



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Evaluación de la visión binocular tras el uso de
filtros cromáticos.

Autor/es

Ainhoa Conde Rubio

Director/es

Jorge Ares García

Facultad de Ciencias
Grado en Óptica y Optometría
2018/2019

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. FOTOTERAPIA.....	2
1.1.1. La luz y los filtros del Syntonic.....	3
1.1.2. El Sistema Nervioso.....	4
1.1.3. Guías de tratamiento y diagnóstico.....	5
1.2. HABILIDADES BINOCULARES.....	7
1.2.1. Retraso acomodativo.....	7
1.2.2. Vergencias Fusionales Negativas.....	8
1.2.3. Agudeza Visual Estereoscópica.....	9
1.2.4. Relación entre las tres habilidades visuales.....	9
2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	9
3. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	10
3.1. SIDTAV.....	10
3.2. SUJETOS.....	10
3.3. FILTROS UTILIZADOS.....	11
3.4. PROCEDIMIENTO.....	11
3.4.1. Pruebas de inclusión.....	12
3.4.2. Pruebas para el estudio.....	12
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	13
4. RESULTADOS.....	14
4.1. RETRASO ACOMODATIVO.....	14
4.2. VERGENCIAS FUSIONALES NEGATIVAS.....	17
4.3. AGUDEZA VISUAL ESTEREOSCÓPICA.....	19
5. DISCUSIÓN.....	21
5.1. RETRASO ACOMODATIVO.....	21
5.2. VERGENCIAS FUSIONALES NEGATIVAS.....	21
5.3. AGUDEZA VISUAL ESTEREOSCÓPICA.....	22
6. CONCLUSIONES.....	23
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
8. ANEXOS	
ANEXO 1.....	26
ANEXO 2.....	27
ANEXO 3.....	30

1. INTRODUCCIÓN

1.1. FOTOTERAPIA

Siendo la fototerapia Syntonic una técnica que viene aplicándose mucho tiempo atrás son diversas las opiniones que existen aún al respecto. Hay profesionales que, en base a su experiencia clínica, afirman que los efectos obtenidos con la terapia visual se alcanzan con mayor eficacia, velocidad y éxito si ésta se combina adecuadamente con la fototerapia Syntonic.¹ Sin embargo, la ausencia de evidencias científicas sólidas²⁻⁶ no permite a la comunidad optométrica creer en dichos efectos.

Pero ¿qué es realmente la fototerapia?

“Fototerapia” es un término utilizado para todas aquellas técnicas que utilizan diferentes frecuencias de luz, es decir, colores, con fines terapéuticos.⁷

Una extensa investigación a lo largo de los años sobre la luz y sus efectos en el cuerpo humano ha dado lugar a distintas formas de fototerapia como pueden llegar a ser la Helioterapia, la terapia “Spectro-Chrome”, la coloripuntura o la terapia “Syntonics”, siendo esta última en la cual nos centraremos.⁷

La luz y el color han sido utilizados de diversas maneras a lo largo de la historia. El uso de la fototerapia se remonta a la Antigua Roma, Grecia, India y al Antiguo Egipto, donde se empezó a utilizar el color como método curativo.⁷ Los griegos, por ejemplo, construyeron “ciudades solárium” en montañas altas para aprovechar la luz ultravioleta con el fin de curar la tuberculosis, y la luz roja era utilizada para apaciguar los efectos de la viruela.¹

En 1876, Augustus Pleasanton estimuló las glándulas, los órganos y el Sistema Nervioso con luz azul; un año después, con el fin de equilibrar el Sistema Nervioso Autónomo, Seth Pancoast utilizó la luz roja y la azul y en 1878, el doctor Edwin Babbit publicó “*The Principle of Light and Color*”, el cual es considerado un estudio clásico sobre la teoría de los posibles poderes curativos del color.⁸

Dinshah Ghadiali, el creador de la colorterapia “Spectro-Chrome” fue fuertemente influenciado e inspirado por el trabajo de Babbit. Para 1920 y tras 23 años de observación especuló sobre los posibles efectos de los colores sobre la fisiología humana.⁸

La aplicación clínica de frecuencias de luz seleccionadas en la práctica optométrica comenzó a principios de los años 20. H. Riley Spitler teorizó el papel de los ojos en la fototransducción y el poder de la luz y el color en las funciones y el desarrollo biológico.¹ Fue él mismo quien desarrolló un sistema para proporcionar luz coloreada no a varias áreas del cuerpo, sino a los ojos directamente para intentar llevar al Sistema Nervioso a un estado de equilibrio y publicó este método en 1941 en su libro “*The Syntonics Principle*”.⁹ La metodología clínica que desarrolló y nombró *Syntonics*, de la cual habla en su libro, proviene de “sintonía”, de llevar a un equilibrio. Spitler defendía que varias enfermedades fisiológicas, mentales y visuales eran causadas principalmente por desequilibrios en los Sistemas Nervioso y Endocrino y propuso que la aplicación de ciertas frecuencias de luz a través de los ojos podría restablecer un equilibrio en los organismos reguladores del cuerpo y, de este modo, corregir disfunciones visuales desde su origen.¹

Por lo que, en resumen, *Syntonics*, o la fototerapia optométrica, utilizada durante más de 60 años, es la rama de la fototerapia que trata sobre la aplicación de frecuencias de luz visible seleccionadas a través de la vía visual. Numerosas patologías, desde físicas hasta mentales y/o emocionales han sido

tratadas con a este método y las áreas primarias involucradas en esta técnica son el Sistema Nervioso y el Sistema Endocrino.¹⁰ Sin embargo hoy en día no existe ninguna evidencia sólida que respalde la eficacia de su uso.

Dentro de la comunidad del Syntonics encontramos dos corrientes. En primer lugar, está el método ya mencionado, que se trata del método del Dr. Harry Riley Spitler. Este primer método implica el uso del color para tratar ciertas dolencias específicas, especialmente las relacionadas con enfermedades oculares. Esta técnica trata únicamente las enfermedades físicas, centrándose muy poco en las mentales o emocionales. El segundo método, en cambio, se centra en estas últimas. Tanto el Dr. Jacob Liberman como el Dr. Steven Vazquez son dos investigadores que ampliaron el espectro del Syntonics llegando al controvertido campo de la psicología holística.¹⁰

1.1.1. La luz y los filtros del Syntonics

Antes de sumergirnos en los efectos que el Syntonic puede tener o no sobre el cuerpo humano debemos conocer las características de la luz y el color.

Según el Diccionario de la Real Academia Española (2014) color puede definirse como: “*I. M. Fís. Cada una de las siete radiaciones en que se descompone la luz blanca del Sol al atravesar un prisma óptico, es decir, rojo, naranja, amarillo, verde, azul, añil y violeta.*”¹¹

El espectro de luz visible empieza por el violeta a 400 nm (el fotón de mayor energía) hasta el rojo a 780 nm (el fotón de menor energía). Más allá del violeta, en longitudes de onda cada vez más cortas están la luz ultravioleta, los rayos X y la radiación gamma, que contienen enormes cantidades de energía. En dirección contraria encontramos la luz infrarroja y las ondas de radio, con longitudes de onda mayores y con relativamente poca energía.⁸

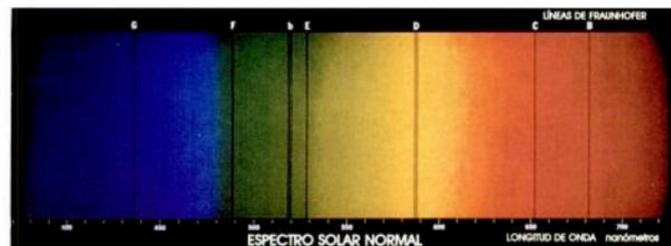


Figura 1: Representación de los colores del espectro visible.¹²

Los filtros utilizados en Syntonics se denominan a partir de letras griegas. Aunque estos filtros pueden tener efectos en todo el cuerpo humano nos centraremos, en esta ocasión, en el efecto que según sus hipótesis pueden producir mayoritariamente en el Sistema Nervioso.

Encontraremos filtros que se tratan de un único color, o, por el contrario, encontraremos filtros en los cuales se combinan varios colores:

FILTRO	EFEECTO TEÓRICO	COLOR
Alfa	Estimulante sensorial	Rojo
Delta	Estimulante motor	Naranja
Mu-Delta	Estimulante motor muy intenso	Amarillo
Mu	Equilibrador	Verde
Úpsilon	Depresor sensorial	Azul
Omega	Depresor motor	Índigo
Omega ⁺	Depresor sensorial intenso	Violeta
Alfa + Delta	Fuerte estimulante	Rojo anaranjado
Mu + Delta	Equilibrador crónico	Color limón
Mu épsilon	Equilibrador agudo	Turquesa
Úpsilon + Omega	Fuerte depresor del dolor	Índigo

Tabla 1: REPRESENTACIÓN DE LOS FILTROS UTILIZADOS EN LA TERAPIA SYNTONIC, SUS HIPÓTETICOS EFECTOS Y COLORES.^{10,13}

1.1.2. El Sistema Nervioso

Como ya hemos dicho, el objetivo principal de la fototerapia Syntonics es llevar al Sistema Nervioso Autónomo a un estado de equilibrio.⁹

El Sistema Nervioso se trata de una red de células y fibras nerviosas que transmite sensaciones al cerebro e impulsos motores a los órganos y músculos. Todo lo que olemos, sentimos, saboreamos, oímos y vemos es transmitido al cerebro a través de las vías nerviosas sensitivas. Esta información es después procesada por el cerebro y la médula espinal, y el mensaje es enviado a través de la vía nerviosa motora para estimular los órganos y músculos con el fin de que éstos respondan.

El Sistema Nervioso se divide en dos subdivisiones anatómicas que son: el Sistema Nervioso Central (SNC) el cual comprende el cerebro y la médula espinal y el Sistema Nervioso Periférico (SNP) que compromete a todos los nervios externos al cerebro y a la médula espinal.

El SNC es el responsable de la integración, coordinación y procesamiento de los datos sensoriales y de las órdenes motoras. Los datos sensoriales transmiten información sobre las condiciones dentro y fuera del cuerpo, las órdenes motoras, en cambio, controlan los movimientos musculares entre otros. El SNC se encarga también de enviar órdenes motoras que permiten el mantenimiento del equilibrio; de no alcanzarlo transmite sensación de mareo o vértigo y es, también, el origen de las funciones superiores del cerebro como son la inteligencia, la memoria, el aprendizaje y las emociones. Por otro lado, el SNP incluye todo el tejido nervioso existente fuera del SNC. Este sistema manda información sensorial al SNC y lleva a cabo las funciones y acciones dirigidas por éste. La división eferente del SNP se divide de nuevo en dos componentes: somático y orgánico o visceral.

En nuestro caso, para estudiar y entender las hipótesis sobre el funcionamiento del Syntonics nos interesa la parte orgánica o visceral del SNP, también llamado Sistema Nervioso Autónomo. Este sistema controla involuntaria y automáticamente la acción de los músculos lisos, los músculos cardíacos y las funciones glandulares.

El Sistema Nervioso Autónomo está a su vez también dividido en dos partes: por un lado, tenemos la rama simpática y por el otro, la parasimpática. El Sistema Nervioso Simpático controla la reacción de lucha o huida del cuerpo ante una situación de estrés. Esto provoca la liberación de un número de reacciones en cascada en todo el cuerpo para prepararlo para la acción física, por ejemplo, la liberación de adrenalina de las glándulas suprarrenales, el aumento de la frecuencia cardíaca y la presión arterial o la vasoconstricción periférica. El Sistema Nervioso Parasimpático lleva, por el contrario, al cuerpo a un estado de reposo. Las sensaciones asociadas a estas respuestas son calma, paz y relajación.

Según los padres de la fototerapia el Sistema Nervioso responde de distinta manera a las frecuencias de luz. La rama simpática muestra una mayor sensibilidad a la parte roja del espectro. Cuando se estimula con luz roja conduce a un aumento de la tensión y genera una situación de excitación. La rama parasimpática, en cambio, es sensible a las frecuencias del azul. El color azul produce relajación y disminuye la ansiedad.¹⁰

Además de encargarse de acciones sistémicas en general, ambas ramas del Sistema Nervioso Autónomo son, también, las encargadas de diversas acciones y funciones del sistema visual.

Dentro de las acciones del Sistema Nervioso Autónomo Simpático sobre el sistema visual describen la dilatación pupilar, el aumento de la secreción lagrimal y la disminución de la acomodación y de la convergencia. A nivel sistémico describen el aumento del pulso, del azúcar en sangre y de la presión arterial. Estas últimas acciones sistémicas se producen a través de la tiroides, la médula suprarrenal, la glándula pituitaria y las gónadas. Al contrario, la activación del Sistema Nervioso Parasimpático contrae las pupilas, disminuye el lagrimeo y aumenta la acomodación y la convergencia. Por otro lado, sistémicamente se encarga de la disminución de los efectos anteriormente mencionados. Las acciones del parasimpático se producen a través de la glándula paratiroidea, la corteza suprarrenal, el tracto digestivo, el hígado, el páncreas y el bazo.¹³

Spitler teorizó que la mayor parte de las disfunciones binoculares y acomodativas se deben a desequilibrios existentes en el Sistema Nervioso Autónomo y que las frecuencias de luz son capaces de restablecer este equilibrio y mantener su papel en la visión y también que, las ramas simpática y parasimpática pueden estar asociadas, de modo que si se estimula la rama simpática se inhibe la rama parasimpática, y viceversa.¹³

1.1.3. Guías de tratamiento y diagnóstico

Con el fin de asegurar un uso correcto y adecuado de los filtros y así evitar efectos perjudiciales sobre las personas que se someten a ellos se han creado guías de diagnóstico y tratamiento.

- Guía de diagnóstico

La fototerapia Syntonics es un procedimiento no invasivo, y, por lo general, los pacientes aptos para su aplicación suelen presentar déficits en la motilidad ocular, acomodación, discriminación visual, binocularidad y habilidades del procesamiento de la información visual, y presentan también constricciones del campo visual.¹

Se prescriben ciertos filtros específicos para ciertas condiciones oculares en particular. El diagnóstico se basa en la historia clínica, en los síntomas presentados y en las medidas clínicas. El éxito del tratamiento es juzgado de manera bastante inespecífica según los cambios en los síntomas, en el

comportamiento (ánimo/actitud, capacidad de adaptación y habilidades sociales y verbales) y en los resultados de las pruebas optométricas.¹

La importancia que el Syntonics le da a la evaluación pupilar y del campo visual a la hora del diagnóstico es lo que diferencia a esta técnica de la rehabilitación visual clásica.¹³ Los optometristas evalúan rutinariamente las pupilas, sobre todo lo respectivo a la diferencia de tamaño, los reflejos directo y consensual y el fenómeno de Marcus-Gunn.

La acción pupilar se evalúa de la siguiente manera: en una habitación en condiciones escotópicas, con el paciente mirando binocularmente a un estímulo colocado para visión lejana se ilumina una de las pupilas con una linterna a unos 8 cm de distancia. Se considera una respuesta normal cuando la pupila se mantiene miótica durante al menos 10 segundos, por lo que cuando la pupila se dilata antes de este tiempo se considera una respuesta anormal. Esta respuesta anómala se relaciona a menudo con campos visuales reducidos y desequilibrios en el Sistema Nervioso Autónomo.¹

Por otro lado, el campo visual es evaluado en varias ocasiones: antes del tratamiento, tras 6-8 sesiones de fototerapia con el fin de controlar el progreso y considerar un cambio de filtro en caso de ser necesario, al final del tratamiento y tres y seis meses después de éste como método de seguimiento. Para evaluar el campo visual se coloca al paciente mirando a un estímulo central mientras se acerca otro estímulo desde zonas periféricas sin visión a zonas con visión. El método utilizado es la campimetría de pantalla tangente. Las constricciones del campo visual suelen deberse por lo general a defectos anatómicos en la retina, en la vía visual o en la corteza cerebral. En la terapia Syntonics, sin embargo, se especula que las constricciones de campo son comúnmente relacionadas con habilidades visuales inadecuadas y un déficit general en el rendimiento y aprendizaje.¹

Por lo que, como hemos dicho, la historia clínica del paciente, las pruebas optométricas y, en especial, la respuesta pupilar y la evaluación del campo visual son utilizados como ayuda en la elección del tratamiento.

- Guía de tratamiento

La experiencia clínica ha proporcionado directrices básicas para la elección de filtros para varios síndromes.¹ Los protocolos de tratamiento casi siempre utilizan una combinación de filtros. Los colores presentes al final del espectro son raramente prescritos en solitario y la mayoría es combinado con el color verde, que lleva a la combinación de colores hacia el centro del espectro.

En el protocolo de tratamiento se enfatizan cuatro combinaciones básicas de filtros, que fueron más tarde redefinidas para cuatro síndromes básicos: “*Acute*”, “*Chronic*”, “*Emotional Fatigue*” y “*Lazy Eye*”.¹³ Cada uno de estos síndromes presenta disfunciones fisiológicas además de patologías o disfunciones oculares:

- “**ACUTE SYNDROME**”: para tratar este síndrome se utilizan los filtros índigo o azul-verdoso y las disfunciones oculares que encontramos en este síndrome y que se tratan con los filtros nombrados son la exoforia, la insuficiencia de convergencia, dolor en la órbita, una mancha ciega aumentada, defectos en el campo visual, deficiencia en los movimientos de seguimiento y respuestas pupilares anormales. También podemos encontrar quienes tratan patologías como conjuntivitis, uveítis, cataratas y degeneración macular, aunque como se ha dicho anteriormente, no existen evidencias de su eficacia.

- “**CHRONIC SYNDROME**”: la combinación de filtros utilizada para este síndrome es el amarillo-verde. Los síntomas que se agrupan para el diagnóstico de este síndrome son la fatiga, astenopia, cefaleas, fotofobia y borrosidad intermitente. En los hallazgos para el diagnóstico también

podemos encontrar constricciones del campo visual, endoforia, refijaciones en las ducciones e insuficiencia acomodativa. El amarillo-verde es a menudo combinado con el índigo-rojo cuando existe una inestabilidad emocional.

- **“EMOTIONAL FATIGUE SYNDROME”**: los síntomas de este síndrome incluyen visión borrosa transitoria, astenopia, alergias, dolores de cabeza y retención de líquidos. Los criterios diagnósticos incluyen: refijaciones en las ducciones, respuesta anómala de la pupila y exoforia debido a la fatiga. Los filtros rubí o índigo-rojo se utilizan en combinación para equilibrar el simpático y parasimpático para el apoyo suprarrenal. Esto se usa generalmente durante 10 minutos, seguido del verde-amarillo. Se le suelen asociar también desequilibrios emocionales y físicos.

- **“LAZY EYE SYNDROME”**: el filtro rojo-naranja se utiliza para actuar como fuerte estimulante del simpático para tratar endotropias o ambliopía. El diagnóstico puede incluir también constricción del campo visual funcional, correspondencia retiniana anómala y fusión débil.

El típico plan de tratamiento requiere sesiones de unos 20 minutos al menos durante tres días consecutivos a la semana con un total de 20 sesiones. Los dispositivos de fototerapia Syntonics utilizan luz blanca dirigida a través de filtros de absorción de color sobre un difusor. El paciente observa un círculo luminoso de luz de unos 50 mm de diámetro a una distancia de unos 50 cm en una sala oscura.¹

Como se ha dicho, la evaluación del progreso se realiza a los 6 u 8 tratamientos y no solo se evalúan los cambios en los campos visuales mediante la técnica antes nombrada, sino que también se evalúan la binocularidad, motilidad ocular, agudeza visual y acomodación y se registran los síntomas presentados.¹

1.2. HABILIDADES BINOCULARES

Se podría definir la visión binocular como la capacidad de fusionar en una única percepción las sensaciones recibidas por cada una de las retinas con el fin de alcanzar estereopsis. Cada ojo recibe imágenes ligeramente distintas de la misma escena y ambas imágenes se transmiten a la corteza cerebral. Para que este proceso se dé correctamente son necesarias ciertas condiciones:¹⁴

- Los campos visuales monoculares de ambos ojos se deben superponer en todas las direcciones de mirada.
- Que exista una coordinación binocular de los movimientos oculares para que se cumpla la primera condición.
- La transmisión neuronal desde los dos ojos debe alcanzar la misma área cerebral para que se produzca la fusión de las imágenes y se produzca la coordinación de la percepción.

A lo que a la visión binocular respecta, nos centraremos en la medida de tres signos de uso en la clínica optométrica: retraso acomodativo en condiciones binoculares, vergencias fusionales negativas y agudeza visual estereoscópica (ambas en visión lejana).

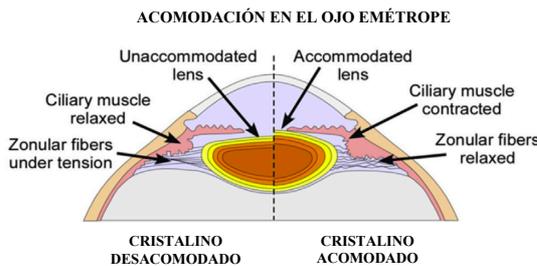
1.2.1. Retraso acomodativo

Para entender y explicar correctamente qué es el retraso o error acomodativo se debe conocer el fenómeno de la acomodación. La acomodación se define como la cualidad del cristalino para modificar su potencia con el fin de que la imagen retiniana permanezca nítida cuando un objeto se desplaza desde una distancia lejana a distintas distancias cercanas.¹⁵

En el proceso de la acomodación se dan varios cambios en la estructura del cristalino para conseguir, como hemos dicho, mantener una imagen retiniana nítida:¹⁶

- 1- Cuando el ojo emétrepe está en un estado de relajación, enfocado para visión lejana, el músculo ciliar está relajado, provocando tensión en los ligamentos de la zónula. Esto hace que el cristalino tome una forma mas plana.
- 2- Al activarse la acomodación el músculo ciliar se contrae, relajando los ligamentos de la zónula y provocando un abombamiento del cristalino. Este abombamiento produce una reducción de los radios de curvatura de las caras del cristalino¹⁵, aumentando así su potencia para poder formar imagen de objetos en visión próxima.

Como resultado de la combinación de estos cambios se produce un aumento en la potencia del cristalino. La potencia que obtiene depende del objeto del que queremos formar imagen.



-Unaccommodated/accommodated lens:
cristalino desacomodado/acomodado

-Ciliary muscle relaxed/contracted:
músculo ciliar relajado/contraído

-Zonular fibers under tension/relaxed:
ligamentos zonulares en tensión/relajados

Figura 2: Representación de los cambios en el cristalino durante la acomodación.¹⁶

La respuesta acomodativa es la acomodación ejercida por el sistema cuando varía la distancia del punto de fijación y el retraso acomodativo es la diferencia entre la respuesta acomodativa y la potencia dióptrica del estímulo.¹⁷ El valor normal para visión próxima (40 cm) se sitúa entre +0,25 D y +0,75 D.

Se conoce que el Sistema Nervioso Autónomo es el implicado en la inervación del proceso de acomodación.¹⁸ Es la rama parasimpática la que domina la dinámica de la respuesta acomodativa.¹⁹

1.2.2. Vergencias Fusionales Negativas

Las vergencias son movimientos disyuntivos donde los dos ojos se desplazan en la misma dirección y en sentido opuesto. Se clasifican en grupos según su dirección. En este caso, las vergencias horizontales son las de mayor interés para nuestro estudio, en concreto, la divergencia. En el proceso de divergencia los ojos abducen, es decir, los ejes visuales divergen entre sí.²⁰

El valor de las vergencias fusionales (o basadas en disparidad) es de importancia clínica, debido a que su uso está ampliamente extendido para determinar el valor de las compensaciones prismáticas necesarias para la existencia de una foria latente, ya que según el Criterio de Sheard las reservas fusionales deben ser el doble que el valor de la foria para ser compensada cómodamente.²¹

Las vergencias fusionales horizontales se dividen en vergencias fusionales positivas o negativas. Las positivas son las que nos dan el valor de convergencia en dioptrías prismáticas (Δ) que es capaz de soportar el sistema visual; y, por el contrario, las vergencias fusionales negativas, las analizadas en este estudio, nos dan el valor de divergencia que es capaz de soportar el sistema visual.²² Existen gran cantidad de estudios^{23,24} sobre los valores medios normales para este tipo de habilidad; en visión lejana están entre 3 y 12 Δ .

1.2.3. Agudeza Visual Estereoscópica Umbral

La Agudeza Visual Estereoscópica Umbral (AVE), cuantifica la calidad del tercer estadio de la visión binocular (la estereopsis), se expresa en segundos de arco ("")¹⁴ y se define como el mínimo ángulo de disparidad binocular relativa que se puede percibir. Desde el punto de vista del espacio objeto, la AVE nos determina la mínima diferencia en profundidad que se puede discriminar entre dos objetos en el espacio guiado únicamente por la estereopsis.

La estereopsis es una tarea compleja para nuestro sistema visual, la cual requiere un funcionamiento muy preciso de las vías motoras y sensoriales. Gracias a la estereopsis obtenemos una sensación vívida de la profundidad y de la disposición de los objetos, que, en la mayoría de los casos, es mayor a lo que obtenemos únicamente a través de señales monoculares.²⁵ Cuanto más bajo es el valor numérico de la AVE, mejor es la estereopsis, ya que tanto la disparidad binocular como la separación angular entre dos puntos para poder ser vistos con profundidad serán menores.²⁶ Se entiende que un sujeto adulto normal debería presentar un valor de AVE del orden de 60" siendo reconocido un valor de 80" como signo de sospecha de que la visión binocular no está funcionando correctamente. En cualquier caso, dicho valor umbral depende del tipo de test empleado para su determinación.²⁷

1.2.4. Relación entre las tres habilidades visuales

Existe una fuerte relación entre las tres habilidades visuales en las cuales se centra el estudio. Entender y conocer estas relaciones será de gran utilidad a la hora de elaborar hipótesis sobre cuáles son los resultados que se espera obtener al utilizar los distintos filtros y, por lo tanto, al estimular las distintas ramas del sistema nervioso.

La acomodación estimula la convergencia y viceversa, debido a la inervación compartida del III par²⁸, de hecho, existen dos índices que relacionan ambas, el índice AC/A y el CA/C. El índice AC/A nos indica el cambio de convergencia (dioptrías prismáticas) que provoca una dioptría de acomodación. Por su parte la razón CA/A nos indica la cantidad de dioptrías que acomodamos por dioptría prismática acomodada.²⁹ Esta relación se define también en la *sincinesis acomodación-convergencia*. Se trata de una combinación de tres procesos: acomodación, convergencia y miosis pupilar, y se debe a que el músculo ciliar del cristalino, el esfínter del iris y los rectos internos comparten, como hemos dicho, inervación del III par.²⁸

Por otro lado, sabemos que la estereopsis depende de la disparidad de fijación, por lo que un cambio en las vergencias es susceptible de provocar un efecto sobre la AVE. Pero no solo eso, la acomodación también afecta directamente sobre ella. La presencia de un estado inadecuado de la acomodación provoca un cambio en las vergencias y este cambio en las vergencias provoca, como se ha dicho, un aumento de la disparidad binocular, haciendo que la AVE sea peor, es decir, aumente su magnitud.²⁶

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo de este estudio es medir si la acción de los filtros de efectos contrapuestos sobre el sistema visual según la teoría de la fototerapia tiene efectos medibles sobre el sistema de visión binocular de una población de estudiantes universitarios típicos.

Tras tratamientos de 3 minutos de duración, evaluaremos los cambios en el retraso acomodativo para 40 cm. Así como los cambios en las vergencias fusionales negativas y en la agudeza visual estereoscópica umbral para visión lejana (VL).

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo, en primer lugar, se ha realizado una revisión bibliográfica de la literatura científica disponible acerca de la fototerapia y de la técnica Syntonics en concreto con el fin de conocer los posibles efectos que ésta tiene sobre el cuerpo humano y sus funciones fisiológicas. Esta búsqueda bibliográfica nos ha permitido seleccionar los filtros cuyo efecto queremos contrastar.

Las herramientas fundamentalmente empleadas para la búsqueda bibliográfica han sido buscadores académicos como PubMed y Google Académico. Las palabras clave utilizadas a lo largo de la búsqueda fueron: “*Syntonic*”, “*fototerapia*”, “*sistema nervioso*”, “*accommodation*”, “*visión binocular*” y “*stereopsis*”.

El hecho de que la información encontrada sobre la fototerapia optométrica o Syntonics sea posiblemente escasa se han tenido en cuenta artículos científicos sobre la fototerapia en general y sobre sus otros métodos de aplicación. Por la misma razón, se han tenido en cuenta todos los artículos científicos encontrados, independientemente de su antigüedad.

Al mismo tiempo que se realizaba la búsqueda bibliográfica se ha llevado a cabo un estudio real a pacientes.

3.1. SIDTAV

Existen numerosos instrumentos para practicar esta técnica, pero el utilizado para este estudio fue el SIDTAV, concretamente, el modelo FGM-02. Este dispositivo permite reducir el tiempo de exposición al tratamiento, y a su vez es programable y fácil de transportar debido a sus reducidas dimensiones y peso. Las dimensiones que presenta este modelo son: 15,50 x 8,00 x 35,50 cm, y es utilizado tanto para terapias en consulta como en casa.³⁰ Como fuente utiliza un conjunto de al menos 3 LEDs de diferentes longitudes de onda (no especificadas por el fabricante), que iluminan en su interior un panel difusor de 3 cm de diámetro.



Figura 3: Instrumento Syntonics Sidtav, modelo FGM-02³⁰

3.2. SUJETOS

La muestra del estudio fueron amigos, conocidos y gente del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Zaragoza que se prestaron voluntarios para ello. Todos ellos fueron convocados vía WhatsApp o hablando directamente con ellos.

El estudio fue realizado durante el mes de julio de 2019 a un total de 39 personas. Los 39 sujetos fueron citados tres días para someterse cada día a un tratamiento distinto. El hecho de no aplicar los tres tratamientos en la misma sesión se debe a que en caso de que el tratamiento causara algún efecto, éste nos afectaría a las mediciones siguientes. Se procuró citar a los pacientes aproximadamente a la misma hora los tres días para intentar disminuir al máximo el posible error provocado por el efecto de las variaciones diurnas que sufre nuestro organismo.

De los 39 pacientes en total 26 fueron mujeres (66,67%) y 13 fueron hombres (33,33%), con una edad media de $23,615 \pm 4,404$. El rango de edad fue de 18 a 38 años. Todos los pacientes firmaron el consentimiento informado que se presenta en el *Anexo I*.

A la hora de la selección de los pacientes existían unos criterios de inclusión que fueron los siguientes:

- Alcanzan $AV_{VL} \geq 0,8$ con cada ojo.
- Manifiestan fusión motora mediante las luces de Worth.

Cabe destacar que un hombre y una mujer fueron excluidos del estudio. En el caso del primero el motivo fue que no cumplía con el primer criterio ($AV_{VL} \geq 0,8$ con cada ojo), y en el caso de la segunda porque no cumplía con el segundo (fusión motora).

3.3. FILTROS UTILIZADOS

Como hemos dicho, para la realización de este estudio se emplearon tres tratamientos distintos. En cada sesión se trataba al paciente con uno de ellos de manera aleatoria durante tres minutos en una sala en condiciones mesópicas. Los filtros utilizados fueron los siguientes:

- **Closer:** la fuente de luz se encuentra apagada, por lo que nos servía como tratamiento placebo.
- **Delta:** como se ha mencionado en la *Tabla 1*, se denomina así a la luz naranja (Led Rojo + Led Verde; con el rojo en mayor proporción). Como hemos dicho, según las hipótesis de la fototerapia, la rama simpática del Sistema Nervioso Autónomo sufre estimulación con las frecuencias cercanas al rojo por lo que podríamos esperar una disminución de la acomodación y de las vergencias.
- **Úpsilon:** hemos visto también en la *Tabla 1* que el color que corresponde a este nombre es el azul (Led Azul). En la teoría del Syntonics se asume que la rama parasimpática es la influenciada por estas frecuencias, por lo que con la aplicación de este tratamiento podríamos esperar un aumento de la acomodación y de la convergencia.

3.4. PROCEDIMIENTO

El método que se utilizó para realizar el estudio fue el de doble ciego. Con este método se garantiza que el examinador sea imparcial y se intenta disminuir el sesgo tanto de los investigadores, como de los pacientes, es decir, según el Diccionario de la Real Academia Española (2014) sesgo puede definirse como: “7. m. *Estad. Error sistemático en el que se puede incurrir cuando al hacer muestreos o ensayos se seleccionan o favorecen unas respuestas frente a otras.*”³¹ Para ello, el orden en la aplicación de los tratamientos fue elegido de manera aleatoria por una tercera persona. De esta manera, tanto el examinador como el paciente desconocían por completo tanto, qué tratamiento se estaba aplicando, como los supuestos efectos de éste durante la medida e incluso durante el análisis estadístico de los resultados obtenidos.

En la primera sesión a cada sujeto se le realizó la evaluación recientemente indicada. Tanto la medida de la agudeza visual (AV) en visión lejana (VL) como la evaluación de la fusión se realizaron con la corrección habitual de los pacientes, en caso de que llevaran. En caso de no cumplir con los criterios no se seguía adelante. Por el contrario, si el sujeto era indicado se continuaba con el estudio.

Una vez realizadas las pruebas para incluir o excluir a los sujetos, se pasaba a la evaluación de las habilidades binoculares que eran de interés para este estudio; retraso acomodativo, vergencias

fusionales negativas (VFN) y agudeza visual estereoscópica (AVE). Estas pruebas fueron también realizadas con la corrección habitual de cada paciente.

Tanto como para las pruebas de inclusión como para las pruebas necesarias para realizar el estudio se utilizó la unidad de evaluación de la función visual “OptoTab Office Polar” (www.smarthings4vision.com). La evaluación del retraso acomodativo fue una excepción ya que se utilizó el autorrefractómetro de campo abierto WAM-5500 (Grand Seiko).

El orden de las pruebas fue relevante; se inició el examen con el análisis del retraso acomodativo y posteriormente se evaluaron las VFN, ya que la acomodación se puede ver afectada al estimular las vergencias a través de la relación CA/C.

Una plantilla como la que se muestra en el *Anexo 2* fue utilizada para anotar los datos obtenidos en las tres sesiones realizadas a cada paciente.

3.4.1. Pruebas de inclusión

- **Medida de la Agudeza Visual**

Se define la agudeza visual como la capacidad de percibir y diferenciar dos estímulos separados por un ángulo determinado, o dicho de otra manera es la capacidad de resolución espacial del sistema visual.³² El optotipo utilizado fue el de Snellen, y se evaluó en primer lugar monocularmente y después binocularmente.

- **Medida de la fusión**

Los ojos reciben imágenes ligeramente diferentes de objetos que están dentro del campo visual binocular y para que se de una fusión de estas imágenes la transmisión neuronal procedente de ambos ojos debe alcanzar la misma área cerebral.¹⁴

Para esta evaluación se siguió utilizando la misma unidad para la evaluación de la función visual. Se realizó el Test de Worth con gafa polarizada circularmente, asegurándonos que existía fusión y descartando supresión de cualquiera de los dos ojos.

3.4.2. Pruebas para el estudio

Se tomaron tres medidas de cada habilidad binocular con la intención de emplear la media entre ellas para el análisis estadístico.

- **Medida del retraso acomodativo**

Como ya se ha dicho, en primer lugar, se evaluaba el retraso acomodativo mediante el autorrefractómetro de campo abierto WAM-5500 (Grand Seiko) con el que se realizaron tres medidas del error refractivo con:

- El estímulo en visión lejana a 5 m (libre de acomodación).
- El estímulo en visión cercana a 40 cm.

La diferencia entre el valor medio en ambos casos será la acomodación ejercida por el sistema visual. En visión cercana, como el estímulo está colocado a 40 cm exige una acomodación de 2,5D, por lo que la diferencia entre este valor y la acomodación ejercida por nuestro paciente será el retraso acomodativo.

- Medida de las vergencias fusionales negativas (VFN)

En segundo lugar, volviendo a utilizar la unidad de evaluación de la función visual se le colocaban al paciente de nuevo las gafas polarizadas circularmente aptas para “OptoTab Office Polar” y se le explicaba el objetivo de la prueba. Se le indicaba que debía intentar mantener, en todo momento, una única imagen en el centro de la pantalla que se encontraba colocada a 4,8 metros. En el momento en el que el paciente indicaba que veía dos imágenes se anotaba el valor de dioptrías prismáticas (Δ) que el propio sistema nos indicaba. Es característico de este instrumento que, con el fin de inducir las vergencias fusionales del sujeto, las disparidades se presentan como vectogramas sobre la pantalla, de esta manera se evita el uso de prismas, pero a su vez se limita la presencia de la disparidad inducida únicamente a la visión central.³³ También se le señaló al paciente que, si en algún momento veía la imagen a un lado u otro de la pantalla, y no en el centro, debía de indicarlo, ya que era una muestra de que estaba suprimiendo la imagen de alguno de los dos ojos.

- Medida de las estereopsis

Una buena agudeza visual estereoscópica es indicadora de un buen estado de la visión binocular. Los tests para esta evaluación presentan una imagen similar para cada ojo, pero desplazadas levemente de manera que estimulan puntos no correspondientes en retina.³⁴ Se utilizó este tipo de test proporcionado por OptoTab utilizado junto con las gafas polarizadas. Se mostraban en la pantalla cuatro mariposas colocadas en rombo y pedíamos al paciente que indicara cuál de las cuatro veía sobresaliendo de la pantalla. Mientras, el examinador le indica a OptoTab si la respuesta es correcta o errónea y el propio instrumento evoluciona modificando el estímulo mostrado hasta alcanzar una medida del valor máximo de estereopsis alcanzado. Se repitió esta medida tres veces cada vez.

Una vez realizadas las pruebas, se procedía a la aplicación del tratamiento. Como se ha indicado anteriormente, el método utilizado fue el de doble ciego, por lo que el aparato estaba programado con antelación, por una tercera persona, para la sesión que le correspondía a cada paciente. Se colocaba al paciente sentado en una silla, con los codos y el instrumento apoyados en la mesa, de manera que estuviese cómodo. En condiciones mesópicas y con la frente apoyada en el instrumento se le daba comienzo al tratamiento. Durante tres minutos el paciente debía estar observando el círculo difusor situado en el interior del instrumento. Éste era del color de la luz Led que lo iluminaba en los casos de los tratamientos *Delta* y *Úpsilon* o de color blanco tenue (debido a la luz que le entraba por la apertura del instrumento) cuando se programaba el tratamiento *Closer*, utilizado para el efecto placebo. En todos los casos, incluso en el caso empleado como placebo, el instrumento avisaba con un tono cuando se alcanzaban los 3 minutos de tratamiento.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Todos los datos obtenidos durante las sesiones a los pacientes fueron registrados en el programa Excel de Microsoft. Los datos de cada paciente se clasificaron en distintos apartados según habilidad binocular, filtro y sesión. Para el análisis estadístico se utilizó “*R Commander*”, una Interfaz Gráfica de Usuario del programa R.³⁵

Todas las variables fueron de tipo cuantitativo, de las cuales se definió su media y desviación estándar para cada medición (2 veces por sesión). Su normalidad se comprobó mediante el test de Shapiro-Wilk. Para comparar los resultados de dos muestras que no seguían una distribución normal ($p < 0,05$) se utilizó el test de Wilcoxon. Fueron considerados estadísticamente significativos los niveles de $p < 0,05$.

4. RESULTADOS

Se muestran tres tablas por cada habilidad binocular examinada. En la primera tabla se representa la estadística descriptiva de cada habilidad binocular antes y después de cada sesión para los tres filtros distintos. En la segunda, en cambio, se muestran el valor de significación (p) obtenido mediante el *Test de Wilcoxon para muestras pareadas* antes y después de cada tratamiento y también la media y la desviación correspondiente a la diferencia de valores. Y en la tercera, y última, se muestran los resultados al comparar, de nuevo con *Wilcoxon*, los efectos de los tres tratamientos de manera emparejada.

En todas las tablas presentadas a continuación, en las que se muestran las representaciones de los resultados estadísticos obtenidos, el número de sujetos será 39 (N=39), excepto para los resultados correspondientes al retraso acomodativo, en los cuales N=38, puesto que las mediciones del paciente 23 no se han tenido en cuenta en este caso por tener sus medidas un comportamiento muy ruidoso.

4.1. RETRASO ACOMODATIVO

	<i>Sesión</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación estándar</i>
CLOSER	Antes	-0,055	1,8833	0,7162	0,4323
	Después	0,115	1,9300	0,6723	0,4086
DELTA	Antes	-0,1383	1,5133	0,6576	0,3944
	Después	-0,04167	1,7217	0,6299	0,3919
ÚPSILON	Antes	0,08833	1,9117	0,7379	0,3585
	Después	0,0200	2,1533	0,7259	0,4092

Tabla 2: REPRESENTACIÓN DE LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA EVALUACIÓN DEL RETRASO ACOMODATIVO ANTES Y DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE LOS TRES FILTROS. Todas las medidas se representan en dioptrías (D).

Los valores negativos presentes en esta *Tabla 2* correspondiente al retraso acomodativo indican un exceso acomodativo.

En las *Figura 4*, *Figura 5* y *Figura 6* se muestran gráficamente los cambios en el retraso acomodativo para cada paciente antes y después de los tres tratamientos.

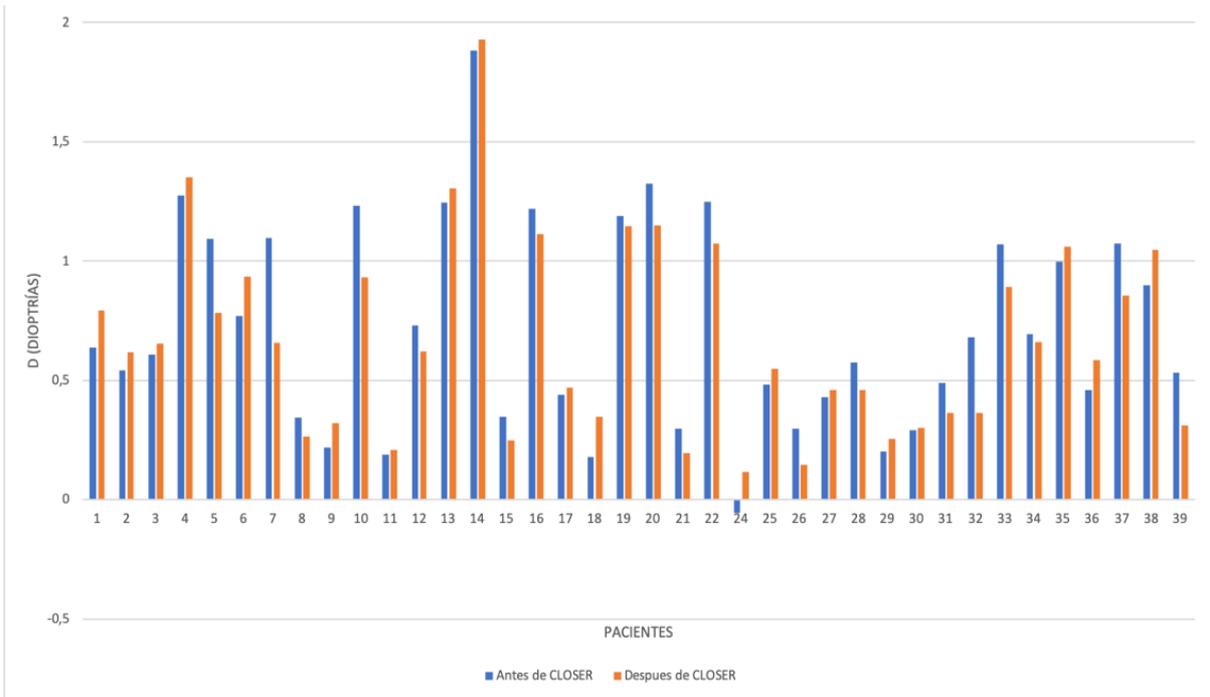


Figura 4: Representación gráfica de los valores del retraso acomodativo antes y después del filtro *Closer*. Se eliminó al paciente 23.

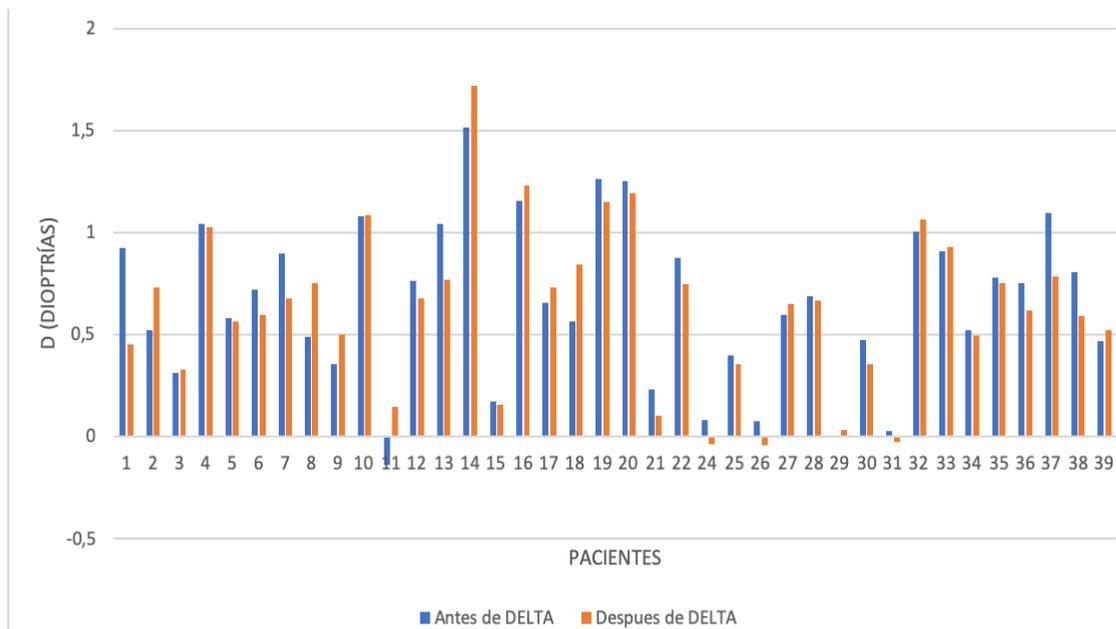


Figura 5: Representación gráfica de los valores del retraso acomodativo antes y después del filtro *Delta*. Se eliminó al paciente 23.

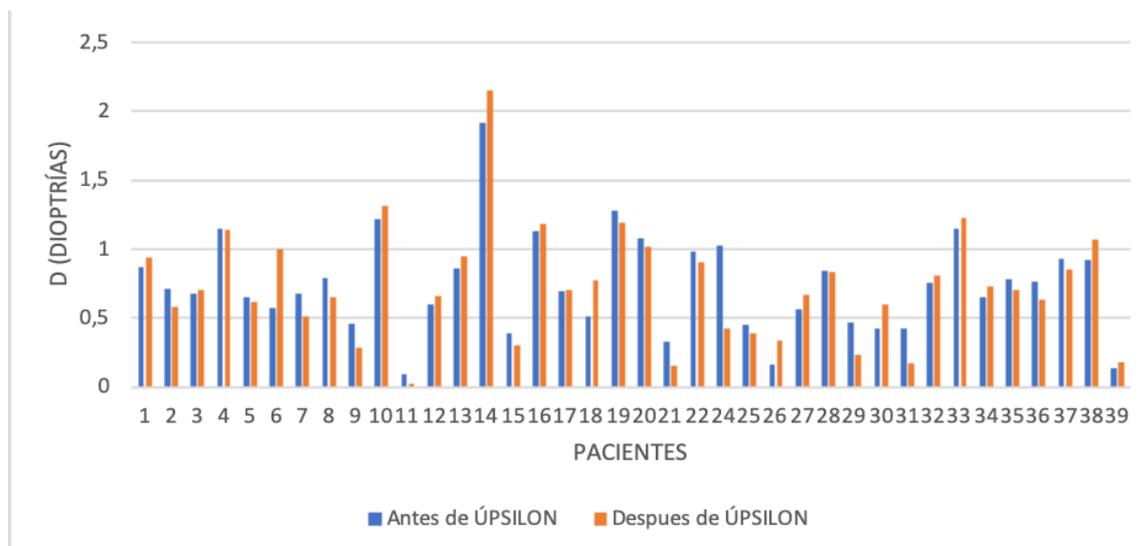


Figura 6: Representación gráfica de los valores del retraso acomodativo antes y después del filtro *Úpsilon*. Se eliminó al paciente 23.

Las muestras no seguían una distribución normal por lo que se procedió a realizar el *Test de Wilcoxon para muestras pareadas*, comparando el antes y después del retraso acomodativo para cada tratamiento.

	<i>p-valor</i>		<i>Media de la diferencia</i>	<i>Desviación estándar</i>
	m<0	m>0		
ANTES – DESPUÉS CLOSER	0,9305	0,07149	-0,025299	0,1550716
ANTES – DESPUÉS DELTA	0,8842	0,1186	-0,04888889	0,206688
ANTES – DESPUÉS ÚPSILON	0,6603	0,345	0,0010256	0,1907705

Tabla 3: REPRESENTACIÓN DEL NIVEL DE SIGNIFICACIÓN (*p*) Y DE LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL VALOR DEL RETRASO ACOMODATIVO ANTES Y DESPUÉS DE CADA TRATAMIENTO. Todas las medidas se representan en dioptrías (*D*).

Como hemos dicho, ninguna muestra sigue una distribución normal, por lo que, se compararon los efectos de los tres tratamientos de manera emparejada mediante el *Test de Wilcoxon para dos muestras independientes*:

	<i>p-valor</i>	
	m<0	m>0
CLOSER - DELTA	0,5627	0,4413
CLOSER – ÚPSILON	0,1231	0,8789
DELTA – ÚPSILON	0,1815	0,8211

Tabla 4: REPRESENTACIÓN DEL NIVEL DE SIGNIFICACIÓN (*p*) MEDIANTE CONTRASTES DE HIPÓTESIS UNILATERALES AL COMPARAR EL EFECTO DE LOS TRES FILTROS EN EL RETRASO ACOMODATIVO.

4.2. VERGENCIAS FUSIONALES NEGATIVAS

	<i>Sesión</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación estándar</i>
CLOSER	Antes	0,50	6,337	2,0748	1,3278
	Después	0,50	6,507	2,1477	1,6137
DELTA	Antes	0,50	6,333	2,1643	1,4432
	Después	0,50	7,503	2,2608	1,5950
ÚPSILON	Antes	0,50	6,340	2,2352	1,4044
	Después	0,50	7,333	2,3316	1,7097

Tabla 5: REPRESENTACIÓN DE LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA EVALUACIÓN DE LAS VFN ANTES Y DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE LOS TRES FILTROS. Todas las medidas se representan en dioptrías prismáticas (Δ).

En las *Figura 7*, *Figura 8* y *Figura 9* se muestran gráficamente los cambios en el retraso acomodativo para cada paciente antes y después de los tres tratamientos.

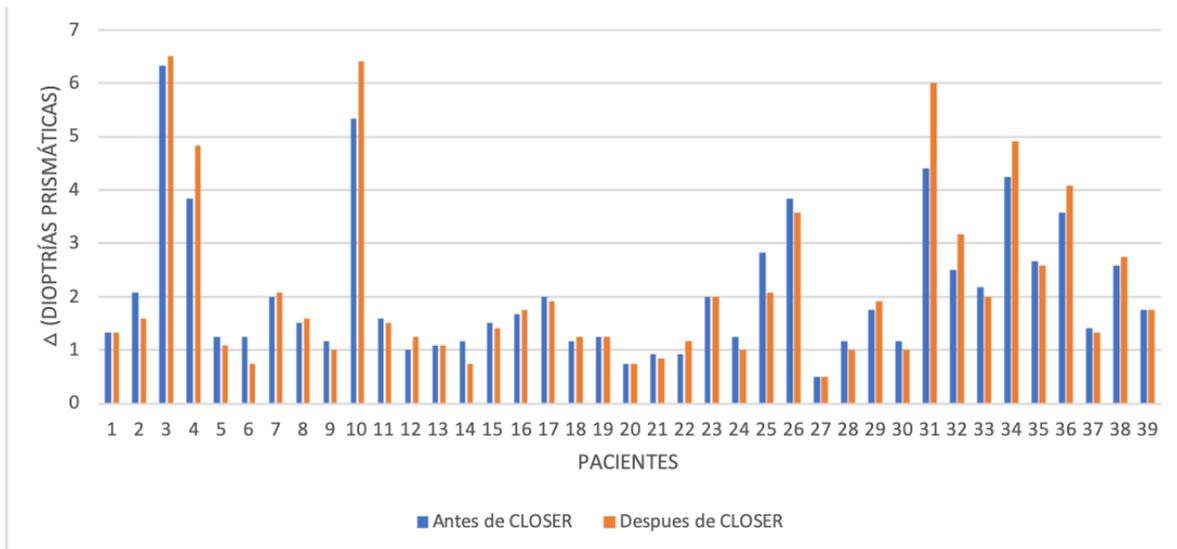


Figura 7: Representación gráfica de los valores de las VFN antes y después del filtro *Closer*.

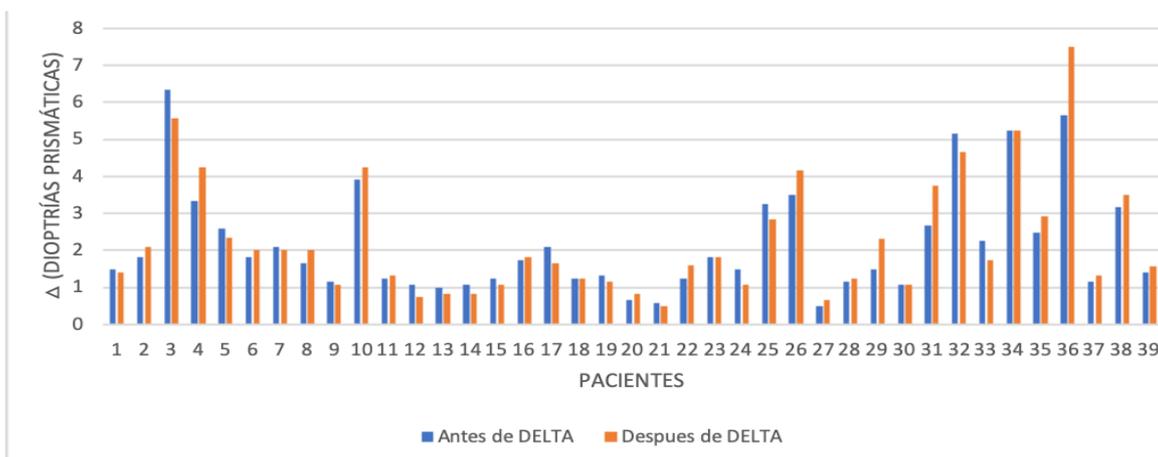


Figura 8: representación gráfica de los valores de las VFN antes y después del filtro *Delta*.

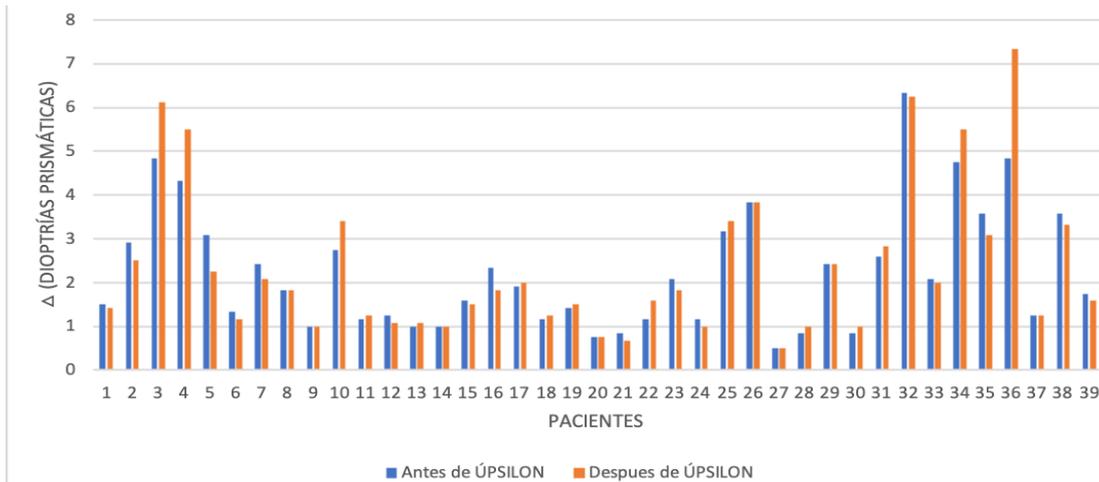


Figura 9: Representación gráfica de los valores de las VFN antes y después del filtro *Úpsilon*.

Las muestras en este caso tampoco seguían una distribución normal por lo que se procedió a realizar el *Test de Wilcoxon para muestras pareadas*, comparando el antes y después de las vergencias fusionales negativas para cada tratamiento.

	<i>p</i> -valor		<i>Media de la diferencia</i>	<i>Desviación estándar</i>
	m<0	m>0		
ANTES – DESPUÉS CLOSER	0,3823	0,6249	0,07290598	0,4412908
ANTES – DESPUÉS DELTA	0,2431	0,762	0,0965812	0,4851445
ANTES – DESPUÉS ÚPSILON	0,5261	0,4813	0,09641026	0,5632816

Tabla 6: REPRESENTACIÓN DEL NIVEL DE SIGNIFICACIÓN (*p*) Y DE LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL VALOR DE LAS VFN ANTES Y DESPUÉS DE CADA TRATAMIENTO.

Todas las medidas se representan en dioptrías prismáticas (Δ).

Como hemos dicho, ninguna muestra sigue una distribución normal, por lo que, se compararon los efectos de los tres tratamientos de manera emparejada mediante el *Test de Wilcoxon para dos muestras independientes*:

	<i>p</i> -valor	
	m<0	m>0
CLOSER – DELTA	0,3591	0,6447
CLOSER – ÚPSILON	0,5757	0,4283
DELTA – ÚPSILON	0,7006	0,3028

Tabla 7: REPRESENTACIÓN DEL NIVEL DE SIGNIFICACIÓN (*p*) MEDIANTE CONTRASTES DE HIPÓTESIS UNILATERALES AL COMPARAR LOS TRES FILTROS.

4.3. AGUDEZA VISUAL ESTEREOSCÓPICA

	<i>Sesión</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación estándar</i>
CLOSER	Antes	11,70	374,97	54,8769	69,6593
	Después	11,70	710,87	58,9573	113,2911
DELTA	Antes	11,70	476,57	59,1846	83,1334
	Después	11,70	453,10	60,0829	81,7048
ÚPSILON	Antes	11,70	390,57	51,6735	65,6084
	Después	11,70	550,73	55,7778	90,2023

Tabla 8: REPRESENTACIÓN DE LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA EVALUACIÓN DE LA AVE ANTES Y DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE LOS TRES FILTROS. Todas las medidas se representan en segundos de arco (“).

En las *Figura 10*, *Figura 11* y *Figura 12* se muestran gráficamente los cambios en el retraso acomodativo para cada paciente antes y después de los tres tratamientos.

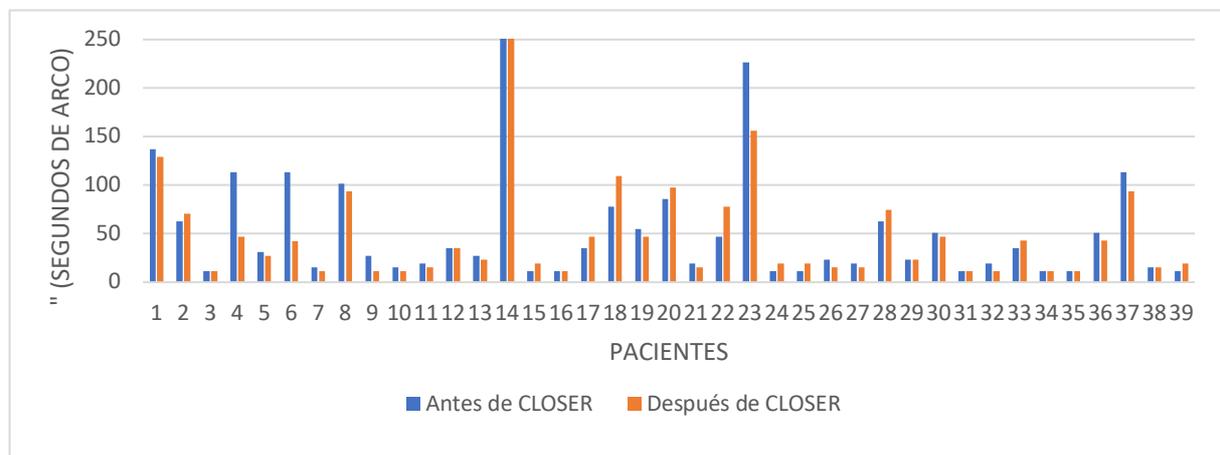


Figura 10: Representación gráfica de los valores de la AVE antes y después del filtro **Closer**. (El valor del AVE del paciente 14 antes del tratamiento era de 374,96” y después de 710,86”, pero se ha cortado para que el resto de los datos se vea bien.)

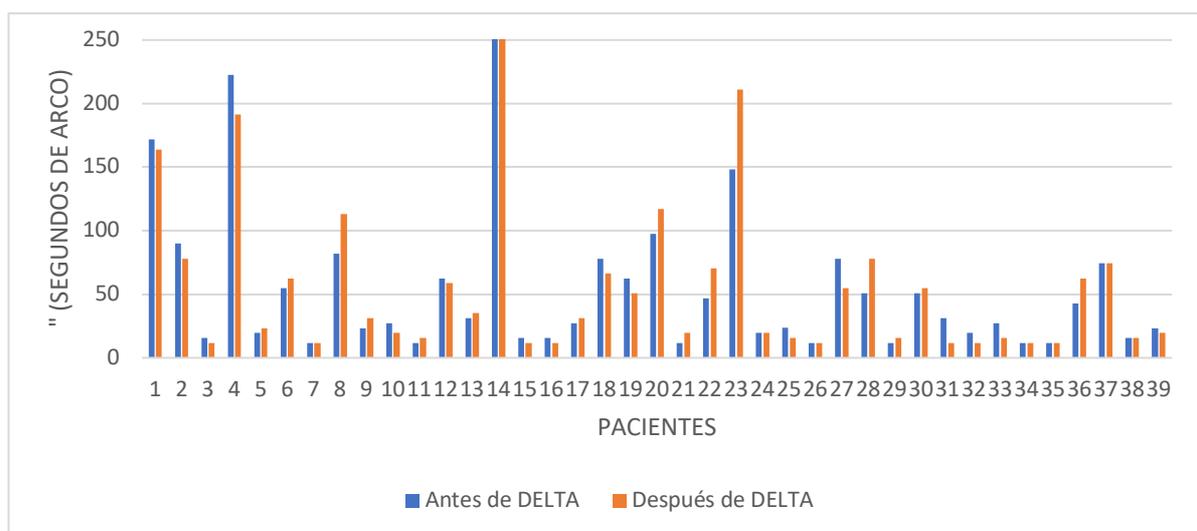


Figura 11: Representación gráfica de los valores de la AVE antes y después del filtro **Delta**. (El valor del AVE del paciente 14 antes del tratamiento era de 476,56” y después de 453,1”, pero se ha cortado para que el resto de los datos se vea bien.)

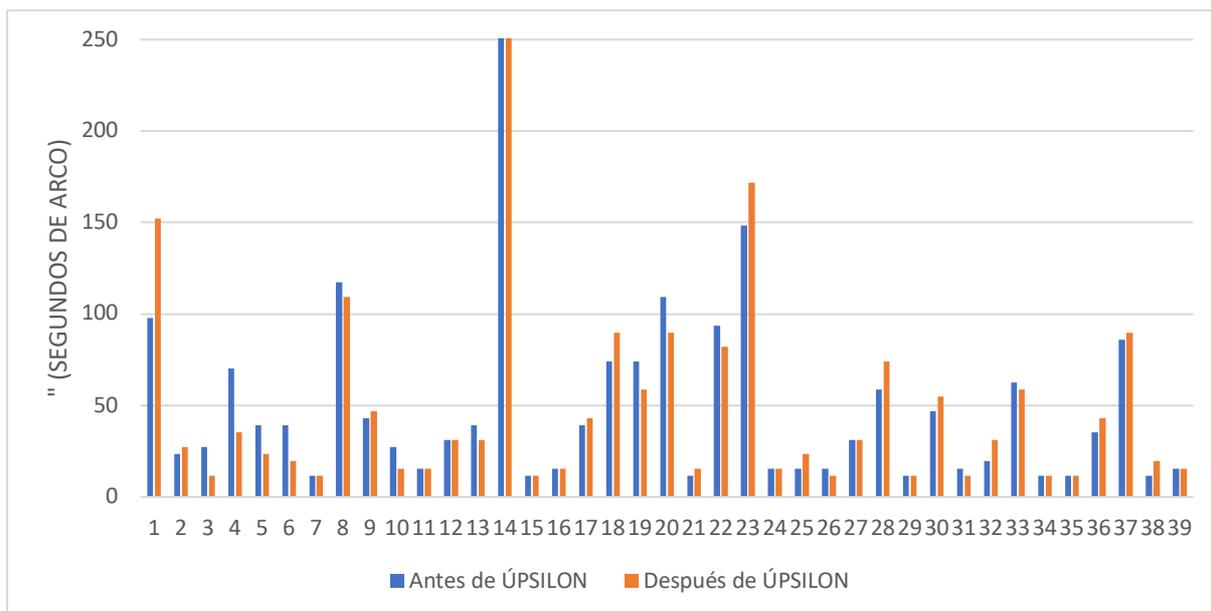


Figura 12: Representación gráfica de los valores de la AVE antes y después del filtro *Úpsilon*. (El valor del AVE del paciente 14 antes del tratamiento era de 390,56" y después de 550,73", pero se ha cortado para que el resto de los datos se vea bien.)

Las medidas de la agudeza visual estereoscópica tampoco seguían una distribución normal por lo que se procedió a realizar el *Test de Wilcoxon para muestras pareadas*, comparando el antes y después de para cada tratamiento.

	<i>p</i> -valor		<i>Media de la diferencia</i>	<i>Desviación estándar</i>
	m<0	m>0		
ANTES – DESPUÉS CLOSER	0,5	0,5078	4,080342	58,59
ANTES – DESPUÉS DELTA	0,6228	0,384	0,8982906	16,63098
ANTES – DESPUÉS ÚPSILON	0,4773	0,5318	4,104274	29,3129

Tabla 9: REPRESENTACIÓN DEL NIVEL DE SIGNIFICACIÓN (*p*) Y DE LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL VALOR DE LA AVE ANTES Y DESPUÉS DE CADA TRATAMIENTO.

Todas las medidas se representan en segundos de arco (").

Una vez más, se podrán comparar las tres muestras de manera emparejada mediante el análisis no paramétrico de Wilcoxon:

	<i>p</i> -valor	
	m<0	m>0
CLOSER – DELTA	0,448	0,5559
CLOSER – ÚPSILON	0,2779	0,7255
DELTA – ÚPSILON	0,4105	0,5934

Tabla 10: REPRESENTACIÓN DEL NIVEL DE SIGNIFICACIÓN (*p*) MEDIANTE CONTRASTES DE HIPÓTESIS UNILATERALES AL COMPARAR LOS TRES FILTROS.

5. DISCUSIÓN

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado ha sido realizar un estudio a una población universitaria normal, con el fin de medir la acción sobre el sistema visual de los filtros con efectos contrapuestos, basándonos en la teoría de la fototerapia.

Para ello se ha realizado un experimento de doble ciego con un total de 39 pacientes que fueron tratados y evaluados con 3 filtros distintos en 3 días diferentes. Uno de los tres tratamientos aplicados fue el *Closer*, en esta condición la fuente de luz se encuentra apagada, sirviéndonos así como tratamiento control para el efecto placebo. Gracias al diseño del experimento se han podido comparar dos filtros con supuestos efectos contrapuestos (*Delta* y *Úpsilon*) con dicho tratamiento placebo.

5.1. RETRASO ACOMODATIVO

Como se extrae de la *Tabla 2*, el valor medio de la medida del retraso acomodativo tras la aplicación del tratamiento *Closer* disminuye un 6,12%, en concreto 0,0439 D respecto a la medida antes del tratamiento. Esta disminución indica que ha habido una menor diferencia entre la demanda y la respuesta acomodativa del paciente tras la aplicación del tratamiento placebo. En segundo lugar, tras la aplicación del filtro *Delta*, con el cual podríamos esperar un aumento del retraso acomodativo por el efecto que produce éste sobre el sistema visual, se observa, por el contrario, una disminución del 4,21% (0,0277 D) respecto a los valores antes del tratamiento. Por último, y tras la aplicación del filtro *Úpsilon*, el cual debería provocar un aumento de la acomodación y, por consiguiente, una disminución del retraso acomodativo se obtiene que el valor medio después del tratamiento aumenta un 1,62%, en total 0,012 D respecto a los valores antes de someterse al tratamiento. Tanto para el filtro *Delta* como para el filtro *Úpsilon* obtenemos numéricamente resultados inversos a los esperados según las hipótesis para ambos tratamientos, y, por tanto, aunque tras los tres tratamientos se presencian cambios en el sistema acomodativo, vemos en la *Tabla 3* que los valores no son estadísticamente significativos (todos los valores de $p > 0,05$) como para considerar que alguno de estos tres filtros tenga, en nuestro caso, un verdadero efecto sobre él.

Al comparar el efecto de cada tratamiento de manera emparejada, basándonos en la *Tabla 3*, vemos que la media de la diferencia después de *Delta* disminuye un total de 0,0235 D respecto a la media de la diferencia después de *Closer*. La media de la diferencia de *Úpsilon*, en cambio, aumenta un total de 0,0263 D respecto a la de *Closer*, y, por último, comparando las medias de las diferencias de los dos tratamientos con supuestos efectos opuestos (*Delta-Úpsilon*) se observa un aumento de 0,0478 D. Clínicamente hablando podríamos, en este caso, considerar como significativos cambios de $\pm 0,25$ D entre un tratamiento a otro; y como vemos, para ninguna de las tres comparaciones se han obtenido estos valores. Por otro lado, estadísticamente hablando vemos que los cambios tampoco son significativos (*Tabla 4*) (todos los valores de $p > 0,05$); incluso cuando comparamos los efectos de dos tratamientos con supuestos efectos opuestos (*Delta-Úpsilon*). Por lo que diríamos, que en nuestro caso y para nuestra población universitaria no se obtienen cambios ni clínica ni estadísticamente significativos ni frente a un tratamiento placebo ni frente a dos tratamientos de hipotéticos efectos contrapuestos a lo que al retraso acomodativo respecta.

5.2. VERGENCIAS FUSIONALES NEGATIVAS

Tras la aplicación de los tres tratamientos se observa un aumento del valor medio respecto a las mediciones antes de ellos (*Tabla 5*). El aumento de este valor es indicador de una mejoría en las vergencias fusionales negativas. Tras la aplicación del filtro *Closer* el valor medio aumenta un 3,51%

(0,0729 Δ), para el filtro Delta el aumento es del 4,46% (0,0965 Δ) y para el filtro *Úpsilon* del 4,31% (0,0965 Δ).

Los valores del efecto producido son clínicamente insignificantes, y a su vez, tras el análisis estadístico se observa, también, que ninguno de estos tratamientos origina cambios con valores significativamente estadísticos (todos los valores de $p > 0,05$) como para considerarlos eficientes en el sistema vergencial (*Tabla 6*). En este caso, además, podrías esperarse un efecto aprendizaje que afectara en las medidas, sin embargo, parece claro que la aleatorización en el orden de la aplicación de los tratamientos ha conseguido controlar dicho sesgo para las comparaciones entre tratamientos.

Por otro lado, comparando los efectos de cada tratamiento de manera emparejada (*Tabla 6*) vemos un aumento en la diferencia entre valores medios de *Closer-Delta* de 0,0237 Δ (*Delta* respecto a *Closer*). En segundo lugar, comparando estos valores medios de la diferencia de *Closer-Úpsilon*, se ha observado un aumento de 0,0235 Δ en los valores de *Úpsilon* respecto a *Closer*, y, por último, al comparar los valores medios de las diferencias de los dos tratamientos con supuestos efectos opuestos (*Delta-Úpsilon*) se observa un aumento de 0,00017 Δ de *Delta* respecto a *Úpsilon*.

Ninguna de estas diferencias tendría consecuencias clínicas para nuestros pacientes, que, a su vez, como vemos también en la *Tabla 7* vuelven a no ser estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos contrapuestos y frente a un tratamiento placebo.

5.3. AGUDEZA VISUAL ESTEREOSCÓPICA

En la evaluación de esta última habilidad visual analizada también se ve un ligero aumento del valor medio antes y después de cada tratamiento (*Tabla 8*). En este caso, un aumento del valor medio nos indica un empeoramiento o disminución de la estereopsis. Los porcentajes de aumento del valor medio son los siguientes: para el filtro *Closer* es del 7,43%, para *Delta* del 1,51% y, por último, para *Úpsilon* del 7,94%. De nuevo, las diferencias obtenidas tampoco son estadísticamente significativas (todos los valores de $p > 0,05$) como para considerar que estos tres tratamientos tienen algún efecto sobre la estereopsis (*Tabla 9*).

Basándonos, esta vez en la *Tabla 9*, se han vuelto a comparar por tercera vez los tres tratamientos de manera emparejada, esta vez para evaluar el efecto sobre la AVE. Vemos que el valor medio de la diferencia de la AVE tras la aplicación del tratamiento *Delta* disminuye 3,18" respecto al valor medio de la diferencia tras la aplicación de *Closer*. Si comparamos el valor medio de la diferencia tras *Closer* con el valor medio de la diferencia tras *Úpsilon* se observa un aumento de 0,024" de *Úpsilon* respecto a *Closer*. Y, por último, al comparar los valores medios de la diferencia tras los tratamientos con supuestos efectos opuestos, que son, como sabemos *Delta* y *Úpsilon*, se obtiene un aumento del valor medio de la diferencia tras *Úpsilon* de 3,21" respecto a *Delta*. Una vez más, basándonos en los datos proporcionados en la *Tabla 10*, tampoco podemos considerar estos cambios estadísticamente significativos.

Son pocos los estudios con los que contrastar nuestros resultados y entre ellos encontramos dos interesantes Trabajos de Fin de Grado recientemente publicados en nuestra Universidad.^{36,37} En uno de ellos³⁶, se estudió la influencia del Syntonics en la amplitud de las vergencias y se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el recobro de las VFN, en la flexibilidad de las vergencias y en el Cover Test para visión próxima (VP) tras la aplicación del tratamiento con supuesto efecto en la estimulación del SN Simpático (*Alpha-Omega* y *Mu-Delta*), y diferencias también estadísticamente significativas tras el tratamiento con supuesto efecto en la estimulación del SN parasimpático (*Mu-*

Úpsilon) en la rotura de las vergencias fusionales positivas en VL y la flexibilidad de vergencias tanto para VL como VP. En el segundo TFG³⁷, se estudió la influencia de la fototerapia Syntonics en la acomodación y en contraste con los resultados obtenidos en nuestro estudio, en éste se obtuvieron valores estadísticamente significativos en la amplitud de acomodación, en la flexibilidad acomodativa binocular y en la flexibilidad acomodativa del ojo derecho tras el tratamiento *Mu-Úpsilon*. Por otra parte, tras la aplicación de *Alpha-Omega* y *Mu-Delta* se obtuvieron cambios estadísticamente significativos en la flexibilidad acomodativa binocular.

Puede parecer que los hallazgos estadísticos en estos estudios en funciones acomodativas o vergenciales contrastan con la inexistencia de estos hallazgos en nuestro estudio. Sin embargo, es importante resaltar que las medidas realizadas en los estudios nombrados se han realizado con diferentes instrumentos a los utilizados en nuestro estudio, y a su vez, los filtros utilizados para los tratamientos fueron también distintos respecto al nuestro. Igualmente, también cabe la posibilidad de que dichos efectos se deban al incremento del azar por la realización de múltiples comparaciones (cuyo efecto no fue descontado en la p) y a un efecto de aprendizaje débilmente compensado por un grupo control de reducidas dimensiones (N=12) frente al grupo tratado (N=30). En cualquier caso, una coincidencia entre los resultados obtenidos en este estudio respecto a los anteriores es la ausencia de significancia clínica en función a la magnitud de las diferencias encontradas.

La fortaleza de nuestro estudio radica en la metodología empleada para evitar que los efectos se vean falseados por el efecto aprendizaje (el número de sujetos, N=39, fue el mismo para todos los tratamientos, incluido el empleado como efecto placebo) y el arrastre entre tratamientos (los diferentes tratamientos fueron hechos en días diferentes siguiendo un orden aleatorio). Por otra parte, para aumentar la potencia de los tests de contraste a la hora de encontrar efectos pequeños, se eligieron únicamente pruebas que demostraran una alta repetitividad entre sesiones (*ver Anexo 3*).

6. CONCLUSIONES

A partir de la revisión bibliográfica y el análisis del estudio realizado se han podido establecer las siguientes conclusiones:

- A pesar de que la fototerapia Syntonics se trata de un procedimiento que se sigue empleando hoy en día en combinación con otros procedimientos de terapia visual, basándonos en los resultados de la revisión bibliográfica, no se ha podido constatar ninguna evidencia sólida sobre la eficacia del Syntonics para el tratamiento de ninguna condición optométrica.
- Basándonos, por otra parte, en el estudio realizado para este TFG tampoco se han obtenido resultados que favorezcan o ayuden a confirmar la existencia de un efecto ni clínica ni estadísticamente importante de la fototerapia Syntonics sobre el retraso acomodativo a 40 cm, las vergencias fusionales negativas o la AVE en una población universitaria normal en una única sesión de tratamiento.
- No obstante, como es evidente, la ausencia de efecto en este experimento no implica la no existencia de algún tipo de efecto para poblaciones con otro tipo de condición o para mayores dosis de tratamiento Syntonics. Por ello, se plantea como trabajo futuro, realizar un estudio a una población más sensible a los tratamientos según la teoría Syntonics, aprovechando la metodología experimental desarrollada en este trabajo.

Finalmente, agradecer a SMT4V por la cesión de la unidad OptoTab Office Polar para la realización de gran parte de las medidas de este estudio, a Silvia Fandos por la cesión del instrumento SidTav, imprescindible para la realización de este estudio, y a Sonia de Andrés (Comité Científico del SIODEC) por su apoyo a esta iniciativa investigadora.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ¹ Gottlieb, R. & Wallace, L. (2001, enero 12). Syntonic Phototherapy. *Journal of Behavioral Optometry*, 12, pp.31-34.
- ² Ingersoll, S., Tillemont, T., Grizard, E., & Stockwell, C. (1999). Syntonics as reading enhancement techniques at the Livingston Developmental Academy. Lectura, Vancouver, Canadá.
- ³ Liberman, J. (1990). *Light Medicine of the Future* (1st ed., p. xxii-90). Rochester, Vermont: Bear & Company.
- ⁴ Hancock, B. (2005, marzo). Syntonic Case Study Strabismus. *Journal of Optometric Phototherapy*, pp. 7-10.
- ⁵ Heinrich, P. (2006, abril). Changes effected in optometric measurements and functional visual fields in athletes by exposure to syntonic stimulation. *Journal of Optometric Phototherapy*, pp. 9-21.
- ⁶ Sociedad Española de Optometría. (2019). *Posicionamiento sobre pseudoterapias en rehabilitación y terapia visual* (pp. 2-7). Madrid.
- ⁷ Heinrich, G. *Literature review*. En A descriptive study to determine the use of light and colour as a healing modality (pp. 1-8). (Máster). Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Johannesburgo.
- ⁸ Cocilovo, A. (1999). Colored Light Therapy: Overview of its History, Theory, Recent Developments and Clinical Applications Combined with Acupuncture. *American Journal of Acupuncture*, 27, pp.72-75.
- ⁹ Bolles, M. (2011, septiembre). The Power of Magenta Light. *Journal of Light*, 1, p.5.
- ¹⁰ Heinrich, G. *Light and Colour Therapy*. En A descriptive study to determine the use of light and colour as a healing modality (pp. 22-91). (Máster). Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Johannesburgo.
- ¹¹ Color. (2019) En el *Diccionario de la Real Academia Española* (23ª ed.). [Consulta: 6 octubre 2019]. Disponible en: <https://dle.rae.es/?w=color>
- ¹² Zelanski, P., & Fisher, M. (2001). *Color* (3ra ed., p. 14). Madrid: H. Blume.
- ¹³ Wallace, L. (2009). The Theory and Practice of Syntonic Phototherapy: A Review. *Optometry & Vision Development*, 40, pp.77-79.
- ¹⁴ Puell, M^a C. *Visión binocular y estereopsis*. En *Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular*. (pp. 215-249). Universidad Complutense de Madrid.
- ¹⁵ Puell, M^a C. *Acomodación y visión próxima*. En *Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular*. (pp. 139-176). Universidad Complutense de Madrid.
- ¹⁶ Donaldson, P. J., Grey, A. C., Heilman, B. M., Lim, J. C. & Vaghefi, E. (2016). The physiological optics of the lens. *Progress in Retinal and Eye Research*, 56, p.e3.
- ¹⁷ Aldaba, M. (2012). *Medida de la respuesta acomodativa con un sistema de doble paso. Aplicación al estudio de la acomodación en función de la edad* (Doctorado). Universitat Politècnica de Catalunya.
- ¹⁸ Gilmartin, B. (1986). A review of the role of sympathetic innervation of The ciliary muscle in ocular accommodation. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 6(1), p.23.
- ¹⁹ McDougal, D. & Gamlin P.. (2015, enero). Autonomic Control of the Eye. *Comprehensive Physiology*, 5, p.455.
- ²⁰ Puell, M^a C. *Motilidad ocular*. En *Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular*. (pp. 188-212). Universidad Complutense de Madrid.

- ²¹ Scheiman, M. (2005). Randomised clinical trial of the effectiveness of base-in prism reading glasses versus placebo reading glasses for symptomatic convergence insufficiency in children. *British Journal of Ophthalmology*, 89, p.1319.
- ²² Antona, B., Barrio, A., Barra, F., Gonzalez, E. & Sanchez, I. (2008). Repeatability and agreement in the measurement of horizontal fusional vergences. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 28, p.475.
- ²³ Daum KM (1991) Vergence amplitude. In: Skridge JB, Amos JF, Bartlett JD (eds) *Clinical procedures in optometry*. Lippincot, Philadelphia, pp 91–98.
- ²⁴ Palomo Alvarez C1, Puell MC, Sánchez-Ramos C. Normal values of distance heterophoria and fusional vergence ranges and effects of age. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2006;244821-4.
- ²⁵ Jiménez, J. R., Rubiño, M., Díaz, J.A., Hita, E. & Jiménez del Barco, L. (2000, agosto). Changes in Stereoscopic Depth Perception Caused by Decentration of Spectacle Lenses. *Optometry and Vision Science*, 77, p.421.
- ²⁶ Sánchez, M. (2014). *Caracterización global de la medida clínica de la estereoagudeza* (Doctorado). Universidad Complutense de Madrid.
- ²⁷ O'Connor, A. y Tidbury, L. (2018). Stereopsis: are we assessing it in enough depth?. *Clinical and Experimental Optometry*, 101, pp. 485-494.
- ²⁸ Martín Herranz, R., & Vecilla Antolínez, G. (2010). Acomodación. En R. Martín Herranz & G. Vecilla Antolínez, *Manual de optometría* (3ra ed., pp. 83-84). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- ²⁹ Puell, M^a C. *La convergencia*. En *Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular*. (pp. 251-268). Universidad Complutense de Madrid.
- ³⁰ Inicio - SIDTAV. [Consulta: 6 octubre 2019]. Disponible en: <http://sidtav.com/>
- ³¹ Sesgo. (2019) En el *Diccionario de la Real Academia Española* (23^a ed.). [Consulta: 13 noviembre 2019]. Disponible en: <https://dle.rae.es/?w=sesgo>
- ³² Martín Herranz, R., & Vecilla Antolínez, G. (2010). Agudeza visual. En R. Martín Herranz & G. Vecilla Antolínez, *Manual de optometría* (3ra ed., p. 3). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- ³³ Tutoriales OptoTab. (2019). [Consulta: 22 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.smarthings4vision.es/soporte/tutoriales/>
- ³⁴ Martín Herranz, R., & Vecilla Antolínez, G. (2010). Exploración del sistema sensorial. En R. Martín Herranz & G. Vecilla Antolínez, *Manual de Optometría* (3ra ed., pp. 481-482). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- ³⁵ Servei d'Estadística. (2018, marzo). *Manual de Introducció a R Commander*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- ³⁶ Razquin, X. (2018). *Influencia del uso de filtros coloreados (fototerapia) en la amplitud de vergencias* (Grado). Universidad de Zaragoza.
- ³⁷ Arbizu, A. (2018). *El efecto de filtros coloreados (fototerapia) en la acomodación* (Grado). Universidad de Zaragoza.

ANEXO 1 – CONSENTIMIENTO INFORMADO

DOCUMENTO DE INFORMACIÓN AL PACIENTE Y CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA TFG

EVALUACIÓN DE LA VISIÓN BINOCULAR TRAS EL USO DE FILTROS CROMÁTICOS

El propósito de esta hoja de información es para que yo, **Ainhoa Conde Rubio**, con DNI **44174070V** proporcione la información necesaria sobre las pruebas y objetivos principales del estudio en el que se va a colaborar,

¿En qué consiste el estudio?

El estudio consiste en la valoración optométrica de tres diferentes parámetros: el *retraso acomodativo*, la *vergencia fusional negativa en visión lejana* y la *agudeza visual estereoscópica (AVE) en visión lejana* antes y después de tres diferentes experiencias visuales.

Las experiencias visuales consisten en la visualización de un estímulo luminoso de diferentes colores durante un tiempo mínimo de 3 minutos.

Para evaluar el retraso acomodativo se empleará el autorrefractómetro de campo abierto WAM-5500 (Grand Seiko) mientras que para la medida de las vergencias fusionales negativas y el AVE se empleará una unidad de evaluación de la función visual OptoTab Office (Smarthings4Vision). Los estímulos luminosos serán generados por una unidad de Sidtav FGM-02 (Sidtab.com).

¿Existe algún riesgo por participar en este estudio?

La evaluación de los mismo es un proceso no invasivo, de duración temporal no superior a 10 minutos y no implica ningún riesgo para el participante.

¿Es obligatoria la participación?

No. La participación en el presente estudio es absolutamente voluntaria.

Los datos y los resultados obtenidos de las pruebas serán empleados exclusivamente para labores docentes o de investigación.

Dándome por informado firmo este documento de información y consentimiento de forma voluntaria para manifestar mi deseo de participar en este estudio de investigación sobre la **“Evaluación de la visión binocular tras el uso de filtros cromáticos”**. Al firmar este consentimiento no renuncio a ninguno de mis derechos.

Nombre y apellidos:

Firma

ANEXO 2 – PLANTILLA HOJA DE RESULTADOS

NOMBRE:

EDAD:

AGUDEZA VISUAL

OD	
OI	
AO	

WORTH:

1ª SESIÓN

FECHA:

ANTES DE SYNTONIC

VFN (Δ)

--	--	--

AVE (")

--	--	--

REFRACCIÓN (PARA RETRASO ACOMODATIVO)

VL: VC:	VL: VC:	VL: VC:
------------	------------	------------

DESPUÉS DE SYNTONIC

VFN (Δ)

--	--	--

AVE (")

--	--	--

REFRACCIÓN (PARA RETRASO ACOMODATIVO)

VL: VC:	VL: VC:	VL: VC:
------------	------------	------------

2ª SESIÓN

FECHA:

ANTES DE SYNTONIC

VFN (Δ)

--	--	--

AVE (")

--	--	--

REFRACCIÓN (PARA RETRASO ACOMODATIVO)

VL: VC:	VL: VC:	VL: VC:
------------	------------	------------

DESPUÉS DE SYNTONIC

VFN (Δ)

--	--	--

AVE (")

--	--	--

REFRACCIÓN (PARA RETRASO ACOMODATIVO)

VL: VC:	VL: VC:	VL: VC:
------------	------------	------------

3ª SESIÓN

FECHA:

ANTES DE SYNTONIC

VFN (Δ)

--	--	--

AVE (")

--	--	--

REFRACCIÓN (PARA RETRASO ACOMODATIVO)

VL: VC:	VL: VC:	VL: VC:
------------	------------	------------

DESPUÉS DE SYNTONIC

VFN (Δ)

--	--	--

AVE (")

--	--	--

REFRACCIÓN (PARA RETRASO ACOMODATIVO)

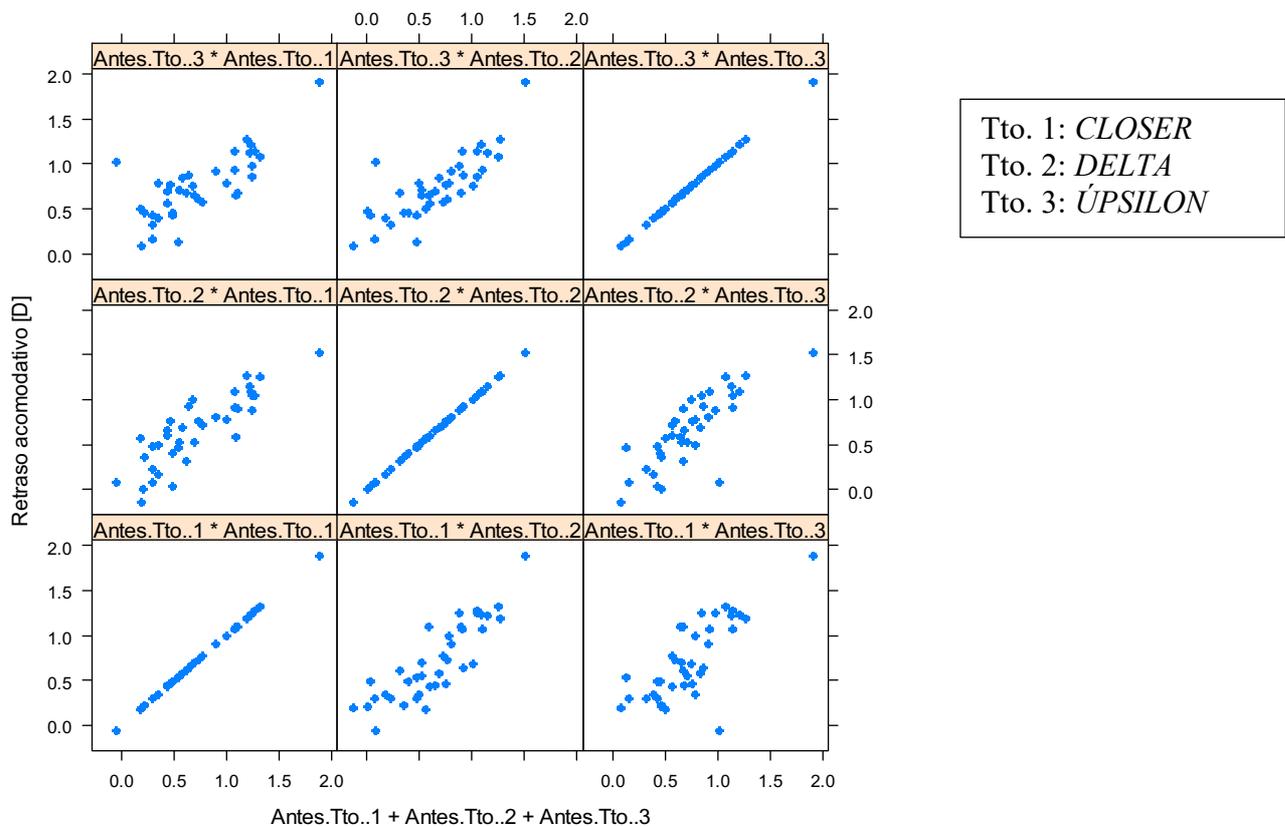
VL: VC:	VL: VC:	VL: VC:
------------	------------	------------

ANEXO 3 – MUESTRA DE LA ALTA REPETITIVIDAD DE LAS MEDIDAS PARA LAS TRES HABILIDADES VISUALES EXAMINADAS

Los altos valores de coeficiente de correlación de Pearson indican que existe una correlación lineal fuerte entre las medidas realizadas sobre cada uno de los pacientes antes de cada tratamiento. Las pendientes que se muestran son cercanas a 1, por lo que se puede estimar una buena concordancia o repetitividad de las medidas.

- RETRASO ACOMODATIVO

Relación entre las medidas antes del tto para diferentes sesiones

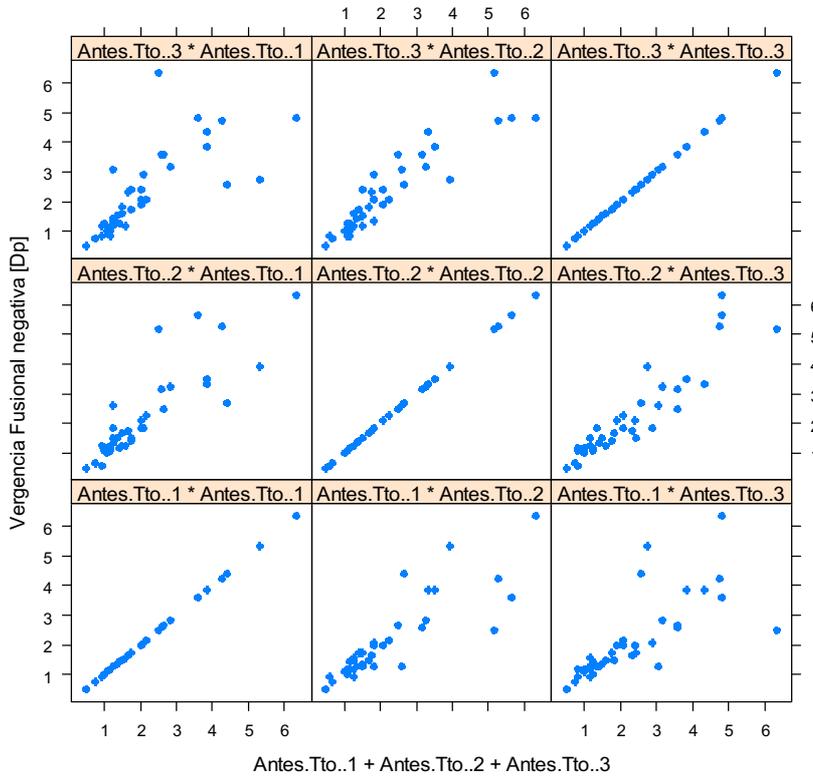


Coeficientes de correlación Lineal de Pearson

	Antes de Closer	Antes de Delta	Antes de Úpsilon
Antes de Closer	1.0000000	0.8589487	0.7604475
Antes de Delta	0.8589487	1.0000000	0.8047806
Antes de Úpsilon	0.7604475	0.8047806	1.0000000

- VERGENCIAS FUSIONALES NEGATIVAS

Relación entre las medidas antes del tto para diferentes sesiones

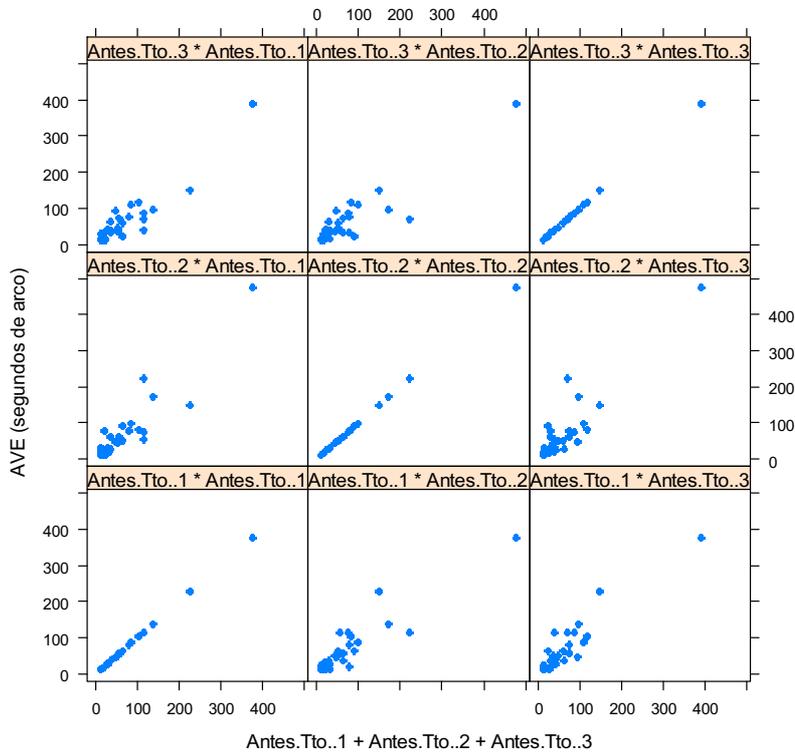


Coefficientes de correlación Lineal de Pearson

	Antes de Closer	Antes de Delta	Antes de Úpsilon
Antes de Closer	1.0000000	0.8581607	0,7476571
Antes de Delta	0.8581607	1.0000000	0.9224477
Antes de Úpsilon	0,7476571	0.9224477	1.0000000

- AGUDEZA VISUAL ESTEREOSCÓPICA

Relación entre las medidas antes del tto para diferentes sesiones



Coefficientes de correlación Lineal de Pearson

	Antes de Closer	Antes de Delta	Antes de Úpsilon
Antes de Closer	1.0000000	0.9220904	0,9359393
Antes de Delta	0.9220904	1.0000000	0.9110875
Antes de Úpsilon	0,9359393	0.9110875	1.0000000