



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA
CARRERA DE OPTOMETRÍA



**“MEDICIÓN DEL TIEMPO DE ADAPTACIÓN DE CONOS A LA
OBSCURIDAD EN DIFERENTES ETAPAS DE LA VIDA.”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN OPTOMETRÍA

PRESENTA

TORREBLANCA ELIZARRARÁS YAHIR

DRA. MYRNA MIRIAM VALERA MOTA

Directora de tesis

MTRO. AARÓN BAUTISTA DELGADO

MTRA. PAOLA GARCÍA GUIZAR

LIC. OPT. MA. DE GUADALUPE DUHART HERNÁNDEZ

MTRA. MILLY LEONARDO AGUILAR

Asesores de tesis

Los Reyes, Iztacala

ESTADO DE MÉXICO, 2019.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres que, sin su apoyo y recursos, no sería nada de lo que e logrado ser por muy poco que parezca, jamás será suficiente el agradecimiento.

A mi familia que sin ellos no hubiese sido posible esto, que por ellos es que esto se pudo volver una realidad, y que siempre será algo colectivo más allá de lo individual.

Por último; sin ser de menor relevancia, a quien por 5 años me ha acompañado en este camino, quien mejor sabe lo que represento el camino y lo que representa esto, que es suyo de igual manera, mi mejor amiga en toda la extensión de la palabra y quien sin ella estos jamás hubiera sido posible, muchas gracias Daniela Bernal Rojano.

INDICE

Introducción	4
Glosario	6
Planteamiento de problema	8
Justificación	8
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
Antecedentes	10
Capítulo 1	13
Capítulo 2	22
Metodología	28
Criterios de selección	28
Recursos humanos	28
Recursos Materiales	28

Fases de estudio	29
Resultados	33
Discusión	47
Conclusión	49
Referencias	51
Apéndice 1: Formato de registro	54
Apéndice 2: Consentimiento informado	55
Apéndice 3: Consentimiento de ética	56

Introducción

En el presente trabajo se abordará la adaptación de la visión al color en la obscuridad en diferentes etapas de la vida del ser humano, y se explicará cómo esta función “básica” toma relevancia en actividades habituales.

La adaptación a la obscuridad es un proceso que al igual que caminar o hablar se hace involuntariamente, y el sistema visual se encuentra adaptado para llevar a cabo esta función sin ninguna complicación; esto se modifica en las diferentes etapas de la vida, debido a la existencia de patologías oculares que llegan a presentar un problema para este tipo de visión, sin embargo, en el presente trabajo solamente se evaluaron pacientes sanos de ambos géneros en diferentes estadios de la vida.

El propósito es conocer el tiempo de adaptación de la visión a la obscuridad de los cuatro colores primarios (rojo, verde, azul y amarillo) que un paciente “sano” percibe en diferentes etapas de la vida. La prueba utilizada fue “Cone adaptation test” de la empresa “Good Lite”; dicha prueba no cuenta con este dato, lo cual es de suma importancia, debido a que la literatura indica que los tiempos de respuesta de los fotorreceptores en la adaptación a la obscuridad dependen de la edad, o de alguna patología en el sistema visual.

La prueba que se empleó en la investigación, se aplicó en pacientes que fueran tricromatas (es decir sin ceguera o alteraciones en la visión a los colores), de manera monocular y siempre empezando con el ojo izquierdo del paciente ocluido, es decir, el ojo que quedaba descubierto era el ojo derecho; las condiciones de iluminación y de obscuridad para la implementación de la prueba fueron las mismas en cada caso, pues, no se cambio nunca el material o el lugar empleado para llevar acabo dicha prueba.

Los colores que contiene la prueba son fichas Roja y Azul, sin embargo, se completó con fichas con los colores oponentes (de acuerdo con la Teoría de los procesos oponentes), Verde y Amarilla, para evaluar los cuatro colores principales del espectro de luz visible; para llevar esto acabo se incluyeron pacientes que no tuvieran patologías de repercusión visual a nivel de percepción del color así mismo estos pacientes fueron separados por grupos etarios, género y lateralidad ocular; los pacientes con patologías oculares o anomalías en la percepción del color fueron excluidos del trabajo de investigación.

Los resultados obtenidos para el trabajo de investigación fueron obtenidos de los pacientes que asistieron a valoración optométrica a la clínica de optometría de la FES Iztacala durante el periodo 2018-1 y 2018-2.

Como resultado de la investigación realizada se obtuvieron datos que mostraron que las diferencias inferidas anteriormente, son factibles a nivel de género y también a nivel de grupo etario y lateralidad ocular, cumpliendo con el objetivo principal.

Sin embargo, también obtuvimos datos que nos ayudaron a mostrar que colores representan una mayor dificultad para ambos géneros en su visualización en la obscuridad, se mostro que dichos colores fueron azul y rojo, mientras que, al mismo tiempo los colores que menos dificultad representan son el color amarillo y verde en la mayoría de los casos.

Glosario

- Adaptómetro: Instrumento empleado para medir el tiempo que necesita la retina para adaptarse a las variaciones de la intensidad luminosa.
- Agudeza visual (AV): Es la capacidad de visión para identificar letras o números en una tabla optométrica estandarizada desde una distancia específica.
- Anomaloscopio: Instrumento que consiste en un espectroscopio en el que dos mitades de campo circular se iluminan por radiación monocromática amarilla (589 nm) y una mezcla de radiación rojo-verde (670-546 nm), respectivamente.
- Bastón: Célula fotorreceptora de la retina responsable de la visión en una baja condición de luminosidad. Presenta una elevada sensibilidad a la luz, aunque se satura en condiciones de mucha luz y no detecta los colores.
- Célula amácrina: Se encuentra en la capa nuclear interna de la retina. Encargada de sinapsis con las terminaciones de las células bipolares y las dendritas de las células ganglionares de la retina para obtener un intercambio de información.
- Circulo cromático: Es una representación ordenada y circular de los colores de acuerdo con su matiz o tono, en donde se representa a los colores primarios y sus derivados.

- Cono: Célula fotosensible que se encuentra situada en la retina de los vertebrados, en la capa fotorreceptora. Recibe este nombre por la forma conoidea que tiene su segmento externo; es la responsable de la percepción al color.
- Cualia: Simboliza el vacío explicativo que se advierte ante la existencia de cualidades por lo cual las propiedades de las experiencias sensoriales son, por definición no cognoscibles en la ausencia de la experiencia directa de ellas; como resultado, son también incomunicables.
- Dicromata: Individuo que sólo tiene dos de los tres tipos normales de receptores del color, por lo tanto, padece un defecto en la percepción de los colores.
- Electroretinograma: Aparato utilizado para medir la respuesta eléctrica de células en la retina, incluyendo los fotorreceptores.
- Escotópica: Es la percepción visual que se produce con niveles muy bajos de iluminación.
- Espectro de luz: Región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir.
- Fotopigmento: Proteína sensible a luz situada en la membrana de los fotorreceptores.
- Fotorreceptor: Neurona especializada que es sensible a la luz, localizada en la retina externa de los vertebrados; existen dos tipos, conos y bastones. Realizando la conversión de la luz en impulsos nerviosos que el cerebro transforma en imágenes.
- Fóvea: Parte de la retina que permite una agudeza visual del 100%.
- Isomerización: Es un proceso químico de reordenación interna de los átomos de una molécula a fin de obtener un isómero, puede ser espontánea o inducida por la presencia de otra sustancia.
- Mesóptica: Es una visión intermedia (entre la fotópica y la escotópica) se trata, principalmente, del tipo de visión empleado en condiciones de luz artificial, donde tanto conos como bastones entran en juego.
- Nistagmus: Es un movimiento involuntario, rápido y repetitivo de los ojos.
- Opsina: Proteína fotosensible de las membranas de células fotorreceptoras como los conos y los bastones.
- Potencial oscilatorio: Movimiento en torno a un punto de equilibrio estable. Este puede ser simple o completo.
- Pruebas Pseudoisocromáticas: Utilizadas para la ceguera de color que emplean patrones de puntos de colores sobre una cartilla (test).

- Transducción: Proceso por el que una célula convierte una determinada señal o estímulo exterior, en otra señal o respuesta específica.
- Tricromata: Es aquella persona con la capacidad de percibir los colores de manera normal.
- Tritanópico: Sujeto con disfunción visual en la percepción del color azul y amarillo.
- Umbral: Es la mínima cantidad de luz que puede detectar el ojo humano en la oscuridad.

Planteamiento del problema

Pregunta de investigación: ¿La edad interviene en la adaptación de la visión al color en la oscuridad?

Existen múltiples estudios que muestran los potenciales oscilatorios del sistema visual en respuesta a la adaptación a la oscuridad durante la percepción al color, sin embargo, no existe una prueba estandarizada que indique la respuesta rápida del sistema visual ante la necesidad de adaptación a la oscuridad.

El desarrollo diario de cualquier persona implica la adaptación a diferentes intensidades de iluminación, pero si la persona no es consciente de que su sistema visual no está respondiendo adecuadamente, su desempeño será más difícil y tarda aún más el tiempo en realizar sus actividades.

La prueba utilizada, si bien está diseñada para medir el tiempo de respuesta rápida a la adaptación de la oscuridad, no está estandarizada, ni muestra valores para comparar o mostrar una deficiencia en el paciente, es por esta razón que la medición en pacientes de diferentes edades se hace necesaria.

Justificación

La adaptación de conos a la oscuridad explica como el ojo humano puede percibir los distintos colores en ambientes nocturnos o zonas de penumbra u oscuridad, y las referencias al tema son escasas, ya que no existen pruebas estandarizadas que lo demuestren. La diferencia en tiempos de adaptación dentro de las etapas de la vida, demuestra que los cambios en las estructuras oculares, ocurren a causa del envejecimiento, provocando que la adaptación a la oscuridad sea más tardía; demostrando que existen colores que se perciben menos en la noche. Por lo que el presente trabajo pretende demostrar los tiempos de adaptación en las diferentes etapas de la vida, indicando cuales son los colores que se le dificultan al ojo humano de percibir en la oscuridad.

De tal manera que se necesita el conocimiento de la capacidad de respuesta del sistema visual ante la situación de oscuridad, ya que estas capacidades visuales contienen factores que amenazan con su desempeño adecuado.

Objetivo General

Evaluar los tiempos de adaptación de conos a la oscuridad en distintas etapas de la vida.

Objetivos específicos:

Diseñar las fichas con los colores oponentes faltantes en la prueba de adaptación de conos.

Aplicar la prueba de adaptación de conos como lo indican las instrucciones de la misma a los pacientes que acuden a la Clínica de Optometría, de acuerdo con los criterios de selección.

Clasificar los tiempos de recuperación del estímulo cromático en la oscuridad en distintas etapas de la vida.

Conocer los colores a los que se tiene mayor dificultad de percibir en la oscuridad.

Conocer la relación de tiempo de adaptación a la oscuridad con la edad del paciente.

ANTECEDENTES

En el año de 1937 Hecht y Haig indagaron la importancia que tienen los efectos de la intensidad de la adaptación a la luz en la adaptación a la obscuridad (que son seguida una de otra) y mostraron la importancia que tiene el resultado de una en los datos arrojados por la otra condición.

Utilizaron luz artificial de color violeta, esto con la finalidad de abarcar el mayor espectro posible y luz artificial roja para abarcar el espectro de menor longitud, esta luz la usaron por un espacio de no más de 0.2 segundos.

De esta manera los datos que obtuvieron son semejantes a los que obtuvieron científicos que realizaron prácticas similares con pupilas artificiales, y umbrales más difusos, aunque en estos casos para el observador era más fácil la visión.

El observador en el experimento realizado se situó en un cuarto oscuro dentro de una caja negra, apoyado en una mentonera y fijando su frente al frente. La pupila del sujeto quedaba en foco con la lente (que proyecta el estímulo luminoso), esto produce que la lente aparezca como un campo luminoso uniforme.

Encontraron en este experimento que las variaciones en la intensidad de la luz determinan la adaptación a la obscuridad, encontrando coincidencias en otros experimentos ya realizados; así como que la adaptación a la obscuridad se puede dividir en una fase rápida y en una fase lenta cuyo proceso es llevado en los bastones.¹

En el año de 1995 Mântyjärvi y Tuppurainen examinaron la visión al color y la adaptación a la oscuridad de 36 personas miopes sin degeneración central en la retina, realizaron las exámenes con discos pseudoisocromáticos de la parte dos del test FM-100, utilizaron el anomaloscopio Nagel, y el adaptómetro de Goldman. Las edades de los sujetos fueron de 20 a los 49 años con AV de 20/20 a 20/40.

Durante la evaluación de los sujetos no se mostraron resultados fuera de lo normal; sin embargo, los errores cometidos de los pacientes miopes con los controles en la parte 3 de la prueba (color azul) FM-100 fueron significativamente mayores, así como en los umbrales de los bastones fueron igual significativamente mayores en los sujetos miopes en comparación con los sujetos control.²

En 1999 Thomas y Lamb midieron la respuesta de los fotorreceptores con un electroretinograma usando la onda- α . Lo midieron en pacientes normo visuales, usando un electrodo corneal de campo completo, mostrando que la constante de la amplificación en un principio aparente de los fotorreceptores desaparece cuando se muestra un flash.

Con estas muestras, descubrieron (nuevamente) que la adaptación a la oscuridad dependerá de diversos factores, entre los cuales se encontró que la intensidad del estímulo tiene relevante importancia en “que tan rápido inicia el proceso de adaptación a la oscuridad”.³

Utilizando sujetos con visión cromática normal y una pupila artificial, en 2003 Stabell U. y Stabell B. midieron los efectos que tienen la luz y la oscuridad en los bastones en un umbral específico.

Midieron longitudes de onda cortas, medianas y largas de estímulos monocromáticos y los fijaron a 17° extra foveales; ambos resultados fueron obtenidos mientras la adaptación del bastón se hacía de manera gradual tanto al pasar de adaptación a luz como adaptación a la oscuridad.

Concluyeron que, los cambios específicos en los umbrales de la adaptación de luz y oscuridad en los bastones no está, en general, controlado por los mismos mecanismos, ya que solamente en las longitudes de onda cortas, obtuvieron resultados totalmente dispares de percepción, mientras que, en longitudes medias y largas, no encontraron resultados con diferencias significativas.⁴

En 2012 Gaffney realizó un experimento en pacientes de entre 20 y 83 años, dilatando sus pupilas al 96%, blanqueó el fotopigmento de los conos y monitoreo el umbral durante 5 minutos después de hacerlo, exponiendo el fotopigmento a una saturación de luz y midió el proceso de recuperación de sensibilidad del fotopigmento (lo que se conoce como adaptación a la obscuridad), lo hizo con el propósito de demostrar que la adaptación a la obscuridad puede ser un biomarcador o un indicador en pacientes que padezcan degeneración macular.

Los resultados que obtuvo demostraron que la densidad de las capas de los conos podría ser usada como un indicador de la disminución en la adaptación a la obscuridad. Y que al mismo tiempo podría ser usada como un posible indicador de alguna patología ocular.⁵

En tanto en el año 2013 Patryas y Parry, evaluaron los cambios en la repetibilidad de la respuesta de los bastones con el cambio de edad. Evaluaron 33 sujetos dividiéndolos en dos grupos, en el primero encontraríamos a los sujetos que son mayores a 45 años (16) y en el segundo se encontrarían los que son menores a los 45 (17), ninguno de los sujetos padecía alguna entidad patológica ocular.

En el experimento hicieron un “blanqueamiento” de mínimo un 30% en el pigmento de los receptores y observaron su comportamiento por espacio de 30 minutos; encontrando con esto que la recuperación de sensibilidad visual era de repuesta más tardía en el grupo de mayor edad en comparación con el grupo más joven. Describen la técnica utilizada como una herramienta de utilidad para documentación de cambios visuales en las pruebas realizadas a nivel clínico.⁶

En 2015 Wang evaluó la respuesta del sistema adaptativo neuronal en la iluminación y su readaptación a la obscuridad en retinas inmaduras, lo evaluó midiendo la respuesta de los potenciales oscilatorios y su respuesta ante el electroretinograma; utilizando roedores que se encontraban entre los 15 y los 17 primeros días de vida, exponiéndoles a una luz de fondo y posteriormente midiendo sus respuestas de potencial oscilatorio en el electroretinograma.

Posteriormente compararon los resultados con las respuestas de roedores adultos, encontrando que el sistema neuronal no tenía diferencias significativas, y asociaron la falta de respuesta a la inmadurez, mas no a una falta de interpretación del sistema neuronal, que al mismo tiempo presentó respuestas bipolares durante los estudios.⁷

Por último, en el año 2017 Chen y Lee, analizaron los cambios en el espesor de la capa de fotorreceptores durante la adaptación a la obscuridad, esto lo realizaron mediante una tomografía de coherencia óptica de alta resolución.

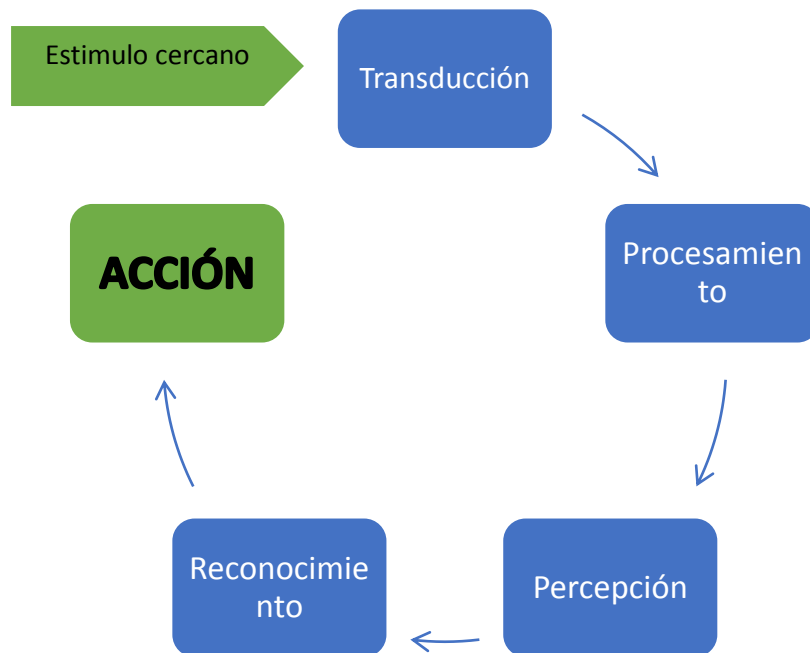
Evaluaron zonas diferentes en la membrana de los fotorreceptores, y compararon sus respuestas después de haberlas expuesto a un flash y observar sus cambios en la adaptación a la obscuridad. Concluyeron que los cambios físicos caracterizados en esta evaluación pueden ser tomados como un indicativo del comportamiento de la capa de los fotorreceptores.⁸

Capítulo 1: EL COLOR

En esencia, todos los sentidos forman parte esencial del desarrollo con el mundo circundante, pero la visión toma un lugar aparte en la percepción, debido a que la visión forma una imagen inherente en el espacio.⁹

La percepción visual es descrita comúnmente como un proceso lineal que comienza con un estímulo externo, prosigue con la percepción y se concluye con la experiencia. En este proceso se incluyen varios caminos neuronales paralelos que, conforman varios aspectos de la información visual tales como, forma, movimiento, tamaño, orientación y color; cada proceso es llevado a cabo individualmente, pero durante el proceso interactúan entre sí.⁹

E. Bruce Goldstein ha delimitado el proceso visual en 'sensación' y 'percepción'.



Enfatizando también que dicho proceso es mucho más dinámico y también podría ser descrito en un círculo, en dicho círculo las instrucciones así como en el ejemplo lineal, son consecuencia que depende siempre del estímulo a distancia. La mayoría del proceso visual se lleva a cabo en el cerebro.

Richard Gregory afirma que en áreas periféricas de la retina se puede producir una percepción del movimiento aun sin poder percibir la forma que está produciendo dicho movimiento.¹ Al ser el borde de la retina el sitio más primitivo de la misma, es incapaz de transformar el estímulo de movimiento, sin embargo gracias a esto se inicia un reflejo de rotación ocular que mueve dicho estímulo inicial de la periferia al centro de la visión, desarrollando así al máximo la capacidad foveolar y determinando el estímulo como 'objeto'. Concluyendo que, nosotros no vemos el movimiento, pero reaccionamos ante él.⁹

Dicho esto, la retina puede captar movimiento aun sin haber procesado las formas, pero ¿Cuándo procesa forma y movimiento? Donde queda el color de éstas, para ello abundaremos en los primeros intentos del hombre por tratar de explicar cómo esto sucede.

Tanto anatómicamente como funcionalmente, el sistema visual es idéntico, con algunas excepciones, pero a pesar de estas semejanzas, ya sea por experiencias personales o diferentes motivos, vemos y experimentamos el mundo de maneras diferentes. Esto significa que la única manera de saber lo que alguien está observando es preguntar o en

algunas ocasiones analizando el comportamiento de la persona ante el ambiente que lo rodea.⁹

Esto explica, la intensión natural de ser humano para encontrar explicación a cualquier fenómeno desconocido para él en su entorno, era natural que alguien como Aristóteles (384-322 A.C.), fuera el primero del cual se tiene registro de tratar de medir y obtener los conceptos relativos de los colores (colorimetría); posterior a esta inquietud y como algo aún más tangible y demostrable para la humanidad, está el destacado echo de la descomposición de la luz que fue realizado por Isaac Newton en 1666, quien al observar pasar un rayo de luz por un prisma notó que el rayo de luz de salida no era blanco sino más bien formaba un espectro continuo de colores que iban desde los violetas hasta las tonalidades rojas, observando de igual manera que ningún color terminaba abruptamente, más bien era una sucesión continua del anterior.¹⁰

Pero ¿Qué es color y como es que el ser humano logra percibir una gran gama de éste? Se podría decir que el color en cierto modo no existe, pues no es una propiedad física de los objetos, entonces lo podríamos describir como una sensación subjetiva del ser humano, que gracias a que posee un cerebro lo suficientemente desarrollado puede decodificar dichos estímulos provenientes de lo lejano, estímulos que son en su mayoría, ondas electromagnéticas que no son más que la resultante de la vibración entre un campo eléctrico y otro magnético.¹¹

Aclarado que el color es algo que se podría describir como subjetivo, cabe resaltar que es posible o más bien, es muchas veces descrito como una 'cualia', es decir, que es un conocimiento intuitivo, inmediato e indescriptible, lo que lo convierte en una experiencia en primera persona¹²; sin embargo, posee al mismo tiempo cualidades cuantitativas y cualitativas por ejemplo, el matiz es descrito como una característica cualitativa a diferencia del brillo y la saturación que poseen características cuantitativas.¹³

Por lo mencionado anteriormente, se puede decir entonces, que, las diferencias encontradas en el color se pueden describir como que una diferencia de matiz (rojo-verde) será de naturaleza cualitativa y por el otro lado una diferencia de naturaleza cuantitativa será el brillo o la saturación.¹³

Lo que inicia todo en esta cadena de reacciones en la estimulación visual es la luz, y convierte al color en algo fundamental en nuestras experiencias diarias, se podría decir que la luz y el color son en si lo que vemos.⁹

Dicho desde el enfoque experimental, la luz es aquel fenómeno físico que aporta visibilidad a los objetos físicos, superficies y espacios. Esta puede ser obtenida desde una fuente artificial o una fuente natural; así se puede decir que tan luminoso es un cuarto sin embargo esta evaluación no podría ser cuantificable.⁹

Pero dichas descripciones serán entendidas solamente por las personas que estén compartiendo el mismo espacio que nosotros.⁹

Descrito ya como un fenómeno físico, y al mismo tiempo con cualidades propias y que su interpretación depende en gran medida de lo que lo rodee o de la persona que lo experimente, habrá que describir al color como un proceso anatómico, ¿cómo logramos percibirlo?

Para empezar con esto, es vital decirlo de manera general para poder entender después lo específico, el globo ocular humano posee dos tipos de células sensibles o receptoras de ondas electromagnéticas, llamadas 'conos' y 'bastones'¹¹. Los bastones, de cuales en total poseemos alrededor de 100 millones de células, son capaces de percibir un cierto número de ondas electromagnéticas, mientras estén en el rango de los 380-760nm¹¹, en comparación con los 100 millones de células en forma de bastón que posee la retina, el número de conos es mucho más reducido pues de estas células solamente poseemos alrededor de 7 millones; estas células son más específicas que los bastones, pues de los 7 millones existentes en la retina, se podría dividir en tres (aunque no en proporciones iguales) ya que gracias a dichas células la visión cromática es posible.¹⁴

Mientras que los bastones no son discriminativos al momento de captar las ondas electromagnéticas, los conos (de los cuales solamente poseemos 7 millones) que solo están presentes en el sistema visual del primate y del ser humano, detectan las radiaciones electromagnéticas dependiendo de su longitud de onda; esta cualidad le ha otorgado a dichas células una denominación de L,M y S que se refiere a LONG,MEDIUM y SHORT respectivamente para el tipo de longitud de onda a la cual la célula responde con eficacia el estímulo y a en la cual posee su máxima sensibilidad.¹¹

Para ser más específicos y ejemplificar lo explicado anteriormente, se puede decir que, si una fuente luminosa emite una radiación de 560 nm, nuestro cerebro codificará dicho estímulo como una luz ROJA de tal manera que los conos denominados L serán los responsables de captar dicho estímulo, es por esto que a éstos conos se les denomina inapropiadamente conos 'rojos'. Similar a esto pasa con los conos de denominación M y,

que poseen su pico máximo de sensibilidad en los 530 y 420nm respectivamente y también son denominados conos 'verdes' y 'azules' respectivamente. ^{11,12}

Para ejemplificar en que cantidad de distribución se encuentran los conos L, M y S en nuestra retina, podríamos decir que alrededor de un 60% son conos 'rojos', un 30% 'verdes' y solo un 10% 'azules', además de los porcentajes en desigualdad, su distribución no es uniforme. Para ejemplificar la distribución de estas células en la zona foveolar, tomamos en cuenta que el campo de visión del ser humano es de 60° y los conos 'rojos' y 'verdes' se encuentran en una región central de 10°; fuera de los 20 ° se podría decir que nuestra visión es en blanco y negro o en tonalidades azules esto debido a que en esta zona es donde existe mayor presencia de conos 'azules'. ¹¹

Por otro lado, la visión al color en pacientes sanos, es afectada por la raza, género, edad, y nivel educativo. Aun no es posible determinar la razón exacta del por qué la diferencia de género hace que la visión cromática sea distinta. Pero si existe la afirmación de que en diferentes etnias existe una diferencia marcada de pigmento a nivel macular, lo que ocasiona también una diferencia en la apreciación del color. ¹⁵

Lo anteriormente mencionado es importante debido a que la visión cromática nos brinda información adicional y más detallada de los estímulos visuales percibidos; existe una teoría tricromática que desarrollo Thomas Young que propone que para los observadores humanos cualquier color puede ser reproducido por medio de solo tres colores seleccionados en proporciones correctas del espectro de luz visible¹², esta teoría resultó de un experimento psicofísico llamado "igualación de colores". ¹⁶

Las alteraciones de la visión cromática se deben a que uno o más de los tres tipos de conos poseen alguna anomalía de percepción en su respectivo rango de ondas electromagnéticas. ¹²

Así, la retina posee dos tipos de células ganglionares sensibles al color, las pertenecientes a los estímulos rojo-verde y al amarillo-azul; estas células ganglionares responden de manera centro-periférica, es decir que mientras una célula es excitada con el color rojo e inhibida con el verde en el centro de su campo receptor, sucederá un efecto inverso en el campo periférico y viceversa. ¹² En la década de 1950 y 1960 los investigadores encontraron neuronas oponentes en la retina y en el núcleo geniculado lateral que daba una respuesta excitatoria a la luz en una parte espectro y al mismo tiempo una inhibitoria a la luz de otro espectro. ¹⁶

Si bien, la visión cromática se da por un echo existente en la mayoría de las personas, no debería ser tomada a la ligera; pues gracias a dicha capacidad, podemos evaluar cosas de las que estamos rodeados en nuestro medio de desarrollo diario como signos, objetos, situaciones y fenómenos que con frecuencia son de cuestión de seguridad, trabajo, placer u observación personal.¹⁴ Por otro lado, el color es una de nuestras cualidades más obvias y dominantes, es utilizado al manejar, al elegir día con día la ropa que usaremos, e inclusive en ciertos casos al momento de describir emociones ; sin embargo, a pesar de esto, no siempre se le brindas la atención o la importancia necesaria.¹⁶

Todos en cierto modo poseemos una deficiencia de visión al color, en mayor o menor grado, ya que nuestra percepción del color es limitada.¹⁴

Los colores que el humano percibe en un objeto están determinados por la naturaleza de la luz reflejada del objeto¹⁰; el color en superficies cómo líquidos o plásticos y vidrio, se crea a través de transmisión selectiva lo que significa que solo algunas longitudes de onda como por ejemplo el jugo de arándano transmite de manera selectiva luz de longitud de onda larga lo que hace que sea percibido como un color “rojo”, mientras que el zumo de lima transmite selectivamente una longitud de onda media y se percibe como “verde”¹⁰.⁸ El color no solo depende del objeto en sí, sino de la fuente de luz que lo ilumina, del color del área que lo rodea y del sistema visual humano.¹⁰

Cuando alguien ve una imagen en su pantalla y en ella una zona de color amarillo, casi con toda seguridad esa persona piensa que el monitor emite de alguna manera ese tono de iluminación, lo que es falso en realidad, dado que los monitores solo pueden emitir luz de tonos rojo, verde o azul. En realidad, ese tono amarillo que la persona percibe se trata de una especie de engaño, pues cuando nuestro ojo recibe al mismo tiempo estímulos luminosos de luces rojas y verdes, percibe un tono amarillo automáticamente.¹¹

Por otro lado, cabe mencionar que, para poder ver un objeto cualquiera o alguna escena o lugar, basta con que en algún punto exista una fuente emisora de radiación electromagnética para que el objeto sea iluminado, que a su vez un dispositivo receptor capte la señal y que un procesador codifique dicha señal. Dicho de otra manera; el ojo no es más que un receptor de señales de dichas ondas electromagnéticas, que responde a un cierto estímulo y a otros no, es en cierta manera similar el funcionamiento al de un radio, que es sensible a las ondas hertzianas, pero no a las ondas emitidas por una bombilla.¹¹

Por lo cual, existe un cierto rango de ondas en donde nuestro ojo es totalmente funcional a la recepción de ondas electromagnéticas que van de los 0.76 milésimas de milímetro hasta los 0.38 milésimas de milímetro; a este rango de percepción es algo que llamamos comúnmente como 'luz visible'.¹¹

Generalmente si a una persona se le pregunta ¿Cuántos colores primarios existen?, casi con toda seguridad esta responderá que son 4; pero ¿Por qué sucede esto? La respuesta a esto está en el mecanismo de respuesta de 2do nivel, que también llamado 'canales cromáticos'; este mecanismo de respuesta actúa de la siguiente manera, el cerebro compara (restando) los estímulos enviados por los conos 'rojos' y 'verdes' y genera un canal denominado rojo/verde. En un segundo mecanismo de respuesta se genera el canal azul/amarillo, que se deriva de la comparación informática de los conos 'azules' con la suma de la información portada de los conos 'rojo' y 'verde'. Y finalmente en la resultante del proceso anterior la sumatoria calculada se subministra a un 3er canal denominado 'canal de luminancia'.¹¹

Así mismo nuestra visión cromática es capaz de brindarnos información acerca del espectro de reluctancia de los objetos, permitiendo que así los detectemos, y poder discriminarlos de los alrededores, así como determinar sus propiedades internas.¹⁷

Cuando observamos la hierba, lo único que sucede es que las mismas propiedades eléctricas de la planta o hierba son capaces de reemitir las ondas con longitudes no mayores a los 550nm, lo cual nuestro sistema visual lo percibe como una tonalidad verde; es por esta misma razón que el concepto 'verde' no puede ser considerado como una propiedad física de la hierba, ya que si la hierba fuera iluminada con otra fuente de luz que no fuera la luz solar, la sensación y la percepción de la hierba sería diferente.¹¹

El 'tono' representa el color percibido por el observador; cuando decimos que un objeto es rojo o naranja, se está especificando el 'tono'.¹⁰

La 'saturación' se refiere a que tan puro es el color, es decir, cuanto blanco se mezcla con el color.¹⁰

La claridad implica la noción de lo que percibimos de la intensidad de la luz en un objeto reflectante, es decir que refleja luz, pero no tiene luz propia.¹⁰

El 'brillo' se usa para referirse a la intensidad percibida por un objeto con luz propia, la percepción del color depende de lo que lo rodea. El color afecta a la percepción del tamaño.¹⁰

La habilidad de regulación cromática en espacios cerrados permite que, en un mismo medio ambiente, las personas ahí presentes tengan la misma percepción del color, debido a que están compartiendo un mismo promedio de iluminación.^{17,18}

Así mismo diferentes científicos a lo largo del tiempo han descrito diferentes teorías de la percepción del color, unas más aceptadas que otras, pero al mismo tiempo todas comparten la coherencia y la aceptación en general.

Teoría de Young-Helmholtz:

En 1802 el científico Thomas Young, postuló tal teoría, basado en la suposición de la existencia de 3 diferentes receptores en la retina humana, cada uno sensible a una composición espectral específica.

Posteriormente el científico alemán Helmholtz, expandiría la idea de Young al tomar su teoría y complementarla con una curva espectral de sensibilidad para cada conjunto de receptores. En su propuesta original diseñó receptores que eran máximamente sensibles a las longitudes correspondientes al rojo, azul y verde.

En su forma más simple la teoría del receptor tricromático afirma que solo son necesarios 3 tipos de receptores, por tanto, todas las mezclas resultantes pueden producirse por la distribución adecuada del sistema de 3 receptores.

Rushton (1962, 1965) realizó un experimento en el cual introdujo un haz de luz hacia dentro del ojo y luego midió la cantidad de luz reflejada hacia afuera. Para así poder calcular la diferencia entre la cantidad enviada y la reflejada, obtuvo una estimación de la cantidad de luz absorbida por los fotopigmentos para cada longitud de onda en ojo humano intacto.

Rushton no pudo encontrar pruebas de la existencia de conos que contuviesen un pigmento para igualado de azul en la fovea, pero si obtuvo curvas para la igualación en los rojos y verdes; lo cual sugiere que, para pequeños objetos vistos con la visión central, todos los observadores son dicrómatas, de manera más específica, tritanópicos. Evidencias recientes basadas en la destrucción de conos azules en la retina de monos mediante la exposición prolongada a la luz de corta longitud de onda, han confirmado el hecho que de no hay conos azules en una región circular de un diámetro de 25 min de arco de diámetro en la fovea

central. Debido a que la distribución de los conos no es de manera uniforme en la retina, nuestra respuesta al color es distinta en las diversas partes del ojo.

Se puede concluir de estas pruebas realizadas que, a mayor distancia de la fovea, las respuestas al color desaparecen en el siguiente orden: verde, rojo, amarillo y azul. En la periferia lejana de la retina somos totalmente ciegos al color.^{16.18}

Teoría de los procesos oponentes:

Ewald Hering (1878-1964) fisiólogo alemán, no estaba satisfecho por completo con la teoría tricromática. Hering observó otro aspecto de la experiencia en la decodificación de los colores; notó que los observadores nunca registran ciertas combinaciones de color, esto lo llevó a sugerir procesos neurológicos hipotéticos en los que los cuatro colores primarios están dispuestos en pares opuestos.

Un proceso oponente indicaría la presencia de rojo o verde y otro señalaría el azul o amarillo.

Un ejemplo de esta clase de proceso podría ser una sola neurona cuya tasa de actividad se incrementa con la presencia de un color (rojo) y disminuye ante su color opuesto (verde). Debido a que la actividad de la célula no puede crecer y decrecer en forma simultánea, no es posible tener un verde rojizo.

Otras células con proceso oponente podrían responder de modo semejante al azul y amarillo. Se sugiere la existencia de una tercera unidad para la percepción de brillantez, a la que se llamó proceso oponente blanco y negro, ya que se tratan psicológicamente como si fueran “colores puros”.

Es decir que la reacción o actividad del sistema rojo-verde y del azul-amarillo, se conjuntan en el proceso de reacción del color azul para dar color al violeta; y la brillantez de dicho tono dependerá del sistema blanco-negro, pues este último sistema determinará que tan brillante u oscuro parece un color antes la percepción visual.

Existe evidencia en el sentido de que había células que aumentaban o disminuían directamente sus ritmos de excitación en respuesta a las luces de cualquier longitud de onda. Sin embargo, también se ha observado la existencia de células de tipo oponente cuyos ritmos de respuestas generales dependían de la longitud de onda de la luz; eran excitadas por algunas longitudes de onda e inhibidas por otras y, por lo general, manifestaron diferentes ritmos de excitación a diferentes longitudes de onda.

No hay una vía privada hacia el cerebro por cada receptor; la información tricolor se procesa de alguna manera en la retina y se codifica en señales de color de «encendido-apagado» por cada una de las células ganglionares sensibles al color, por la transmisión hacia los centros visuales superiores.^{16,18}

La flexibilidad es demostrada por la habilidad visual del sistema que se ajusta a la diferencia cromática del ambiente, para ayudar a corregir la saturación de luz en los conos, y así normalizar la visión cromática en personas tricrómatas.¹⁷

Así como la agudeza visual muestra una curva descendente a través de los años, con la visión cromática sucede algo similar, con la diferencia que en este último caso el proceso es aún más acelerado en comparación con lo sucedido en la agudeza visual. Con la creciente necesidad de poseer una visión cromática normal, su aceptación en el campo es de vital importancia, así como los métodos más precisos para su evaluación correcta.¹⁴

Capítulo 2: La Adaptación a la Oscuridad

Supervivencia, el instinto más básico de la humanidad desde que se tiene registro de ésta, la visión en la oscuridad adquiere otro sentido e importancia si pensamos que nuestros antepasados no poseían iluminación artificial y vivían en casi total oscuridad, esto podría ser un indicativo de que sus fotorreceptores pudieron haber estado mayormente desarrollados para valerse en la penumbra¹⁹. Por otro lado, con el paso del tiempo, la luz artificial ha ido solucionando esa problemática y ha permitido al hombre desarrollarse plenamente en ambientes de poca iluminación.

En el año de 1903 fue medida por primera vez la influencia tanto de la adaptación a la luz subsecuente de la adaptación a la oscuridad; mientras que anteriormente en 1865 el comportamiento del sistema visual ya había sido descrito en estas circunstancias.

Sin embargo, en la primera medición realizada por Piper, este perdió el rango de reacción o adaptación de los conos, pues en ese momento se describía como algo muy rápido, posteriormente en 1922, Kohlrausch, enfatizó la existencia de ambas células fotorreceptoras (conos y bastones) en la adaptación a la oscuridad, y demostró que tienen una separación de tiempo de reacción importante.

En cuanto al rango de intensidad que cubren las células fotorreceptoras, dicha cualidad dependerá del color e intensidad luminosa, así como el área de la retina donde dicho estímulo cae.²⁰ De acuerdo con Elenius y Heck, la actividad de los conos en la adaptación a la oscuridad inhibe la actividad de los bastones durante la adaptación a la misma, retrasando el momento donde la actividad de los bastones conecta con el nervio óptico.²¹

Como es sabido en su mayoría los vertebrados poseen dos tipos de fotorreceptores diferentes, los cuales a su vez cumplen con funciones específicas cada uno. Mientras que los bastones son más sensibles en comparación con los conos, en cuestión de saturación de luz, los conos poseen una mayor capacidad de reacción, pues los conos tienen un espectro de saturación mayor al de los bastones.

Se describió en la adaptación a la oscuridad un proceso bifásico, llevado a cabo en una etapa rápida llevada a cabo por los conos donde se describe una reacción de 3-4 minutos, y que posteriormente entran en acción los bastones con una etapa más tardía o lenta donde el tiempo estimado es de alrededor de 30 minutos.^{20,22}

La adaptación a la oscuridad ha sido descrita como un proceso bifásico, que se comprende de una fase de inicio rápido ejercida por los conos, seguida de una fase más lenta ejercida por los bastones; a pesar de que la fase lenta en el proceso bifásico descrito está a cargo de los bastones, la intervención de un agente patológico tal como una DMAE, que precede a cambios en la retina y cambios en la medición de conos modifica dicho proceso bifásico.

El ciclo canónico toma lugar en el citoplasma del Epitelio Pigmentado de la Retina (EPR); mientras que el ciclo cónico toma lugar en las células de Muller. A pesar de que las afecciones patológicas son la principal causa de afección hacia la adaptación a la oscuridad, diversos estudios han demostrado que los usos de fármacos causan potencialmente degeneración de conos por el bloqueo de la sensibilidad de recuperación de la fotosensibilidad^{23, 24}.

Como ya se mencionó anteriormente existen dos ciclos en la adaptación a la oscuridad; estos son llamados “ciclo visual canónico” y el “ciclo de especificidad cónica”.²³

Cuando se alcanza el umbral máximo en la adaptación de cualquier condición ya sea luz u oscuridad, el umbral de luz específico marca una denotada diferencia, indicando que las

condiciones no producen los mismos resultados como lo estableció Stiles y Crawford en 1932²⁴.

La prolongación de dicha adaptación a la obscuridad en adultos mayores dificulta la orientación, e incrementa el riesgo de caídas nocturnas y de accidentes de tránsito²⁴.

La adaptación a la obscuridad es una función neuronal altamente sensible, la cual puede verse afectada por una entidad patológica^{20,23,24}, se refiere también a la recuperación gradual de la sensibilidad visual en completa obscuridad seguido de la exposición de luz brillante, la visión bajo la obscuridad o 'escotópica' es mediada por los bastones que alcanzan su máximo potencial a los 40 minutos, sin embargo, los sujetos de mayor edad pudieran necesitar de hasta 90 minutos para alcanzar el máximo potencial de los bastones esto se podría asociar a la descomposición de la imagen a través de la retina de distintas edades²⁵.

Dicho proceso de adaptación, en especial la fase de mediación de los bastones, es más tardía en los adultos mayores, una explicación a este proceso tardío es que la regeneración de dichas células pudiera estar alterada por la edad; debido a que la lenta adaptación a la obscuridad está relacionada a diversas patologías entre ellas la más frecuente la Degeneración Macular Asociada a la Edad (DMAE)²⁶, la aportación de oxígeno proveniente de la coroides hacia las funciones visuales se convierte en parte fundamental del proceso de fototransducción²².

Estudios psicofisiológicos de sensibilidad fotópica y escotópica han identificado correlaciones funcionales en hallazgos histopatológicos que muestran el riesgo de los bastones en la degeneración durante la DMAE²⁷; sin embargo para las personas que no padecen algún ente patológico existe el riesgo de que la prolongación a su respuesta de adaptación se deba a los cambios en la densidad que muestran los adultos mayores, ya que estudios han mostrado que, mientras la densidad y localización de los conos en la zona de la fovea permanece sin cambios significativos, en contraste los bastones llegan a reducir su número hasta en un 30%; por otro lado la estabilidad de los bastones así como la producción de rodopsina y la disminución de células fotorreceptoras, sugiere que la

plasticidad en el sistema de bastones en un adulto mayor tiene relación con el declive de la sensibilidad escotópica^{27,28}.

Descrita en muchas ocasiones como una respuesta sensorial, la adaptación a la oscuridad podría ser utilizada como referencia de alguna entidad patológica que se esté desarrollando en el sistema visual del individuo; sin embargo, existe muy poco material de parámetros estandarizados lo que convierte a las pruebas en algo muy subjetivo y no son tomadas como una prueba de apoyo de diagnóstico clínico, es importante mencionar que los periodos de adaptación y el tiempo que implicaría el realizar pruebas para la misma, también es un factor que no permite que tomen en cuenta para el apoyo diagnóstico.

Proceso de fototransducción

La principal relevancia o propósito de hablar de este tema, es la relación que pueda tener referente a la visión al color, pues las principales células fotorreceptoras involucradas en la adaptación a la oscuridad son los bastones; y debido a que es sabido que los conos son los que se encargan de la transducción visual de una longitud de onda a color, es importante saber si es que los bastones poseen cierto papel en ello también.

Se podría definir a la fototransducción como el proceso mediante el cual un fotón genera una respuesta nerviosa en el segmento externo de los fotorreceptores ya sea de los bastones o de los conos. Aquí, refiriéndonos a los bastones, la proporción en la retina es de 20:1 con respecto a los conos.

En el segmento externo de los fotorreceptores existe un área lipídica conformada por una bicapa membranosa, y dicha membrana, esta compactada por el foto pigmento llamado 'RODOPSINA', este foto pigmento forma parte de una familia de proteínas receptoras (G receptoras acopladas a proteínas); dicha cascada foto transductora se puede dividir en 5 pasos, de los cuales los primeros 3 involucran proteínas asociadas a la membrana del disco, mientras que los últimos dos pasos involucran al citoplasma mensajero, GMP cíclico y tiene acción en la membrana plasmática.^{29,30}

Posteriormente, la luz es la encargada de iniciar dicha cascada, posee (la luz) ciertas particularidades de onda y al mismo tiempo de partícula. Las que la definen como onda son aplicadas a las propiedades ópticas del globo ocular, mientras que sus propiedades de partícula (fotón) se aplican para explicar la estimulación de los fotorreceptores.^{30,23}

Cuando el pigmento visual es iluminado y activado por la luz, la cascada de foto transducción es activada produciendo una respuesta celular, lo que resulta en la foto transducción del pigmento a all-trans-retinal y opsina libre²⁴.

A continuación, se describen los pasos que sintetizan la fototransducción :

1. Se realiza la activación de la rodopsina, un fotón es absorbido en el segmento externo, isomerizando el cromóforo (región molecular donde la diferencia de energía entre dos orbitales moleculares cae dentro del rango del espectro visible) en su configuración all-trans, activando la rodopsina como R.
2. Activación de la proteína G. Todas las moléculas son transportadas al segmento externo, para su difusión lateral, la activación de R y el inactivo G, entran en contacto. En este estado R-G, una molécula de GDP que había estado unida a la subunidad alfa de la proteína G es liberada, permitiendo que una molécula de GTP del citoplasma se una a ese sitio. El proceso es llamado 'cambio de nucleótido' activa la proteína G. La rodopsina no ha sido modificada, y este proceso es replicable infinitas veces.
3. Activación del PDE. Este proceso sucede después del cambio de nucleótido, y el mensaje es llevado hasta la sub-unidad α , ahora en forma de $G\alpha$ -GTP, y como resultado de la difusión lateral, entra en contacto con PDE y se liga a una de sus dos subunidades- γ reguladoras.
4. Hidrolisis del GMP cíclico. En el estado siguiente de la obscuridad, hay un balance entre la síntesis del GMP cíclico por la guanin ciclasa y la lenta hidrolisis del GMP cíclico por la actividad residual del PDE, por lo tanto, existe un estado de concentración plasmática del GMP cíclico.
5. Cierre de canales iónicos. En la concentración restante de obscuridad, el GMP cíclico se une, sostiene y abre una porción de los canales iónicos en la membrana plasmática de la célula²⁹.

La regeneración de la rodopsina posterior al estímulo luminoso, depende y está relacionada o delimitada por la barrera externa ubicada en el segmento externo de la retina, lo cual le implica una lenta regeneración.²³

Durante la recopilación de artículos, no se encontraron evidencias que dijeran que específicamente los bastones formaran parte del proceso que hacen los conos, sin

embargo, si se hace mención de que los bastones mantienen su actividad normal o incluso “ayudan” a la percepción de ciertas longitudes de onda.

Se plantea en el artículo citado, que durante periodos de baja iluminación, existe un incremento de la actividad de los bastones lo que causa un cambio en la apariencia de los colores percibidos.

Mientras que en niveles de iluminación mesóptica, tanto conos como bastones contribuyen en la visión. Anatómicamente se ha demostrado que tanto los conos como los bastones comparten la misma ruta neuronal de las células ganglionares del cerebro.

Una de estas rutas compartidas es la vía ON que va de los bastones-bipolares, hacia las amacrinas, y las bipolares de los conos ON y OFF. La segunda vía transmite información de los bastones mediante la unión de los bastones con las GAP-JUNCTIONS y mediante las bipolares de ON y OFF, y se pudiera decir que esta funciona como un mediador de la visión ejercida por los bastones en niveles de luz mesóptica.

Bajo estos niveles de luz mesóptica, aumenta la activación de los bastones provocando un aumento del brillo y disminuye la saturación espectral de la luz.

Se infirió que, los bastones contribuyen a la percepción de las longitudes de onda cortas “rojo, azul y verde”. Los resultados demostrados en el umbral bajo una escala determinada anteriormente al umbral de percepción utilizado en el estudio, sugiere que los bastones contribuyen hacia la mejor o mayor percepción de un umbral azulado y verdoso.^{31,32}

Por otro lado, y dejando atrás la implicación de los bastones en la percepción de color; es evidente que cualquier entidad patológica que tenga una mínima repercusión a nivel de retina o nivel sensorial, tendrá una repercusión importante (dependiendo de la gravedad de la patología) en la adaptación a la oscuridad.

Existen condiciones como la ceguera nocturna congénita estacionaria que afecta a la adaptación visual nocturna del sistema visual, que es un padecimiento que repercute en el sistema visual y que tiene relación directa con los temas tratados y con el tema principal del trabajo en curso.

Esta particularidad, podría definirse como “un grupo de condiciones generales en la retina caracterizada por una capacidad visual subnormal y una baja visión en condiciones de baja iluminación”. En este particular padecimiento se suelen asociar algunas otras anomalías en

el sistema visual tales como miopía alta en etapas jóvenes, nistagmus, y en algunos casos estrabismo, cabe mencionar que dicho padecimiento no es progresivo.

Para poder realizar un diagnóstico acerca de este padecimiento, se tendría que realizar una medición con un electro-retinograma, esto para medir la amplitud de dos ondas una “a” y otra “b” en condiciones escotópicas, y si dicha medición arroja un resultado menor a uno, se dará como positivo al diagnóstico. Este padecimiento principalmente se atribuye ordinariamente a la transmisión de los fotorreceptores hacia las células de segundo orden.

Este padecimiento puede subdividirse de dos maneras, “completa” e “incompleta”, en la que se nombra de carácter “completo” el defecto se encuentra en las células bipolares ON que alteran la transmisión de la señal del fotorreceptor hacia la célula bipolar. Mientras que en el segundo apartado en la de carácter “incompleta”, el defecto está localizado en la terminal del fotorreceptor y altera la transmisión hacia ambas células ON y OFF.^{32,33,34}

Metodología

Estudio transversal, comparativo, observacional.

Criterios de selección

Inclusión: Pacientes que asistieron a valoración optométrica a la clínica de optometría de la FES Iztacala durante el periodo 2018 1 y 2, sin importar la edad (mientras tuvieran el conocimiento de los colores) o sexo.

Exclusión: Pacientes que presentan deficiencia o ceguera al color, con alguna patología ocular en segmento anterior o posterior, o bien que no tuvieran conocimiento de los colores.

Recursos humanos

Un optometrista para la elaboración de las pruebas

Cuatro optometristas para la aplicación de las pruebas

Recursos materiales

Para la prueba realizada durante dos semestres en el gabinete número 6 de la clínica de optometría, se utilizó:

- Una lámpara con una base rectangular de color negro
- Prueba pseudoisocromatica HRR
- Prueba de ordenamiento D-15
- Cuatro fichas de color blanco de 5x5 cm y cuatro fichas de colores, rojas, verdes, azules y amarillas, de igual magnitud 5x5.
- Un banco donde sentar al paciente frente a la lámpara con base rectangular
- Un guante para el examinador
- Un ocluser para el paciente
- Prueba de Cone adaptation test (incluye fichas blancas, rojas y azules) (Apéndice 1).

Para la realización de las fichas complementarias (verdes y amarillas), se utilizó:

Pintura acrílica profesional “Gama color” (numero 413 siena natural, 4 amarillo medio y 16 verde esmeralda) de color: verde (16), amarillo(4) y blanco(413).

Pincel (grosor medio).

Fichas de madera de 5 x 5cm. (Apéndice 2)

Fases del estudio

Fase 1: Creación de fichas con colores oponentes.

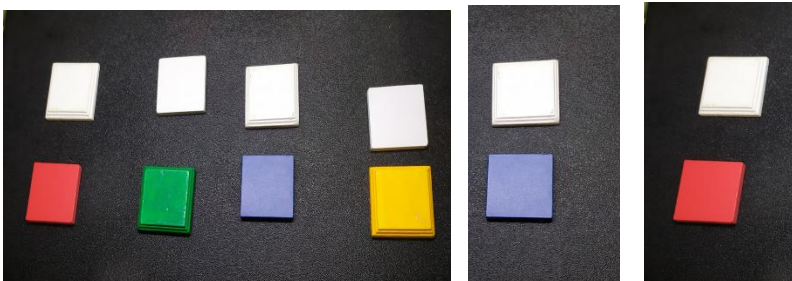
La creación de las fichas con colores oponentes se realizó con materiales de fácil acceso. Se utilizaron 6 fichas de madera de 5x5cm cada una, esto para tener dos fichas de cada color a elaborar (blanco, amarillo y verde), un pincel y un bote de cada color de pinturas gama color. La pintura que se utilizó, no se diluyo en ningún otro medio, se aplicó

directamente sobre cada ficha de madera con el pincel; se deja reposar la ficha después de haber aplicado la primera capa de pintura de cada color (aproximadamente 10-15 minutos), después de este tiempo de reposo, se procede a aplicar la segunda capa de pintura del mismo color previo en cada ficha, esto con la finalidad de que la madera quede completamente uniforme en el color deseado y no se observe el detalle de dicha madera.

Se elaboraron dos fichas blancas de 5x5cm y dos fichas de color de 5x5cm, una de color amarillo y otra verde; esto con la finalidad de poder tener los colores llamados primarios, debido a que la prueba originalmente cuenta con fichas de color azul, rojo y blanco, del mismo tamaño (5x5cm).

Las fichas extras se realizaron de madera, con pintura acrílica de color verde, amarillo y blanca, se aplicaron dos capas de pintura, para poder obtener un color uniforme y sólido con la finalidad de que no pudiese observarse la madera debajo de la pintura.

El propósito de abarcar estos cuatro colores, es poder generar la confusión o como lo indica la literatura usar colores “opuestos” es decir, rojo-verde y azul-amarillo; así con estos colores agregados se complementó la prueba.



Fase 2: Aplicación de la prueba.

Las pruebas se realizaron en el gabinete 6 de la Clínica de Optometría conforme a los criterios de selección.

Procedimiento de la prueba:

1. Se le entrega una carta de consentimiento informado al paciente al paciente, basada en la declaración de Helsinki, explicándole que los datos podían ser utilizados para investigación (Apéndice 3).

2. Se realizaron pruebas de diagnóstico de visión al color previamente al paciente tales como D-15 y HRR, para corroborar que el paciente fuese tricromata para llevar a cabo este procedimiento.
3. Una vez que se confirmaba que el sujeto era “tricromata”, se llenó una forma de registro y se le aplicó la prueba.
4. Con la luz encendida se le explicó en qué consistía la prueba al paciente.
5. Se le mostraron las cuatro fichas de colores.
6. Se procedió a dejar el gabinete en obscuridad casi total la base donde se colocaban las fichas posee una lámpara, y dicha iluminación permanecía encendida por un tiempo más.
7. Posterior apagar la luz del gabinete, se le pedía al paciente que tapara su ojo izquierdo en caso de ser emétrope, y en caso de necesitar Rx, se le colocaba el oclisor de la caja de pruebas sobre su ojo izquierdo para iniciar, y se procedió apagar la única fuente de iluminación artificial que quedaba en el gabinete, que era la del atril.
8. Se colocaron dos fichas frente al paciente una de color blanco y por debajo de esa ficha una de color, sin importar con que color comenzar, siempre y cuando fuera de manera opuesta a la siguiente ficha; es decir, si se comienza con el color ROJO debería seguir en color VERDE, y al AZUL sería correspondiente el AMARILLO, o viceversa en cualquier caso pero respetando la teoría de los colores oponentes, y se mostró solo una ficha al mismo tiempo, siempre había una ficha blanca por encima de la ficha de color.
9. Posterior a esto, las indicaciones para el paciente fueron:
 - Examinador: Delante de ti tienes una ficha, ¿Puedes identificar el color o el contorno de la ficha?, si el paciente respondió que SI, se le preguntaba, ¿De qué color es la ficha?, el debería responder que es de color BLANCO, pues como se mencionó antes, siempre había una ficha blanca antes de la ficha de color.
 - Examinador: “Ahora que pudiste visualizar la ficha blanca la quitaré y quedará debajo otra ficha de diferente color (se retira la ficha de color blanco para dejar expuesta la ficha de color que se colocó previamente debajo de la ficha blanca).
 - Examinador: “Ahora quedo frente a ti otra ficha de color, ¿Puedes distinguir el color de la ficha que quedo frente a ti?

10. Se podían esperar para esta última fase dos respuestas, un SI o un NO, referente a la visualización de la ficha de color que quedó frente al paciente.
11. En caso de que la respuesta fuera un “SI”, se le preguntó de qué color es la ficha, se anotó el tiempo en que el paciente la visualizó y el color de ficha que observó.
12. En el caso que su respuesta fuera “NO”, se daba un tiempo de 20-30 segundos para ver si el paciente podía percibir el color de la ficha, si sobrepasa ese tiempo simplemente se reporta como NP=No Percibe.
13. Se repitió el mismo procedimiento con cada color de fichas, es decir este proceso se pudo repetir 4 veces por ojo, dando un total de 8 veces, siempre de manera monocular y anotando los datos de la misma manera, monocularmente.

El paciente no tuvo contacto físico con las fichas en ningún momento durante la prueba, solamente se encendió la luz al momento de haber finalizado totalmente la prueba, sin embargo, se podía encender la luz del atril donde se realizó la prueba para hacer el cambio de ojo con el ocluser.

La prueba es considerada una prueba de visión cercana, por lo que pacientes présbitas debía portar su ADD, y los pacientes que utilizaban Rx portarla, para obtener la mejor AV cercana.



Fase 3: Análisis de datos:

Se utilizó Excel, para realizar el análisis descriptivo e inferencial realizando pruebas de muestras independientes, pareadas, ANOVA y correlación. Para poder clasificar los

tiempos de recuperación dependiendo de la etapa de la vida, reconocer los colores con mayor dificultad a la adaptación a la obscuridad y realizar las correlaciones de tiempo de adaptación con la edad del paciente.

Resultados:

El total de pacientes atendidos en el periodo 31/10/17 al 03/05/18 fue 105 mujeres y 89 hombres.

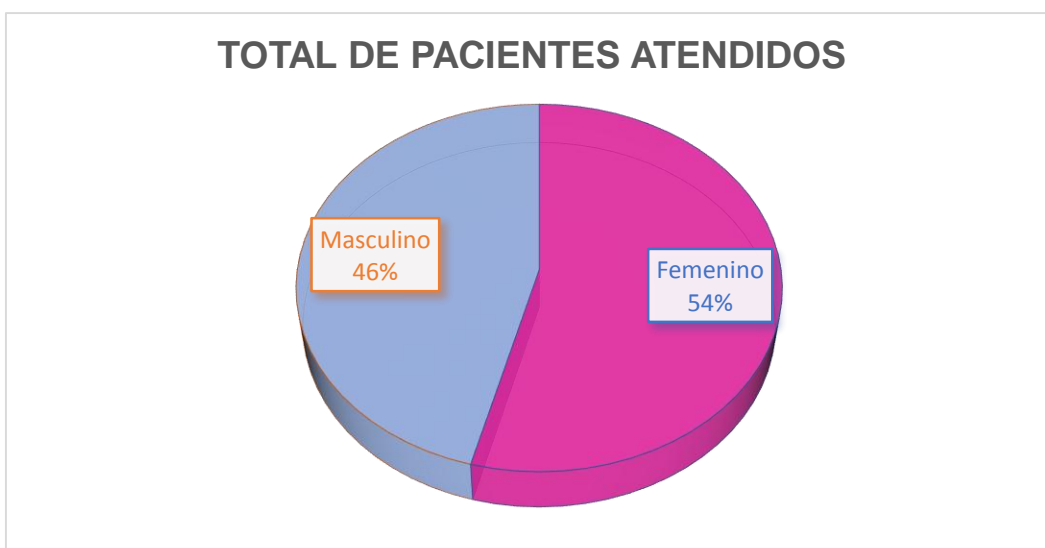


Grafico 1. Pacientes atendidos.

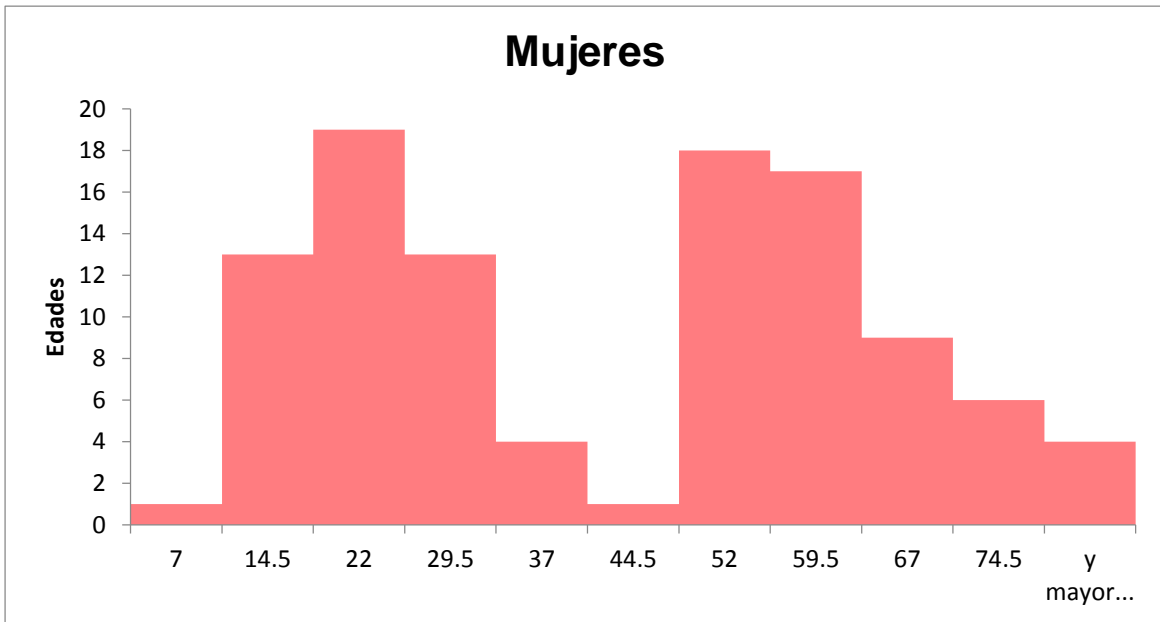


Grafico 2. Con respecto a la edad de las mujeres, osciló entre 7 y 80 años.

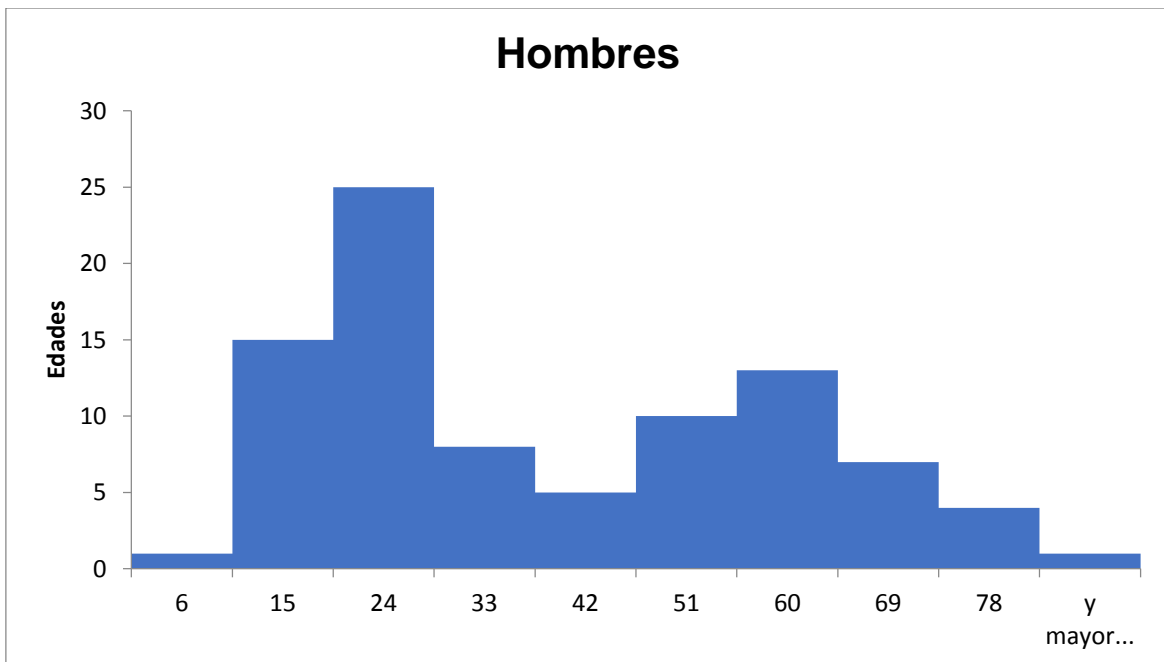


Grafico 3. Con respecto a la edad de los hombres, osciló entre 6 y 86 años.

Género Femenino

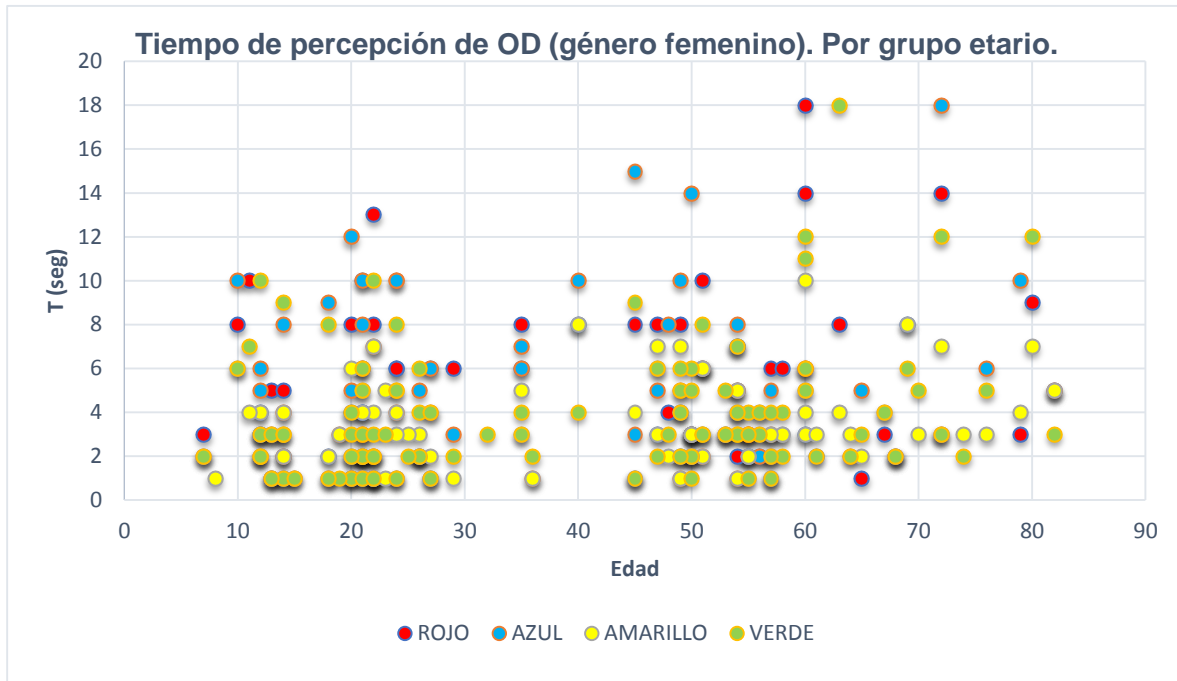


Gráfico 4. Como se puede observar en edades menores a 30 años existe una mayor concentración de percepción de color verde y amarillo en un menor tiempo (1 segundo) y a partir de los 40 años el mínimo tiempo requerido para la percepción de estos colores es de 4 segundos. Y con respecto a los colores rojo y azul existe menor o nula percepción en todas las edades, aumentando aún más el tiempo de percepción en edades mayores a 40 años (hasta 18 segundos).

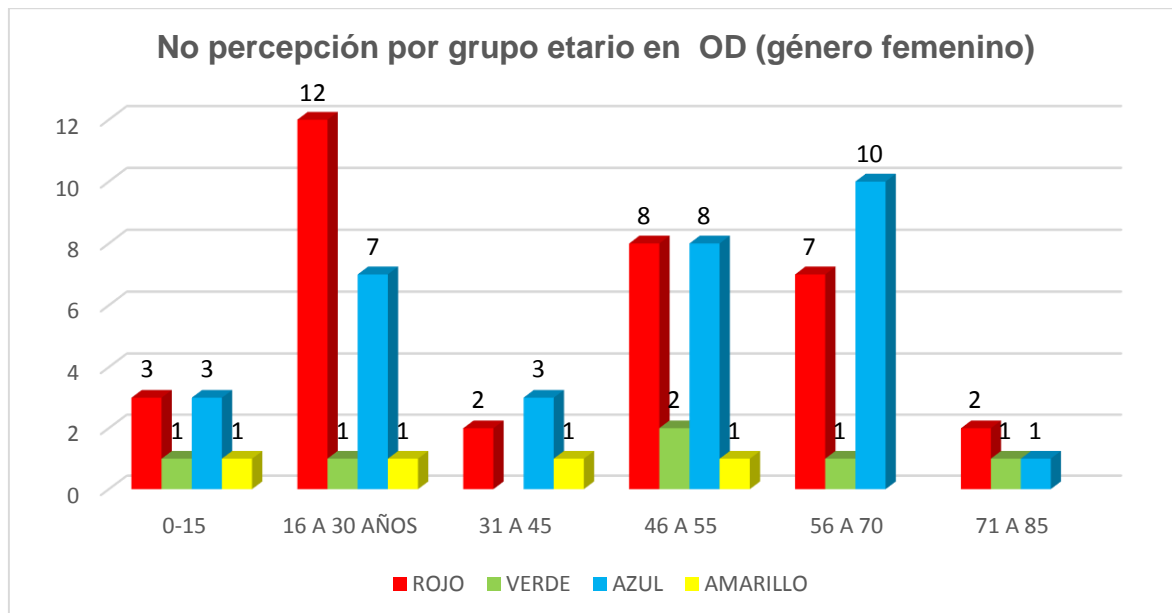


Gráfico 5. En este gráfico se representa por edades, que colores son los que NO se perciben, sin importar el tiempo transcurrido; encontrando que el color rojo y azul tienen mayor frecuencia de NO percepción en todas las edades.

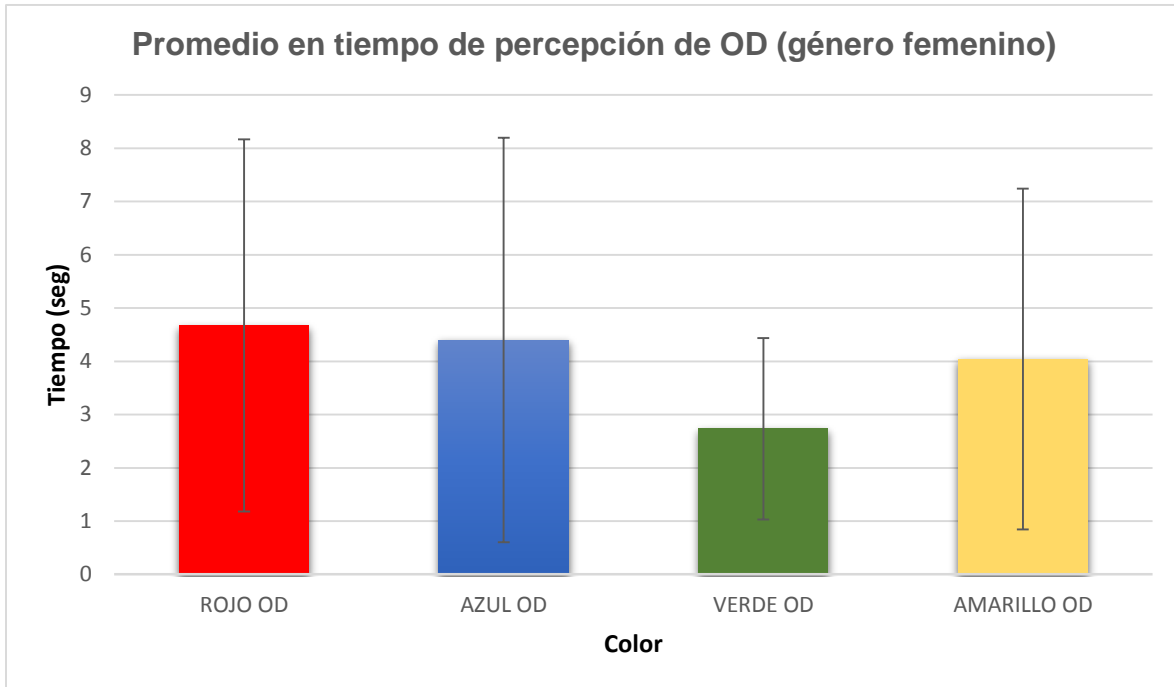


Grafico 6. Se observa que las medias aritméticas de los colores rojo, azul y amarillo están entre 4 y 5 segundos, a diferencia del color verde que se percibe en promedio en 2.8 seg; véase que las desviaciones de todos los grupos son grandes debido a las diferentes edades evaluadas. Mediante un ANOVA se concluye que $p < 0.05$. (La percepción del color verde es diferente en el ojo derecho de las mujeres, con respecto al color rojo, azul, y amarillo).

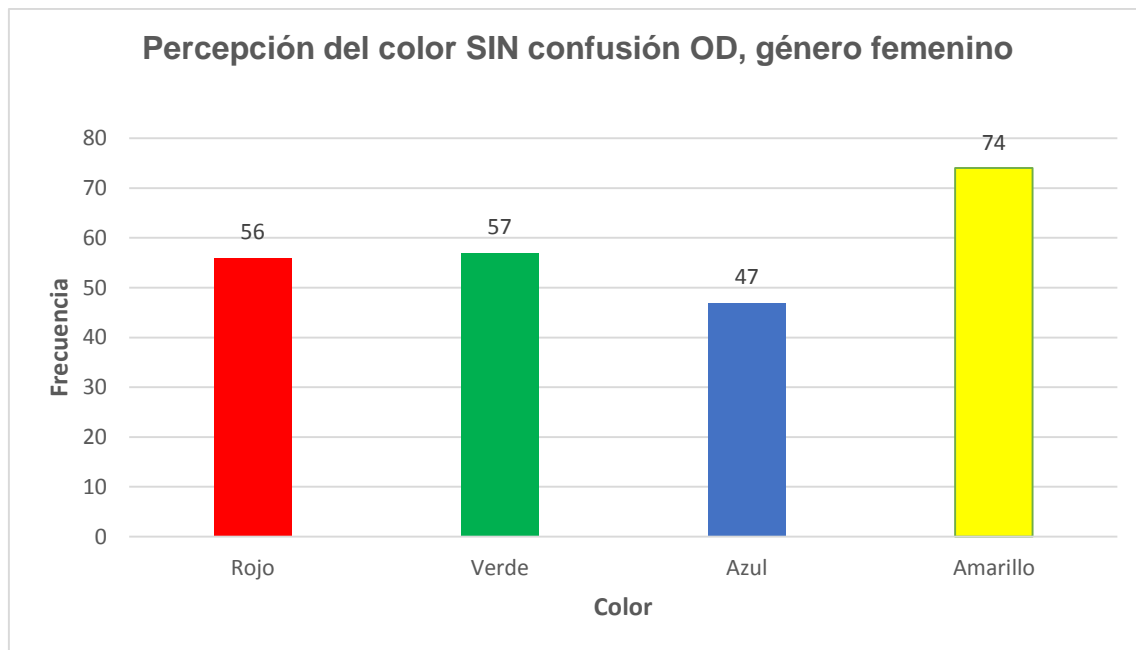


Grafico 7. La mayor cantidad de pacientes mujeres percibe el color amarillo con el OD.

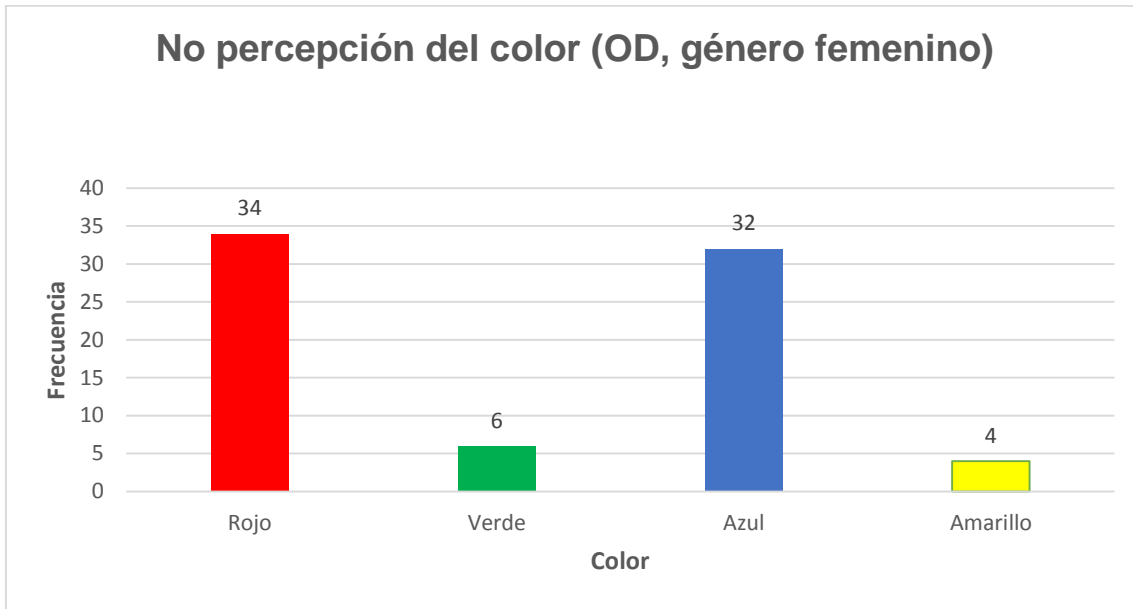


Grafico 8. Los colores rojo y azul tienen la mayor frecuencia de NO percepción en el OD de las mujeres.

COLOR	Confusión	Frecuencia	Confusión	Frecuencia	Confusión	Frecuencia	Confusión	Frecuencia
Rojo	Negro	10	Gris	3	Rosa	2	Otro	5
Azul	Negro	13	Verde	9	Morado	3	Otro	4
Amarillo	Rosa	10	Naranja	6	Morado	3	Otro	7
Verde	Azul	14	Amarillo	13	Morado	4	Otro	13

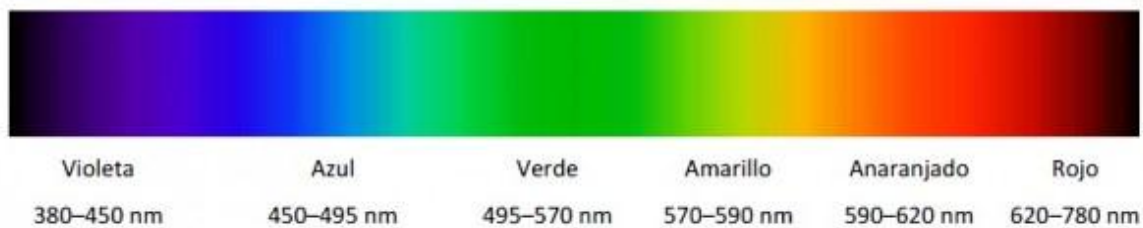


Tabla 1. Tabla de frecuencias de confusión en OD, género Femenino. Como puede observarse cada color puede confundirse con tres o más colores diferentes, que se encuentran a la derecha o a la izquierda del diagrama cromático.

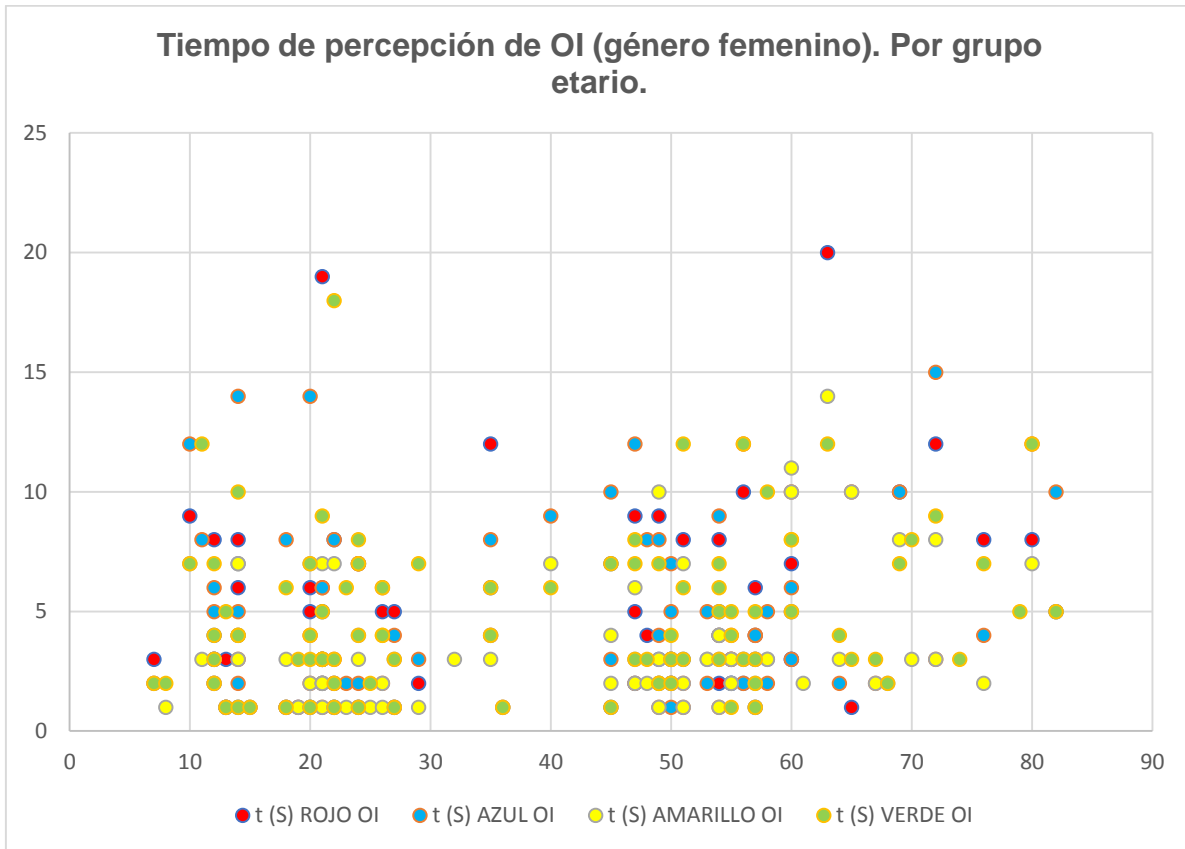


Grafico 9. Como se puede observar en edades menores a 30 años existe una mayor concentración de percepción de color verde y amarillo en un menor tiempo (1 segundo) y a partir de los 40 años el mínimo tiempo requerido para la percepción de estos colores es de 4 segundos. Y con respecto a los colores rojo-azul existe menor o nula percepción en todas las edades, aumentando aún más el tiempo de percepción en edades mayores a 40 años (hasta 18 segundos).

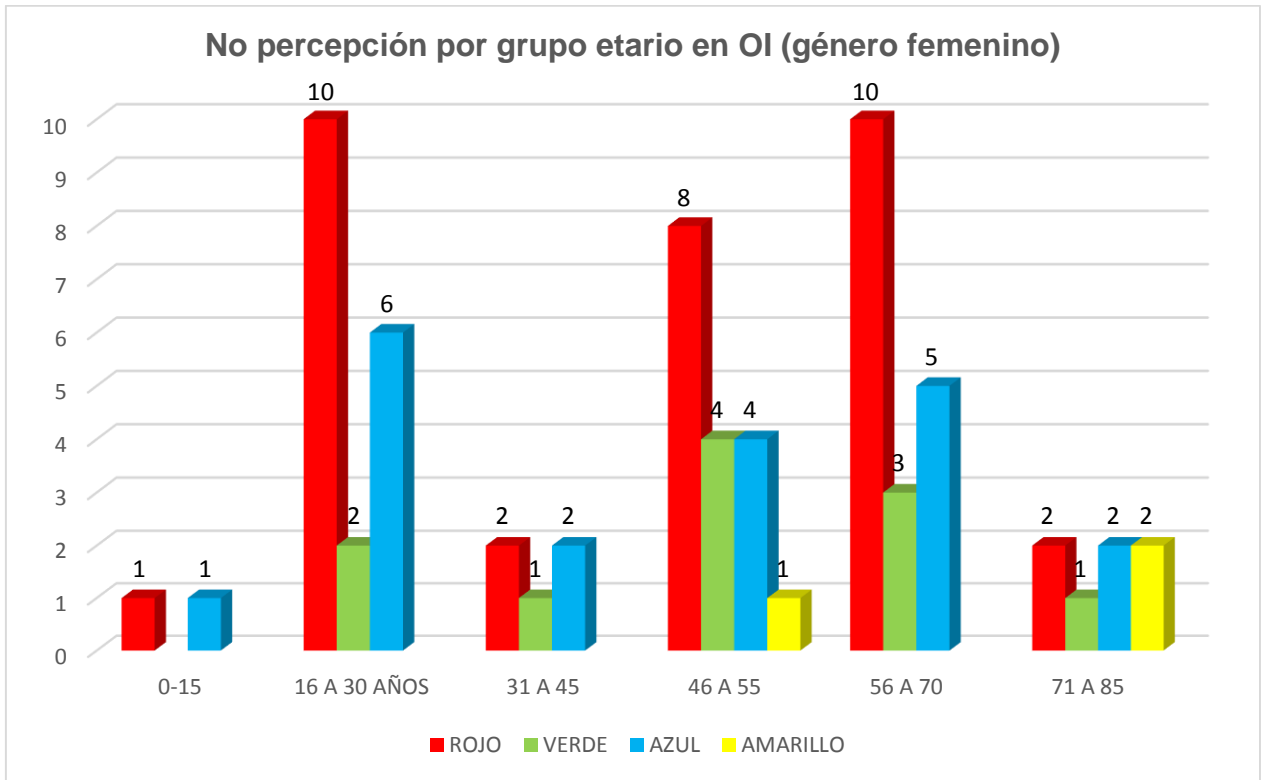


Gráfico 10. En el color rojo y azul predominan las frecuencias de NO percepción en todas las edades en OI.

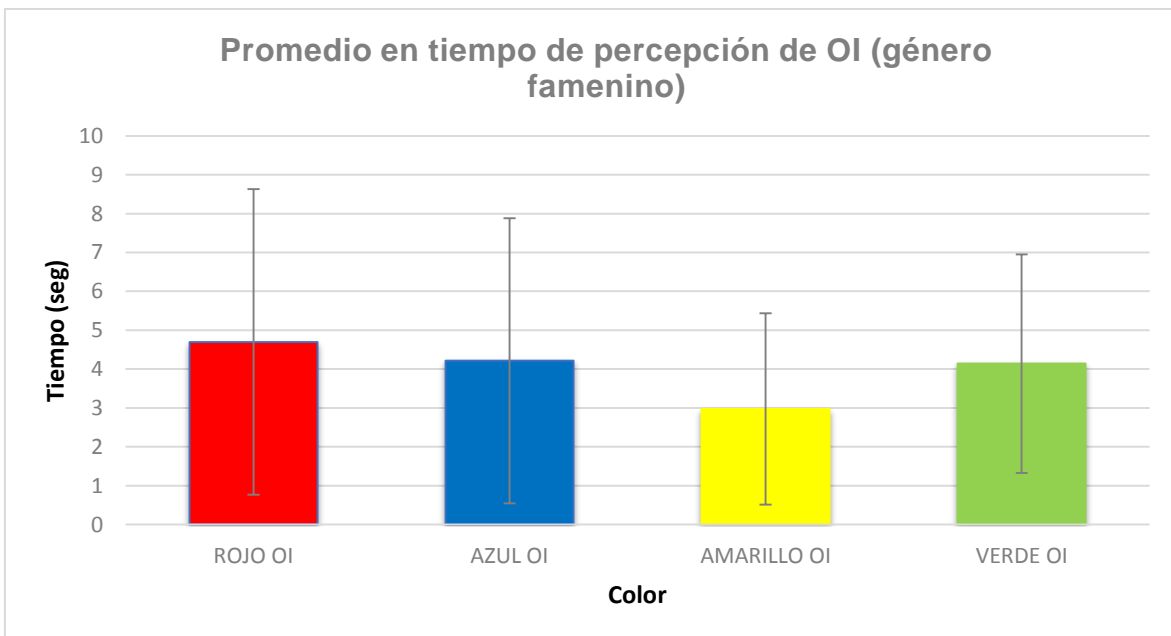


Gráfico 11. Concluimos que las medias aritméticas de los colores rojo, azul y verde están entre 4 y 5 segundos, a diferencia del color amarillo que se percibe en promedio en 2.9 seg; véase que las desviaciones de todos los grupos son grandes debido a las diferentes edades presentadas. Mediante un ANOVA se concluye que $p < 0.05$. (La percepción del color amarillo es diferente en el ojo derecho de las mujeres, con respecto al color rojo, azul, y verde).

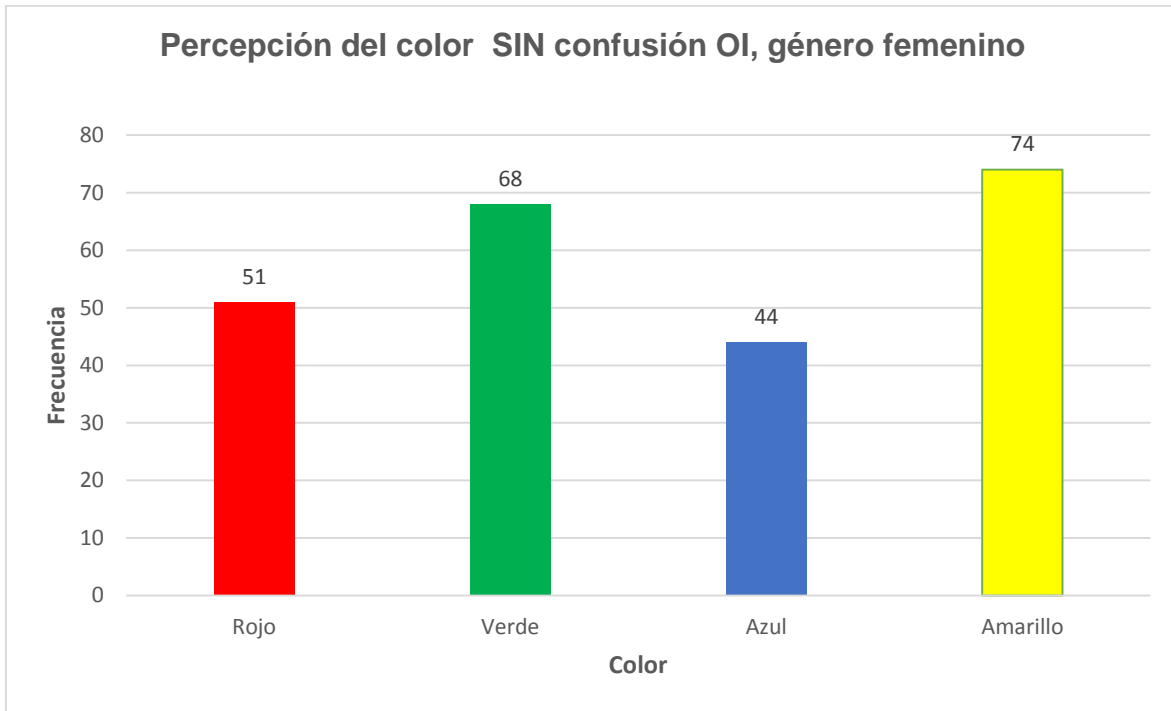


Grafico 12. La mayor cantidad de pacientes mujeres percibe el color amarillo y verde con el OI.

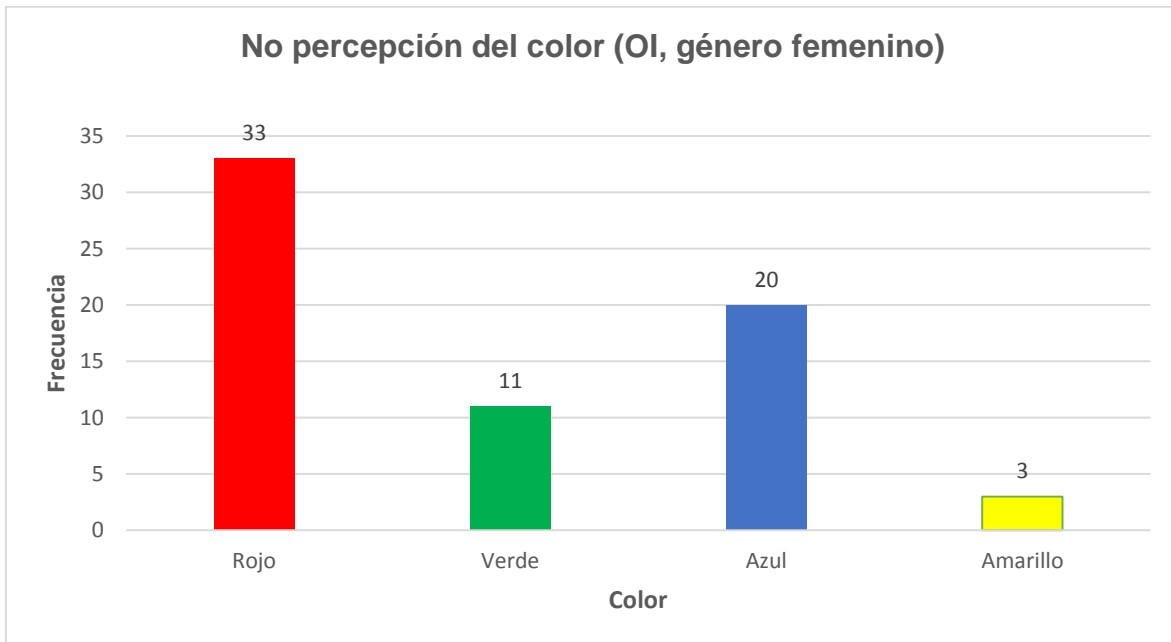


Grafico 13. Los colores rojo y azul tienen la mayor frecuencia de NO percepción en el OI de las mujeres.

COLOR	Confusión	Frecuencia	Confusión	Frecuencia	Confusión	Frecuencia	Confusión	Frecuencia
Rojo	Negro	8	Blanco	2	Café	1	Otro	4
Azul	Verde	14	Morado	6	Negro	9	Otro	6
Amarillo	Rosa	7	Naranja	4	Morado	2	Otro	7
Verde	Azul	24	Morado	3	Gris	5	Otro	3

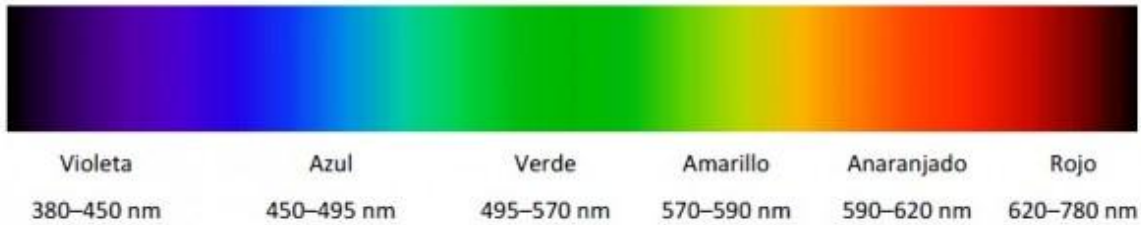


Tabla 2. Tabla de frecuencias de confusión en OI, género Femenino. Como puede observarse cada color puede confundirse con tres o más colores diferentes, que se encuentran a la derecha o a la izquierda del diagrama cromático.

Género Masculino:

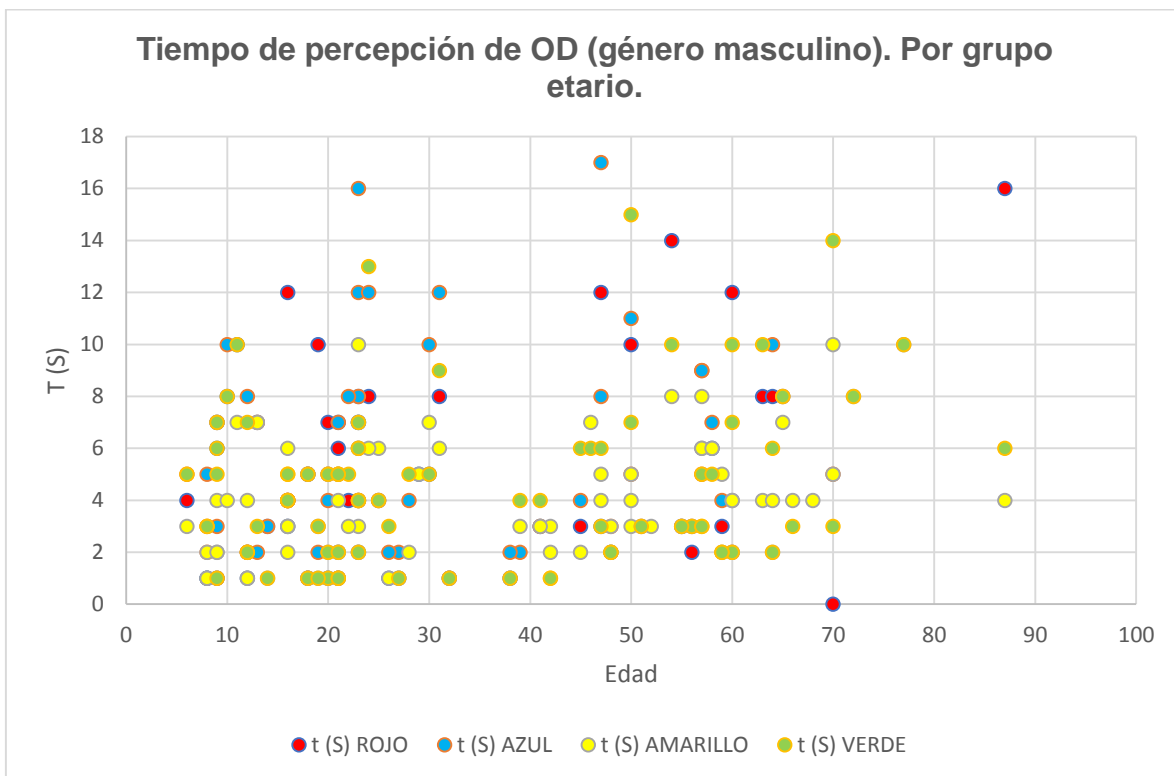


Gráfico 14. En este gráfico observamos que es similar al del género femenino, la mayor concentración ocurre entre los 8 y los 30 años, para los colores amarillo y verde que oscilan entre los 2 y los 4 segundos de percepción. Mientras que los colores rojo y azul se encuentran más dispersos y se muestra que a mayor edad mayor tiempo tomara la percepción de estos.

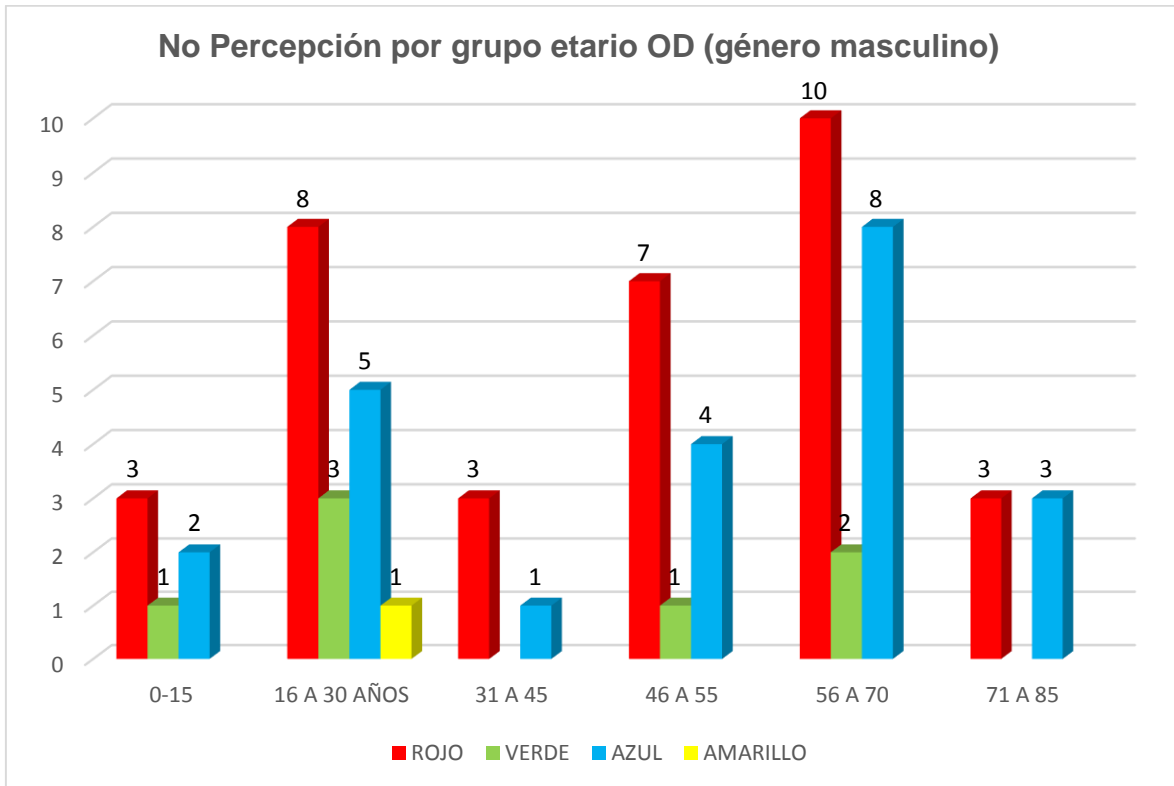


Gráfico 15. En este gráfico representamos por edades que colores son los que presentan mayor dificultad de percepción, encontrando que el color rojo y azul predominan en todas las edades, con sus variaciones, pero demostrando que son los colores en donde se presenta mayor dificultad de percepción.

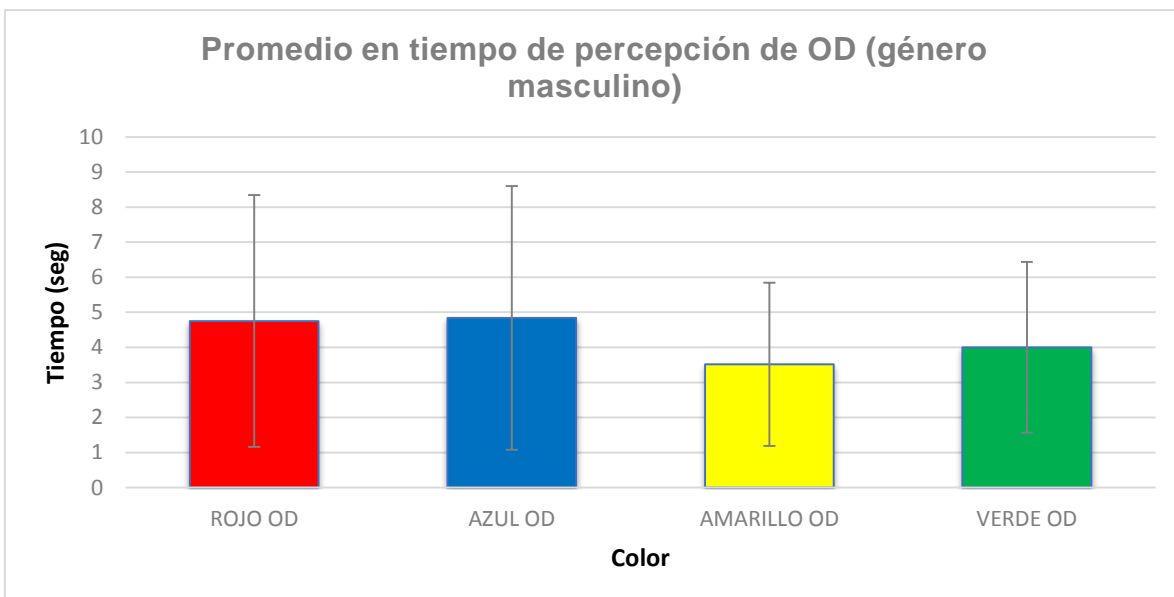


Gráfico 16. Concluimos que las medias aritméticas de los colores rojo, azul y verde están entre 4 y 4.84 segundos, a diferencia del color amarillo que se percibe en promedio en 3.5 seg; véase que las desviaciones de todos los grupos son grandes debido a las diferentes edades presentadas. Mediante un ANOVA se concluye que $p > 0.05$. (La percepción del color amarillo es diferente en el ojo derecho de las mujeres, con respecto al color rojo, azul, y verde).

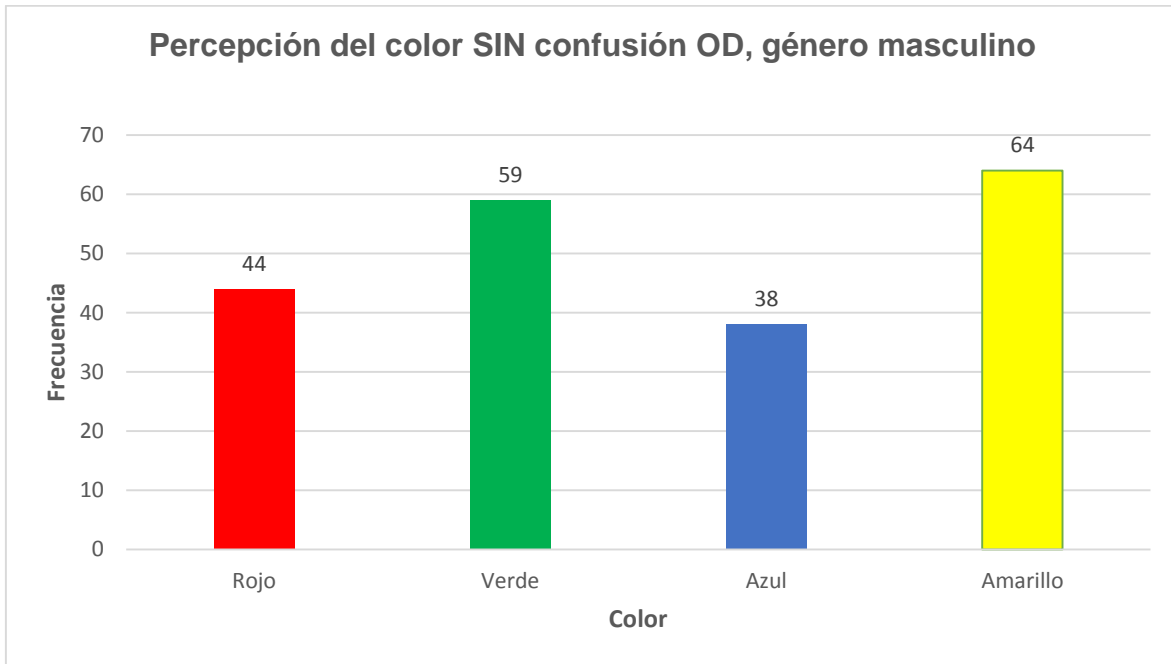


Grafico 17. La mayor cantidad de pacientes hombres percibe el color verde y amarillo con el OD.

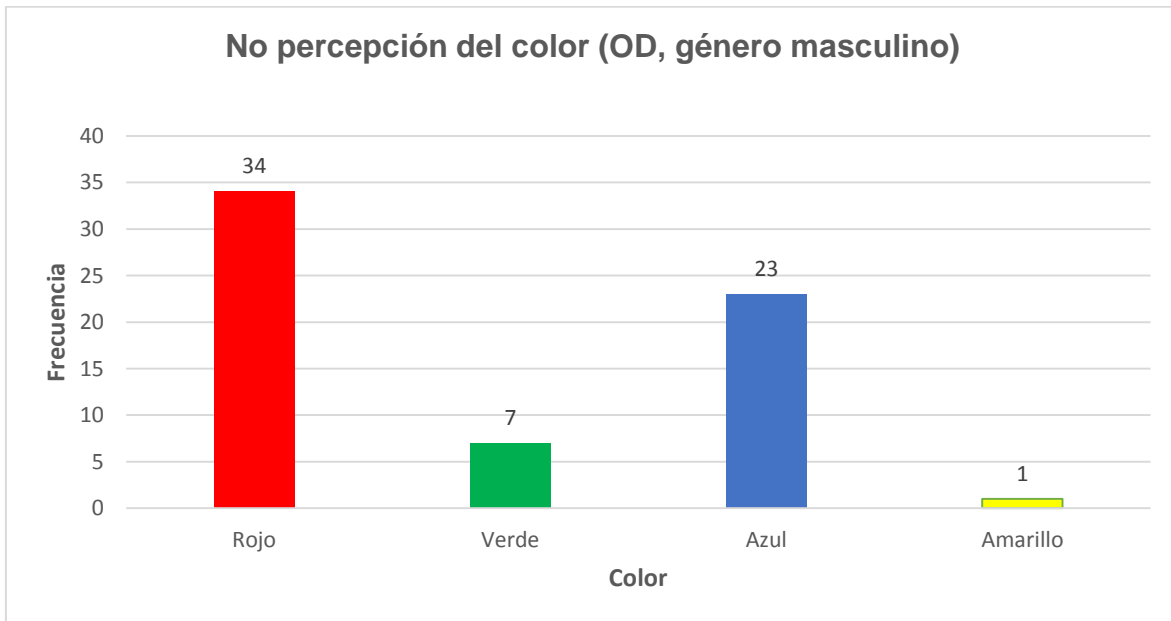


Grafico 18. Los colores rojo y azul tienen la mayor frecuencia de NO percepción en el OD de las hombres.

COLOR	Confusión	Frecuencia	Confusión	Frecuencia	Confusión	Frecuencia	Confusión	Frecuencia
Rojo	Negro	5	Verde	1	Azul	1	Otro	2
Azul	Verde	12	Negro	6	Rosa	2	Otro	3
Amarillo	Rosa	5	Naranja	8	Morado	4	Otro	7
Verde	Azul	13	Gris	3	Negro	4	Otro	1

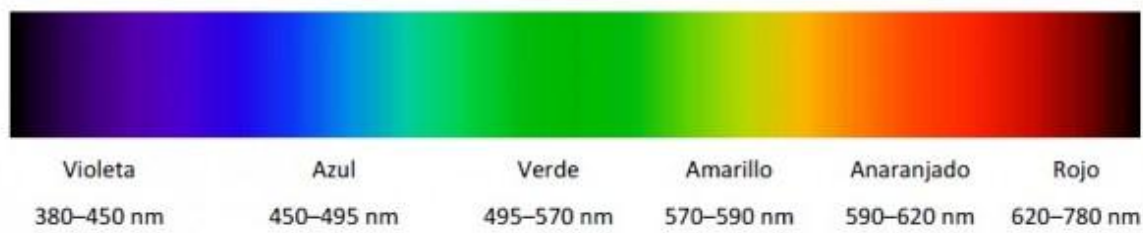


Tabla 3. Tabla de frecuencias de confusión en OD, género Masculino. Como puede observarse cada color puede confundirse con tres o más colores diferentes, que se encuentran a la derecha o a la izquierda del diagrama cromático.

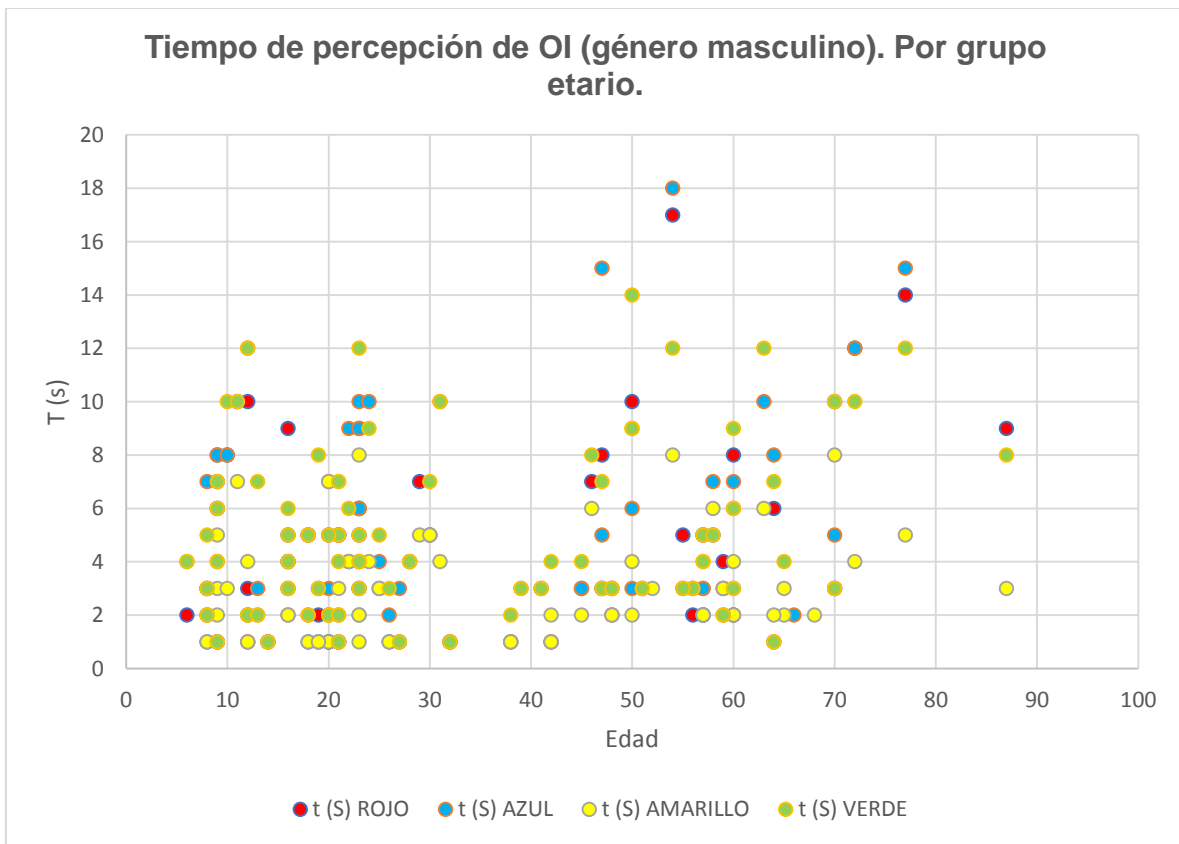


Grafico 19. En este gráfico observamos que es similar al del género femenino, la mayor concentración ocurre entre los 8 y los 30 años, para los colores amarillo y verde que oscilan entre los 2 y los 4 segundos de percepción. Mientras que los colores rojo y azul se encuentran más dispersos y se muestra que a mayor edad mayor tiempo tomara la percepción de estos.

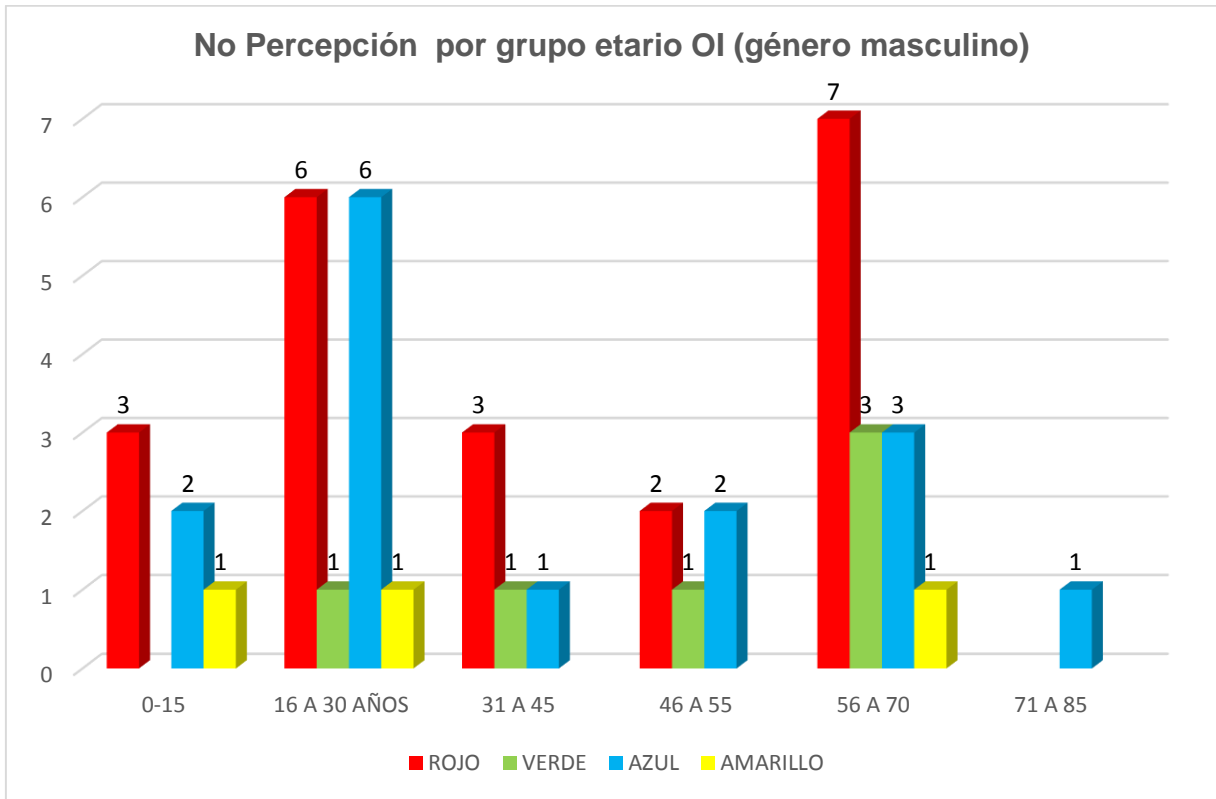


Gráfico 20. En el color rojo y azul predominan las frecuencias de NO percepción en todas las edades en OI.

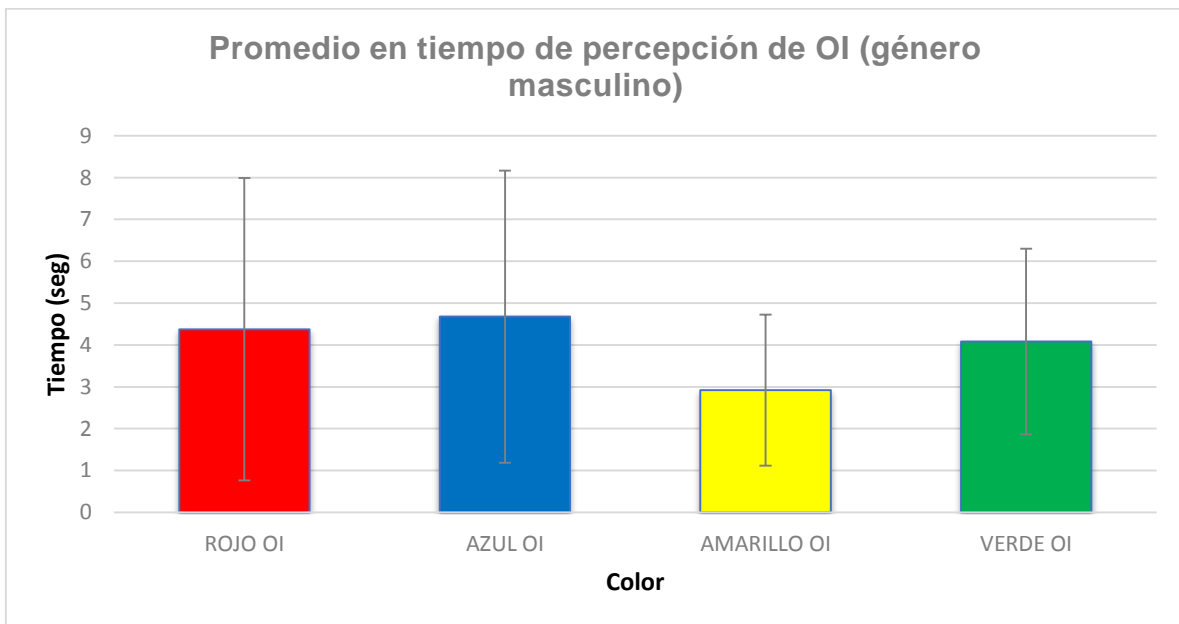


Gráfico 21. Concluimos que las medias aritméticas de los colores rojo, azul y verde están entre 4 y 4.6 segundos, a diferencia del color amarillo que se percibe en promedio en 2.9 seg; véase que las desviaciones de todos los grupos son grandes debido a las diferentes edades presentadas. Mediante un ANOVA se concluye que $p < 0.05$. (La percepción del color amarillo es diferente en el ojo derecho de las mujeres, con respecto al color rojo, azul, y verde).

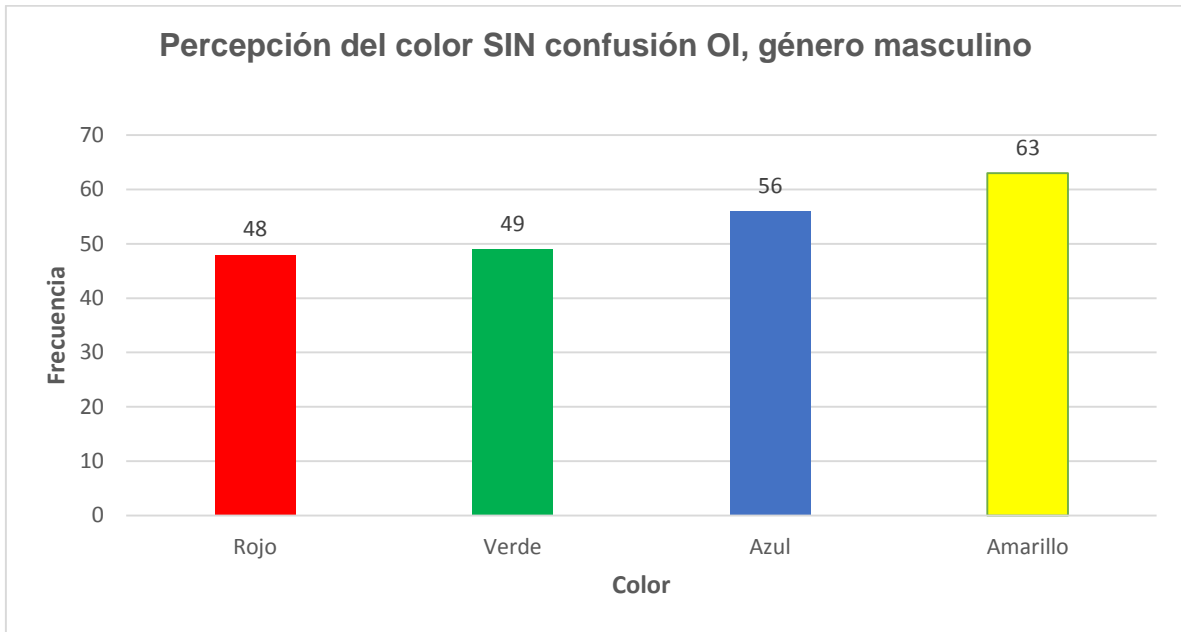


Grafico 22. La mayor cantidad de pacientes hombres percibe el color amarillo con el OI.

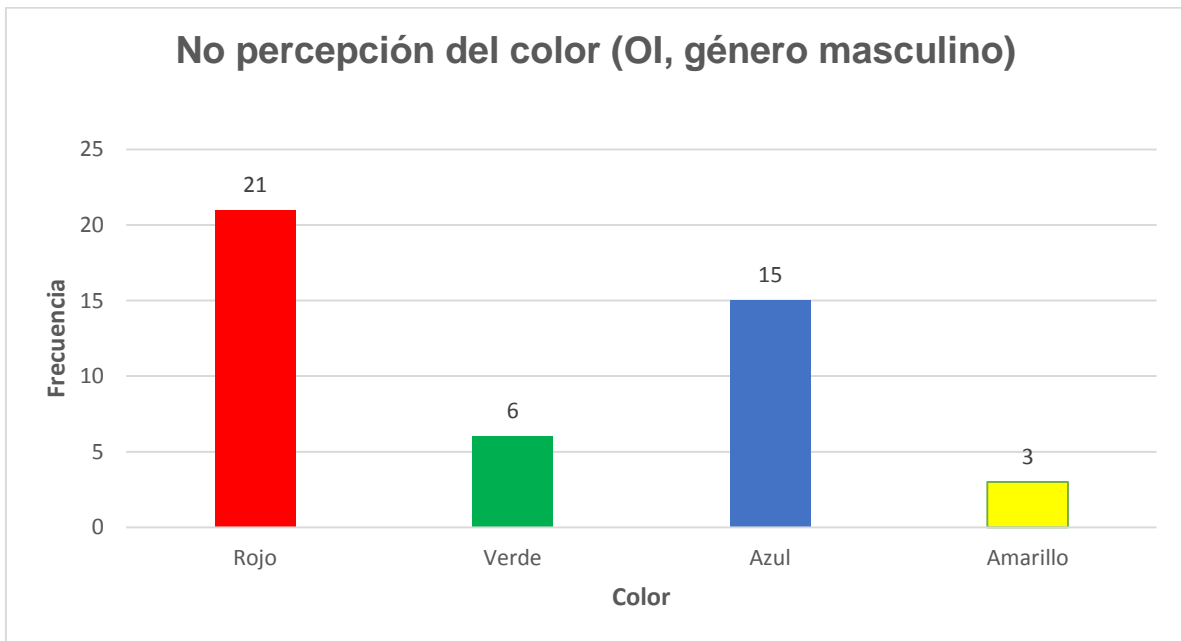


Grafico 23. Los colores rojo y azul tienen la mayor frecuencia de NO percepción en el OI de los hombres.

COLOR	Confusión	Frecuencia	Confusión	Frecuencia	Confusión	Frecuencia	Confusión	Frecuencia
Rojo	Negro	6	Azul	2	Verde	3	Otro	4
Azul	Verde	7	Gris	2	Negro	2	Otro	3
Amarillo	Naranja	7	Rosa	4	Blanco	7	Otro	4
Verde	Azul	22	Blanco	2	Gris	4	Otro	5

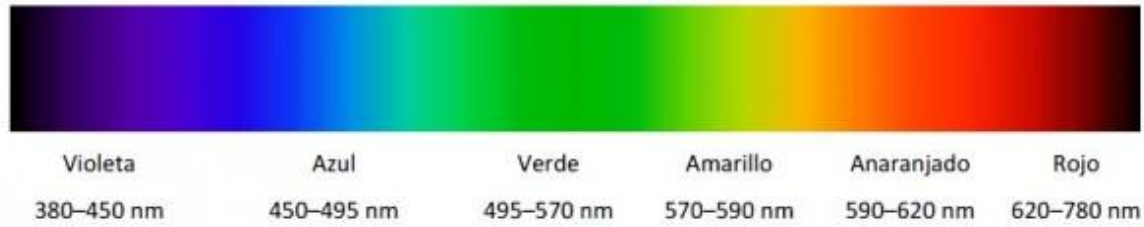


Tabla 4. Tabla de frecuencias de confusión en OI, género Masculino. Como puede observarse cada color puede confundirse con tres o más colores diferentes, que se encuentran a la derecha o a la izquierda del diagrama cromático.

DISCUSIÓN

A diferencia de los experimentos realizados por Hecht y Haig en 1937, tanto las variables como los instrumentos, cambiaron radicalmente, y en consecuencia se dieron resultados que son distintos a los obtenidos, que estos investigadores, a pesar de que buscaban también las respuestas del sistema adaptativo en la obscuridad, su enfoque no era medir el tiempo de adaptación, sin embargo demostraron que dicho proceso adaptativo se divide en dos fases, una de adaptación rápida y otra lenta que ambas está ejercida por los bastones.

Por otro lado en 1995 Mântyjärvi y Tuppurainen realizaron un estudio, utilizando pacientes miopes altos; mostrando una variación significativa en los umbrales de respuesta de los pacientes con miopías altas, lo cual hace suponer que la miopía es un factor más que interviene en la recuperación de la adaptación a la obscuridad.

En 1999 Thomas y Lamb midieron la respuesta de los fotorreceptores por medio de un electroretinograma, demostraron que la adaptación a la obscuridad depende de la intensidad de luz que recibieron los fotorreceptores previamente, y que esto condiciona lo rápido de la respuesta. Ese estudio se puede comparar con el realizado por Gaffney en 2012, quien por medio de saturación de los fotorreceptores midió la respuesta posterior de los mismos. Sin embargo, los anteriores autores utilizaron estímulos de saturación específicos lo cual ya condicionaba la respuesta de la célula. Con respecto al estudio de la presente tesis, en la aplicación de las pruebas el ambiente siempre fue el mismo, así como el propósito del estudio.

En otros estudios posteriormente las mediciones realizadas por diferentes investigadores como Chen y Lee, se enfocaron más en el cambio de grosor en la capa de fotorreceptores durante el proceso adaptativo, por lo que el presente estudio no podría ser comparado al presente.

Así como en los antecedentes, no hay trabajos precedentes idénticos o con metodologías similares, el presente estudio no puede ser comparado en rigor con otros, sin embargo, lo que se puede observar es la similitud del proceso de adaptación a la obscuridad, siendo este integral y depende de diferentes factores que solo la respuesta de los bastones, así como que la respuesta de los bastones y conos está relacionada en la visión cromática aun en ambientes de penumbra o ausencia de luz.

Sin embargo, en el presente trabajo se midieron, al igual que Stabell U. y Stabell B. en 2003 longitudes de onda: cortas, medianas y largas, encontrándose en las longitudes de onda medianas un menor tiempo de adaptación a la oscuridad.

Y en 2013 Patryas y Parry, estudiaron los cambios en la repetibilidad de la respuesta de los bastones con el cambio de edad encontrando con esto que la recuperación de sensibilidad visual era de repuesta más tardía en el grupo de mayor edad en comparación con el grupo más joven, similar a lo encontrado en la presente tesis con respecto a la adaptabilidad tardía al color en la oscuridad por parte de las personas adultas y adultas mayores.

CONCLUSIÓN

El principal objetivo del proyecto es mostrar las diferencias que existen entre los distintos grupos etarios y se comprobó en el análisis que en efecto, existen diferencias entre los tiempos de adaptación de la visión al color en la oscuridad de los diferentes grupos etarios.

Sin embargo, no solamente las diferencias son existentes entre los grupos etarios, sino también en los diferentes géneros y lateralidad ocular.

Se puede describir en los tres casos, que los colores “azul” y “rojo” muestran una diferencia considerable con respecto al verde y amarillo en cuestión del tiempo de respuesta, así como en la confusión de dichos colores.

En cuanto al número de pacientes atendidos, el género femenino supera al género masculino en un 8%.

Por otro lado, hablando de las diferencias existentes en cuanto a los resultados encontrados durante el estudio, se obtuvo que personas del género femenino en OD los colores rojo, verde y azul después de los 40 años de edad el tiempo de percepción es hasta de 18 segundos, mientras que el color amarillo no presenta cambios importantes relacionados a la edad; con respecto al género femenino en OI solamente el color rojo, después de los 40 años de edad el tiempo de percepción es hasta de 20 segundos, y el azul hasta 15 seg, mientras que los colores amarillo y verde no presentan cambios importantes relacionados a la edad.

En cuanto al género masculino, se obtuvo que en OD los colores rojo, verde y azul después de los 40 años de edad el tiempo de percepción es hasta de 15 segundos, mientras que el color amarillo no presenta cambios importantes relacionados a la edad; con respecto al OI solamente los colores rojo y azul, después de los 40 años de edad el tiempo de percepción es hasta de 15 segundos, mientras que el color verde hasta 14 segundos; mientras que el color amarillo no presenta cambios importantes relacionados a la edad.

Con respecto a la confusión se concluye que no necesariamente es la edad la que influye, y los colores con los que se confunde son los que se encuentran en ambos lados de la longitud de onda evaluada.

Podríamos concluir que en general el modelo de la prueba funciona, sin embargo, la implementación de los colores oponentes es algo fundamental, ya que fueron los colores amarillo y verde los que tienen menor problema en la percepción en la oscuridad. La prueba puede darnos un panorama más amplio de la gama de colores que pudieran o no

ser perceptibles en la obscuridad, sin embargo, no podría ser utilizada como una única prueba de evaluación, pues la adaptación a la obscuridad como lo hemos visto depende de múltiples factores.

Trabajar en el mejoramiento y la estandarización completa de la prueba debería ser el objetivo siguiente, sin embargo, con los complementos que se le realizaron a la prueba junto con la realización de un formato de registro, se puede usar como una prueba útil en a la evaluación cromática del paciente, así como saber la apreciación de los colores después de cierto tiempo en un ambiente de penumbra.

REFERENCIAS

1.-Hecht S, Haig C. The influence of light adaptation on subsequent dark adaptation of the eye. The journal of general physiology. April 1937; 831-849.

- 2.- Tuppurainen K. Colour vision and dark adaptation in high myopia without central retinal degeneration. *British Journal of Ophthalmology*. 1995;79:105-108.
- 3.-MM Thomas, TD Lamb. Light adaptation and dark adaptation of human rod photoreceptors measured from the α -wave of the electroretinogram. *Journal of Physiology*. 1999.518:2: 479-496.
- 4.-Stabell U, Stabell B. Effects of light and dark adaptation of rods on specific-hue threshold. *Vision Research*. July 2003; 43:2905-2914.
- 5.-Allannah J, Gaffney. Aging and cone dark adaptation. *Optometry & Vision Science*. August 2012; 89(8):1219-1224.
- 6.-Patryas L, Neil R. Assessment of age changes and repeatability for computer-based rod dark adaptation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2013; 251:1821-1827.
- 7.-Wang L, Azazi M. The response of the neural adaptive system to background illumination and readaptation to dark in the immature retina. *Acta oftalmológica* 2015; 93:146-153.
- 8.-Lu c, Lee B. Photoreceptor layer thickness changes during dark adaptation observed with ultrahigh-resolution optical coherence tomography. *IOVS*. September 2017;58:11:4632-4643.
- 9.- Arnkil H, Anter FK. Colour and Ligth. Background and study guidelines.2011. 16,40,41,47-53,56,62,65.
- 10.-Capilla P, Artigas J. Fundamentos de la colorimetría.Universidad de Valencia.2002.13-66.
- 11.-Cortes J. La percepción del color. Abril 2000; 1-5.
- 12.- Bueno M, Lopez F, Martinez C, Moreno P. Neuropsicología del color. *Psicología teórica*. Julio 2006; 1-33.
- 13.-Logvinenko A. The geometric structure of color. *Journal of Vision*. 15(1):16, 1-9, (2015).
- 14.- Richmond products. Deficiencia de la visión al color. Una explicación concisa de la Optometría y la Oftalmología. Albuquerque.3-10.
- 15.- Koçtekin B, Gündoğan N, Koçak A, Canan A. Relation of eye dominance with color vision discrimination performance ability in normal subjects. *Int J Ophthalmol*. October 2013; 6(5):733-738.

- 16.- Goldstein B. Sensación y percepción. Cenage Learning. Octava edición. Capitulo 9: 202-227.
- 17.- Neitz J, Carroll J, Yamauchi Y, Neitz M, Williams D. Color Perception Is Mediated by a Plastic Neural Mechanism that is Adjustable in Adults. August 2002; 35:783-792.
- 18.- Prado A, Camas J. Sensopercepción del color. Revista Mexicana de Oftalmologia. Marzo-Abril 2008; 82(2):101-110.
- 19.-TDLamb.Why rods and cones? CambridgeOphthalmological Symposium.2015.30,179-185.
- 20.- Hecht S, Haig C. The influence of light Adaptation on subsequent dark adaptation of the Eye. The Journal of General Physiology.1937.
- 21.- Yang G, Chan T. Recent Advances in the dark adaptation investigations. Int J Ophthalmol.2015.8(6).1245-1250.
- 22.-Patryas L, Parry n. Assessment of age changes and repeatability for computer-based rod dark adaptation.Medical Phthalmology.2013.251,1821-1827.
- 23.-AthanasiosP, Tillman M, Sutter EE, Moshiri A, Gereth-Kahlert C, Werner JS. Senescent Changes and Topography of the Dark-adapted Multifocal Electroretinogram. Investigate ophthalmology & Visual Science. February 2017; 58(2):1323-1328.
- 24.-Cursio C, Owsley C, Jackson G. Spare the Rods, Save the Cones in Again and Age-related Maculopathy. Investigative Ophthalmology & Visual Science. July 2000; 41(8): 2015-2018.
- 25.- Rushton W. Rhodopsin measurement and dark adaptation in a subject deficient in cone vision. Journal of Physiology.1961.156,193-205.
- 26.-Garza G, Rivera SR, Bolaños JR. Dark Adaptation of M-cones in the retina. The Journal of Physiology. 2016; 594(7):1797-1798.
- 27.-Stabell U, Stabell B. Effects of light and dark adaptation of rods on specific-hue threshold. Vision Research. 2003;43:2905-2914.
- 28.-Curcio C, Millican L, Allen K, Kalina R. Again of the Human Photoreceptors Mosaic: Evidence Selective Vulnerability of Rods in Central Retina. Investigative Ophthalmology & Visual Science. November 1993; 34(12):3278-3296.
- 29.-Gaffney, Allannah J, Binns, Alison M, Tom M. Again and Cone Dark Adaptation. Optometry & Vision Science. August 2012; 89(8): 1219-1224

- 30.-Lamb T, Pugh Jr E. Phototransduction, Dark adaptation, and Rhodopsin Regeneration. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. December 2006; 47(12):5138-5152.
- 31.- Cao D, Pokorny J. Rods contributions to color perception: Linear with rod contrast. *NHI Public Access* 2009. 48(26):2586-2592.
- 32.- Raghuram A, Hansen R. Photoreceptor and Postreceptor Responses in Congenital Stationary Blindness. *Visual Neuroscience* 2013.54,7:4648-4658.
- 33.- Panagiotis I, Sergouniotis. A Phenotypic study of congenital Stationary Night Blindness (CSNB) Associated with Mutations in the GRM6 gene. *Acta Oftalmológica* 2012. 90:192-197.
- 34.- Riquelme M, Mollo E. La transduccion visual. *Annals de Oftalmologia*.2010.18(3).130-136.

APÉNDICE 1. Formato de registro.

Adaptación de Conos

Nombre: _____ Edad: _____

Número de expediente: _____ Fecha: _____

Diagnóstico: _____

	ROJO t(s)	VERDE t(s)	AZUL t(S)	AMARILLO t (s)
OD				
OI				

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo _____ declaro libre y voluntariamente que se me ha explicado la conveniencia de participar en el estudio de **PERCEPCIÓN AL COLOR** que se realizara en la **Clínica de Optometría**; dirigido por la **Dra. Myrna Miriam Valera Mota** adscrita a la **Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM**, cuyos objetivos consiste en:

- Evaluar la discriminación tricromata de los pacientes con un Software de percepción al color, en computadora.
- Comparar la percepción visual cromática de este software con las pruebas de uso rutinario.
- Conocer la salud visual de los pacientes con respecto a su percepción a los colores.

Estoy consciente de que los procedimientos y pruebas, para lograr los objetivos mencionados consistirán en una evaluación visual con un software/computadora que no tardará más de 20 minutos; y que no existirá ningún riesgo para mí. Entiendo que del presente estudio se derivaran los siguientes beneficios:

- Diagnosticar anomalías de la percepción visual cromática en las diferentes poblaciones etarias.

Sé que se me explicará el resultado de la prueba y puedo solicitar información adicional acerca de los riesgos y beneficios de mi participación en el estudio. Seré libre de retirarme del estudio en el momento que así lo desee.

Los Reyes Iztacala, 2019

APÉNDICE 3. Consentimiento de ética



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores Iztacala
COMISIÓN DE ÉTICA



Los Reyes Iztacala a 07/09/2017

Oficio: CE/FESI/092017/1202

DRA. VALERA MOTA MYRNA MIRIAM

Presente:

En atención a su solicitud de aval, por la Comisión de Ética de esta facultad, para su proyecto denominado **Propuesta de innovación en pruebas para detectar alteraciones de percepción al color en humanos**, que va a someter a **PAPIIT 2016**.

Esta comisión acordó la siguiente opinión técnica:

Avalado sin recomendaciones

Sin otro particular por el momento, quedamos a sus órdenes para cualquier aclaración y aprovechamos la oportunidad para enviarle un atento saludo y nuestro respeto académico.

Atentamente:

M. en C. María Eugenia Isabel Heres y Pulido
Presidente

