



---

**Universidad de Valladolid**

FACULTAD DE CIENCIAS

# **Grado en Óptica y Optometría**

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

**Comparativa de contraste umbral y tiempo de  
reacción visual en pacientes portadores de  
lentes intraoculares de diferente coloración**

Presentado por: Lioba Pérez Obregón

Tutelado por: Juan Antonio Aparicio Calzada e  
Isabel Arranz de la Fuente

Tipo de TFG: Investigación

En Valladolid, a 26 de Mayo de 2017

Pérez, L.

*Comparativa de contraste umbral y tiempo de reacción en pacientes portadores de lentes intraoculares de diferente coloración.*

## Índice

Resumen.....	página 2
Abstract.....	página 2
Justificación.....	página 3
Capítulo 1: Marco teórico	
1.1. Contraste umbral.....	página 4
1.2. Tiempo de reacción visual.....	página 4
1.3. Iluminación mesópica.....	página 4
1.4. Ley de Piéron.....	página 4
1.5. Lentes intraoculares.....	página 5
1.6. Envejecimiento del sistema óptico ocular.....	página 6
Capítulo 2: Objetivos e hipótesis.....	página 7
Capítulo 3: Desarrollo experimental	
3.1. Montaje experimental.....	página 9
3.2. Sujetos participantes.....	página 10
3.3. Medidas de contraste umbral.....	página 11
3.4. Medidas de tiempo de reacción visual.....	página 11
Capítulo 4: Resultados	
4.1. Contraste umbral.....	página 12
4.2. Tiempo de reacción visual.....	página 14
Capítulo 5: Discusión.....	página 17
Capítulo 6: Conclusiones.....	página 19
Agradecimientos.....	página 20
Bibliografía.....	página 21

## **Resumen**

---

En la cirugía de catarata se sustituye, de forma habitual, el cristalino opacificado por una lente intraocular transparente. En este caso las lentes implantadas poseen una coloración amarilla que actúa como filtro para la luz azul. Para conocer si el filtro amarillo presenta inconvenientes en condiciones de iluminación mesópica y visión extrafoveal a  $10^\circ$  de excentricidad retiniana realizaremos medidas de contraste umbral y tiempo de reacción visual a sujetos con catarata y tras la implantación de la LIO a los mismos, así como a sujetos jóvenes que se utilizarán como grupo control. Son utilizadas luminancias de fondo de 0.01, 0.1 y 1.0  $\text{cd}/\text{m}^2$  y dos iluminantes típicos urbanos. Encontramos que la visión de los sujetos jóvenes es más eficiente con la lámpara con más componente de luz azul en su espectro de emisión mientras que en los sujetos con catarata no hay diferencia significativa entre los iluminantes utilizados debido a las características de sus medios oculares. Tras la implantación de la LIO y con la lámpara de sodio los sujetos llegan a recuperar contrastes umbral propios de un sujeto joven. En cuanto al tiempo de reacción visual los sujetos jóvenes son siempre más rápidos en reaccionar que los mayores. Para los sujetos mayores, la sustitución del cristalino opacificado por una lente intraocular supone mejoría en el tiempo de reacción visual sin existir diferencia significativa para ambas lámparas, pero no llegan a alcanzar en ningún caso los tiempos de reacción de una persona joven.

## **Abstract**

---

In the cataracts surgery is replaced, as usual, the opacified crystalline by a transparent intraocular lens. In this case the implanted lenses own a yellow coloration that works like a filter for the blue light. To know if the yellow filter has any inconveniences in mesopic lighting levels and extrafoveal vision (10 degrees of retinal eccentricity), we will take measures of threshold contrast and time of visual reaction to the subject with cataract and after the implementation of the LIO, as well as to young subjects that they will be used as control group. Background luminances 0.01, 0.1 and 1.0  $\text{cd}/\text{m}^2$  and two typical streetlamps were considered. We find out that the vision of the young subjects is more efficient with the lamp with more blue component in your emission spectrum, while in the subjects with cataracts there isn't a significant difference between the lamps used due to the characteristics of its ocular means. After the LIO's implementation and with the sodium lamp, the subjects get to recover threshold contrasts of a young subject. Regarding the time of visual reaction the young subjects are always faster to react than the older ones. For the older subjects, replaces your opacified crystalline by a intraocular lens supposes improvement on the time of visual reaction without being any significant differences for both lamps, but in any cases they don't get to reach the reaction time of a young person.

*Pérez, L.*

*Comparativa de contraste umbral y tiempo de reacción en pacientes portadores de lentes intraoculares de diferente coloración.*

## **Justificación**

---

Tras la realización de cirugía de catarata con sustitución del cristalino por una lente intraocular (cirugía facorefractiva), el paciente va a seguir realizando de forma habitual tareas cotidianas ante cualquier tipo de iluminación. En este caso a los sujetos se les ha implantado una lente intraocular con coloración amarilla (filtro para la luz azul) por lo que nos centraremos en condiciones de iluminación mesópica y visión extrafoveal, ya que es en este caso donde cobran mayor importancia los bastones, cuya máxima estimulación es con la luz azul del espectro visible humano (400 – 500 nm).

Entre las tareas cotidianas en condiciones de iluminación mesópica se encuentra la conducción nocturna por vía pública con iluminación artificial, en la que además cobran especial importancia el contraste umbral y el tiempo de reacción visual por motivos de seguridad vial, por lo que será para esta tarea para la que vayamos a extrapolar los resultados obtenidos.

Aunque hasta el momento sí que hay trabajos en la literatura que estudian las características de la visión periférica, aun son necesarios más estudios comparativos sobre la visión periférica antes y después de la cirugía facorefractiva, como es el caso que aquí mostramos.

En este momento vamos a estudiar precisamente características del sistema visual relacionadas con la visión periférica, como son la sensibilidad al contraste y el tiempo de reacción visual, en condiciones luminosas cercanas a las que puedan darse en la situación de conducción nocturna ya que nos es de interés conocer la respuesta de la retina periférica ante los cambios que se producen al implantar una lente intraocular con coloración amarilla en lugar del cristalino opacificado.

Las lentes intraoculares pueden incorporar filtros que no permitan la llegada a retina de todas las longitudes de onda del espectro visible humano, como el amarillo utilizado en este caso, o permitir el paso de la totalidad de luz. Suponemos la influencia en visión periférica del filtro amarillo y por tanto que aparezcan diferencias en contraste umbral y tiempo de reacción visual entre portadores de LIO amarilla y portadores de LIO sin coloración, pero en este caso nos centraremos en el estudio del comportamiento de las lentes intraoculares amarillas. Las medidas de contraste umbral y tiempo de reacción visual en pacientes portadores de lente intraocular sin coloración se están realizando en la actualidad en el laboratorio para que sea posible la comparación de los resultados obtenidos en ambos casos.

El caso que presentaremos forma parte de una línea de investigación aprobada por el Comité Ético de la Universidad de Valladolid.

## **Capítulo 1: Marco teórico.**

---

### **1.1 Contraste umbral.**

El contraste se define como la diferencia relativa en la luminancia entre un estímulo y el fondo sobre el que se presenta.

El contraste umbral, o umbral de contraste, es la menor cantidad de contraste de luminancia necesaria para la detección por parte del observador de un estímulo en concreto en una fracción determinada de tiempo <sup>1,2</sup>.

La sensibilidad al contraste se define como la inversa del umbral al contraste, por lo que a un menor umbral de contraste mayor será la sensibilidad al mismo.

### **1.2 Tiempo de reacción visual.**

El tiempo de reacción es el tiempo que transcurre entre la presentación de cualquier estímulo hasta que se reacciona ante él. Por tanto, el tiempo de reacción visual es aquel que transcurre entre la presentación de un estímulo visual y la reacción que produce en el sujeto.

El tiempo de reacción visual que mediremos en este estudio está a su vez compuesto por una componente visual y una motora. La componente visual corresponde al tiempo que transcurre desde la presentación del estímulo luminoso hasta su percepción visual, mientras que la componente motora corresponde al tiempo que transcurre desde dicha percepción visual hasta la reacción ante él, reacción que corresponde a la activación de un pulsador como se explicará más adelante en el apartado destinado a la medida del tiempo de reacción visual.

La componente motora del tiempo de reacción visual se determina para cada paciente con un contraste elevado respecto de su contraste umbral (contraste supraumbral), de forma que la componente visual para este caso tienda a cero según crezca dicho contraste.

### **1.3 Iluminación mesópica.**

La luminancia mesópica, y con ello visión mesópica, se trata de una luminancia intermedia entre la luminancia fotópica y escotópica, que comprende el rango existente entre las 0.01 y 5 cd/m<sup>2</sup> aproximadamente.

Este tipo de iluminación es la que se encuentra habitualmente durante la noche en la mayoría de las vías públicas iluminadas con luz artificial, y es por ello que realizaremos las medidas de contraste umbral y tiempo de reacción visual en condiciones de iluminación mesópica.

### **1.4 Ley de Piéron.**

La Ley de Piéron describe la disminución del tiempo de reacción visual según el incremento de la intensidad o contraste del estímulo presentado respecto a su fondo, siempre que éste sea supraumbral <sup>3</sup>.

Pérez, L.

*Comparativa de contraste umbral y tiempo de reacción en pacientes portadores de lentes intraoculares de diferente coloración.*

Es decir, el tiempo de reacción visual depende de manera funcional del contraste que presente el estímulo visual respecto al fondo, siendo ambos parámetros inversamente proporcionales.

Aunque han sido propuestas varias funciones que describen esta relación (Bujas, Hara, Woodworth y Schlosberg, entre otros) ha sido la función de Piéron la que ha provisto mejores resultados.

$$(TRV - t_0) = \beta I^{-\alpha}$$

Figura 1. Función de Piéron para la relación entre el tiempo de reacción visual y la intensidad del estímulo.  $T_0$  representa lo que podríamos tomar como la componente motora del TRV,  $\beta$  es un parámetro libre,  $I$  representa la intensidad o luminancia del estímulo y  $\alpha$  es el exponente de la función. Como podemos observar en la función, al ser el exponente de la intensidad negativo, al aumentar la intensidad del estímulo disminuye el tiempo de reacción visual. Tomada de la referencia 3.

El cumplimiento de esta ley se debe a que un mayor contraste en la imagen retiniana la hace más fácilmente perceptible y es por ello que el tiempo de reacción visual que conlleva asociado sea menor.

### 1.5 Lentes intraoculares.

Las lentes intraoculares pseudofáquicas se implantan en el ojo en sustitución del cristalino tras ser extraído, lo que se realiza habitualmente mediante técnica de facoemulsificación.

La función de una lente intraocular (LIO) es sustituir al cristalino en su función refractiva, pasando a formar parte del sistema óptico ocular que forma junto a la córnea<sup>3</sup>.

En la mayor parte de las ocasiones la extracción y sustitución del cristalino se hace necesaria por la presencia de una catarata visualmente significativa, que es aquella que impide el normal funcionamiento de la visión y que entorpece la vida cotidiana del paciente.

En este caso a los pacientes se les ha implantado una lente intraocular con coloración amarilla. Se trata de la lente AcrySoft IQ Monofocal, de Alcon Laboratories, modelo SN60WF de principio refractivo y geometría esférica, con diámetro de zona óptica de 6.0 mm y total de 13.0 mm, con filtros para la luz azul y ultravioleta, cuya constante A (que ofrece información relativa para el cirujano sobre la implantación de la lente) es de 118.7 e índice de refracción 1.55<sup>5</sup>.

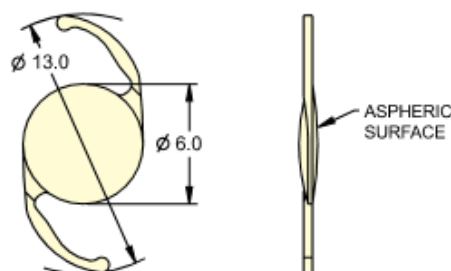


Figura 2. Características físicas de la LIO AcrySoft IQ Monofocal modelo SN60WF, con sus dimensiones en milímetros. Tomado de la referencia 5.

Pérez, L.

*Comparativa de contraste umbral y tiempo de reacción en pacientes portadores de lentes intraoculares de diferente coloración.*

El filtro de color amarillo que posee la LIO tiene como función bloquear las longitudes de onda correspondientes a la luz azul (400 – 500 nm). Se opta por el bloqueo de la luz azul por la supuesta afectación de los tejidos retinianos y por tanto la repercusión negativa en patologías degenerativas retinianas, de forma que se utilizan este tipo de filtros con fines preventivos.

Como observamos en el siguiente gráfico, el filtro amarillo que posee la LIO SN60WF hace que la transmitancia de la lente sea inferior al 90% para las longitudes de onda hasta 490nm, por lo que se bloquea la llegada de luz azul a la retina.

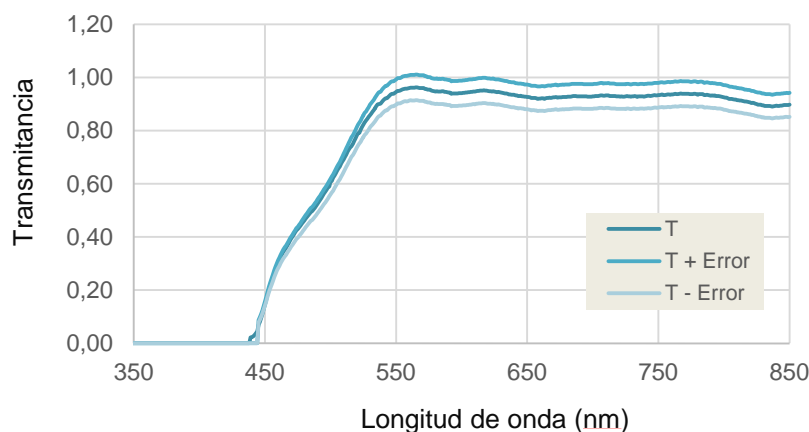


Figura 3. Transmitancia espectral de la LIO SN60WF. Se representa la transmitancia de la lente para cada longitud de onda dentro del espectro visible para el ojo humano.

### 1.6 Envejecimiento del sistema óptico ocular.

Con el paso de la edad la transmitancia del ojo como sistema óptico disminuye, siendo la pérdida más acentuada en las longitudes de onda que corresponden con los colores azules. Esta disminución en la transmitancia seguramente se deba a la esclerosis fisiológica del cristalino la cual le dota de una coloración amarillenta. Es por ello, que con el paso de los años podría decirse que la visión se percibe de una tonalidad más amarillenta.

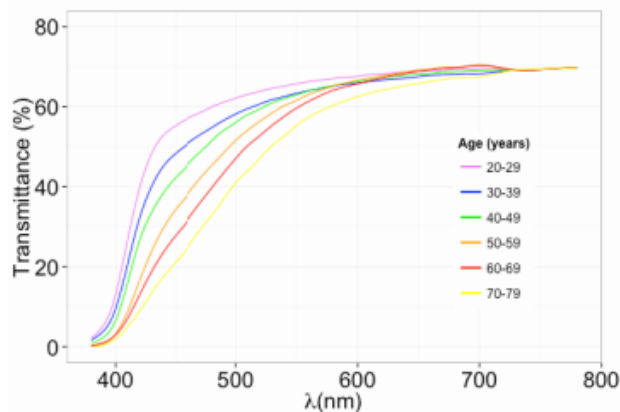


Figura 4. En la gráfica se representa la transmitancia en % para las longitudes de onda del espectro visual humano para diferentes rangos de edad. Tomado de la referencia 6.

## **Capítulo 2: Objetivos e hipótesis.**

---

Vamos a realizar medidas de contraste umbral y tiempo de reacción visual en sujetos mayores antes y después de la cirugía de catarata y también en sujetos jóvenes. Utilizaremos diferentes luminancias (0.01, 0.1 y 1.0 cd/m<sup>2</sup>) y dos tipos de iluminantes (lámpara de sodio estándar de alta presión y lámpara de halogenuro metálico). Todas las medidas serán realizadas en visión periférica a 10° de excentricidad retiniana (temporal respecto a fovea).

Al extraer el cristalino opacificado y sustituirlo por una LIO se reduce significativamente la dispersión de luz que se produce dentro del globo ocular y por ello la imagen que se forma en retina es mucho más nítida y con mayor contraste, lo que se traduce en que sea más fácil de percibir. Al ser la imagen más fácilmente reconocible el tiempo de reacción visual asociado será menor de acuerdo a la ley de Piéron.

Suponemos que el efecto de la cirugía facorefractiva supondrá mejoría del contraste umbral de los pacientes así como disminución del tiempo de reacción visual. Es por ello que esperamos diferencias estadísticamente significativas en los resultados de las medidas tanto de contraste umbral como en las de tiempo de reacción visual entre el grupo de pacientes mayores previos a la cirugía y posteriores a la misma.

Esperamos que las mayores consecuencias en el contraste umbral, y consecuentemente en el TRV, de la implantación de la lente intraocular con coloración amarilla (lo que corresponde al grupo *old-post*) aparezcan cuando utilizamos como iluminante la lámpara con más componente de luz azul en su espectro de emisión al tratarse de visión periférica a 10° de excentricidad, donde cobra mayor relevancia el funcionamiento de los bastones.

No tenemos hipótesis alguna de cómo serán los resultados para ambas medidas en el grupo control que corresponde a los sujetos jóvenes ni cómo serán de similares o dispares respecto a los otros grupos en los que se realizan las medidas, aunque suponemos que los sujetos jóvenes tendrán un menor contraste umbral y menor tiempo de reacción visual que los sujetos mayores por ser sus medios oculares transparentes y por tanto permitir la formación de una imagen retiniana de mayor nitidez. Además, de forma intuitiva, esperamos que los resultados de ambas medidas sean superiores en los sujetos mayores debido al deterioro visual, motor y neural que sucede de forma fisiológica con la edad.

No tenemos ninguna hipótesis respecto a cómo influirán las diferentes luminancias utilizadas en la toma de ambas medidas.

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- Establecer el contraste umbral y el tiempo de reacción visual para los sujetos jóvenes y los mayores antes y después de la operación, en condiciones de iluminación mesópica y visión extrafoveal.
- Conocer las diferencias en los resultados de los diferentes grupos a estudio.



*Pérez, L.*

*Comparativa de contraste umbral y tiempo de reacción en pacientes portadores de lentes intraoculares de diferente coloración.*

- Conocer las diferencias en los valores de contraste umbral y tiempo de reacción visual según el tipo de iluminante utilizado y la luminancia del estímulo presentado.
- Determinar la influencia o no influencia de la implantación de una lente intraocular con coloración amarilla en lo relativo al contraste umbral y tiempo de reacción visual, en condiciones de iluminación mesópica y visión extrafoveal.

### Capítulo 3: Desarrollo experimental.

#### 3.1 Montaje experimental.

Se utiliza un montaje Maxwelliano de dos canales, lo que hace que siempre se forme una imagen de la fuente de luz en el plano de la pupila del observador y más pequeña que ésta. De esta forma, ya que la totalidad de la luz emitida llega a la retina, el diámetro pupilar no influye en los resultados obtenidos independientemente del tipo de lámpara utilizada y de la luminancia del estímulo que se presente <sup>7</sup>.

Las medidas se realizan en retina temporal, a  $10^\circ$  de excentricidad respecto de fovea y siempre en el ojo derecho. Los dos haces de los que consta el montaje constituyen el campo de adaptación y la prueba, los cuales subtienden respectivamente  $10^\circ$  y  $2^\circ$  en la retina.

Para que la imagen se forme en retina periférica y siempre en el mismo lugar se mantiene la fijación del sujeto mediante un punto LED rojo de 630 nm, mientras que para evitar los movimientos de cabeza el sujeto ha de morder sobre una impronta dental situada sobre una barra.

Filtros de densidad neutros controlan la luminancia de fondo y de la prueba en pasos de 0.1 unidades logarítmicas y mediante varios obturadores se controla el tiempo de exposición de la prueba.

Todo el montaje es controlado por un ordenador con un software específico.

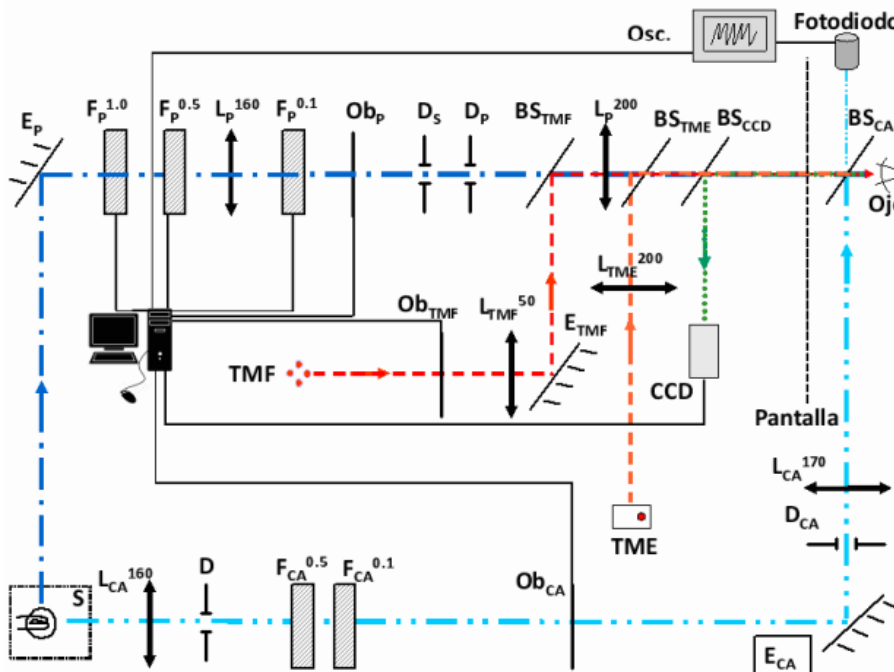


Figura 5. Esquema del montaje experimental Maxwelliano de dos canales. En azul claro se representa el haz que constituye el campo de adaptación y en azul oscuro el haz correspondiente a la prueba. Tomado de la referencia 7.

Pérez, L.

*Comparativa de contraste umbral y tiempo de reacción en pacientes portadores de lentes intraoculares de diferente coloración.*

Como lámparas se utilizan dos iluminantes típicos urbanos: una lámpara de sodio estándar de alta presión (HPS) y una lámpara de halogenuro metálico (HM), cuyo espectro de emisión se representa a continuación en los siguientes gráficos:

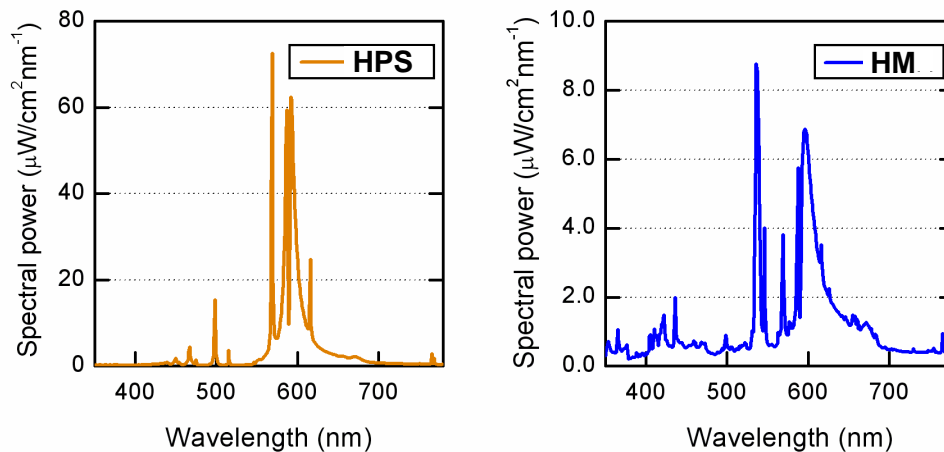


Figura 6. En las gráficas se representan los espectros de emisión, dentro del rango de longitud de onda visible para el ojo humano, de las lámparas utilizadas como iluminantes (HPS y HM). Tomado de la referencia 7.

Para las medidas de contraste umbral se utiliza una luminancia en el campo de adaptación de  $0.01 \text{ cd/m}^2$  fotópicas, ya que trabajos previos han mostrado que los efectos de la difusión intraocular en el caso de personas mayores son máximos para esta luminancia. El tiempo de presentación del estímulo para estas medidas es de 40 ms.

Para las medidas de tiempo de reacción visual se utilizan como luminancias de fondo de 0.01, 0.1 y  $1.0 \text{ cd/m}^2$  fotópicas. El tiempo de presentación del estímulo para estas medidas es de 500 ms.

Para asegurar el máximo aprovechamiento de la luz que llega a retina por parte de los bastones se somete a todos los sujetos a un tiempo de adaptación a la oscuridad de 30 minutos antes de la realización de cualquier medida, tiempo suficiente para que tenga lugar el blanqueamiento de la rodopsina.

### 3.2 Sujetos participantes.

Se utilizan como sujetos en el estudio 10 pacientes en los que previamente se ha diagnosticado catarata visualmente significativa y en los cuales se prevee la extracción del cristalino mediante facoemulsificación y posterior implante de una lente intraocular con filtro para la luz azul y ultravioleta (AcrySoft IQ Monofocal).

Inicialmente se realizan las medidas de contraste umbral y tiempo de reacción visual en condiciones de catarata, previo a la cirugía. Estos sujetos constituirán el grupo *old-pre*.

Pérez, L.

*Comparativa de contraste umbral y tiempo de reacción en pacientes portadores de lentes intraoculares de diferente coloración.*

Tras el implante de la LIO, y una vez la refracción es estable, lo que se da en torno a las 3 semanas tras la intervención, se les repiten a los mismos sujetos las medidas de contraste umbral y tiempo de reacción visual en las mismas condiciones y con el mismo instrumental que se hizo en la fase previa a la cirugía. Estos sujetos constituirán el grupo *old-post*.

Como grupo control se utilizan 10 sujetos jóvenes, de entre 20 y 30 años, a los que se les realizan las mismas medidas que a los grupos anteriormente descritos. Estos sujetos constituirán el grupo *young*.

### **3.3 Medidas de contraste umbral.**

Utilizando una luminancia en el campo de adaptación de  $0.01 \text{ cd/m}^2$  fotópicas, se presenta la prueba sobre el campo de adaptación durante 40 milisegundos, tiempo de presentación suficiente para que el estímulo pueda ser identificado.

Se procede a identificar el contraste umbral de la siguiente forma:

Se presenta una prueba con luminancia tal que sea vista con facilidad por el sujeto y es el propio sujeto quien tiene que contestar “sí” o “no” a la detección del estímulo. Se van presentando estímulos de luminancia creciente y decreciente para poder detectar las luminancias con las que la respuesta del sujeto pasa del “sí” al “no” o viceversa.

El contraste umbral se determina como el promedio de las luminancias en las que se produce el cambio de respuesta.

### **3.4 Medidas de tiempo de reacción visual.**

Utilizando luminancias en el campo de adaptación de 0.01, 0.1 y  $1.0 \text{ cd/m}^2$  fotópicas, se establecen como estímulos luminancias supraumbral, es decir, luminancias del test por encima del umbral, de tal forma que sean vistos el 100% de las veces por el observador. Además, luminancias supraumbral son las que se suelen utilizar en la biografía revisada<sup>8,9</sup>. Las luminancias supraumbral utilizadas fueron tales que el contraste de Weber fuera de 0,2 y 0,5.

Se presenta cada estímulo durante 500 milisegundos y se realizan 20 medidas para cada contraste supraumbral. En este caso el sujeto sostiene en su mano un pulsador, el cual tiene que pulsar lo más rápido que le sea posible tras la percepción del estímulo.

Antes de la presentación del estímulo el sujeto recibe una señal sonora, transcurriendo entre la señal y la presentación del estímulo un intervalo de tiempo aleatorio de entre 3 y 6 segundos. De esta forma el observador no sabe cuándo aparecerá el estímulo.

Los valores recogidos de tiempo de reacción visual que superen los 1000 milisegundos tras la presentación del estímulo no son recogidos por el software utilizado, de forma que el estímulo, interpretado como fallido, vuelve a presentarse. Estos valores elevados de tiempo de reacción visual son

descartados por ser atribuibles a pérdidas de concentración por parte del sujeto o a la propia pérdida de la visión del estímulo por el parpadeo.

## Capítulo 4: Resultados.

### 4.1 Contraste umbral.

Se presentan los valores de contraste umbral medios obtenidos para los tres grupos en estudio (*young*, *old-pre* y *old-post*) y para cada una de las dos lámparas utilizadas (HM y HPS).

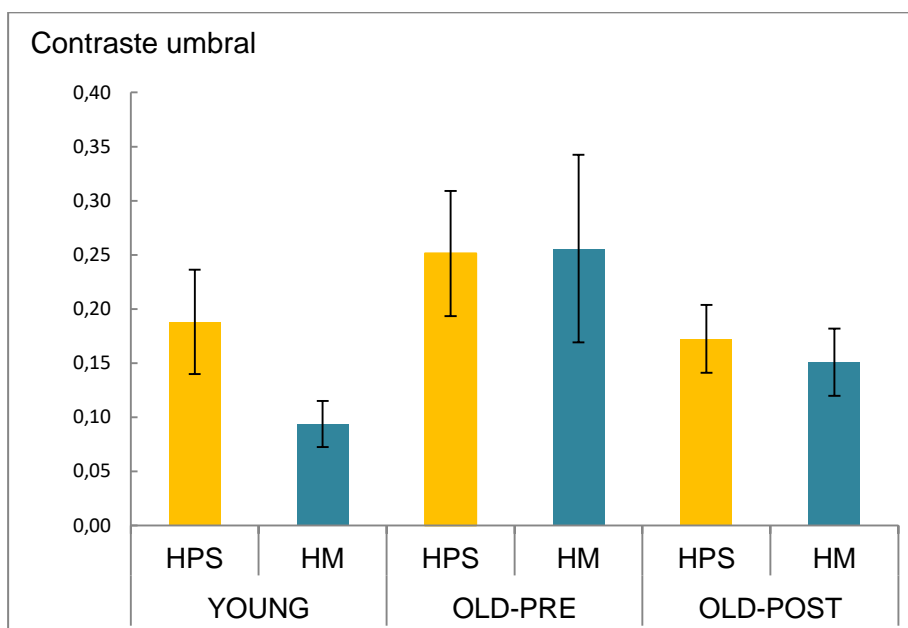


Figura 7. Contraste umbral para los tres grupos a estudio y para cada una de los iluminantes utilizados. La barra de error para cada medida representa un intervalo de confianza al 95%.

En el grupo control (*young*) para la lámpara HPS se obtiene un contraste umbral medio de 0,188 unidades logarítmicas y de 0,094 para la lámpara HM, siendo la diferencia estadísticamente significativa entre ambas: el contraste umbral es menor para la lámpara de HM y por tanto la sensibilidad al contraste para los sujetos jóvenes es mayor para dicha lámpara.

En los sujetos mayores antes de someterse a la cirugía (*old-pre*) para la lámpara HPS se obtiene un contraste umbral medio de 0,251 unidades logarítmicas y de 0,256 para la lámpara HM.

En los sujetos mayores tras la implantación de la LIO (*old-post*) para la lámpara HPS se obtiene un contraste umbral medio de 0,172 unidades logarítmicas y de 0,150 para la lámpara HM.

Observamos así que para los sujetos mayores, tanto antes como después de la cirugía, no hay diferencias estadísticamente significativas en el contraste umbral obtenido para ambas lámparas.

Pérez, L.

*Comparativa de contraste umbral y tiempo de reacción en pacientes portadores de lentes intraoculares de diferente coloración.*

Puesto que el contraste umbral medio es menor en los sujetos con lente intraocular respecto de los que tienen catarata, podemos afirmar que el contraste umbral mejora tras la cirugía para los dos iluminantes utilizados.

En la siguiente gráfica se representan las diferencias encontradas en el contraste umbral para los sujetos mayores antes y después de la cirugía, y para cada una de las lámparas utilizadas.

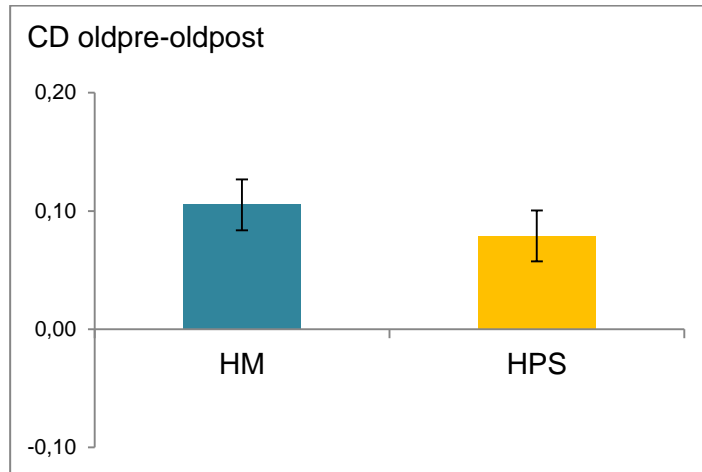


Figura 8. Gráfica comparativa entre el contraste umbral para el grupo pre-cirugía y post-cirugía, para ambas lámparas. Las barras de error representan un intervalo de confianza del 95%.

Con la lámpara HM la mejora media en el contraste umbral tras la cirugía es de 0,105 unidades logarítmicas y de 0,079 unidades para la lámpara de HPS. Por tanto, hay mejoría con ambas lámparas y la diferencia entre una y otra lámpara no es estadísticamente significativa.

Presentamos ahora la comparativa en el contraste umbral entre el grupo control y el grupo compuesto por los sujetos mayores tras someterse a la cirugía.

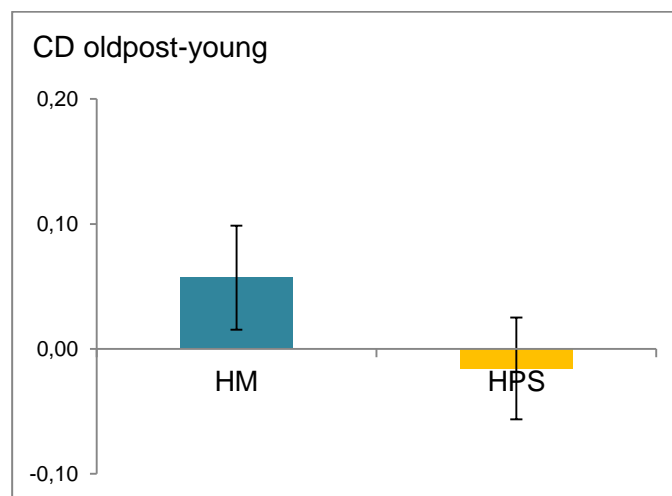


Figura 9. Gráfica comparativa entre el contraste umbral para el grupo post-cirugía y el grupo control de jóvenes, para ambas lámparas. Las barras de error representan un intervalo de confianza del 95%.

*Pérez, L.*

*Comparativa de contraste umbral y tiempo de reacción en pacientes portadores de lentes intraoculares de diferente coloración.*

Con la lámpara de HPS no hay diferencia significativa en el contraste umbral medio entre los sujetos jóvenes y los mayores tras la cirugía, puesto que la barra de error comprende tanto valores positivos como negativos.

Sin embargo, para la lámpara de HM el contraste umbral de los post-operados es mayor que el de los jóvenes en 0,057 unidades logarítmicas.

Con estos datos podríamos afirmar que los sujetos tras someterse a la cirugía recuperan el contraste umbral con la lámpara de HPS propio de una persona joven, pero no así con la lámpara de HM.

#### **4.2 Tiempo de reacción visual.**

En primer lugar, es de importancia señalar que el trabajo realizado ofrece muchos y extensos resultados en lo que se refiere a tiempo de reacción visual, pero nos centraremos en mostrar únicamente los que están relacionados con la implantación de la LIO.

Empezaremos comparando la diferencia en el tiempo de reacción visual de los sujetos mayores previo a la cirugía y los jóvenes.

Tras la realización de las medidas y el posterior análisis de los resultados, se observa que para las medidas de tiempo de reacción visual el efecto de la lámpara no es significativo mientras que si lo es el efecto de la luminancia. En este caso la diferencia en el TRV bajo luminancias 0.1 y 1.0 no es muy significativa, mientras que si lo es la diferencia en el TRV existente para luminancias 0.01 y 0.1 (27,56 milisegundos para los mayores previos a la cirugía y 48,84 milisegundos para los sujetos jóvenes).

Los resultados obtenidos muestran una diferencia entre mayores previo a la cirugía y jóvenes de 70,59 milisegundos para luminancia 0.01, 91,86 milisegundos para luminancia 0.1 y 87,83 milisegundos para luminancia 1.0. Analizando los resultados se observa que los sujetos jóvenes tienen un tiempo de reacción visual menor que los mayores para todas las luminancias, es decir, los jóvenes reaccionan de manera más rápida.

Referente a la comparativa en el tiempo de reacción visual en los sujetos mayores antes y después de la cirugía, y consecuentemente al efecto de la implantación de la LIO, los resultados muestran que no hay efecto lámpara ni luminancia. Además, el análisis de los TRV revela que hay una mejoría media de 33,13 milisegundos tras la cirugía, con un intervalo de confianza aproximado del 95% con valores mínimo y máximo en dicho intervalo de 7,95 y 58,31 milisegundos respectivamente.

En el siguiente gráfico se muestran los TRV para los sujetos mayores después de la cirugía en función de dichos tiempos antes de la intervención:

Pérez, L.

Comparativa de contraste umbral y tiempo de reacción en pacientes portadores de lentes intraoculares de diferente coloración.

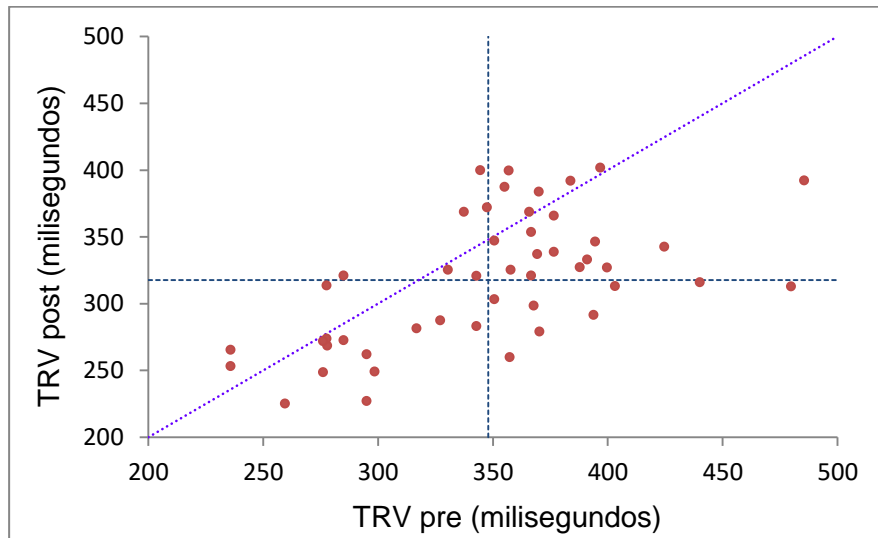
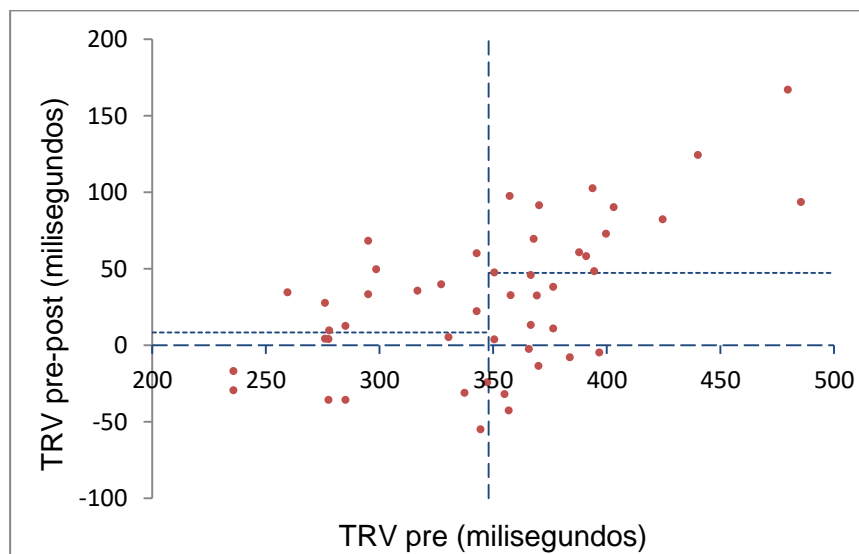


Figura 10. Gráfica comparativa entre el TRV previo a la cirugía y el TRV tras la implantación de la LIO. En el eje de abscisas se representa el tiempo de reacción visual previo a la cirugía, mientras que en el eje de ordenadas el tiempo de reacción visual tras la intervención. En línea discontinua están representadas las medias para ambos grupos y la bisectriz (línea punteada) marca la diferencia entre mejoría y empeoramiento.

El TRV medio de los sujetos mayores antes de la cirugía es de 348 milisegundos, mientras que el TRV medio de los mismos sujetos tras la cirugía disminuye a 317,7 milisegundos.

Los puntos por debajo de la bisectriz indican una mejoría del tiempo de reacción visual puesto que éstos poseen un TRV previo a la cirugía mayor que el posterior. Ya que la mayoría de los puntos se encuentran por debajo de la bisectriz, los resultados muestran que la mayoría de los sujetos experimentan una mejoría en lo referente al tiempo de reacción visual al sustituir su cristalino opacificado por una lente intraocular transparente.

Por otra parte vamos a analizar cuánta es la mejoría que experimentan los sujetos y qué relación presenta frente al TRV previo a la intervención:





*Pérez, L.*

*Comparativa de contraste umbral y tiempo de reacción en pacientes portadores de lentes intraoculares de diferente coloración.*

Figura 11. En el gráfico se muestra la diferencia TRV previo – TRV posterior a la cirugía frente al TRV previo a la cirugía. En el eje de abscisas se representa el TRV previo a la cirugía. En el eje de ordenadas se representa la diferencia entre el TRV previo a la cirugía y tras la misma, es decir la mejoría en el TRV. La línea discontinua que corta al eje de abscisas representa el TRV medio previo dejando a la izquierda los casos con un TRV previo a la cirugía menor a la media y a su derecha los que poseen un TRV previo superior a la misma. La línea discontinua que corta al eje de ordenadas marca la diferencia entre mejoría y empeoramiento, correspondiendo los casos de mejoría los situados por encima de esta línea que corresponde al 0. Las líneas punteadas marcan la mejoría media dentro del grupo en el que se encuentran (TRV previo menor o mayor a la media).

Como se observa en el gráfico, la mejoría en el TRV es mayor cuanto mayor era el TRV previo a la cirugía. Es decir, cuanto más elevado fuera el tiempo de reacción visual del paciente previo a la cirugía más mejora tras la misma.

Por último, si comparamos los resultados obtenidos para el tiempo de reacción visual de jóvenes y mayores tras la operación encontramos que, aunque el TRV para los mayores disminuye, y por lo tanto mejora tras la operación, sigue siendo significativamente superior al de los jóvenes.

## **Capítulo 5: Discusión.**

---

Partimos de la presunción de que los jóvenes tienen un cristalino altamente transparente para todas las longitudes de onda, ya que posee una transmitancia mayor al 55% para todas las longitudes de onda del espectro visible humano<sup>1</sup>. Al permitir el cristalino que todas las longitudes de onda lleguen a la retina, en visión periférica los jóvenes se ven beneficiados en condiciones mesópicas de la utilización de una fuente luminosa con máxima emisión en la luz azul, que en nuestro caso corresponde a la lámpara HM, ya que es la fuente que mejor estimula a los bastones, los cuales son los fotorreceptores más abundantes en la excentricidad retiniana estimulada y más activos a 0,01 cd/m<sup>2</sup>.

Como se puede observar en la figura 7 el contraste umbral medio para el grupo de jóvenes es menor para la lámpara de HM que para la de HPS, lo que es atribuible a los fenómenos de sumación espacial<sup>10</sup> y temporal<sup>11</sup> que suceden en los bastones a dicha excentricidad y luminancia de fondo.

Para el grupo de personas mayores previo a la cirugía los contrastes umbrales medios son superiores a los de los jóvenes, y similares para ambos iluminantes, lo que se debe a la dispersión intraocular que la opacificación del cristalino provoca.

Como se puede observar en la figura 8 el umbral de contraste medio mejora significativamente en los sujetos a los que se les ha realizado la cirugía facorefractiva como consecuencia de la menor difusión de luz que produce la LIO respecto de la que provocaba el cristalino, y lo que consecuentemente se traduce en un menor umbral de contraste.

En la figura 9 se pone de manifiesto que el contraste umbral tras la implantación de la LIO recupera los valores propios de una persona joven para la lámpara de HPS, con lo que estos resultados podrían indicar que el proceso fisiológico de envejecimiento ocular no afecta neuronalmente a la visión periférica, al menos de forma perceptible para el tamaño angular del estímulo utilizado en este caso (frecuencia espacial por debajo de 0,5 ciclos/grado).

Por el contrario, con la lámpara de HM el contraste umbral de los sujetos mayores tras la implantación de la LIO no llega a recuperar valores propios de una persona joven pudiendo presuponerse que esto suceda por el efecto del filtro amarillo para la luz azul que ésta posee. Este efecto se refiere a que la coloración de la lente implantada no permite la llegada a retina de longitudes de onda correspondientes a la luz azul que son las que más excitan a los bastones, y que corresponde en esta lámpara a la máxima emisión espectral (ver Figura 5). Así es que el filtro amarillo de la LIO no permite que tengan lugar los fenómenos de sumación que tienen lugar en los bastones de la retina periférica. Es por tanto que, a diferencia de los jóvenes, los cuales tienen un contraste umbral menor para la lámpara HM en visión periférica puesto que se benefician de la sumación espacial y temporal que tiene lugar en los bastones, los portadores de LIO con coloración amarilla no tienen un contraste umbral menor para la lámpara de HM respecto de la lámpara de HPS.

*Pérez, L.*

*Comparativa de contraste umbral y tiempo de reacción en pacientes portadores de lentes intraoculares de diferente coloración.*

En cuanto a los resultados obtenidos en el estudio del tiempo de reacción visual podemos observar que tras la implantación de la lente intraocular el TRV disminuye respecto de los valores obtenidos previos a la cirugía (Figura 10).

Como se ha definido inicialmente en el marco teórico el tiempo de reacción visual tiene dos componentes, una estrictamente visual y otra motora.

En los pacientes previos a la cirugía es presumible que parte de su mayor TRV se deba a la componente visual. Es decir, la imagen tarda más tiempo en ser percibida por los efectos de dispersión y difusión que suceden en el interior del globo ocular a consecuencia de estar el cristalino opacificado y, de acuerdo con la ley de Piéron, al haber un menor contraste en la imagen retiniana el tiempo de reacción visual es mayor. Siguiendo esta base teórica, atribuimos los mayores tiempos de reacción visual previos a la cirugía a una mayor opacificación cristalínea y consecuentemente a un menor contraste en la imagen retiniana. Es por ello que la mejoría en el tiempo de reacción visual es mayor cuanto mayor fuera el valor previo a la cirugía (Figura 11) debido a que la mejora en el contraste de la imagen retiniana es más significativa y por cumplimiento de la ley de Piéron el tiempo de reacción es menor.

Como podemos ver en los resultados comparativos del TRV de los pacientes post-operados y los jóvenes hay diferencia estadísticamente significativa en los valores obtenidos, lo que quiere decir que los valores no llegan a reestablecerse como sucede en el caso del contraste umbral. El que no se recupere el TRV propio de un sujeto joven es debido a la componente motora del TRV: el sistema locomotor sufre una degeneración neuronal fisiológica que provoca que la componente motora del TRV sea superior en sujetos mayores que en sujetos jóvenes y es por ello que aunque el tiempo de reacción visual mejora tras la facoemulsificación e implantación de LIO los valores no alcancen los propios de un sujeto joven.

## **Capítulo 6: Conclusiones**

---

El contraste umbral es menor en los sujetos jóvenes que en los mayores con catarata por la mayor difusión y dispersión de la luz que la opacificación del cristalino provoca dentro del globo ocular y con ello la menor nitidez en la imagen retiniana.

Dentro de los resultados de contraste umbral en visión periférica, el umbral es menor para los sujetos jóvenes para la lámpara de HM que para la de HPS, por verse beneficiados del mayor rendimiento de los bastones frente a la estimulación con una lámpara cuya emisión máxima es en las longitudes de onda más favorables para la misma y a luminancias tan bajas como  $0.01 \text{ cd/m}^2$ . Los sujetos mayores no se ven beneficiados de esta lámpara en ningún caso, previo a la cirugía porque la difusión de luz intraocular inhibe los beneficios de la estimulación de bastones y tras la implantación de la lente intraocular con coloración amarilla por no permitirse su llegada a la retina a consecuencia del filtro.

A consecuencia de la implantación de la LIO amarilla el umbral de contraste mejora para ambas lámparas, pero sin diferencias significativas entre ambas.

Concluimos con los resultados de contraste umbral que la sustitución del cristalino opacificado por una lente intraocular transparente hace retomar los valores propios de una persona joven con iluminantes que no tengan su máxima emisión en la luz azul. Es por ello que la implantación de la lente intraocular con coloración amarilla impide que la mejoría, aunque la hay y es significativa, sea tan buena como podría llegar a serlo con otro tipo de iluminantes.

De acuerdo a la Ley de Piéron, una menor opacificación del cristalino en los sujetos jóvenes se traduce en contrastes retinianos mayores y, por tanto, en un menor tiempo de reacción visual que para los sujetos mayores.

En lo respectivo a la influencia de iluminantes y luminancias en las medidas de tiempo de reacción visual, la lámpara iluminante no tiene influencia en ningún caso mientras que el tipo de luminancia utilizada lo tiene únicamente cuando se utilizan los datos obtenidos de los sujetos jóvenes, siendo la mayor diferencia entre las luminancias de  $0.01 \text{ cd/m}^2$  y  $0.1 \text{ cd/m}^2$ .

Analizando los datos comparativos de TRV entre sujetos mayores antes y después de la cirugía concluimos con que hay una mejoría en el tiempo de reacción visual estadísticamente significativa en la mayoría de los sujetos intervenidos. Además, la mejoría es mayor cuanto mayor fuera el TRV previo a la cirugía, es decir, cuanto "peor" estuviera el sujeto.

Al comparar los datos de los sujetos jóvenes y los mayores tras la cirugía se advierte que, aunque el TRV de los sujetos mayores ha mejorado tras la cirugía, el TRV de los jóvenes sigue siendo significativamente menor al de los mayores, lo que atribuimos a que su componente motora del tiempo de reacción visual es inferior.

Concluimos con los resultados de tiempo de reacción visual en visión periférica a  $10^\circ$  de excentricidad que el TRV de los sujetos jóvenes es menor

*Pérez, L.*

*Comparativa de contraste umbral y tiempo de reacción en pacientes portadores de lentes intraoculares de diferente coloración.*

que el de los mayores derivado de su mayor contraste en la imagen retiniana. La sustitución del cristalino opacificado por una lente intraocular transparente con filtro amarillo mejora el TRV del sujeto de forma significativa pero sin llegar a reestablecerse los valores propios de una persona joven debido a la degeneración neuronal fisiológica del sistema locomotor asociado a la edad, lo que se traduce en una componente motora mayor. Al no existir efecto lámpara en los sujetos mayores podríamos afirmar que el tiempo de reacción visual es independiente de la coloración de la lente intraocular implantada, por lo que presuponemos que la coloración o no de la LIO no presenta beneficios ni desventajas en lo referente al tiempo de reacción visual y con ello al tiempo de reacción durante la actividad de conducción nocturna.

El estudio de la influencia de lentes intraoculares sin ningún tipo de coloración en lo referente a umbral de contraste y tiempo de reacción visual en retina periférica está en este momento en estudio en el laboratorio.

## **Agradecimientos**

---

Agradecemos la financiación por parte del Ministerio de Economía y Competitividad que hace posible llevar a cabo el proyecto al que pertenece este trabajo, con código FIS2016-78037-P.

Personalmente quiero dar mis agradecimientos a todas aquellas personas que han colaborado tanto en el diseño y montaje del sistema Maxwelliano, sobre todo a S. González, como en la realización y análisis de las medidas incluidas en este trabajo. En especial a E. García Vicente por la realización de las medidas y su completa dedicación al proyecto, y a mis tutores, J.A. Aparicio e I. Arranz, por darme la oportunidad de realizar este trabajo fin de grado y por su ayuda durante la realización del mismo.

Pérez, L.

*Comparativa de contraste umbral y tiempo de reacción en pacientes portadores de lentes intraoculares de diferente coloración.*

## **Bibliografía**

---

1. Steven H. Schwartz. Psychophysical Methodology. En Steven H. Schwartz. Visual perception. McGraww Hill Medical; 2010: Pag 243-245.
2. J.M. Artigas, P. Capilla, A. Felipe, J. Pujol. Capítulo 5: Umbrales de luminancia. En: J.M. Artigas, P. Capilla, A. Felipe, J. Pujol . Óptica fisiológica: Psicofísica de la visión. Interamericana McGraw-Hill; 1995. Pag 111, 120-123.
3. The Piéron function in the threshold region. DELPHINE and CLAUDE BONNET. Página 127.
4. American academy of ophthalmology. Los lentes intraoculares. [www.aaopt.org/salud-ocular/tratamientos/lentes-intraoculares](http://www.aaopt.org/salud-ocular/tratamientos/lentes-intraoculares) (3 de marzo de 2017)
5. Product information, AcrySof IQ. Alcon Laboratories, Inc. [www.myalcon.com/products/surgical/acrysof-iq-iol/monofocal-iol-specifications.shtml](http://www.myalcon.com/products/surgical/acrysof-iq-iol/monofocal-iol-specifications.shtml) (4 de marzo de 2017)
6. Preciado, O.U., Manzano, E.R. The effect of road lighting luminaire spectral power distribution over illuminance perception considering road reflectance and human eye transmittance.
7. I Arranz, L Issolio, BM Matesanz, AH Gloriani, JA Menéndez, B Silva , E Colombo, S Mar, JA Aparicio. Influence of age on mesopic visual sensitivity measured with different urban lamps.
8. Murray IJ, Plainis S. Reaction times as an index of visual conspicuity when driving at night. *Ophthal Physiol Opt.* 2002; 22:409-415.
9. Murray IJ, Plainis S. Neurophysiological interpretation of human visual reaction times: effect of contrast, spatial frequency and luminance. *Neuropsychologia.* 2000; 38:1555-1564.
10. J. Antonio Aznar Casanova. Bases neurofisiológicas de la visión en psicología de la percepción visual. Universitat de Barcelona. <http://www.ub.edu/pa1/node/108> (18 de marzo de 2017)
11. Steven H. Schwartz. The duplex retina. En Steven H. Schwartz. Visual perception. McGraww Hill Medical; 2010: Pag 51.