estereoscopos/estereoscopios_de_espejos.htm

Para el desarrollo de esta multitud de ejercicios, el sinoptóforo funciona con una serie de fichas rectangulares llamadas tarjetas de fusión visual, las cuales se reflejarán en los ojos del paciente a través de un sistema óptico de espejos.

Cada ojo recibirá una imagen creando la sensación de una visión lejana en el paciente el cual trabaja de forma binocular.

En la actualidad, con el desarrollo de las tecnologías se ha conseguido que todos los ejercicios expuestos anteriormente se puedan llevar a cabo con ayuda de diferentes softwares sin necesidad de poseer el material físicamente. De este modo, la posibilidad de desarrollar la terapia visual se ha multiplicado considerablemente, ya que no solamente puede realizarse en centros o consultas médicas, sino que cualquier usuario desde sus ordenadores o dispositivos portátiles como móviles o tablets pueden acceder a ella.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

En los siguientes apartados se realizará de algunas de las aplicaciones software más comunes actualmente en los centros de terapia visual. Posteriormente, se indagará en las aplicaciones IOS o Android que se pueden encontrar hoy en día.

2.3.2 APLICACIONES MÉDICAS ORDENADOR.

El desarrollo de estas aplicaciones ha permitido la obtención de multitud de ejercicios que posibilitan su ejecución desde casa, online, llegando a crear un auténtico programa de seguimiento pudiéndose adaptar a los avances conseguidos.

- **HTS iNet (RonaVision)**



Figura 2.13. Captura del programa HTS.

Fuente: <http://visiontherapysolutions.net/hts-inet/>

Se controla online por el profesional y utiliza gafas rojo-azul. Las principales características de las cuales presume este software son las siguientes:

Permite al usuario, de total control sobre su aprendizaje, dotando al programa de dos modos de funcionamiento: modo automático, el programa será el encargado de guiar al paciente a través de distintos niveles y el modo manual, con el cual el usuario será capaz de crear de forma personalizada su propia terapia. Todos los ejercicios que se plantean han sido previamente testados por profesionales.

Posee además de una serie de video tutoriales, que permiten al paciente conocer en todo momento el funcionamiento del programa.

El software ha sido desarrollado por una empresa privada americana. Toda la información del producto viene recogida en su web. [22]

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

A continuación, se van a detallar resumidamente las extensiones del programa anterior, especificando cuáles son sus principales campos de aplicación. Como se observará el mercado está ampliamente dominado por la empresa americana HTS.

- **PTSII Inet (RonaVision)**

Esta extensión se ha desarrollado con el objetivo de mejorar los problemas de percepción visual y velocidad de procesamiento visual. [23]

- **PVT (HTS)**

Centrado en la mejora de pacientes con problemas de tracking visual. [24]

- **ADR Inet (HTS)**

Desarrollado para mejorar aquellos problemas de los usuarios que poseen problemas relacionados con la velocidad lectora. [25]

- **Computer orthoptics (HTS).**

En este caso utiliza para mejorar la experiencia del paciente una terapia visual con gafas de cristal líquido.

Las últimas investigaciones llevadas a cabo por el equipo de trabajo del profesor Devesh Mistry, de la Universidad de Leeds en el Reino Unido, indican que las gafas de cristal líquido constituyen un instrumento muy similar para imitar a nuestro cristalino.

La investigación de este material ya presente en pantallas de televisión o telefonía ha permitido que se estén desarrollando sustitutos sintéticos para los cristalinos enfermos. El objetivo de esta investigación sería crear un cristalino sintético capaz de enfocar automáticamente en función de los movimientos de los músculos oculares. [26]

- **SVI (Sanet Vision Integrator).**

Es la herramienta más puntera. Ayudado por una pantalla táctil, el usuario es capaz de interactuar con el sistema, ya que el sistema es capaz de reconocer instrucciones verbales. De esta manera se mejora la integración auditiva, visual y la memoria. [27]

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

El producto es comercializado como todo en uno, ya que, a diferencia de las extensiones anteriores, esta versión reúne ejercicios para mejorar los movimientos sacádicos.

El paciente conseguirá mejorar habilidad como la estabilidad de fijación, coordinación ojo-mano, tiempo de reacción, velocidad de reconocimiento, identificación de alcance de objetos y sensibilidad al contraste.

Enfocado principalmente a aquellas personas que han sufridos o bien lesiones.

- **Software COI (Centro de Optometría Internacional, Madrid).**

El Centro de Optometría Internacional es una institución de reconocido prestigio que, desde su fundación en 1989 a partir de un grupo de trabajo multidisciplinar, dedica todos sus recursos a la formación, el desarrollo científico y la práctica clínica de la optometría.

Este centro recibió en 2012 el premio Don Quijote por su continuada aportación a la difusión de la optometría. Además, ha realizado diversas colaboraciones con el Centro Olímpico español, convirtiéndose en un centro de referencia tanto nivel nacional como internacional. [28]

Este centro ha desarrollado una serie de software destinados a la mejora de diferentes problemas visuales [29].

- **Coi Peri:** Especializado en campimetría y perimetría funcional al color. Permite medir los campos visuales funcionales en condiciones estáticas y dinámicas. Permite detectar fallos como las pérdidas de fijación.
- **Coi Test:** Especializado en visión binocular. Ha sido diseñado para realizar test visuales rápidos, fundamentalmente colegios, consultas médicas, etc. Tan solo se requiere de un ordenador con una pantalla mayor de 17".
- **Coi SV:** Enfocado a la práctica deportiva. Testea principalmente aspectos como la coordinación ojo-mano, tiempo mínimo perceptual, atención central-periférica, contraste y visualización. Requiere de un ordenador de pantalla superior a 17". Puede crear programas de forma automática o bien permite al usuario personalizar la terapia.
- **Coi SV:** Especializado en el diagnóstico y tratamiento de las afecciones visuales. Aplicación de la terapia visual. Realiza diagnósticos de estrabismos, ambliopías, problemas de aprendizaje, memoria visual y relaciones espacio-tiempo.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

- **Iristea Terapia Visual.**

Este software ha sido desarrollado por la empresa leonesa Proconsi. Está enfocado de nuevo en el tratamiento de patologías visuales como el ojo vago, el déficit de lectura y el estrabismo.

El programa consta de 15 ejercicios en los cuales se ejercita la oculomotricidad, la integración audiovisual y la binocularidad. [30]

La empresa sostiene que las herramientas que se han utilizado hasta la fecha en relación con las terapias visuales suponen elevados costes, ya sea por material y por la necesidad de que se realice en un emplazamiento físico. Las posibilidades con estos medios son bastante reducidas y los ejercicios realizados son muy estáticos impidiendo que se puedan tratar muchas más discapacidades.

2.3.3 APLICACIONES IOS Y ANDROID.

Como se indicó anteriormente, las aplicaciones móviles constituyen una nueva forma de abordar la terapia visual. Las más destacadas se recogen a continuación.

La dinámica de iniciación en todas las aplicaciones es similar, iniciándose con la calibración de las gafas a usar. Para ello, tras ponerte las gafas la aplicación obliga a realizar algunos ejemplos para identificar la tonalidad de la gafa que se está utilizando. El ejemplo más repetido es taparte un ojo e ir modificando el color de un objeto hasta que este sea casi invisible a la vista. En ese momento ya se ha alcanzado el tono deseado que se corresponde con el de las gafas.

Todas las aplicaciones imitan el mismo modo de funcionamiento. Al utilizar las gafas pasivas con filtros (generalmente rojo-azul), el sistema obliga a trabajar a los ojos de forma individual para mejorar el rendimiento de cada uno por separado. Este aspecto quedará explicado en el desarrollo de la aplicación de este proyecto.

2.3.3.1 APLICACIONES EN SISTEMA OPERATIVO IOS:

1. **LETTER HUNT:** Sobre un tablero con letras sobre fondos de distinto color (azul-rojo), se indica la palabra a componer. Al ir seleccionando las distintas letras, es el ojo izquierdo o derecho el que trabaja.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

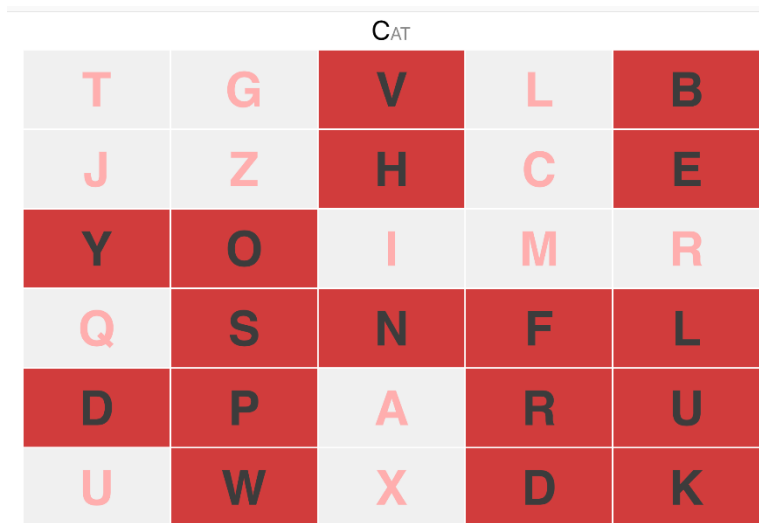


Figura 2.14. Captura del juego Letter Hunt de IOS.

Fuente: APP STORE.

2. **SNAKE:** Debido a la diferencia de color entre la serpiente y la "comida" los dos ojos están continuamente trabajando.

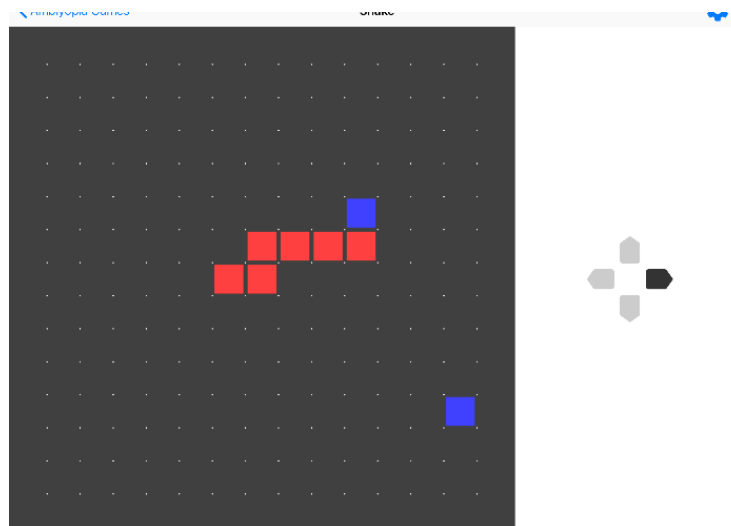


Figura 2.15. Captura del juego SNAKE de IOS.

Fuente: APP STORE.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

3. **TETRIS:** El juego consiste en colocar las piezas que van apareciendo por la pantalla.

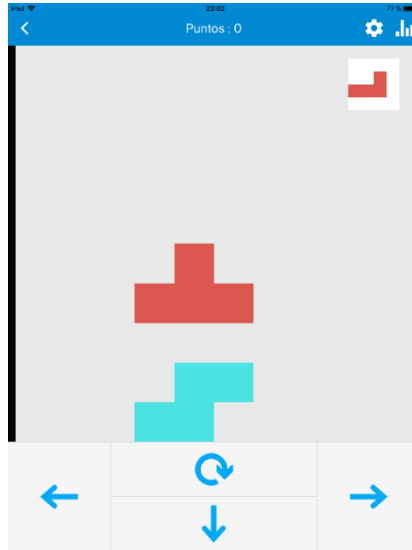


Figura 2.16. Captura del juego TETRIS de IOS.

Fuente: APP STORE.

2.3.3.2 APLICACIONES EN SISTEMA OPERATIVO ANDROID.

1. **BUBBLE SHOOT.** El juego de siempre que consiste en disparar bolas.

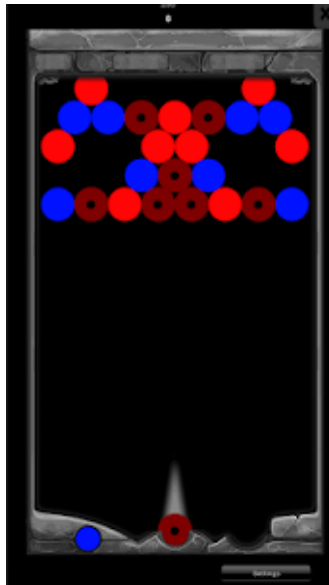


Figura 2.17. Captura del juego BUBBLE SHOOT .

Fuente: PLAY STORE.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

2. LAZY EYE BREAKER: El famoso juego de ir eliminando bloques mediante

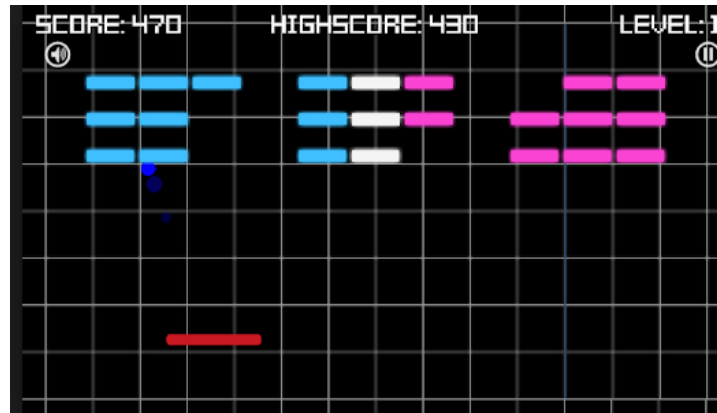


Figura 2.18. Captura del juego LAZY EYE BREAJER

Fuente: PLAY STORE.

Más allá de estas aplicaciones que trabajan más el ojo vago, existen otras más centradas en el estrabismo, que juegan principalmente con la movilidad ocular.

En este campo las aplicaciones se centran más en seguir caminos con la mirada o mantener la mirada fija sobre imágenes que se alejan o hacen zoom.

2.4 RESULTADOS.

En la actualidad existe una gran controversia acerca de la viabilidad de la terapia visual para el tratamiento de afecciones visuales.

Existen dos corrientes muy diferenciadas, por un lado, se encuentran optometristas que defienden este tipo de terapias alegando la validez de estos tipos de ejercicios para modificar las estructuras cerebrales; parte de argumentos se basan en los descubrimientos que han demostrado la plasticidad del cerebro a la hora de adquirir nuevas conexiones o modificar las existentes.

Por otro lado, se encuentran aquellos médicos que defienden que estas terapias no son capaces de conseguir avances en el paciente ya que la deficiencia visual procede de una malformación estructural que requiere de la cirugía para su completa recuperación.

Como veremos en los siguientes puntos, tanto defensores como detractores han intentado demostrar con experimentos verídicos sus posturas.

2.4.1 DEFENSORES.

Existen múltiples estudios realizados acerca de la fiabilidad de la terapia visual para la solución de problemas visuales. Todos estos estudios defienden que estos ejercicios realmente pueden proporcionar una solución partiendo de la base de que su continua práctica puede modificar ciertos patrones en la estructura del cerebro. Una justificación en esta “reestructuración” del cerebro se debe en parte a la plasticidad de este.

Uno de los estudios que defienden la validez de este tipo de terapias, fue el realizado en el año 2017 por Marta Codina Fossas, Roser Villena Requena, Núria Lladó Contijoch y Tomás Blasco Blasco, este último profesor titular del Departamento de Psicología Básica de la Universidad Autónoma de Barcelona.

El objetivo de este estudio era la evaluación de distintas habilidades, tales como la movilidad, la binocularidad y la acomodación, centrándose en especial en aquellas ligadas al aprendizaje, en concreto en la mejora de la lectura.

El estudio se centró en 148 alumnos de 5º de primaria de cuatro escuelas de Rubí, en Barcelona. De esos 148 alumnos, 88 presentaban alguna disfunción visual.

Tras recibir la terapia, el 61% de los que presentaban alguna disfunción consiguieron mejorar en al menos una de ellas. En la mayoría de los casos se mejoró la velocidad lectora y comprensión de esta. [31]

Otro de los defensores de este tipo de terapias a nivel nacional es el Instituto de microcirugía ocular (IMO). Tal y como indican en su web [32] han desarrollado una nueva Área de Terapia Visual para el tratamiento de aquellas deficiencias no patológicas, sino problemas funcionales como los mencionados anteriormente: acomodación,

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

binocularidad, etc. Sus ejercicios han sido desarrollados para tratar de cubrir 15-20 minutos diarios, con los cuáles junto con una práctica presencial a la semana, mejorarían el rendimiento visual en aspectos como en el tiempo de reacción visual o la mejora en los seguimientos.

Estos dos ejemplos, son solo una muestra de los numerosos llevados a cabo en la última década y que demostrarían claramente la utilidad de este tipo de terapias.

2.4.2 DETRACTORES.

Existen bastantes publicaciones que alegan que la terapia visual no es apta para el tratamiento de algunas disfunciones visuales.

Entre estas publicaciones se puede encontrar la publicada en 2005 [33] titulada “*A systematic review of the applicability and efficacy of eye exercises*” en la cual se pone de manifiesto evidencias que demostrarían la poca utilidad de los ejercicios de la terapia visual para el tratamiento de la dislexia.

En 2009, se realizó una declaración por parte de asociaciones como la Academia Americana de Pediatría, la Academia Americana de Oftalmología La Asociación Americana de Oftalmología Pediátrica y Estrabismo y la Asociación Americana de Ortópticos Certificados en la que de nuevo se evidencia la falta de evidencias por las que la terapia visual es útil para el tratamiento de afecciones visuales.

Existen otras publicaciones como por ejemplo la publicada en 2011 en la revista estadounidense *Pediatrics*, con título *Joint Technical Report: Learning Disabilities, Dyslexia and Vision*. En este caso se cuestiona que los problemas visuales estén relacionados con la falta de cualidades a la hora de leer, sobre todo en niños. Se sostiene que no hay ninguna evidencia, de que la práctica de ejercicios de seguimientos, de convergencia, supongan una mejora evidente en el progreso de aprendizaje del niño.

2.4.3 CONCLUSIONES.

Como se ha visto en los puntos anteriores, existe una disparidad en los argumentos que o bien apoyan la terapia visual, o bien la descalifican.

Hasta ahora, los grandes defensores de la terapia visual han sido los optometristas dedicados a la optometría comportamental. En este campo, existe una investigación bastante avanzada sobre todo con relación a la mejora de la lectura. Sin embargo, al estar el resto de los tratamientos poco desarrollados, por ejemplo, para el estrabismo, junto a las pocas evidencias, está suponiendo un verdadero lastre para el reconocimiento definitivo.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

Es cierto que parece que este tipo de terapias, al ser bastante flexibles si pudieran mejorar aspectos como la acomodación, el seguimiento ocular pero no serían aptas para problemas de aprendizaje.

Actualmente, con el desarrollo de las nuevas tecnologías y sobre todo con la inversión realizada por las empresas privadas, parece que la terapia visual conseguirá de nuevo recibir un empujón que le permita ahora si consolidarse tanto en el ámbito médico como el social.

Hoy en día, a grandes rasgos, se puede concluir que si bien a medida que aumentan las investigaciones y experimentos se está comprobando que la terapia visual si mejorase algunas deficiencias visuales (no todas) no existen aún evidencias científicas que concluyan de verdad su utilidad médica real.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

CAPÍTULO 3. ASPECTOS ESPECÍFICOS DE LA APLICACIÓN DESARROLLADA.

3. ASPECTOS ESPECÍFICOS DE LA APLICACIÓN.

En este capítulo se tratará de explicar los ejercicios seleccionados para el desarrollo de la aplicación. En cada uno de los apartados quedará descrito la dinámica del ejercicio, el fundamento médico en el cual se basa y los posibles beneficios que se deberían de su ejecución.

La aplicación se divide en seis ejercicios que tratan fundamentalmente dos problemas visuales: el ojo vago y el estrabismo. Son ejercicios que han sido desarrollados a partir de ejercicios físicos llevados a cabo en consultas médicas o bien procedentes de aplicaciones software presentes en internet.

Para permitir un ejercicio más completo, los ejercicios se han creado para que puedan realizarse con el uso de gafas 3D de filtro rojo-azul. Mediante esta técnica se ha conseguido que se pueda incidir sobre cualquiera de los ojos individualmente.



Figura 3.1. Gafas filtro rojo-azul.

Fuente: <http://elalmacendejuegos.com/blog/tag/juegos-para-terapia-visual/>

Las gafas de la imagen 22, se denominan gafas anaglifo. Durante el desarrollo de los ejercicios de este proyecto se utilizarán las que poseen un filtro rojo-azul, que son las más frecuentes en el mercado. El fundamento teórico de estas gafas es sencillo: el ojo solo puede observar la imagen con el par estéreo opuesto, es decir, el filtro azul solo permitirá observar las imágenes rojas y el filtro rojo solo permitirá observar las imágenes azules. Con esta sencilla técnica, se conseguirá controlar que ojo se desea ejercitar por separado.

La colección de ejercicios permitirá crear una terapia visual muy cercana a la que actualmente se está utilizando. La práctica de movimientos lineales, vergenciales o

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

incidir en mecanismo de enfoque/desenfoco durante un periodo medio de plazo podrá contribuir a la mejora del rendimiento visual en aquellas personas con las deficiencias visuales anteriormente presentadas.

3.1 EJERCICIO 1. PRÁCTICA DE MOVIMIENTOS DE SEGUIMIENTO.

En este ejercicio el usuario ejercitará los movimientos de seguimiento. Estos movimientos se han inducido mediante la elaboración de una trayectoria aleatoria realizada en cada caso por un cuadrado azul o rojo.

Con la práctica de este ejercicio se está consiguiendo en primer lugar, gracias a la ejecución de movimientos lentos, el calentamiento de los músculos oculares. Una condición óptima de estos músculos va a ser clave a la hora de que los ojos sean capaces de proporcionar una imagen clara y precisa del objeto. Por otro lado, al jugar con el filtro rojo/azul, se está incidiendo de forma individual en cada uno de los ojos, lo que permite que en cada caso sea un ojo el que a pesar de su deficiencia controle el movimiento y no este apoyado por el otro.

Primera ventana: El usuario deberá seguir la trayectoria creada por el cuadrado rojo por la pantalla. Esta trayectoria se repetirá en forma de bucle hasta que el usuario pulse el botón "Continuar al azul".



Continúa al azul

Figura 3.2.Ejercicio 1. Cuadrado rojo, posición inicial.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

El movimiento del cuadrado es periódico, es decir, una vez ha finalizado la trayectoria esta vuelve a repetirse.



Continúa al azul

Figura 3.3.Ejercicio 1. Cuadrado rojo, posición a.



Continúa al azul

Figura 3.4.Ejercicio 1. Cuadrado rojo, posición b.

No se puede representar la trayectoria continua que sufre el cuadrado, pero este modifica su trayectoria de forma lenta y continua.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

El ejercicio se repite a continuación con el cuadrado de color azul.



Volver al menú

Figura 3.5.Ejercicio 1. Cuadrado azul, posición inicial.

A continuación, se puede ver de nuevo la evolución de la trayectoria del cuadrado.



Volver al menú

Figura 3.6.Ejercicio 1. Cuadrado azul, posición a.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.



Volver al menú

Figura 3.7. Ejercicio 1. Cuadrado azul, posición b.

Tanto con el cuadrado rojo como con el azul, los ojos trabajan de forma individualizada los movimientos de seguimiento. Este aspecto es bastante positivo puesto que en la mayoría de las ocasiones el usuario posee un mayor grado de desarrollo en uno de los ojos. Esto implica que en las acciones que requieren ambos ojos, el ojo dominante ayude al más débil, impidiendo que ambos trabajen en condiciones de equidad.

Acciones cotidianas como leer un libro o mirar una pizarra se verán gratamente mejoradas con la práctica de este ejercicio.

3.2 EJERCICIO 2. PRÁCTICA DE MOVIMIENTOS DE SEGUIMIENTO Y SACÁDICOS.

En este segundo ejercicio, el objetivo es conseguir que el usuario sea capaz de seguir un objeto que sigue un movimiento horizontal de forma precisa. Con el seguimiento de la imagen, que en este caso será un letra H en azul y rojo, estamos creando las condiciones para que el ojo (junto con el cerebro) siga un objeto en una trayectoria fija, en este caso lineal. Si bien, como la imagen no sigue un movimiento continuo sino que parpadea cada vez que hace un movimiento, se crea una necesidad de concentración permanente para fijar el punto de visión en un punto concreto. Con este parpadeo que se crea en la imagen se comienza a trabajar lo que se denomina movimientos sacádicos.

El ejercicio que se va a presentar a continuación posee una dinámica idéntica en el caso de la imagen con forma de H roja y azul.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

Tras ejecutar el ejercicio, el usuario podrá observar las dos imágenes siguientes:



Figura 3.8. H Roja posición inicial



Figura 3.9. H azul posición inicial

La dinámica del ejercicio consistirá en seguir linealmente a la figura H que se desplazará de derecha a izquierda.



Figura 3.10. Evolución de la trayectoria

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

Como se ha indicado anteriormente, la dinámica con la imagen H roja es exactamente igual.

La practica de movimientos sacádicos de nuevo vuelve a ser imprescindible para la mejora de la lectura, sobre todo en las primeras etapas de aprendizaje de niños.

3.3 EJERCICIO 3.1. CONVERGENCIA DE IMÁGENES.

El tercer ejercicio unirá la práctica de los movimientos de seguimiento y los de convergencia.

En esta ocasión el usuario será el encargado de desplazar una imagen (el logo de la Universidad de Alcalá de Henares) para unirla con su negativo. El usuario observará en primera instancia la siguiente distribución de las imágenes.



Figura 3.11.Ejercicio 3, logos UAH en rojo-azul.

Como se puede observar en la figura 11, en la esquina inferior derecha, la aplicación posee cuatro botones distintos: arriba, abajo, derecha e izquierda. Mediante el uso de estos botones el usuario será capaz de desplazar la imagen azul hasta colocarla en el centro de la imagen roja, a modo de negativo.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

El objetivo por tanto se muestra con las siguientes figuras:

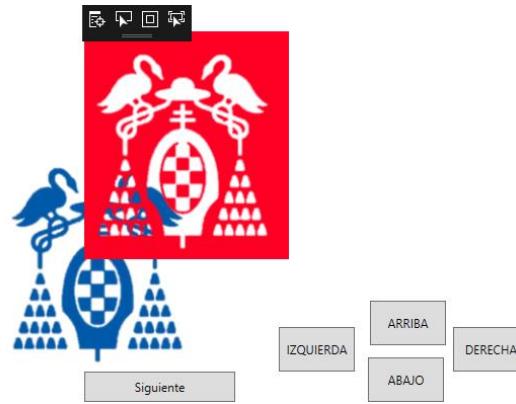


Figura 3.12. Ejercicio 3, posición a.



Figura 3.13. Ejercicio 3, posición b.



Figura 3.14. Ejercicio 3, posición c.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

El objetivo final es que ambas imágenes converjan en una imagen superpuesta.

El sistema ojo-cerebro está trabajando de manera doble: por un lado, requiere de la concentración para desplazar una imagen, (esta información la está proporcionando un solo ojo, el que posee el filtro rojo) y, por otro lado, mantener la información de la posición definitiva para poder converger ambas imágenes.

La convergencia de imágenes es una característica básica en la naturaleza humana puesto es la que nos permite crear la realidad que nos rodea. El enfoque de imágenes, el cálculo de distancias son cualidades imprescindibles a diario.

3.4 EJERCICIO 3.2. CREACIÓN DE IMÁGENES 3D.

La segunda parte de este ejercicio consiste en la percepción de una imagen 3D. Para ello se ha procedido al parpadeo continuo de dos imágenes (rojo-azul) las cuales se encuentran desplazadas unos 5mm. El estímulo continuo crea en el cerebro la sensación de estar viendo una imagen en 3D.

En cada parpadeo, la imagen roja o azul desaparece gracias a la acción de las gafas anaglifas.

Se ha incorporado este ejercicio a la colección para evidenciar la capacidad que se tiene de crear imágenes 3D por medio de filtros.



Figura 3.15. Ejemplo de creación de imágenes 3D.

3.5 EJERCICIO 4. PRÁCTICA DE EJERCICIOS SACÁDICOS.

El objetivo de este ejercicio es continuar con la mejora en la práctica de los ejercicios sacádicos. El usuario se verá forzado a buscar las correspondientes letras por todo el tablero propuesto. En primer lugar, con un tablero rojo y a continuación sobre uno de color azul (las palabras que deberá completar en cada uno de los casos son MOBILE y MARINE respectivamente).

La dificultad de este ejercicio radica en la presencia del filtro rojo-azul que generan las gafas. En en caso del primer tablero, rojo, el filtro rojo elimina cualquier letra de color rojo y el usuario solo será capaz de ver, o bien las letras en negro (las cuales serán percibidas por ambos ojos) o bien las letras rojas que serán percibidas por el ojo con el filtro azul.



Figura 3.16.Ejercicio 4. Tablero rojo azul

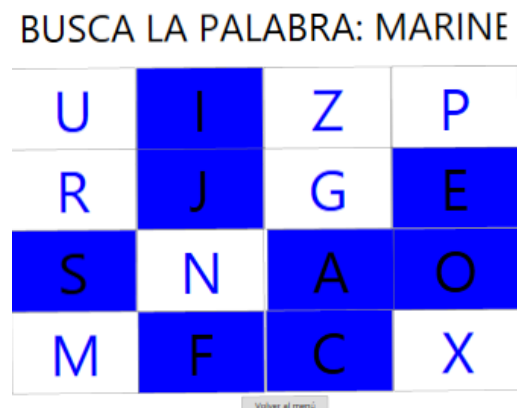


Figura 3.17.Ejercicio 4. Tablero

En el caso del tablero rojo, el usuario deberá seleccionar las letras M,O,B,I,L,E que conforman la palabra mobile. En el caso del tablero azul, las letras seleccionadas serán M,A,R,I,N,E que crean la palabra marine.

Al tratarse de unos tableros pequeños, el movimiento sacádico que ha de realizar los ojos es pequeño. Se repite la misma dinámica que en los ejercicios anteriores, la presencia de las gafas anaglifas obliga al cerebro a solo recibir información por un solo ojo.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

A modo de ejemplo, el usuario percibirá el tablero rojo del siguiente modo:



Figura 3.18.Ejercicio 4. Ejemplo de visión del tablero rojo.

Ambos ojos visualizarán las letras negras. En cambio, las letras rojas al ser eliminadas con el filtro rojo solo podrán ser observadas mediante el ojo con el filtro azul.

La realización de este ejercicio dota al paciente de una mejora sustancial a la hora de mantener la concentración y ser capaz de mantener una fijación precisa en distintos

3.6 EJERCICIO 5. PRÁCTICA DE MOVIMIENTOS DE VERGENCIAS.

En este quinto ejercicio el objetivo que se quiere perseguir es mejorar la coordinación del ojo en relación a los movimientos de vergencias. Un aspecto imprescindible para el enfoque de las imágenes en la vida real es la óptima alineación de los ojos, objetivo que también se busca mediante este ejercicio.

La práctica de este ejercicio permitirá al cerebro a acostumbrarse a fusionar dos imágenes en una sola, e incluso el trabajo será aun mayor puesto que la imagen solo está siendo recibida por un único ojo.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.



Figura 3.19. Ejercicio 5. Práctica de vergencias.

Como se puede ver en la imagen anterior, la pantalla consiste en dos imágenes de un lince, cada una de un color (azul y rojo). Además, la pantalla está dividida con una serie de columnas negras.

La dinámica de este ejercicio consiste en ir variando el tamaño de las imágenes para crear diferentes situaciones de enfoque en el ojo. Con la variación del tamaño de las imágenes, se está tratando de simular un espacio en el que se encuentren objetos cercanos (mediante la simulación con imágenes grandes) y objetos lejanos (mediante la simulación con imágenes pequeñas). La secuencia de imágenes en la aplicación seguiría la siguiente dinámica: imágenes azules/rojas que aparecen en distintos puntos de la pantalla modificando su tamaño. Esta evolución puede observarse en las figuras 17, 18 y 19 que se muestran a continuación.

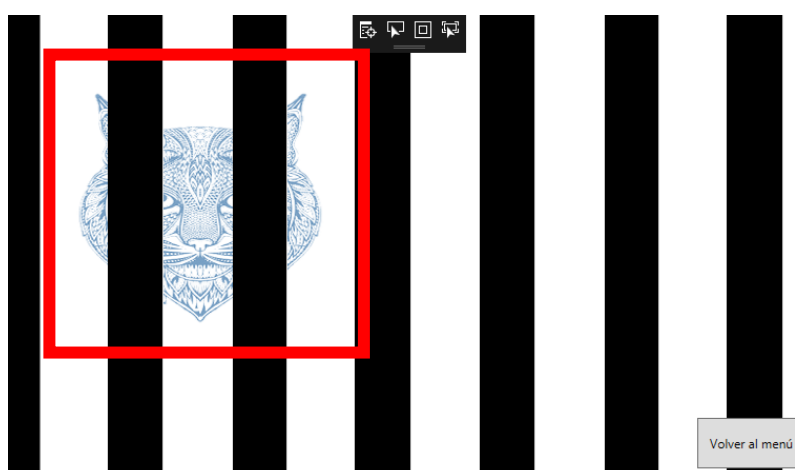


Figura 3.20. Ejercicio 5. Práctica de vergencias. Posición a.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

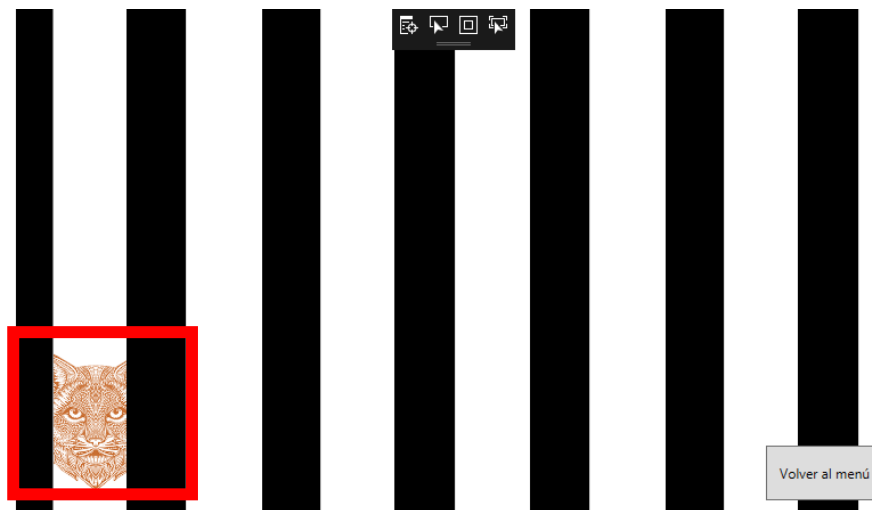


Figura 3.21.Ejercicio 5. Práctica de vergencias. Posición b.

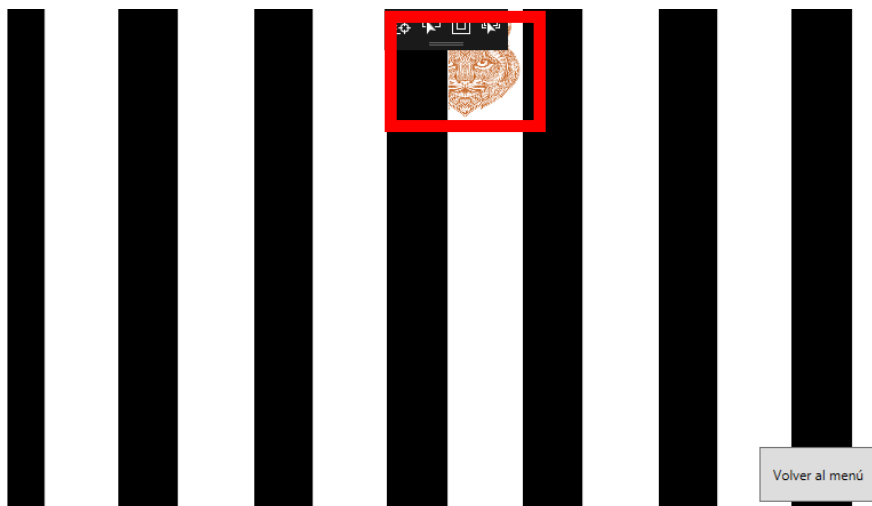


Figura 3.22.Ejercicio 5. Práctica de vergencias. Posición c.

En función de esa distancia simulada, el cerebro junto con la convergencia/divergencia de los ojos, tratará de enfocar correctamente la imagen.

La presencia de esas columnas se debe a que el ejercicio es mucho más completo si además de realizar el trabajo de enfoque, se suma la presencia de objetos que van a dificultar la coordinación y coconcentración.

La práctica continuada de este ejercicio, puede resultar muy beneficiosa en un aspecto imprescindible en la vida cotidiana como es la lectura. Adecuar la convergencia y

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

acomodación del ojo en la lectura permitirá a la persona un correcto enfoque de las letras presentes.

3.7 EJERCICIO 6. PELOTA DE MARSDEN.

En este último ejercicio se ha tratado de unificar todos los tipos de movimientos para crear una actividad completa, con el fin de que el usuario, una vez ha practicado todos los ejercicios por separado, sea capaz de seguir uno, con todos ellos.

Para ello, se ha elegido un ejercicio, que actualmente se utiliza en las consultas médicas, y es la denominada pelota de Marshen, explicado anteriormente.

Se ha tratado de crear una simulación que se asemeje lo máximo posible a la realidad, es decir, una esfera con letras en su superficie (en este caso al igual que en el resto de ejercicio se ha jugado con la bicoloridad rojo-azul para incluir un contexto binocular que permita el entrenamiento de la ambliopía) la cual gira como se puese un péndulo.

La dinámica es la misma con la esfera física que en la aplicación: seguir con la mirada una determinada letra.

Con ello se está consiguiendo mejorar la motilidad ocular, ya sea mediante movimientos de seguimientos, acomodación o sacádicos.

Una vez se haya iniciado el ejercicio, el usuario verá una esfera en movimiento igual a la mostrada en la imagen siguiente. Deberá fijar la visión en una letra en concreto.

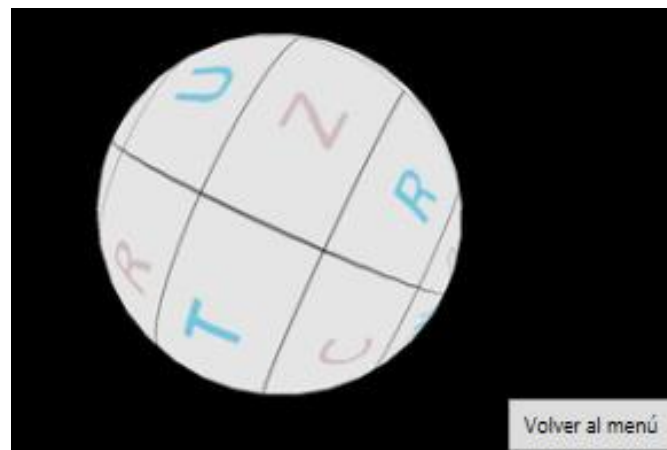


Figura 3.23. Pelota de Marsden. Posición a.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

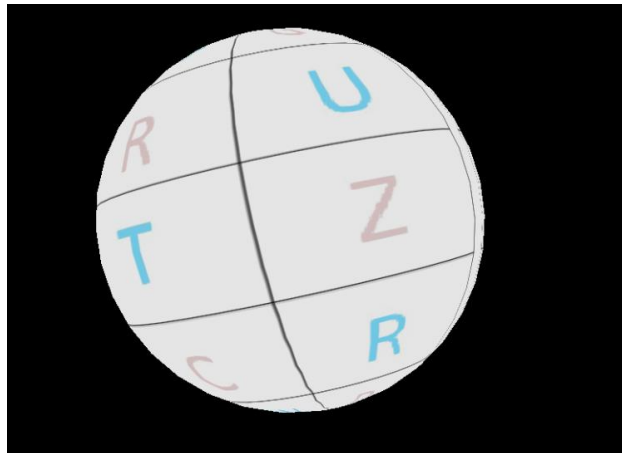


Figura 3.24. Pelota de Marsden. Posición b.

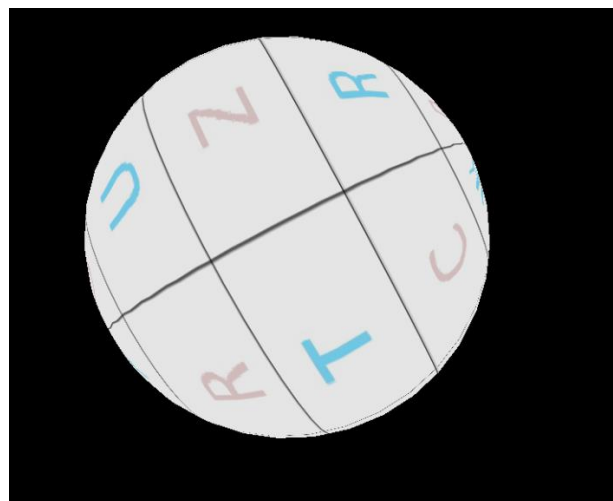


Figura 3.25. Pelota de Marsden. Posición c.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

CAPÍTULO 4. MANUAL DE USUARIO.

4. MANUAL DE USUARIO

Una vez se ha analizado el capítulo anterior, el usuario podrá manejar la aplicación con las indicaciones que se muestran en este manual de usuario.

La aplicación posee una serie de botones en cada una de las pantallas, con los que se consigue de forma sencilla navegar por la aplicación.

4.1.1 VENTANAS INTRODUCTORIAS GENERALES.

Tras la ejecución de la aplicación el usuario observará en la pantalla la siguiente ventana:



Figura 4.1. Ventana inicial de la aplicación.

El usuario deberá pulsar el botón "INICIO" para poder continuar en la ejecución del programa.

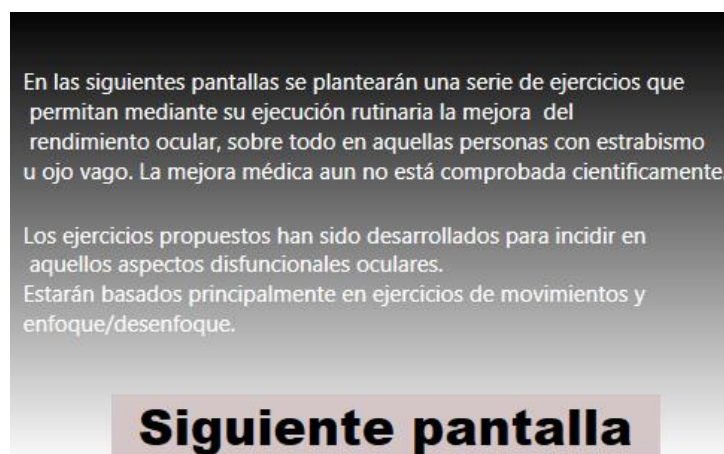


Figura 4.2. Ventana introductoria número 2.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

Tras una breve introducción, en la cual el usuario recibe una rápida información de la aplicación este deberá pulsar el botón “Siguiente pantalla” para proceder con la aplicación.



Figura 4.3. Menú de la aplicación.

El usuario mediante el clic en cualquiera de los botones (“Ejercicio 1”, “Ejercicio 2”, “Ejercicio 3”, “Ejercicio 4”, “Ejercicio 5” y “Ejercicio 6”) podrá acceder directamente a cada uno de ellos.

4.1.2 Ejercicio 1

Tras haber pulsado el botón “Ejercicio 1” en el menú de la aplicación el usuario observará la siguiente pantalla.



Figura 4.4. Ventana introductoria del ejercicio 1.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

El usuario deberá pulsar el botón “Comienzo” para iniciar el ejercicio. En caso de que quiera volver al Menú anterior deberá pulsar el botón Atrás.

Tras haber pulsado el botón “Comienzo”, el usuario tendrá frente a él las siguientes ventanas:



Figura 4.5.Ventana 1 del ejercicio 1.

Para continuar, el usuario deberá pulsar el botón “Continúa al azul”. Tras su pulsación, aparecerá la segunda pantalla:

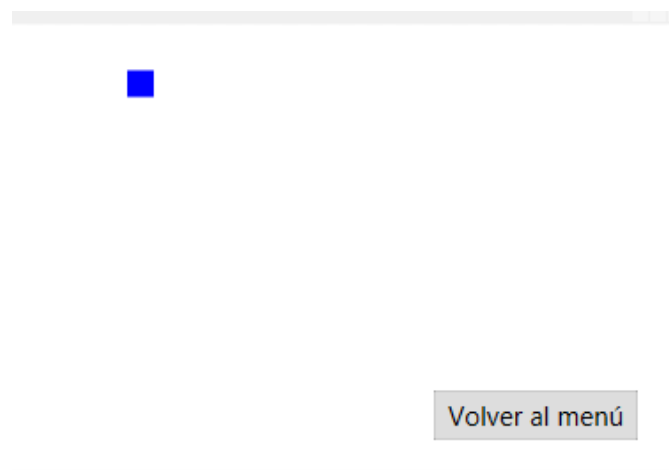


Figura 4.6.Ventana 2 del ejercicio 1.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

En el caso de que se quiera abandonar esta pantalla y querer volver al menú, se deberá pulsar el botón “Volver al menú”.

4.1.3 Ejercicio 2.

Tras haber pulsado el botón “Ejercicio 2” en el menú de la aplicación el usuario observará la siguiente pantalla.



Figura 4.7.Ventana introductoria del ejercicio 2.

Tras pulsar el botón de “Comienzo” ante el usuario observará las siguientes pantallas:

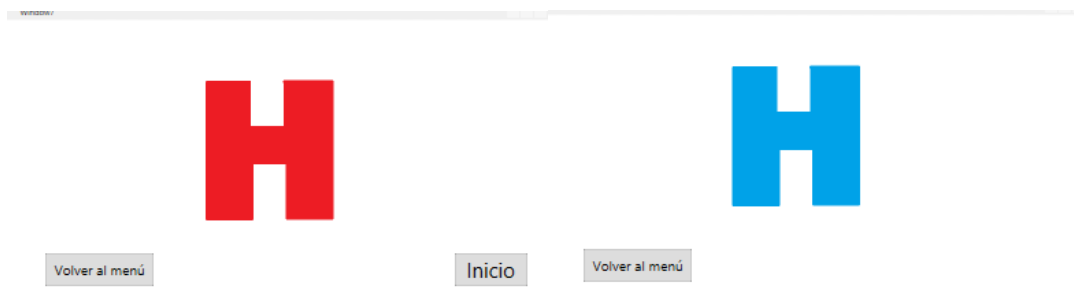


Figura 4.8.Ventana 1 del ejercicio 2

Figura 4.9.Ventana 2 del ejercicio 2

El usuario puede parar en cualquier momento la ejecución del ejercicio mediante la pulsación en el botón “Volver a menú”.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

4.1.4 Ejercicio 3.

Tras haber pulsado el botón “Ejercicio 3” en el menú de la aplicación el usuario observará la siguiente pantalla.

Para comenzar el ejercicio el usuario deberá pulsar el botón “Comienzo”.

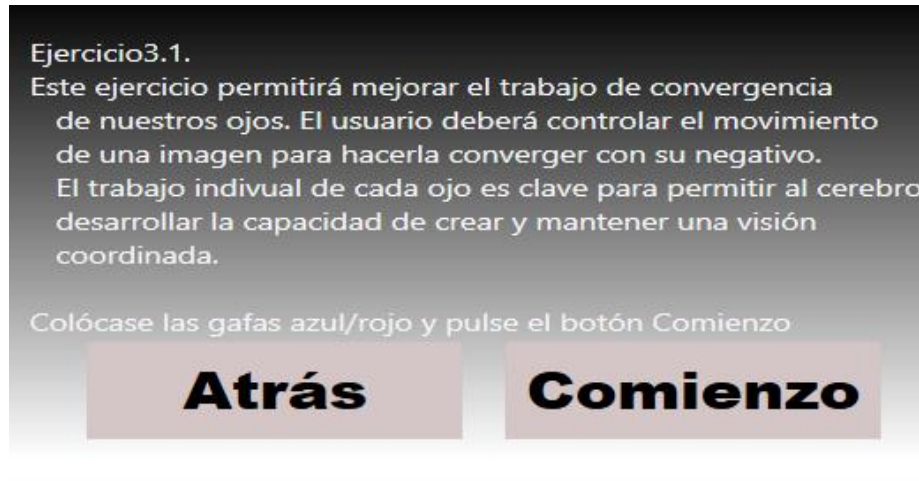


Figura 4.10. Ventana introductoria del ejercicio 3.

Una vez el usuario ha accedido al ejercicio se encontrará con la siguiente ventana:



Figura 4.11. Ventana 1 del ejercicio 3.1.

Como se puede observar en la imagen anterior, en la esquina inferior derecha, la aplicación posee cuatro botones distintos: “arriba”, “abajo”, “derecha” e “izquierda”.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

Mediante el uso de estos botones el usuario será capaz de desplazar la imagen azul hasta colocarla en el centro de la imagen roja, a modo de negativo.

Para continuar con el ejercicio el usuario deberá pulsar el botón “Siguiete”, tras lo cual podrá observar la siguiente ventana:

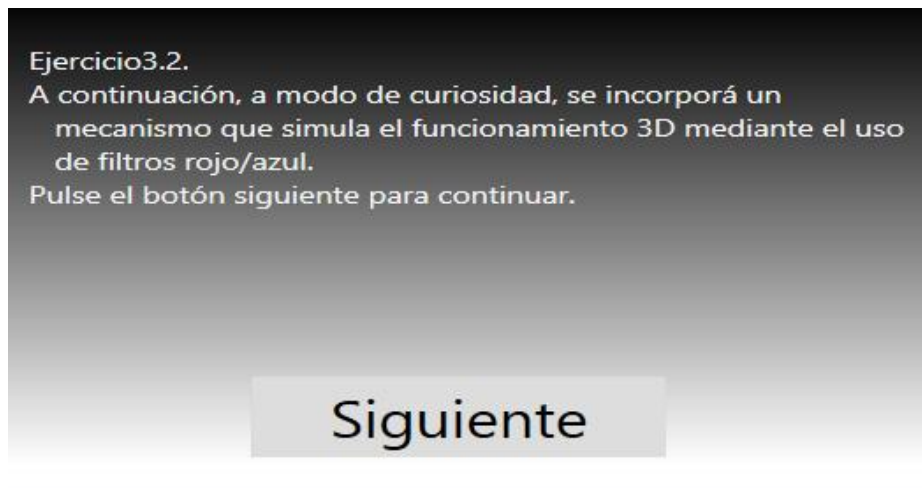


Figura 4.12.Ventana introductoria 2 del ejercicio 3.

Tras haber pulsado el botón “Siguiete” se ha de pulsar el botón “Empezar” para poder continuar con la ejecución del ejercicio 3.2.



Figura 4.13.Ventana 1 del ejercicio 3.2.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

Para finalizar el ejercicio el usuario deberá pulsar “Volver al menú”.

4.1.5 Ejercicio 4.

Tras haber pulsado el botón “Ejercicio 4” en el menú de la aplicación el usuario observará la siguiente pantalla.

El usuario deberá pulsar el botón de “Comienzo” para iniciar el ejercicio.

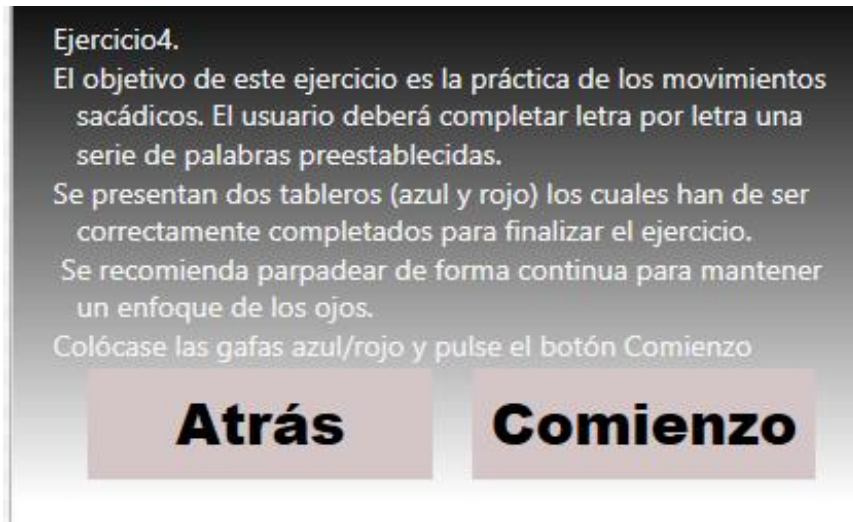


Figura 4.14.Ventana introductoria del ejercicio 4.



Figura 4.15.Ventana 1 del ejercicio 4

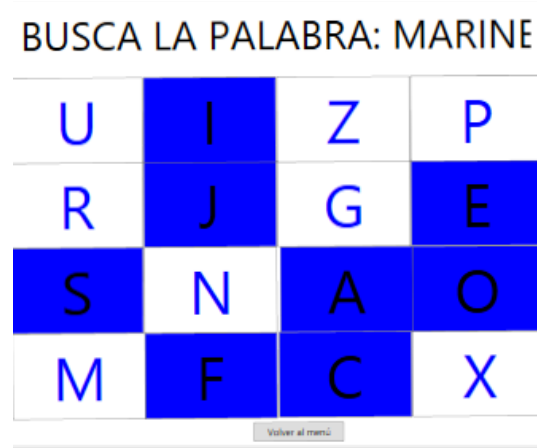


Figura 4.16.Ventana 2 del ejercicio 2

En cualquier momento, el usuario puede abandonar el ejercicio pulsando “Volver al menú”.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

4.1.6 Ejercicio 5.

Tras haber pulsado el botón “Ejercicio 5” en el menú de la aplicación el usuario observará la siguiente pantalla.

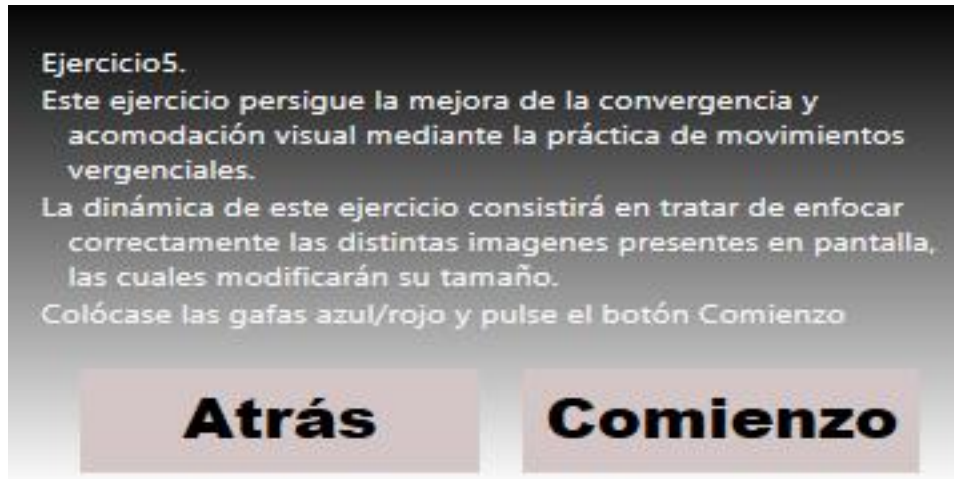


Figura 4.17. Ventana introductoria del ejercicio 5.

La primera pantalla que observará el usuario será la mostrada en la imagen anterior. En el caso de querer comenzar pulsará el botón “Comienzo” y en caso de querer volver a al menú pulsará “Atrás”.

Para ejecutar el ejercicio, el usuario tras haber pulsado el botón “Comienzo” anterior, deberá pulsar el botón “Pulse para iniciar”. En caso de que en cualquier momento se desee abandonar el ejercicio deberá pulsar el botón “Menú de inicio”, tal como se indica en la imagen siguiente:



FIGURA 43. Ventana 1 del ejercicio 5.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

4.1.7 Ejercicio 6

Tras haber pulsado el botón “Ejercicio 6” en el menú de la aplicación el usuario observará la siguiente pantalla.

En primer lugar, el usuario deberá pulsar el botón “Comienzo” para iniciar el ejercicio. En caso de querer volver al menú general deberá pulsar “Atrás”.

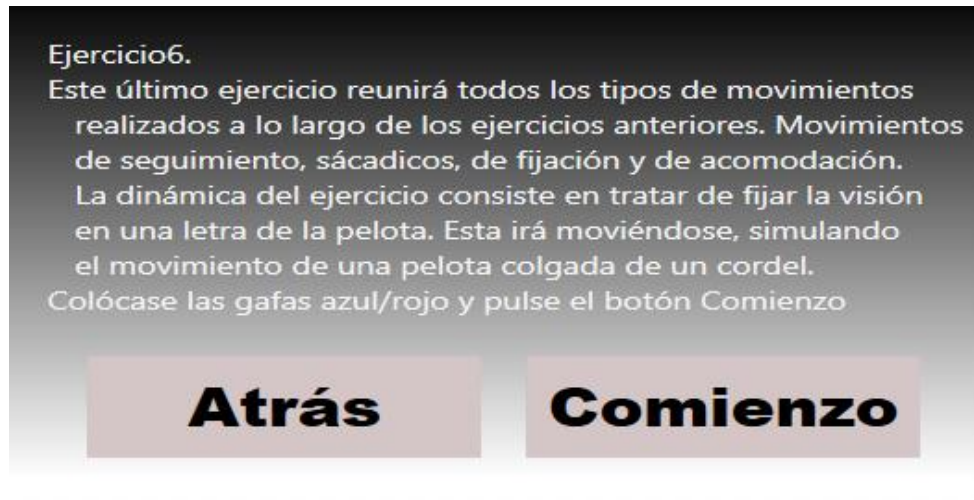


Figura 4.18. Ventana introductoria del ejercicio 6.

Tras la pulsación del botón “Comienzo” se iniciará la ejecución del gif de la pelota de Marsden.

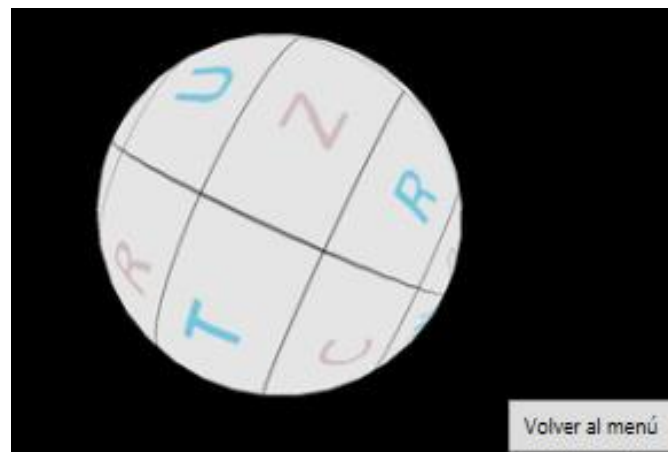


Figura 4.19. Ventana 1 del ejercicio de 6.

En el momento que el usuario quiera finalizar la ejecución del gif se deberá pulsar el botón “Volver al menú”.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

CAPÍTULO 5. ASPECTOS ECONÓMICOS DEL PROYECTO.

5. PRESUPUESTO

Los costes que a continuación se exponen han sido los estimados para el proyecto en cuestión:

5.1. COSTES MATERIALES

Dentro de los cuales incluyen tanto los costes hardware, software y licencias.

Costes Hardware	Ordenador portátil Asus F550C	750 €
	Gafa 3D rojo-azul	2 €
Costes Software	Visual Studio 2017	0 €
	Microsoft Office 365	0€
	Adobe Photoshop C6S	0 €

Tabla 1. Resumen de costes materiales.

*El coste total del software utilizado asciende a cero euros gracias a la licencia gratuita de Microsoft proporcionada por la Universidad de Alcalá de Henares. En cuanto al uso de Adobe Photoshop se ha utilizado una versión gratuita con una caducidad de treinta días.

5.2. COSTES PROFESIONALES

El proyecto ha sido diseñado para que se lleve a cabo en un plazo de dos meses por un solo profesional. Los costes estimados se muestran en la siguiente tabla:

Concepto	Cantidad	Coste / mes	Total
Ingeniería	1	1350 €	2700 €
Escritura	1	700 €	1400 €

Tabla 2. Resumen de costes profesionales.

El coste profesional asciende a un total de 4100 €.

5.3. COSTES TOTALES

El coste total del proyecto estimando un 21% de IVA asciende a:

Costes materiales	752 €
Costes profesionales	4100 €
Subtotal	4852 €
IVA (21%)	1018,92 €
TOTAL	5870,92 €

Tabla 3. Resumen de costes totales.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

CAPÍTULO 6. PLIEGO DE CONDICIONES DEL PROYECTO.

6. PLIEGO DE CONDICIONES

El material hardware y software utilizado para este proyecto posee las siguientes características:

6.1. REQUISITOS HARDWARE

El ordenador utilizado para el desarrollo del proyecto ha sido un portátil Asus F550C con las siguientes características:

COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS
PROCESADOR	Intel® Core™ i7-3537 CPU 2.00GHz
SISTEMA OPERATIVO	Windows 8
RAM	8 GB

Tabla 4. Requisitos hardware.

6.2. REQUISITOS SOFTWARE

Las versiones utilizadas han sido las siguientes:

Software	Versión
Windows	8.0
Microsoft Visual Studio	2017
Microsoft Office 365	2017
Adobe Photoshop	C6S extended

Tabla 5. Requisitos software.

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA.

7. BIBLIOGRAFÍA

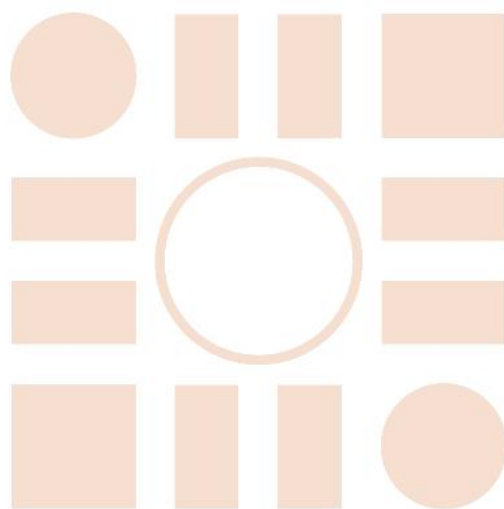
- [1] <https://www.cnoo.es/que-es-un-optico-optometrista>
- [2] <https://kidshealth.org/es/parents/eyes-esp.html>
- [3] <https://optometriapediatrica.es/la-terapia-visual-comportamental-se-diferencia/>
- [4] <https://tuvistasana.com/ninos/vision-binocular-estereopsis/>
- [5] http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272009000600002
- [6] <https://www.federopticos.com/saludvision/optometria-comportamental/>
- [7] <http://www.acotv.org/es/blog/102-terapia-visual-activa>
- [8] <http://neovisual.es/susan-r-barry-terapia-visual/>
- [9] <https://www.msmanuals.com/es-es/hogar/trastornos-oft%C3%A1lmos/biolog%C3%ADa-de-los-ojos/estructura-y-funci%C3%B3n-de-los-ojos>
- [10] <http://iuofisiologia1.blogspot.com/2015/09/mecanismo-de-acomodacion.html>
- [11] https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_visible
- [12] https://guce.oath.com/collectConsent?sessionId=3_cc-session_68a61703-5bfe-48ad-b2cb-f4294674c3f4&lang=&inline=false&jsVersion=null&experiment=null
- [13] <https://www.imo.es/es/desarrollamos-vision-estereoscopica>
- [14] <https://www.xataka.com/otros/historia-del-cine-3d>
- [15] <https://www.xataka.com/otros/cine-en-3d-los-sistemas-que-existen>
- [16] <https://www.barraquer.com/que-tratamos/ambliopia-ojo-vago/>
- [17] <https://icrcat.com/enfermedades-oculares/estrabismo/>
- [18] <http://neovisual.es/ejercicios-terapia-visual-pelota-de-marsden/>

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

- [19] <https://es.slideshare.net/yeseniastillo54966/terapia-visual-1>
- [20] <http://visionparalaaccion.com/circulos-excentricos-po>
- [21] <http://neovisual.es/ejercicios-terapia-visual-el-sinoptoforo/>
- [22] <http://visiontherapysolutions.net/hts-inet/>
- [23] <http://visiontherapysolutions.net/pts-ii/>
- [24] <http://visiontherapysolutions.net/pvt/>
- [25] <http://visiontherapysolutions.net/pts-test/>
- [26] <http://visiontherapysolutions.net/computer-orthoptics/>
- [27] <http://www.svivision.com/>
- [28] https://www.youtube.com/watch?v=MvchBe_uAd8
- [29] http://www.coi-sl.es/software/coi_vision
- [30] <https://www.iristea.es/>
- [31] http://www.acotv.org/media/com_lazypdf/pdf/3.%20Eficacia%20de%20un%20programa%20de%20terapia%20visual.pdf
- [32] www.imo.es
- [33] <https://clbe.wordpress.com/2011/12/19/falta-de-evidencias-sobre-la-terapia-visual-para-el-tratamiento-de-problemas-de-lectura/>

Desarrollo de aplicaciones 3D para terapia visual en estereopsis.

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá