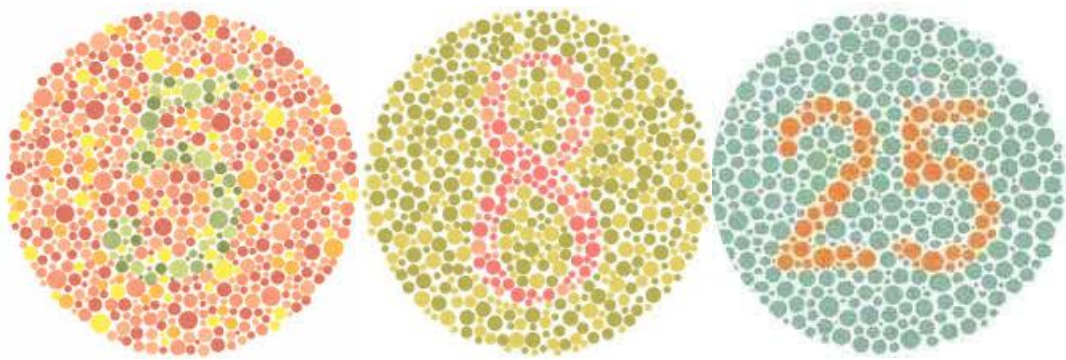




FACULTAD DE FARMACIA. UNIVERSIDAD DE SEVILLA

## Trabajo de Fin de Grado

# USO DE LENTES DE CONTACTO CON FILTRO ROJO COMO AYUDA VISUAL EN ALTERACIONES CROMÁTICAS



NOEMÍ PEREJÓN GÓMEZ

GRADO ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

TUTORA: MARÍA DE GRACIA GARCÍA MARTÍN

# Trabajo de Fin de Grado

## USO DE LENTES DE CONTACTO CON FILTRO ROJO COMO AYUDA VISUAL EN ALTERACIONES CROMÁTICAS



FACULTAD DE FARMACIA. UNIVERSIDAD DE SEVILLA

NOEMÍ PEREJÓN GÓMEZ

GRADO ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

TUTORA: MARÍA DE GRACIA GARCÍA MARTÍN

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ORGÁNICA Y FARMACÉUTICA

*Sevilla, Julio 2020*

# 1. ÍNDICE

1.	RESUMEN .....	4
2.	INTRODUCCIÓN .....	5
3.	OBJETIVOS .....	13
4.	METODOLOGÍA.....	14
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
5.1	Desarrollo de las lentes de contacto tintadas.....	15
5.2	Conceptos básicos .....	16
5.3	Proceso de adaptación de las lentes.....	18
5.4	Funcionamiento de las lentes .....	22
5.5	Discusión de los estudios más relevantes .....	23
6.	CONCLUSIONES .....	33
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	34

## 1. RESUMEN

El daltonismo, en sus diferentes formas, afecta a un 8% de la población masculina y un 0,5% de la población femenina, debida a su herencia cromosómica recesiva ligada al cromosoma X. Es una anomalía visual que consiste en la ceguera total o parcial del color, generalmente por una disfunción congénita de las células encargadas de la recepción del color en la retina, los conos.

Dado que la visión cromática es imprescindible en determinadas profesiones, como la industria alimentaria, el transporte o los cuerpos de seguridad y muy útil para pequeños hábitos de la vida cotidiana, se ha buscado solución desde que Dalton a finales del siglo XVIII descubriera este defecto.

El filtro rojo se ha ofrecido como solución desde los años sesenta, cuando el optometrista Harry Zeltzer inventó las lentes X-Chrom, a raíz de la visita de un paciente que refería mejorar su visión a color anteponiéndose un pequeño trozo de papel de este color.

A raíz de este momento, tanto esta como otras marcas han permitido mejorar la visión cromática para la ceguera rojo-verde, basándose en las diferencias de luminosidad. Usadas en porte monocular, el ojo dominante será el encargado de ver los colores que el paciente percibe normalmente y no dominante de los tonos rojos y verdes, que percibirá como más oscuros.

Tantos las lentes de contacto como las lentes oftálmicas fabricadas basándose en estos principios, producen una mejora transitoria de la visión cromática, permitiendo al observador detectar mayor cantidad de colores, aunque cabe destacar que no es una medida definitiva ni tampoco hay hasta el momento ninguna solución permanente.

Palabras claves: Daltonismo, alteración cromática, filtro rojo, lentes de contacto tintadas, lentes X-Chrom.

## 2. INTRODUCCIÓN

En 1961, el doctor optometrista Harry Zeltzer propuso el primer modelo de lentes de contacto tintadas en rojo, lo que iniciaría un nuevo comienzo en la solución de un problema orgánico que afecta actualmente a un 8% de la población masculina y un 0,5% de la población femenina, el daltonismo (Zeltzer, 2016) (Martín y Vecilla, 2018).

El ojo humano es capaz de percibir más de 8.000 colores en un único nivel de luminancia. En los niveles en los que la visión de los conos es óptima, este valor puede alcanzar los 8-10 millones de matices. La visión de los colores depende de las propiedades de los objetos, de su iluminación, del sistema visual y del procesado por el circuito neuronal entre el ojo y el cerebro. La visión cromática se produce por la estimulación de los conos en visión fotópica y mesópica, mientras que permanece ausente en la visión escotópica (ausencia de luz). Todos estos matices que el ojo es capaz de distinguir pueden explicarse con el modelo de visión tricromática (Martín y Vecilla, 2018).

Según Rojas y Saucedo (2012), desde el punto de vista histológico, la retina se divide en dos partes: neurorretina y epitelio pigmentario. De la neurorretina parte el impulso nervioso provocado por los fotones y produce la sensación de ver. Se le considera parte del sistema nervioso central y está formada por nueve capas. El epitelio pigmentario es la capa resultante de la retina, es una monocapa de células, con importante función en el metabolismo de los fotorreceptores. Las nueve capas que conforman la neurorretina son: capa de conos y bastones, limitante externa, nuclear externa, plexiforme externa, nuclear interna, plexiforme interna, de células ganglionares, de fibras nerviosas y limitante interna, las cuales se observan en la Figura 1, la cual aparece en la referencia citada.

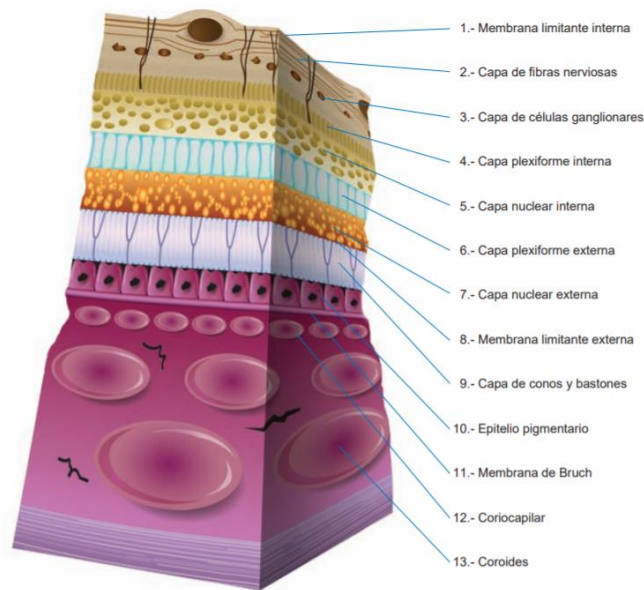


Figura 1. Corte esquemático de la retina, EPR y coriocapilaris (Rojas y Saucedo, 2012).

Son los mismos autores quienes defienden que la función de la retina va más allá de la captura y conversión de las señales luminosas a un patrón de actividad neural. La presencia de numerosas interneuronas asegura que las señales generadas por la luz sean procesadas a través de interacciones neuronales antes de que la información sea llevada al cerebro. El procesamiento visual termina en la corteza. La percepción del color, contraste, profundidad y forma llegan a ser parte de la experiencia consciente en el ser humano. Gracias al sistema visual, el ser humano es capaz de detectar e interpretar estímulos dentro del espectro visible, siendo capaz de responder a longitudes de onda desde 400 a 700 nm, aunque estos límites pueden variar hasta 380 y 780 nm. La visión comienza cuando la energía luminosa atraviesa los medios transparentes y refringentes del ojo y llega a retina. Los fotones estimulan los pigmentos visuales de los segmentos externos de los fotorreceptores (conos y bastones). Los pigmentos excitados disparan la cascada de fototransducción, generando un cambio de potencial de membrana gradual a la intensidad de la luz. Posteriormente, esta información se procesa en paralelo en la red neural. Este procesamiento neural se transmite por las células ganglionares en forma de potenciales de acción de la retina al cerebro y al llegar a la corteza visual se genera la percepción del objeto. Hay dos tipos de fotorreceptores: los conos y los bastones. Los conos tienen forma cónica y contienen un pigmento llamado conopsina. Son los responsables de la visión diurna y hacen que la visión sea más rica en detalles espaciales y temporales y, además, permiten la percepción del color. Los bastones intervienen en la visión en condiciones de luz escasa y son tan sensibles que con la luz del día se saturan y pierden la capacidad de emitir señales.

Tomando de nuevo la referencia anterior y exponiendo su contenido junto a lo descrito por García y Júlvez en 2012, se considera que la retina humana contiene 4-5 millones de conos y 80-110 millones de bastones. Hay solamente un tipo de bastón y tres tipos de conos, que contienen tres tipos de opsinas con diferentes espectros de absorción. Estos conos se denominan L (Long), M (Medium) o S (Short), según la longitud de onda de la radiación que mejor absorben. Los bastones contienen rodopsina, que posee un espectro de absorción entre el de los pigmentos de los conos M y S. En conjunto, las opsinas y la rodopsina son sensibles a las longitudes de onda de entre 400 y 700 nm. La visión cromática requiere todos los tipos de pigmentos, ya que el ser humano es capaz de discriminar los colores en función de la proporción en la que se activan los distintos conos, según la teoría tricromática de Thomas Young, en 1802. La visión a color está condicionada a toda una vía que se origina en los conos y en un tipo de células ganglionares. Cuando los niveles de iluminación son suficientes, los conos captan rayos de luz que se transforman en impresiones ópticas. Cuando un cono absorbe un fotón, genera un impulso eléctrico que emite hacia otras neuronas. Sea cual sea la longitud de onda del fotón, el cono responderá de la misma forma, emitiendo un impulso eléctrico. Esto implica que los conos, considerados individualmente, no pueden transmitir información acerca de cuál es la longitud de onda que los excita, ya que lo único que transmite al sistema nervioso son señales eléctricas. No obstante, los conos no son toda la base de la percepción del color. También hay colores intermedios que no son percibidos por los conos, y se tiene que hacer en las células ganglionares. El daltonismo, deficiencia visual o ceguera del color, es una afección en la cual no se pueden ver los colores de manera normal. Puede ocurrir cuando un tipo o más de conos están ausentes, no funcionan o detectan un color diferente de lo normal. Dentro de esta anomalía, se habla de acromatopsia si solo se percibe un color y se debe a la presencia de un solo tipo de conos.

Para hablar sobre las alteraciones de la visión cromática, se toma como referencia los autores Martín y Vecilla, que publican su trabajo en 2018. Se explica que éstas han sido clasificadas a lo largo del siglo XX, aunque las primeras referencias datan del siglo XVIII con los trabajos de John Dalton (1766-1844), de manera que su nombre ha quedado unido a la clasificación de las alteraciones cromáticas, y se considera un sujeto daltónico aquel que no ve bien los colores. Se diferencian dos grandes categorías: defectos congénitos y adquiridos. Los congénitos suelen ser más estables a la largo de la vida y no tienen por qué estar acompañado de otras patologías y generalmente están ligadas con carácter recesivo al cromosoma X. Además, suelen ser causadas por la ausencia o fallos en los fotopigmentos. La alteración en solo un tipo de fotopigmentos, teniendo los otros dos normales da lugar a tricromatía anómala. En el caso del dicromata, falta la presencia de uno de los tres tipos de pigmentos, siendo los otros dos normales. Si solamente

hay un tipo de pigmento o no hay ninguno, el sujeto se conoce como monocrómata. Los términos protán, deután y tritán son usados para denotar cuál de los tres fotopigmentos es el afectado. Protán se usa para indicar que los conos L están afectados, deután para indicar que son los conos M los que presentan alteración, y tritán hace referencia a la afectación de los conos S. Los defectos protán y deután son descritos conjuntamente como deficiencia rojo-verde, que forman parte de un modelo común de defecto congénito donde se pueden hallar similares confusiones de color. Personas con una deficiencia grave de la visión del color pueden confundir una luz brillante roja con una verde, mientras que personas con una deficiencia ligera al rojo-verde, solamente confunden colores saturados u oscuros. Existen diferencias en la visión de los colores entre un sujeto tricrómata anómalo y uno dicrómata, aunque el color de confusión sea el mismo. Por tanto, es necesario clasificar correctamente cada tipo de alteración en función del número de fotopigmentos afectados y el color confundido. Los tricrómatas necesitan una mayor cantidad de luz del color con el que tienen dificultad para poder percibirlo. Los sujetos con discromatopsia son aquellos en los que uno de los fotopigmentos de los conos está ausente y por tanto, solo pueden utilizar dos colores para realizar las igualaciones de color.

Según dicha bibliografía, se clasifica la discromatopsia en tres grandes grupos:

- Protanopía: se define como el defecto cromático que posee una sensibilidad fotópica para las longitudes de onda largas (rojo). Rojos, naranjas, amarillos y verdes son frecuentemente confundidos. Muestran el pico de luminosidad a 540 nm.
- Deuteranopía: presenta una sensibilidad fotópica prácticamente normal, con una desviación en la posición del mínimo de discriminación en la parte amarilla del espectro que se sitúa a 610 nm. Rojos, naranjas, amarillos y ver son frecuentemente confundidos. Muestran el pico de luminosidad a 560 nm.
- Tritanopía: presenta el espectro de sensibilidad fotópica normal (555 nm) y tienen reducida las longitudes de onda cortas al final del espectro.

Esta clasificación se complementa con la Figura 2, publicada por los mismos autores, donde se muestra el espectro visible. Sobre él se muestran las gráficas que representan la visión en los diferentes tipos de observadores. En líneas discontinuas se muestra la representación de un observador con visión cromática normal para el color en que hay dificultad en cada tipo de anomalía.



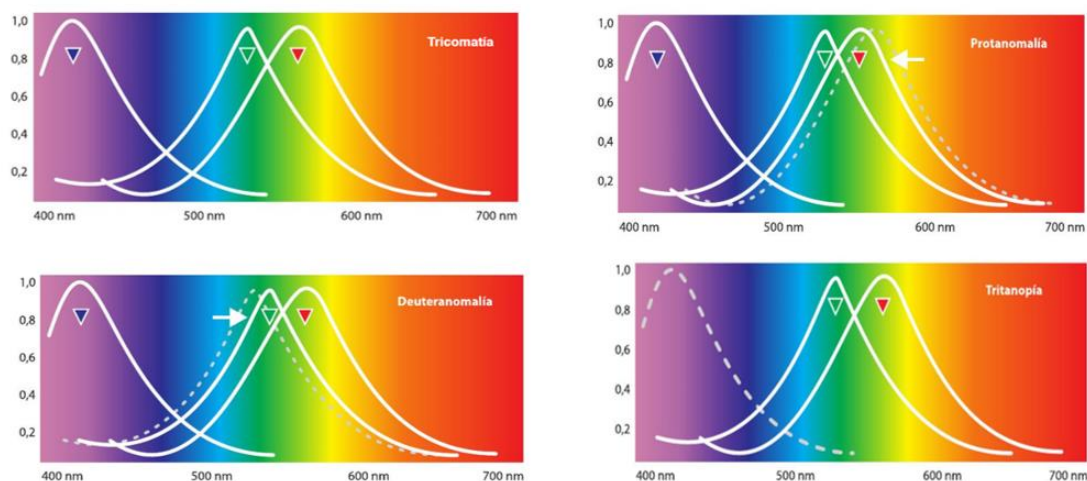


Figura 2. Espectro visible y gráficas de sensibilidad fotópica en personas que presentan tricomatía, protanomalia, deuteranomalia y tritanopía, con los picos de máxima sensibilidad de los tres tipos de fotorreceptores (Martín y Vecilla, 2018).

La forma más frecuente de daltonismo, la ceguera rojo – verde es un defecto que se transmite genéticamente y es sabido que esta percepción se transmite de forma recesiva en el cromosoma X, por lo que Zeltzer hace referencia a ello en el nombre de las lentes, X-Chrom según describe Zeltzer en su manual revisado en 2016 (Zeltzer, 2016).

Para que una mujer presente una deficiencia rojo-verde es necesario que los dos cromosomas X posean el mismo gen que aporta la anomalía. Sin embargo, el hombre solo con poseer el cromosoma X que porte las alteraciones manifestará dicha deficiencia. Esto significa que hay más posibilidades de que la alteración la presente un hombre que una mujer. Cuando la mujer presenta solo un cromosoma X afectado, será portadora de la alteración, pero no la manifestará. Las deficiencias amarillo-azul también presentan cierto componente genético, aunque su comportamiento es diferente que las alteraciones rojo-verde al afectar más a mujeres que a hombres, aunque principalmente serán consecuencia de defectos adquiridos (Martín y Vecilla, 2018).

En la Figura 3 (Aeoptometristas, 2020) se muestra en la parte superior la gama cromática que perciben los observadores con los diferentes tipos de discromatismo, así como el color que no puede percibir. En la parte inferior se muestra una imagen cotidiana representada para los diferentes tipos de visión.

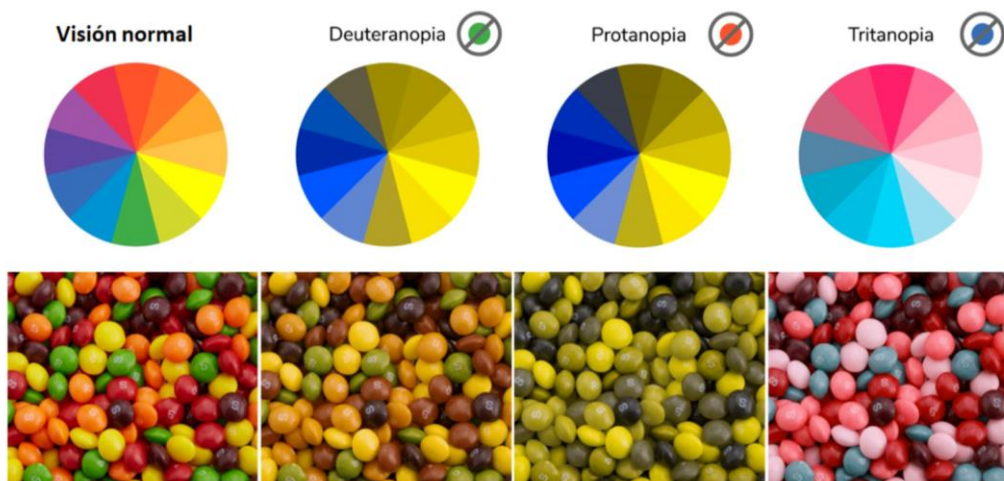


Figura 3. Esquema de la gama de colores que pueden ver los distintos tipos de observadores y extrapolación a una imagen cotidiana (AEOPTOMETRISTAS, 2020).

Siguiendo con la explicación encontrada en la publicación de Martín y Vecilla, las deficiencias adquiridas presentan mayor repercusión en el sujeto, puesto que suelen ser consecuencia de alguna patología ocular o sistémica como el glaucoma, la diabetes, la degeneración macular, Alzheimer, Parkinson, leucemia o anemia falciforme. También puede presentarse tras un traumatismo o como efecto secundario de ciertos fármacos o drogas o la exposición a toxinas químicas. Su detección puede ayudar a un diagnóstico precoz y evitar complicaciones o lesiones en determinados casos. Su clasificación es más compleja por presentarse asociadas a otras alteraciones oculares o poder variar a lo largo del tiempo en función de la evolución de la patología o agente que la ocasionó. De todos modos, cualquier cambio observado en la visión del color es un claro indicador de un defecto adquirido.

Para la detección del daltonismo, se comienza realizando un examen rápido, de unos dos o tres minutos. Ha de ser fácil de entender y realizar por el sujeto, y debe ser también adecuado para niños. Los más comunes son los test que se basan en láminas pseudoisocromáticas, aunque también hay otros test que se basan en la comparación entre dos colores, por ejemplo, entre hilos o botones. Esto permite detectar lesiones congénitas. Lo más común y preciso para la detección de protanopía y deuteranopía son las láminas pseudoisocromáticas de Ishiara, aunque no detecta el defecto tritanope. El test de Ishiara consta de 38 láminas, las 25 primeras representan números, y las 13 restantes caminos y trayectorias. La primera lámina puede ser vista por todos los observadores y se utilizará como demostración para explicar el funcionamiento de la prueba. Las láminas 2-9 representan números visibles por un observador

sin alteración de la visión cromática y por observadores con diferentes deficiencias en la visión del color. Las láminas 10-17 pueden ser vistas por observadores normales, pero no por sujetos con alteración de la visión cromática. Las láminas 18-21 no pueden ser vistas por sujetos con visión cromática normal y sí por observadores con deficiencias en la visión cromática. Las láminas 22-25 permiten distinguir entre deficiencia tipo protán (rojo) y deután (verde). Las láminas 26-38 contienen trayectorias. Se empieza por la 38, siendo ésta de demostración. Las láminas 37-34 pueden ser vistas por cualquier tipo de observador. Las láminas 28-29 solo pueden distinguirlas las personas con alteraciones cromáticas. Las láminas 26 y 27 diferencian entre deficiencia protán y deután (Martín y Vecilla, 2018). Todo esto se encuentra esquematizado en la Figura 4, tomada del artículo de Husain publicado en 2010.

Plate number	Normal	Red-Green Deficiencies			
1	12	12			
2	8	3			
3	6	5			
4	29	70			
5	57	35			
6	5	2			
7	3	5			
8	15	17			
9	74	21			
10	2	Nothing			
11	6	Nothing			
12	97	Nothing			
13	45	Nothing			
14	5	Nothing			
15	7	Nothing			
16	16	Nothing			
17	73	Nothing			
18	Nothing	5			
19	Nothing	2			
20	Nothing	45			
21	Nothing	73			
		<b>Protan Strong</b>	<b>Protan Mild</b>	<b>Deutan Strong</b>	<b>Deutan Mild</b>
22	26	6	(2)6	2	2(6)
23	42	2	(4)2	4	4(2)
24	35	5	(3)5	3	3(5)
25	96	6	(9)6	9	9(6)

Figura 4. Resultados de la evaluación de visión cromática para diferentes tipos de observadores (Husain, 2010).

El test de Farnsworth D15, según la misma fuente, se utiliza para la detección de defectos moderados o graves tipo deután, protán y tritán. Sujetos con defectos leves pasarían la prueba sin ser detectados. Con el test de Farnsworth-Munsell 100, Hue se permite la detección de defectos tipo protán, deután y tritán, caracterizándolos en función del eje de confusión. Fue descrito en 1943 y examina la habilidad para discriminar matices cromáticos. Está compuesto por 84 piezas en las que se mantiene constante la luminancia y saturación, pero el tono varía. El sujeto debe colocar las piezas en orden cromático. Los resultados son trasladados a una gráfica para su posterior interpretación, que quedaría representada en la Figura 5 (Martín y Vecilla, 2018). El examinador cuenta con una gráfica en blanco, donde va anotando manualmente el orden que ha seguido el paciente para ordenar las fichas. En esta Figura se muestran los resultados que se obtendrían para un sujeto con visión cromática normal, con protanopía,

deuteranopía, tritanopía y acromatopsia. El examinador podría, a simple vista, detectar la anomalía que presenta la persona examinada.

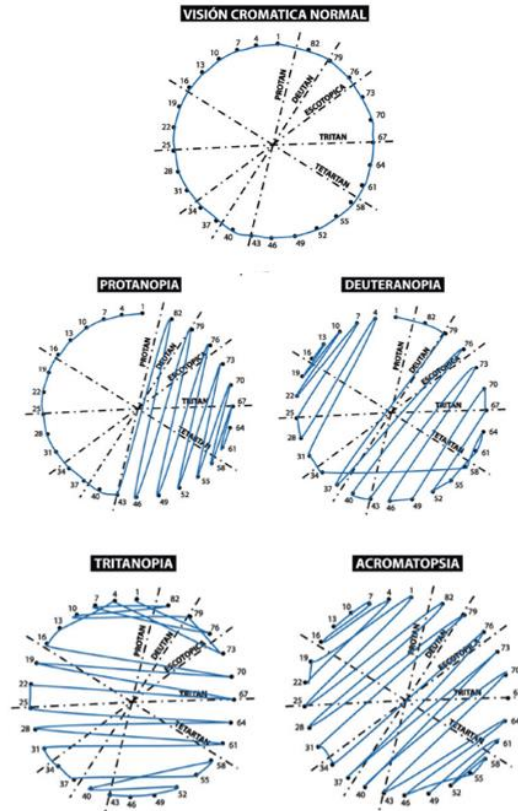


Figura 5. Resultados del Test Farnsworth Munsell para los distintos tipos de observadores (Martín y Vecilla, 2018).

El Anomaloscopio de Nagel (Martín y Vecilla, 2018) es un instrumento también utilizado para la evaluación de visión cromática. Consiste en un espectroscopio de vista Maxwelliana en el que dos mitades de un campo circular bipartido se iluminan por radiación monocromática amarilla (589 nm) y una mezcla de radiación rojo-verde (670 y 546 nm) respectivamente. Un sistema de cortes recíprocos mantiene constante la luminancia de campo con la mezcla de radiación para un rango rojo-verde. El procedimiento de examen se realiza en dos pasos. En el primer paso el observador hace cambios en el rojo y e el verde para ajustar la luminancia con el campo amarillo del test. En el segundo paso, el examinador ajusta el rango rojo-verde y el observador determina si puede hacer una igualación de color cambiando la luminancia del campo del test amarillo. El rango de emparejamiento se registra por los límites de emparejamiento normal para un instrumento particular. Los rangos de emparejamiento de tricrómatas protanómalos y deuteranómalos se encuentran fuera del rango normal de medidas y forman dos distribuciones

separadas. Tricrómatas anómalos necesitan significativamente más luz roja en su mezcla de color y tricrómatas deuteranómalos más verde. La extensión del rango de emparejamiento muestra la gravedad del defecto y la influencia en la sensibilidad de la afectación del ftopigmento.

Hay determinadas profesiones en las que la visión normal del color es esencial. Habitualmente se hace hincapié en la visión normal en industrias como la del transporte. No obstante, también es imprescindible cuando se trabaja con elementos como cables o alambres, donde los profesionales deben ser capaces de distinguir los colores de sus materiales. En otros casos, como en la fabricación de tintes o pigmentos, una percepción anómala del color puede traducirse en errores en el producto final. Otras profesiones como recolector de fruta o vendedor de tickets son directamente dependientes del color. El sector del transporte, la navegación o los servicios de seguridad armados requieren una visión cromática completamente normal, ya que deben ser completamente capaces de distinguir señales, en ocasiones normales, pero también en situaciones no ideales, como niebla, oscuridad o lluvia. Los conductores habituales no suelen tener problema con las señales, y no dependen de una visión cromática perfecta para poder conducir, ya que los colores de las mismas se encuentran generalmente en el mismo orden, o presentan formas determinadas para su adecuado reconocimiento. Todo esto viene recogido en el artículo publicado por Hartenbaum y Stack en 1997.

Por todo ello, a lo largo de la historia de la optometría se han propuesto diversas opciones para la solución de esta deficiencia. La mayor parte se basa en tintes aplicados sobre lentes oftálmicas o lentes de contacto. El filtro más clásico y el primero que se fabricó fue para las lentes X-Chrome. Originalmente se fabricaba en un material rígido y se teñía con un filtro rojo. Se utiliza en porte monocular para mejorar la deuteranopía (Zeltzer, 2016).

### 3. OBJETIVOS

- Revisión bibliográfica sobre los conceptos básicos y el funcionamiento de lentes de contacto con filtro de color rojo en personas que presentan ceguera al color.
- Describir el desarrollo histórico de este tipo de lentes desde su inicio, en la década de los años sesenta del siglo pasado, hasta la actualidad.
- Describir los procesos de adaptación y de exámenes previos necesarios, mediante los estudios más relevantes.

## 4. METODOLOGÍA

El presente trabajo consiste en una revisión bibliográfica sobre el uso de filtros en lentes de contacto como mejora del daltonismo.

Por ello, se ha realizado una búsqueda sistemática en la literatura científica para localizar artículos relacionados con dicho tema desde que fueran creadas, a finales de los años sesenta del siglo pasado por el Doctor Harry Zeltzer, hasta su uso en la actualidad.

Se han buscado artículos relacionados con estudios que corroboren o por el contrario muestren la ineficacia del tintado en estas lentes. Se han empleado motores de búsqueda como Google Scholar o Pubmed para una búsqueda amplia.

En dichas páginas, han sido introducidas diferentes palabras claves que han llevado a una selección concreta de artículos a estudiar.

En primer lugar, los términos introducidos han sido “Red-tinted contact lenses”, “Daltonism Contac lenses” o “red filter in contact lenses”. De esta forma, se ha llegado a la conclusión de que la marca más conocida de lentes tintadas con filtro rojo (y también las primeras) fueron las lentes X-Chrom, que posteriormente pasarían a llamarse Zeltzer X-Chrom. Por tanto, para obtener resultados más específicos se ha introducido el nombre comercial, obteniendo aproximadamente 900 resultados. De todos ellos, se han eliminado patentes y citas, reduciendo la búsqueda a 800 resultados.

Llegados a este punto, los resultados se han filtrado por fecha, haciendo una búsqueda por décadas.

Se han seleccionado los artículos que tenían relación directa con el tema que se pretendía abordar, por lo que finalmente, el número queda reducido hasta aproximadamente quince.

Se ha considerado como criterios de exclusión artículos sin suficiente peso científico, así como aquellos estudios llevados a cabo por la marca original, para encontrar los estudios más objetivos. También han sido excluidos los estudios de menos de diez sujetos.

Finalmente, se han introducido palabras claves como “terapia génica en daltonismo” y se han filtrado los resultados por fecha, tomando los estudios más recientes y también los más relevantes para conocer los últimos avances en este ámbito.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Desarrollo de las lentes de contacto tintadas

El Doctor Zeltzer se graduó en la Universidad de Optometría de Nueva Inglaterra en 1952. Durante 35 años fue optometrista en Waltham, Massachusetts. Durante este tiempo colaboraba con el “Army Research Institute of Environmental Medicine” y participaba en “Helen Keller International Child Sight Program”. Además, se especializó en el tratamiento de las anomalías cromáticas, culminando su carrera con la invención de las lentes X-Chrom (Zeltzer, 2016).

Según Rojas y Saucedo en su publicación de 2012, desde que fueran inventadas a finales de la década de los sesentas, estas lentes han sido la solución a multitud de pacientes con alteraciones del color. Se han presentado desde entonces numerosos cambios en diseño y material, para mejorar su comodidad y apariencia.

Es el propio doctor Zeltzer, quien en su manual revisado de 2016, narra la raíz de estas lentes en los años sesenta, cuando comenzó a indagar en el fenómeno por el cual el cerebro es capaz de integrar dos imágenes diferentes a la vez. Esto le llevó a pensar en cómo este órgano podría asimilar diferentes estímulos cromáticos simultáneos, de forma similar al funcionamiento de las lentes para presbicia. Durante un examen rutinario, llegó a su consulta un paciente de 25 años que refería anomalía cromática de tipo deután. Llevaba un pequeño filtro rojo consigo, que usaba colocándolo delante de un ojo para poder diferenciar los colores que él percibía como iguales. Los tonos verdes los percibía como oscuros, mientras que los más claros correspondían con los rojos. Desempeñaba un empleo en el que constantemente trataba resistencias eléctricas que presentaban diferentes colores y, aunque su técnica generalmente funcionaba, siempre sentía miedo de cometer un error.

Para ayudar a dicho paciente, al doctor Zeltzer se le ocurrió que una lente de contacto con tinte del mismo color que su filtro podría proporcionar resultados semejantes de una forma más eficaz y confortable. Se le realizó un examen ocular completo para ver si era buen candidato para lentes de contacto. Superó el examen y Zeltzer comenzó a desarrollar su propuesta.

El filtro que mejor convierte los colores confundidos en luz y oscuridad para este tipo de daltonismo es el filtro Wratten 25. Paragon Optical hizo unas lentes con un filtro equivalente a éste, pero con luz suficiente para que no afectara a la calidad visual. *Young Contact Lens Laboratory of Boston* fabricó las lentes iniciales. *Art Optical* fabricó las lentes rígidas y *Adventure in Colors* las lentes blandas (Zeltzer, 2016).

Tras la primera prueba, el paciente prefería llevarla en el ojo no dominante. Su agudeza visual disminuyó de 20/20 a 30/20. Era capaz de diferenciar entre rojo, marrón y verde. Mejoró la identificación de los colores y también la interacción forma – contorno, según continúa narrando el autor. En 2008, su nombre cambia a Zeltzer X- Chrom para poder ser registradas y evitar plagios.

## 5.2 Conceptos básicos

El primer modelo de lentes de contacto tintadas con este fin eran lentes rígidas, hechas con poli(metil metacrilato) (PMMA). Las lentes tienen un grosor (aunque varían en función de la potencia de la lente) de aproximadamente 0,23 milímetros, y una zona óptica de 7,6 milímetros. Además, las curvas periféricas propias de las lentes de contacto pueden ser modificadas en función de las necesidades individuales del portador. Cuentan con dos zonas de transmisión (Figura 6., Siegel, 1961) una más pequeña centrada en la transmisión de longitudes de onda en torno a 400 nm y un 10% de transmisión y una zona mayor, que comprende todas las longitudes de onda de entre 560 y 700 nm, conocida como “la zona roja del espectro”. La máxima zona de transmisión se alcanza en 600 nm, con un 80% (Siegel, 1961).

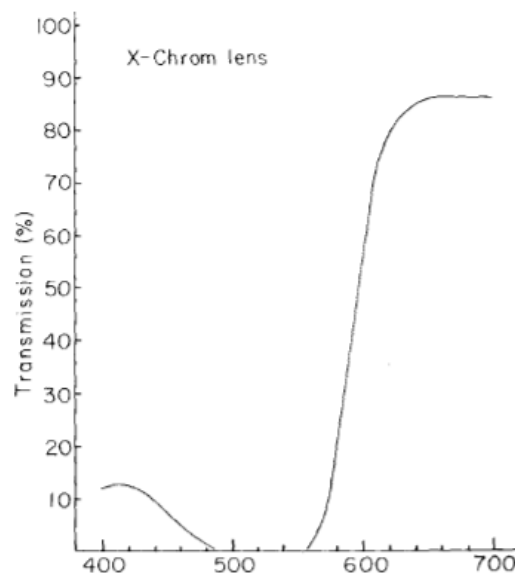


Figura 6. Espectro de transmisión de las lentes X-Chrom en material PMMA ( Siegel, 1961).

A finales de los años 80 del siglo pasado incrementó la popularidad de las lentes de contacto blandas, por lo que se empiezan también las investigaciones de filtros en ellas.



En 1990, se realizó por Gary y Gunderson un estudio comparando las distintas marcas que había en ese momento en el mercado tintadas en rojo, clasificándolas en lentes rígidas y lentes blandas, clasificación que se recoge en la Figura 7, tomada del mismo artículo. Además, se estudió el porcentaje de transmisión en ellas, cuyos resultados se muestran en las Figuras 8 y 9, de nuevo de la misma procedencia bibliográfica.

PMMA	RGP	Soft
Dark ruby red (Art optical)	Alberta II (R) (Procon)	Narcissus (red pupil) (Narcissus Foundation)
Ruby red (Soderberg)	Trans-aire red (Ben-Tech Inc.)	Kontur red 20 (K-21) (Kontur 55 soft lenses)
Rhodalex (Soderberg)		Practitioners choice (red pupil tints from Adventures in Color)
X-chrome (various labs)		

Figura 7. Lentes de contacto con filtro rojo disponibles en 1993, clasificadas en función de su material (Gary y Gunderson, 1993).

Table 2. Total Visible Light Transmission for Rigid Lenses	
Lens Type	% Transmission
Rhodalex	75
Trans-aire	70
Alberta II	37
Ruby red	33
Dark ruby red	31
X-chrome	14

Figura 8. Porcentaje de transmisión en lentes rígidas (Gary y Gunderson, 1993).

Table 3. Total Visible Light Transmission for Red-tinted Soft Lenses	
Lens Type	% Transmission
Kontur 55 (Adventures in Color)	45
Ocuflex 53 (Adventures in Color)	42
Kontur 55 (Kontur)	39
Narcissus (Narcissus Foundation)	24

Figura 9. Porcentaje de transmisión en lentes blandas (Gary y Gunderson, 1993).

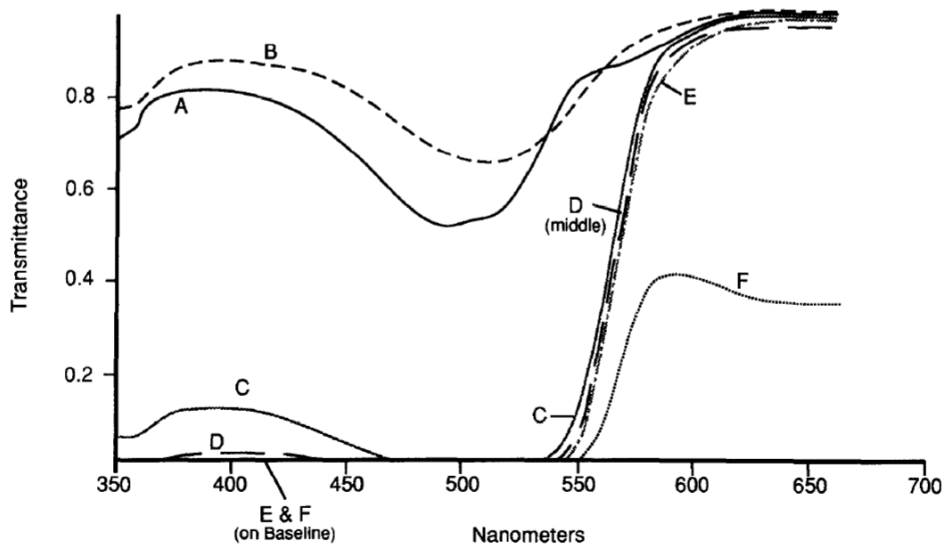


Figure 1. Spectral transmission curves for commercially available red-tinted rigid lenses: (A) Trans-aire (gas permeable); (B) Rhodalux (PMMA); (C) Alberta II (gas permeable); (D) ruby red (PMMA); (E) dark ruby red (PMMA); (F) X-chrome (PMMA).

Figura 10. Espectro de transmisión de las lentes disponibles hasta el momento del estudio (Gary y Gunderson, 1993).

En la Figura 10 (Gary y Gunderson, 1993) se muestran los diferentes espectros de transmisión de las lentes que se estudiaron en ese momento. La línea A representa las lentes rígidas gas permeables. La línea B representa las fabricadas en material PMMA de la marca comercial *Rhodalux*. La línea C es el espectro de transmisión de las lentes Alberta II, mientras que las tres últimas corresponden a lentes de PMMA (*Ruby Red*, *Dark Ruby Red* y *X-Chrome* respectivamente). Las lentes que corresponden con las líneas C, D y E tienen un espectro de transmisión similar, con un pico máximo en aproximadamente 560 nm. Las C y D presentan además una zona de transmisión más pequeña en torno a 400 nm. Las lentes cuyo espectro vienen representadas por las líneas A y B presentan una transmisión más homogénea, que abarca las longitudes de ondas cortas y largas, con un mínimo en torno a los 500 nm. Las lentes X-Chrom tienen su máximo en torno a 580 nm.

### 5.3 Proceso de adaptación de las lentes

La adaptación se hará, al menos, en dos sesiones. En la primera evaluación, según el propio Zeltzer redactaba en 2016, será necesario, al menos, la realización de un examen ocular completo, anamnesis haciendo hincapié en los problemas visuales del paciente, confusiones y problemas que se le presentan, problemas específicos y necesidades. Además, se anotarán los

defectos visuales que hay en la familia, pues, como se ha visto, es un problema genético en la mayoría de los casos. Además, se debe realizar un test diagnóstico que además de evidenciar la deficiencia indique de qué tipo es, ya que estas lentes están dirigidas a las deficiencias de tipo rojo-verde. Para ello se debe utilizar el test de Ishihara, Fransworth Munsell o el Anomaloscopio de Nagel entre otros (Zeltzer, 2016). Es necesario que el paciente indique si usará las lentes de forma diaria o para uso ocupacional. También debe ser determinado el ojo dominante no sensorial y los parámetros específicos de la lente en función de las características anatómicas y refractivas del sujeto, teniendo en cuenta que se debe corregir con +0.25D que compensen la aberración cromática inducida. Algunos de estos aspectos son detallados a continuación.

- Examen ocular completo. El medio más idóneo para explorar el estado de las estructuras oculares es la lámpara de hendidura, con las diferentes técnicas de exploración. Se deben evaluar la córnea (transparente, sin patologías ni alteraciones), el epitelio (no debe presentar roces mecánicos, entre otros), la membrana de Bowman ( si está dañada presenta cicatrices), el estroma (en busca de edemas e infiltrados), la membrana de Descemet (presenta estrías de Vogt en casos de queratocono). También se debe estudiar la película lagrimal (debe ser de buena calidad y en suficiente cantidad), la conjuntiva bulbar (hiperemia, pinguéculas, pterigium...), la conjuntiva tarsal (puede presentar papilas y folículos), los párpados deben ser normales y estar sanos. En las pestañas es importante descartar blefaritis. La presencia de cualquier anomalía que impida la adaptación segura de las lentes de contacto requiere en primer lugar la solución de la misma y, una vez mejorada, se procederá a la adaptación de las lentes (Magnelli y Ferniot, 2014).

- Test diagnóstico de la deficiencia. En función de la edad del paciente se realizarán diferentes procedimientos. En la Figura 11 (Rojas y Saucedo, 2012), se muestra una simplificación de las decisiones a tomar en las distintas situaciones. Si el paciente tiene menos de 12 años se le realiza el test de Ishihara, mientras que si es mayor de 55 se realiza Fransworth D15. Entre 12 y 55 años se pueden realizar ambos test. En la parte superior de la imagen se muestra la toma de decisiones que hay que tomar para determinar a qué pacientes se les debe realizar alguno de los test y a cuáles no sería necesario.

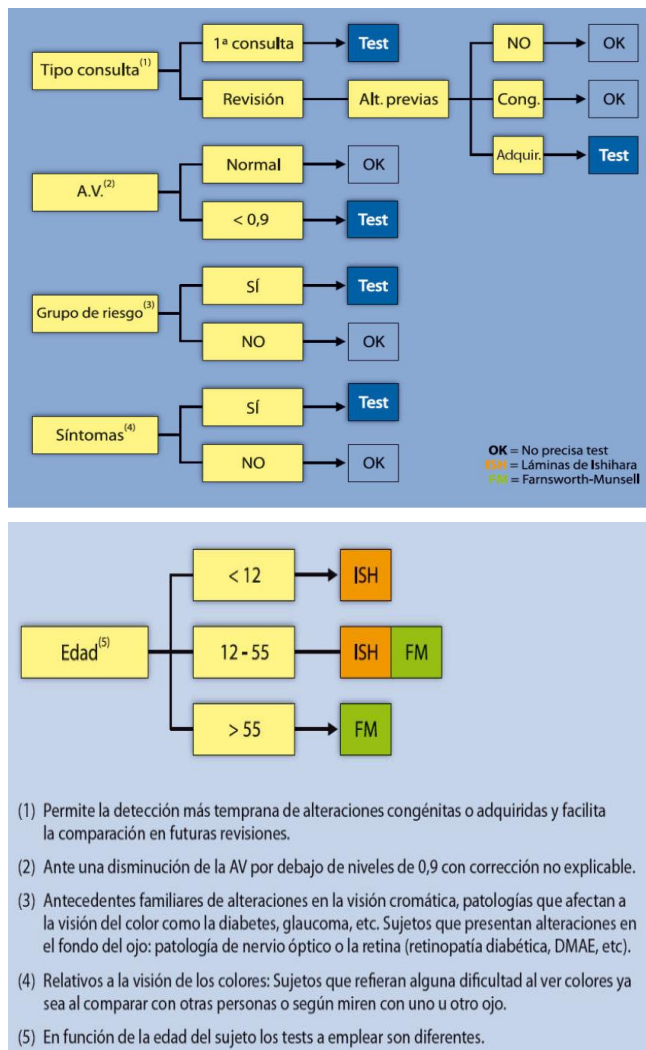


Figura 11. Árbol de decisiones para la exploración de alteraciones cromáticas (Rojas y Saucedo, 2012).

Viabilidad de usar las lentes para uso ocupacional o uso diario. Es necesario en cualquier adaptación conocer las necesidades del paciente para poder determinar de forma correcta la idoneidad del material, reemplazo y uso de las lentes.

- Selección del ojo no dominante sensorial. Para ello, lo más común es colocar una lente de +1.50D de forma alternante en cada uno de los ojos, pidiendo al sujeto que fije la mirada en algún punto concreto. Con el ojo con el que note mayor borrosidad al tener la lente interpuesta, será el ojo dominante sensorial.

- Determinación de los parámetros de prueba para las lentes. Una vez seleccionado como buen candidato a la adaptación, es necesario determinar los parámetros y características que mejor se adapten al paciente, en función de su topografía corneal y necesidades específicas. Normalmente los fabricantes editan y suministran una guía propia que suele servir de referencia

o punto de partida en el proceso de adaptación. No obstante, se propone a continuación una metodología para adaptar lentes blandas. En primer lugar, el diámetro de la lente tiene que ser 2 mm superior al diámetro corneal, siendo el diámetro estándar de las lentes blandas 14 mm, aunque pueden estar indicados diámetros desde 12,50 hasta 14 mm. El diámetro de la zona óptica posterior viene determinado por la geometría de la lente y es muy difícil modificar su relación si durante la adaptación surge algún problema (Martín Herranz, 2005).

El mismo autor defiende que el parámetro fundamental para que la adaptación sea exitosa es el radio base o radio de la zona óptica posterior. Como norma general, el radio de la lente siempre es más abierto que K (radio queratométrico más plano). Cuando se selecciona una lente de diámetro de 14 mm, se recomienda que el radio base sea entre 0,6 y 1,00 mm más abierto que K. En diámetros menores, será preciso abrir menos, por ejemplo, para diámetros de 13,50 mm se podrá abrir entre 0,4 y 0,6 mm, mientras que en diámetros mayores, por ejemplo de 14,50 mm, se abrirá entre 1,00 y 1,20 mm. Algunos autores recomiendan abrir 1,00 mm sobre K media (media de los dos radios queratométricos). La modificación final del radio base se hará en función de la evaluación dinámica y estática de la adaptación. Es importante asegurarse de que la lente no ha quedado excesivamente cerrada o ajustada sobre la superficie ocular, puesto que provocará complicaciones a medio y largo plazo que pueden llegar a comprometer el éxito de la adaptación e incluso la visión del sujeto.

Según Magnelli y Ferniot y su publicación realizada en 2014, la estrategia de adaptación es diferente en el caso de escoger lentes rígidas, y suele ser más empírica que teórica. Existen tres modalidades de adaptación: paralela, ajustada y aplanada. La diferencia entre ellas es el radio base elegido, en función de los radios queratométricos. Se puede elegir el radio más plano, el más curvo, o el radio medio. El diámetro puede ser fabricado desde los 7 mm hasta los 13 mm, y en pasos de 0,1 mm. La potencia se calculará en función del defecto refractivo del paciente, la distancia al vértice y, a diferencia de las lentes blandas, del menisco lagrimal formado entre la lente y la córnea, que deberá ser compensado.

Continuando con el orden del doctor Zeltzer, en la segunda visita, se realiza la adaptación de las lentes de prueba. Es importante ver si la adaptación es óptima, el movimiento al parpadear es suficiente para el intercambio lagrimal, pero sin ser excesivo y comprobar que, tras quitar la lente, no quedan marcas que indiquen que la lente queda cerrada, pues se estaría produciendo hipoxia corneal. Con la lente colocada en el ojo no dominante sensorial, se debe comprobar la agudeza visual (no debe ser inferior a la que el paciente tiene en gafa) y además, es esencial que el paciente tenga una buena visión binocular, lo que se puede comprobar con pruebas como las

Luces de Worth, el Cordón de Bock o pruebas de estereopsis. Además, se le realizarán los test de visión cromática de nuevo, para comprobar si las lentes cumplen su función. En la Figura 12 (Schornack et al., en 2017) se muestra una lente durante el proceso de adaptación.



*Figura 12. Adaptación de Lente de contacto tintada en rojo (Schornack et al., 2007).*

#### 5.4 Funcionamiento de las lentes

Como se ha mencionado anteriormente, con el uso de algunos tintes para lentes o filtros de color, los sujetos con ceguera rojo-verde informan de una mejora en su percepción del color, y una mayor cantidad de aciertos en el test de Ishihara. Esta mejora es principalmente debida a las señales de diferencia de luminosidad. Cuando una lente tintada se interpone delante del ojo del observador, la señal que llega al cono será modificada, lo que resulta en un cambio en el cromatismo. Por ejemplo, un filtro rojo absorbe las longitudes de onda cortas y medias del espectro (azules y verdes) y transmite las longitudes de ondas largas. Así pues, para los dicrómatas rojo-verde, los tonos azulados y verdosos parecerán más oscuros, mientras que los tonos con longitudes de onda cercanas al rojo se verán más claros. Estas distinciones en el espectro son suficientes para poder superar el test de Ishihara (Sato et al., 2019).

El fenómeno que se produce cuando llegan dos imágenes con distinta luminosidad al cerebro, se podría corresponder con el Fenómeno Pulfrich (Oli y Joshi, 2018):

“Cubriendo un ojo con cristal absorbente de luz gris o coloreado, se hace mirar un péndulo en movimiento rítmico horizontal en un plano frontal al observador. Este oscurecimiento en uno de los ojos provoca sensación estereoscópica en la que parece que el movimiento del péndulo, que es simplemente oscilante, se torna elíptico. Cuando el filtro oscuro está delante del ojo derecho, el movimiento es en sentido antihorario, y de forma opuesta cuando el ojo con filtro es el izquierdo. A juicio de Pulfrich, la menor luminosidad en la imagen que tiene antepuesta el

filtro absorbente haría llegar la imagen recibida al cerebro con unas centésimas de segundo de retraso con relación al otro ojo, y al tratarse de un objeto animado, esta pequeña falta de sincronía produciría la permanente disparidad binocular en cada punto de la trayectoria realizada por el péndulo, generando este efecto. No es un sistema estereoscópico, sino una imagen animada en dos dimensiones” (Pulfrich, 1992).

Prosiguiendo con la descripción de Sato et al., los datos cuantitativos en relación al contraste producido por filtro rojo en cuanto a luminancia, son importantes para el estudio de la mejoría que se presenta en observadores de tipo deután y protán. Por ejemplo, el estudio realizado por Linhares o el que realizó Moreland, estimaron digitalmente el efecto de este filtro en los pacientes con las anomalías mencionadas (Linhares et al., 2008; Moreland et al., 2010).

Estas lentes son usadas de forma monocular para que en el cerebro se perciba como dos imágenes superpuestas con distinta luminosidad. De esta forma, el ojo dominante (sin lente de contacto tintada) percibirá correctamente los colores azul y amarillo, pero no los rojos y verdes. Con el ojo no dominante, portando la lente X-Chrom, se percibirán los tonos rojos y verdes, que serán interpretados como tonos más oscuros. Esto dará pequeñas “pistas” al cerebro para aprender a interpretar los nuevos tonos como más oscuros. El paciente incrementará el número de tonos de sombras que puede ver. Una vez que puedan ser perfectamente identificadas, el portador interpretará colores que antes no reconocía, por lo que se incrementa su sensibilidad al color. No obstante, las lentes deben ser usadas en condiciones lumínicas adecuadas, para que el efecto sea óptimo (Zeltzer, 2016).

Es esencial aclarar que estas lentes no son una cura para el daltonismo, sino una ayuda para incrementar la capacidad de distinción de colores.

## 5.5 Discusión de los estudios más relevantes

En 1978, se realiza un estudio llevado a cabo por Welsh et al., sobre la diferencia del defecto en la visión cromática con lentes de contacto X-Chrom y sin ellas, tras ser recomendadas como medida de mejora en este ámbito (Welsh et al., 1978). El estudio contaba con un total de 24 sujetos, 12 con defectos de percepción del color (10 deután, 1 protán y 1 indefinido) y 12 personas sanas (grupo control). Todas las lentes adaptadas en el grupo con daltonismo eran lentes planas, sin potencia. A todos los sujetos se les realizó una batería de pruebas en dos

ocasiones, la primera al inicio del estudio y la segunda vez tras haber usado durante 7 semanas las lentes, 6 horas al día. Entre las pruebas que se realizaron se encuentran test de estereopsis y de identificación del color de diferentes formas.

A todos los pacientes se les ofrece el test de Ishihara y son clasificados en función de la clasificación propuesta por las fuerzas armadas, distinguiendo distintos grados de percepción del color (CP): CPI (lee correctamente láminas pequeñas a 6 metros), CPII (si lee correctamente todas las láminas), CPIII ( lee correctamente la lámina 1 y las láminas 22-25) o CPIV (si solo leen correctamente la primera lámina)

Subj. No.	Pigment Tests				Anomaloscope		
	HRR	Ishihara	D-15	D-100	Type	Notation	Range
13	D <sub>M</sub>	D	D	D	D	23/16	6 - 30
14	D <sub>M</sub>	D	D	D	X	30/17	0 - 73
15	P <sub>M</sub>	X	P	P	X	37/17	0 - 73
16	D <sub>W</sub>	D	X	D	D	18/17	7 - 19
17	X <sub>S</sub>	D	D	D	X	25/17	0 - 73
18	X <sub>M</sub>	D	X	D	D	12/20	0 - 23
19	D <sub>M</sub>	D	N	D	D	21/18	10 - 22
20	D <sub>W</sub>	D	X	D	D	22/16	0 - 31
21	D <sub>M</sub>	D	D	D	X	19/19	0 - 73
22	X <sub>M</sub>	X	P	X	X	21/19	0 - 73
23	N	D	N	X	D	37/17	11 - 45
24	X <sub>M</sub>	D	N	D	D	19/17	0 - 31

Key: D = Deutan    P = Protan  
X = Unidentified    N = Normal  
S = Strong    M = Medium    W = Weak

Figura 13. Clasificación de los sujetos en función de los resultados obtenidos en los test de Ishihara (columna central) y del Anomaloscopio (columna derecha) (Welsh et al., 1978).

En Figura 13 (Welsh et al., 1978) se clasifica a los sujetos en función del tipo de anomalía cromática, obteniendo 10 sujetos “deután”, uno “protán” y uno sin clasificación clara. Uno de ellos tiene un defecto grande, 8 normales, y uno débil. En Figura 14, tomada de la misma fuente que la figura anterior, se muestran los resultados obtenidos en los diferentes test en función de del grupo de percepción de color en el que se encuentran, habiendo una mayor mejoría en el test de Ishihara frente a los otros test, y en sujetos del grupo 2 y 3 frente a los del grupo 1. Los resultados obtenidos respecto al test Fransworth D-15 no muestran un gran cambio entre la



evaluación inicial y la segunda, así como para los test demás test propuestos diferentes al test de Ishihara, según se explica en dicho documento.

Test	Class I		Class II and III	
	Without	With	Without	With
HRR	0	0	3	8
Ishihara	0	7	0	11
Dvorine	0	3	5	12
Farnsworth Lantern	0	0	Requirements same as Class I	
CTT Lantern	1	1		

Figura 14. Contabilización de errores antes y después del uso de las lentes de contacto, clasificados los sujetos en función del grupo de percepción al color en el que están posicionados (Welsh et al., 1978).

En un estudio llevado a cabo por Oli y Joshi en 2018, se pretende evaluar la eficacia de las lentes de contacto rojas en la mejora de resultados del test de Ishihara, Farnsworth D15 y Martin Lantern Test. Para ello, se estudian entre diciembre de 2014 y Julio de 2015 a 30 sujetos que presentan efectos en la percepción del color, cuyo diagnóstico se basa en el test de Ishihara.

Todos los pacientes debían tener más de 16 años y tener una agudeza visual superior a 6/6, además de ser necesario que la zona macular y el nervio óptico no presentasen ningún tipo de

Table 1 – Scoring system based on the Ishihara test.	
Group	Plate no.
1	1
2	2, 3, 4, 5
3	6, 7, 8, 9
4	10, 11
5	12, 13
6	14, 15
7	16, 17
8	18, 19, 20, 21
9	22, 23
10	24, 25

Figura 15. Clasificación de las láminas de Ishihara (Oli y Joshi, 2018).

patología o anomalía, por lo que previamente se le realizó un examen con el tomógrafo de coherencia óptica (OCT). Los sujetos realizan el test de Ishihara y se clasifican en función del

grupo de percepción al color en el que se encuentran. Además, las láminas se dividen en 10 grupos (Figura 15, Oli y Joshi, 2018) y se anotan los errores de cada paciente de 0 a 10.

En cuanto a los resultados de este estudio, se obtiene que, del total de 30 pacientes, 18 presentaban deuteranopía y 7 protanopía, mientras que 5 sujetos no pudieron ser etiquetados en ninguno tipo específico de anomalía según el test de Ishihara. Según la clasificación de las fuerzas armadas, 17 pacientes pertenecen al CP III y 13 al grupo CP IV. Ningún paciente se encuentra en el CP II. La media de errores en el test de Ishihara en el punto de partida fueron 7,87 ,con una desviación típica de 1,008. Después de usar las lentes, estos errores disminuyen hasta alcanzar una media de 3,93 con una desviación de 3,787. Por tanto, la diferencia de errores se considera significativamente mejorada con el uso de las lentes de contacto tintadas. Tras usarlas, 14 pacientes (el 46,7% del total) pasaron a pertenecer al grupo CP II. 27 pacientes (un 90% del total) pueden leer las láminas que pertenecerían al CP III. Los otros tres sujetos no mostraron cambios en la categoría de percepción del color. El cambio de categoría de CP se muestra en la Figura 16 y Figura 17, ambas obtenidas del estudio analizado. En la primera figura se muestra el grupo en el que se encuentran antes de usar las lentes en azul, y en naranja se muestran después de utilizarlas. En la Figura 17, se muestra en azul la media de errores que comete cada grupo antes de usar las lentes de contacto, y en naranja tras su porte, siendo significativamente mayor con lentes que sin ellas.

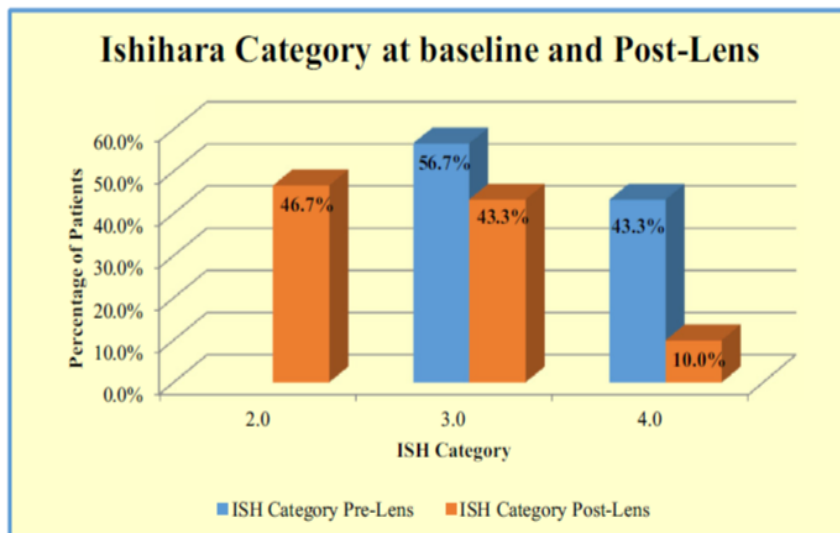


Figura 16. Categoría en la clasificación de percepción al color antes y después de las lentes, utilizando el test de Ishihara (Oli y Joshi, 2018).

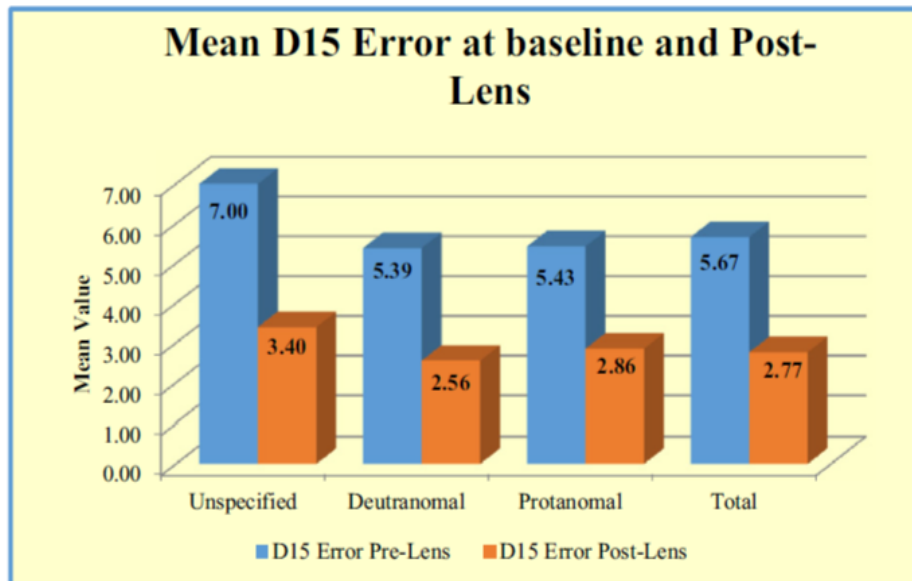


Figura 17. Media de errores de cada grupo de sujetos antes y después de usar las lentes con filtro rojo ( Oli y Joshi, 2018).

En 2017, se publicó el artículo “Functional Vision with X-Chrome Lenses” (Chowdhury y Shah., 2017). El objetivo principal de este estudio es extender las lentes X-Chrom a la población pediátrica. Estas lentes actúan como solución temporal a los problemas de percepción del color debido a la herencia, por lo que si se adaptan de forma temprana se evitarán problemas académicos en la población infantil, que requiere de códigos de color y otras herramientas para evaluar determinadas actividades académicas. Para realizar este estudio, se cuenta con 10 pacientes que tienen defectos congénitos de la visión, y ningún daño ni patología ocular o sistémica. Se excluyeron a las personas que presentaban la visión a color mermada debido a diabetes. A todos los pacientes se les realiza una prueba de agudeza visual, sensibilidad al contraste, estereopsis y visión cromática (con Ishiara y Fransworth-Munsell- D- 15- test). La toma de medidas se realiza en primer lugar sin usar las lentes de contacto y la segunda medida se hace tras haberlas colocado. En la segunda medida se obtiene una mejora de la estereopsis, sensibilidad al contraste y agudeza visual, así como una visión cromática “normal”, como se recogen en los datos de la Figura 18.

	Visual acuity	Contrast sensitivity	Stereopsis	Colour vision
Mean	0.07	1.77	40 s of arc	Normal
P value	0.155	0.01		

Figura 18. Valores medios y desviación sobre agudeza visual, estereopsis y visión cromática (Chowdhury y Shah,2017).

Finalmente, se llega a la conclusión de que, si estas lentes fueran usadas desde la infancia, no habría problemas de adaptación académica que tengan que ver con dicho defecto.

El artículo “Discrimination of Ishihara Test Plates Through a Red Filter” (Yalniz – Akkaya et al., 2014) se centra en observar la mejora en el test de Ishihara con las lentes tintadas con el filtro de color rojo. El estudio cuenta con 60 pacientes, 30 de ellos con visión normal y 30 con algún tipo de daltonismo. Se utiliza el test de Ishihara con 38 láminas, ya que este es el único test oficial que se utiliza en pruebas para acceso a servicios militares, policía y otros cuerpos de seguridad, así como en empresas privadas. Se seleccionan solamente pacientes sin patologías oculares, y se excluyen pacientes con agudeza visual inferior a la unidad, así como a los que tomen algún tipo de fármacos de manera permanente.

Se les pide a los sujetos que realicen la lectura sin lentes, con lentes con filtro rojo, y a través de una lámina de acetato tintada en rojo. El espectro de transmisión de ambas herramientas se muestra en la Figura 19 y en la Figura 20, que acompañan al artículo de Yalniz – Akkaya et al., se muestran los errores medios, máximos y mínimos en sujetos con y sin defecto cromático; así como el uso de filtro o no.

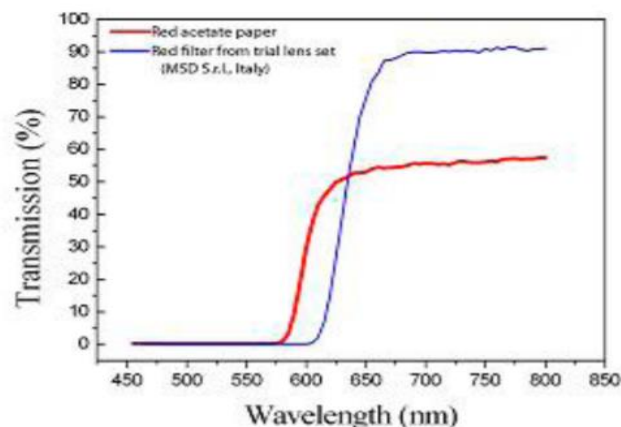


Figura 19. Espectro de transmisión de las lentes rojas, en azul, y espectro de transmisión del acetato rojo, representado en rojo (Yalniz – Akkaya et al., 2014).

		Median	Minimum	Maximum	
Without filter	Colour normal group	0.00	0.00	2.00	p<0.001
	Colour defective group	17.25	6.00	20.00	
Through red filter†	Colour normal group	0.00	0.00	0.00	p=1.00
	Colour defective group	0.00	0.00	0.00	

†Through red filter from trial lens set (MSD S.r.L, Italy) and through 4 sheets of red acetate paper placed over each other

Figura 20. Errores producidos por cada grupo con y sin filtro rojo (Yalniz – Akkaya et al., 2014).

En la Figura 20 se observa que la media de fallos del grupo de pacientes con el defecto visual es de 17.25, siendo el mínimo de errores 6 y el máximo 20. No hay errores en las personas con visión cromática normal. En la segunda medida, con el filtro rojo, no se obtienen fallos en ninguno de los dos grupos, por lo que la mejora es clara.

Muy recientemente se ha publicado el artículo “Discrimination of colors by red-green color vision-deficient observers through digitally generated red filter” (Sato et al., 2019). El objetivo de este estudio es examinar los efectos de un filtro simulado digitalmente para poder identificar el mecanismo responsable de los cambios producidos en los observadores con ceguera rojo-verde en test de Fransworth D15.

Para ello, el estudio cuenta con 14 sujetos con este defecto visual. A todos ellos se les pasó el test de Ishiara para poder clasificar su disfunción, y se encontró que 3 de ellos eran protanopes, 5 deuteranopes y 6 tricrómatas anómalos. En la Figura 20, se muestran ordenados los datos de los pacientes. Se utilizó un test controlado por ordenador y un monitor calibrado. El estudio fue realizado en todos los casos con condiciones controladas de temperatura, emisiones y color. El filtro simulado tenía una transmitancia en un rango de entre 400 y 700 nm, muy similar al que utilizan las lentes X-Chrom, pero con una transmitancia algo menor para el color azul que el que tienen las lentes (Figura 21).

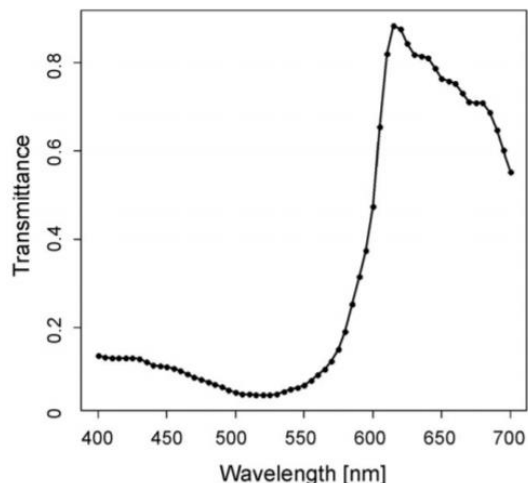


Figura 21. Espectro de transmisión del filtro simulado (Sato et al., 2019).

Subject no.	Age	Anomaloscope results		CVD diagnosis
		Range	Midpoint	
1	19	0-73	36.5	Protanope
2	21	0-73	36.5	Protanope
3	21	0-73	36.5	Protanope
4	35	0-73	36.5	Deutanope
5	20	0-73	36.5	Deutanope
6	20	0-73	36.5	Deutanope
7	21	0-73	36.5	Deutanope
8	20	0-73	36.5	Deutanope
9	22	5-60	27.5	Deuteranomaly
10	23	5-50	22.5	Deuteranomaly
11	18	0-45	22.5	Deuteranomaly
12	20	0-40	20	Deuteranomaly
13	20	20-40	10	Deuteranomaly
14	43	0-20	10	Deuteranomaly

Figura 22. Datos de los observadores que participan en el estudio. Se muestra su edad, resultados del anomaloscopio y diagnóstico de la deficiencia (Sato et al., 2019).

En primer lugar, sin filtro, cada sujeto debía ordenar 16 círculos de color, con la misma saturación, siguiendo un orden en las tonalidades de los mismos. Una vez que ha realizado esta primera parte, se le vuelven a presentar los mismos círculos, aunque ahora se coloca el filtro. En la Figura 23 se muestra el orden de la prueba (desde hacia atrás hacia delante). En la Figura 24, se muestran los resultados obtenidos en el test Fransworth D15 para observadores con visión normal, con protanopía y deuteranopía, recogidas en las gráficas propuestas por Vingrys y King Smith en 1988.

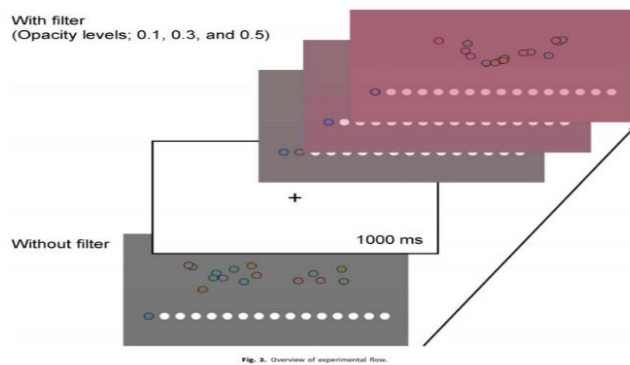


Figura 23. Orden de realización del test con y sin filtro (Sato et al., 2019).

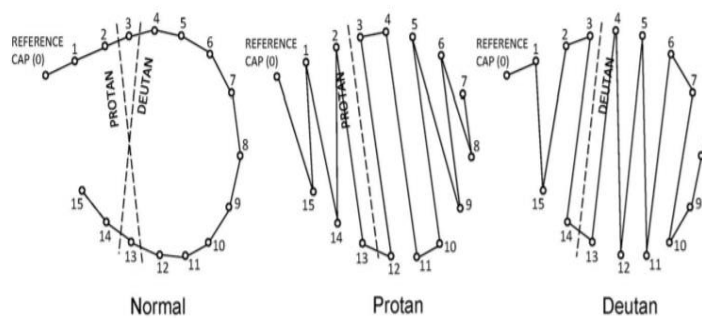


Figura 24. Resultados del test Fransworth D15 para las diferentes anomalías del color (Sato et al., 2019).

En 2017, se publica “Are X-Chrome Lenses An Occupational Succor for the Colour Vision Defectives?” (Sodhi et al., 2017). En él, un total de 51 personas con anomalías cromáticas realizaron el test de Ishihara, el test de Lantern y fueron también evaluados con el anomaloscopio, después de realizar un examen ocular, acompañado de una anamnesis completa que incluía ocupación y calificativas entre otras. También se evaluó la agudeza visual y la sensibilidad al contraste. Se determinó el ojo dominante para colocar la lente en el ojo contrario. Las pruebas se realizaron de nuevo con los usuarios usando las lentes X-Chrom. 32 sujetos presentan ceguera al verde y 16 al rojo. El resto no se pueden clasificar.

Tras usar las lentes, no cambia la agudeza visual en ningún caso, ni tampoco la sensibilidad al contraste de los sujetos. No obstante el número de láminas de Ishihara mejora de forma significativa, lo que sugiere que la discriminación al color realmente mejora usando las lentes. También se obtienen mejoras notables tras la prueba con el anomaloscopio (Sodhi et al., 2017).

El objetivo principal de esta revisión consiste en comprobar la eficacia del filtro rojo en el manejo del daltonismo, concretamente en el tipo deután y protán o ceguera rojo – verde, por ser el más frecuente en la población.

Tras analizar los diferentes estudios, se muestran cambios significativos que permiten leer mayor número de láminas en el test de Ishiara, así como una disminución en el número de errores en el test Fransworth D15, aunque es menos significativa en otros test como el Anomaloscopio de Nagel. Esto es debido al sistema de operación de los mismos, ya que los dos primeros se basan en un sistema de confusión al color, relacionada con el contraste, mientras que el Anomaloscopio de Nagel consiste en la unión de colores del espectro. El funcionamiento básico de las lentes Zeltzer X-Chrom y, en general, de cualquiera de las lentes de contacto que utilicen filtro rojo es ofrecer al sujeto diferencias de luminosidad que permitan la distinción entre colores cercanos en el espectro visible.

Además del uso de las lentes para el manejo del daltonismo, se ha propuesto en varias ocasiones su uso para otras alteraciones como la dislexia o la fotofobia (Harris et al.,1999) (Park et al., 2004) (Sverinsky et al., 2016).

También se ha demostrado su uso en niños para prevenir problemas de adaptación escolar y rendimiento académico, pues en la primera etapa de la vida es fundamental trabajar con herramientas didácticas que utilicen los colores (Chowdhury y Shah, 2017).

La principal ventaja de las lentes de contacto tintadas frente al filtro rojo en lentes oftálmicas es principalmente estética, y las ventajas generales son las mismas que las de las lentes de contacto habituales frente a las gafas, mayor libertad de movimientos en el deporte, mejora estética, y un campo visual que no esté condicionado por la montura de las gafas.

Como se ha demostrado previamente, hasta ahora no hay ninguna solución que presente total efectividad y mejora de forma permanente a la ceguera al color, pues ésta es, en la mayoría de los casos, un problema orgánico de los conos y no funcional.

Por ello, hay actualmente abierta una línea de investigación basada en la terapia génica, para solucionar el problema de raíz en los genes que dan lugar a dicha alteración. No obstante, los estudios realizados hasta el momento aún no tienen luz verde en humanos y por el momento solo han sido probados en animales.

Actualmente la terapia génica se abarca desde distintos enfoques, desde el reemplazo de genes, o adición de determinados factores de crecimiento hasta edición de determinados genes. Lo más común es reemplazar una copia no funcional de un gen e introducir una copia normal,



aunque esto es solamente posible cuando el defecto genético está identificado correctamente (en este caso se corresponde con los genes CNGB3 y CNGA3). La terapia suele funcionar mejor en enfermedades autosómicas recesivas y cuando el vector en el que se transportará el gen (generalmente un virus) puede ser inyectado directamente en las células implicadas (conos en este caso) (Asensio, 2019, Figura 25) (Dunbar., et al., 2018) (Hirji et al., 2007) (Wood et al., 2018).



Figura 25. Técnica de liberación de un vector viral en retina (Asensio, 2019).

## 6. CONCLUSIONES

Tras la revisión bibliográfica sobre el uso del filtro rojo en lentes de contacto en el manejo del daltonismo, se podría concluir:

1. El filtro rojo es una solución temporal en los síntomas del daltonismo, pero en ningún caso resuelve la causa orgánica que lo provoca, que es generalmente, una disfunción en al menos uno de los tres tipos de conos.
2. Al ser un filtro de transmisión selectiva usado de forma monocular, permite al sujeto percibir diferencia de luminancia entre tonalidades diferentes, que el cerebro interpretará como colores más claros o más oscuros.
3. Usadas desde la infancia podría prevenir la inadaptación académica y el fracaso escolar, ya que en esta etapa se utilizan los colores para el aprendizaje de los conocimientos fundamentales.
4. Las nuevas líneas de investigación están dirigidas a solucionar el problema desde la causa y no solo a solucionar la sintomatología. Ello se llevaría a cabo mediante la terapia génica.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Asensio V. Gene Therapy for the Treatment of Achromatopsia: Recent Advances. *EC Ophthalmology*. 2020; 11(1): 1-12.
- Asociación Española de Optometristas Unidos. AEOPTOMETRISTAS. [En línea] [Consultado en Abril 2020]. Disponible en: <http://www.optometristas.org>.
- Chowdhury PH , Shah BH. Vision with X Chrome Lenses. *Optometry Open Access*. 2017;2(1). <https://doi.org/10.4172/2476-2075.1000125>.
- García Feijóo J, Pablo Júlvez LE. *Manual de Oftalmología*. 1ª ed. Barcelona: Elsevier España; 2012. p. 31-37.
- Gunderson G. Comparison of Transmission Curves of Commercially Available Red/Magenta Contact Lenses. *ICLC*. 1993; 20:23-28. [https://doi.org/10.1016/0892-8967\(93\)90051-R](https://doi.org/10.1016/0892-8967(93)90051-R).
- Hartenbaum N, Stack C. Color Vision Deficiency and the X-Chrom Lens. *Occupational Health and Safety*. 1997; 66(9): 36-39.
- Harris D, MacRow-Hill S. Application of Chromagen haplosopic llenses to patients with dyslexia: a double-masked, placebo-controlled trial. *J Am Optom Assoc*. 1999; 70: 629-640.
- Husain A. Evaluation of Colour Correcting X Chrome Contact Lenses. *Ali's Eye Care & Contact Lens Clinic*. 2010.
- Linhares, JM., Pinto, PD, Nascimento, SM. The number of discernible colors in natural scenes. *Journal of the Optical Society of America A: Optics, Image Science and Vision*. 2008; 25(12): 24. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.25.002918>.
- Martín Herranz R, Vecilla Antolínez G. *Manual de optometría*. 2nd ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2018. p. 49-60.

- Magnelli P., Ferniot NC. Adaptación de lentes de contacto blandos esféricos, blandos tóricos y rígidos (2a. ed.) Buenos Aires: Paratexto, 2014 [En Línea]. [consultado en Abril 2020] Disponible en: <https://elibro--net.us.debiblio.com/es/>
- Moreland, J.D., Westland S., Cheung, V. Dain, S.J. Quantitative assesment of comercial filter “aids” for red-green colour defectives. *Ophtalmic and Physiological Opticas*. 2010; 30: 658-692.
- Oli A, Joshi A. Efficacy of red contact lens in improving color vision test performance based on Ishihara, Fansworth D15 and Martin Lantern Test. *Medical Journal Armed Forces India* 2018 [En línea] [Consultado en Noviembre 2019];. Disponible en: <http://https://elsevier.com/locate/mjafi>. <https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2018.08.005>.
- Park WL, Sunnes JS. Red contact lenses for alleviation of photophobia in patients with cone disorders. *Am J Ophthalmol*. 2004; 137 (4): 774-775. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2003.09.061>.
- Rojas Juárez A, Saucedo Castillo A. *Retina y Vítreo*. 2º ed. México: Ed: El Manual Moderno; 2012.
- Sato K, Inoue T, Tamura S, Takimoto H. Discrimination of colors by red- green color vision-deficient observers through digitally generated red filter. *Visual Neurosciencie*. 2019; 36. <https://doi.org/10.1017/S0952523818000068>.
- Siegel I. The X-Chrom Lens. On seeing Red. *Survey of ophtalmology*. 1961; 25(5): 312-324. [https://doi.org/10.1016/S0039-6257\(81\)80001-X](https://doi.org/10.1016/S0039-6257(81)80001-X).
- Severinsky B, Yahalom C, Sebok T, Tzur V, Dotan S, Moulton E. Red Tinted contact Lenses May Improve Quality of Life in Retinal Diseases. *Optometry and Vision Science*. 2016; 93(4): 445-450. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000761>
- Yalniz - Akkaya Z, Burcu A, Acar M, Üney G, Ornek F. Discrimination of Ishihara Test Plates Trough a Red Filter. *Journal of Clinical and Analytical Medicine*. 2014; 5(1): 46-49. <https://doi.org.10.4328/JCAM.1179>.

- Zeltzer H. The X-Chrom Manual Revisited. 2016.