“ESTUDIO CLÍNICO DE LA PERCEPCIÓN DEL COLOR APLICANDO EL TEST TC-COI”

Por

Demetrio Melcón Arbaizagoitia

Y

Cristina Gallego-Casilda Martín-Buitrago

Dirigido por: Marisol García Rubio

MASTER CLÍNICO EN OPTOMETRÍA Y ENTRENAMIENTO VISUAL

Junio 2004

ÍNDICE

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN 1

*Capítulo 2:*JUSTIFICACIÓN 2

Capítulo 3: ESTADO DE LACUESTIÓN 6

- ¿Qué es el color? 6
- Anomalías del color 8
- Test de colores 13
  - Test de Isihara 13
  - Test de Farsworth 17
  - Test de Fletcher 19
  - Test de Holmgren 20
  - Anomaloscopio 21
  - Test HRR 25
  - Test de Roth 28 26
  - Resumen 27

Capítulo 4: MATERIAL Y MÉTODO 29

Capítulo 5: RESULTADOS Y ESTADÍSTICA 38

- Sexo y edad 39
- Agudeza visual 41
- Estereopsis 42
- TC-COI 44
- Isihara 54
- TC-COI/Isihara 60

Capítulo 6: DISCUSIÓN 62

Capítulo 7: CONCLUSIÓN 66

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean dar las gracias a:

A la directora del master Marisol García Rubio, por animarnos a seguir con la investigación de un estudio complicado y de seria responsabilidad.

Al colegio Nuestra Señora de la Sabiduría por su amabilidad e implicación en el proyecto. Y, asimismo, a todos los niños que han colaborado de forma desinteresada.

A Antonio Carrillo por su generosidad y habilidad para enseñarnos a enlazar el camino que une la estadística y la óptica.

A nuestros compañeros del master por su ayuda en la realización del examen visual y el test de Tolusa.

A las profesoras Marta Cabranes, Beatriz Nácher, Pilar Plou y Carmen Hinojosa por su apoyo en la resolución de dudas durante el desarrollo de la investigación.

A Maria José tal tal por su apoyo logístico eficaz en todo momento.

A nuestra familia por darnos la oportunidad de continuar nuestra formación.

Por último, a todos aquellos que leáis el trabajo:

“Esperamos que este estudio os aclare aún más el conocimiento de la visión cromática, y deseamos que las conclusiones obtenidas sirvan para mejorar el conocimiento de dicho campo”

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Este estudio de investigación se inicia con las inquietudes de poder validar un test de colores, que se desarrolló en su principio por un grupo de antiguos compañeros del Centro de Optometría Internacional. A medida que se ha ido avanzando en las investigaciones, se ha descubierto que esas metas iniciales no son del todo factibles, pero se ha hecho un gran avance para su consecución. Dichos avances consisten en ampliar el grupo de muestra tanto en su número como en el rango de edades, poder compararlos con los de la primera edición, intentar profundizar más en los atributos del color y de una manera estadística lograr concretar como se ve influido el sistema visual y como responde ante ellas, para conseguir estrechar aún mas el cerco de investigación y dar una salida viable a este nuevo Test TC-COI.

Se optó por ampliar la edad de la muestra para eliminar dudas sobre su interpretación y si puede influir la discriminación de la longitud de onda según la edad, sabiendo que en los datos de los niños de 3 a 5 años la discriminación del color fue más difícil en las longitudes de onda cortas.

Después de un largo proceso de lectura y dedicación a la primera parte y de haber indagado en la cuestión, se ha tenido que modificar en esta segunda edición pequeñas partes del test, del método y de la toma de datos, que se cree que dan una mejor fluidez, claridad y comodidad para su posible estandarización. Todas estas modificaciones se irán explicando a lo largo del estudio que se pasa a desarrollar.

Capítulo 2

JUSTIFICACIÓN

El objetivo de este estudio de investigación consiste en desarrollar una serie de datos obtenidos a través de un nuevo test de colores diseñado de tal manera que se piensa que puede ser de muy fácil comprensión, sobre todo para los niños de corta edad.

Los test existentes proporcionan una información muy valiosa, pero tras presentárselo a los niños, su difícil comprensión puede comprometer los resultados obtenidos.

El test plantea un sistema de fácil interpretación cuyos errores sean de menor magnitud para las edades tempranas. Aunque hay que decir que este test no es comparable en su totalidad con los demás, nos dará una visión de su validez y la capacidad de los partícipes para entenderlo.

Se pretende encontrar una relación del Test TC-COI con uno de los ya validados, y de esta manera poder establecer un criterio de deficiencia del color. El estudio realizado pretende detectar desajustes en el cromatismo en edades tempranas para de esta forma poder orientar a dichos sujetos lo más pronto posible en el desarrollo de su formación.

Se estima que un ocho por ciento de los varones y menos de un uno por ciento de las mujeres sufre algún tipo de alteración cromática, la mayoría de los problemas de alteración al color están presentes en el nacimiento y generalmente afecta a los dos ojos. Cabe decir que este tipo de personas tienen una funcionalidad como un sujeto considerado normal

y por tanto dicha alteración perjudica en principio únicamente en el sistema de percepción, pero que dentro del sistema de ordenación social en el que se vive y el aumento de la competitividad entre los sujetos puede conllevar a verdaderos quebraderos de cabeza, y por tanto son útiles para cualquier empleo que no exija buena visión de los colores. Así que, según los estatutos, y las leyes establecidas según el Ministerio de Trabajo, exige en algunas funciones profesionales, condiciones específicas para cada una de ellas en relación al sistema visual y el color.

A continuación se especifican:

Transporte:

En la armada

Fuerza aérea

Naval: pilotos ingenieros

Aviación civil: pilotos mecánicos ingenieros.

Control de tráfico aéreo

Marina mercante: oficiales y marineros

Ferrocarriles: conductores de tren y mecánicos

Transporte público: conductores de colectivos

Protección pública:

Policía (ciertos grados)

Inspector aduanero

Bomberos

Otros trabajos:

Electricista y técnicos electricistas

Laboratorios: técnicos y droguistas

Textiles e industria gráfica

Fotógrafos y pintores

Trabajos donde se seleccionan carnes, frutas y vegetales

Geología y cartografía

Químicas

Por ello parece muy interesante poder desarrollar un test con garantías, que pueda dar resultados óptimos en pacientes muy jóvenes o con un desarrollo psicomotor anormal. Para de esta forma poder dirigir lo más tempranamente el camino de este paciente, que en muchos casos se da cuenta muy tarde de su problema y puede dirigir su desarrollo personal y profesional de una forma equivocada, generando una inestabilidad emocional, que puede repercutir en mayor o menor grado en su situación social.

En dicho test a los pacientes no se les pide secuenciar una serie de colores muy parecidos ni nombrar números o letras con cierta dificultad visual, sino que se basa en el principio de comparación, donde el margen de error es menor.

El test, del cual se hablará más adelante, en primera instancia no proporciona una idea global de los colores en sus tres componentes como los demás tests, que de esta forma da una referencia del problema cromático, sino que la desglosa en sus tres *atributos psicofísicos* principales: tono, luminosidad y saturación.

De esta manera se puede evaluar el color en su totalidad pero de una forma segmentada y descubrir si, en los problemas cromáticos, la mayor dificultad de diferenciación erradica más en un atributo o en otro y, si afecta con la misma perseverancia o magnitud en un tricromata, dicromata o acromatas. Con ello, a parte de poder obtener similitudes entre los distintos tests y validaciones, se pretende abrir nuevas líneas de investigación sobre la *trivarianza visual* y como influyen en el organismo humano.

A partir de aquí, los resultados estadísticos, aclararán si este test, tiene alguna viabilidad, y se puede usar para detectar problemas cromáticos, si el sistema por comparación que se ha diseñado es más aclaratorio y de esta forma obtener datos más fiables en determinada población. Es sabido que otros tests ya existentes han tratado de modificar su esquema para poder ser de más fácil acceso a ciertos grupos sociales, como por ejemplo un nuevo test de Isihara "hecho fácil" llamado CVTME. En vez de usar números lo hace con figuras geométricas que a parte de ser más comprensibles, si el grupo social no puede responder verbalmente lo puede hacer por comparación a través de una tarjeta con dichas figuras.

La motivación por tanto, recae en buscar nuevas formas de discriminar los colores e intentar que sea de una forma fiable, rápida y eficaz, sobre todo en niños.

En el primer trabajo de investigación que se realizó dos años atrás (2002) se presentó el test a 30 niños con una edad media de 4,5 años. Los resultados del test de Isihara fueron superados por toda la muestra, mientras que en el Test TC-COI el único que fue culminado correctamente en su totalidad fue el test I Tono. Donde se obtuvo mayor error fue en el test III Saturación, principalmente en la gama de las longitudes de onda corta, azul y violeta.

En este primer estudio se investigó cómo influenciaba el tono, luminosidad y saturación por separado y las longitudes de onda más difíciles de discriminar, pero de una forma general. En este segundo estudio, aparte de comparar estos mismos datos, se fijará si los errores se asemejan más a cierto grado de luminosidad y saturación (ya que el test I tono fue superado satisfactoriamente por todos los niños). Es decir, si a la muestra de sujetos estadísticamente le cuesta discriminar más saturaciones de 150 frente a

saturaciones de 50, 100, 200 o 250. De este mismo modo se podrá aplicar al atributo luminosidad, y comparar si afecta de igual forma a las distintas longitudes de onda en dichos atributos.

Capítulo 3

ESTADO DE LA CUESTIÓN

¿QUÉ ES EL COLOR?

El ojo humano es capaz de percibir 8000 colores manteniendo un nivel de luminancia fija. Se ha introducido en nuestro lenguaje el color como algo cotidiano, y se da por hecho que el cielo es azul, la sangre es roja y la nieve blanca.

Hablar de la definición del color es un poco complicado ya que el color no es una materia, ni una fracción de la luz, sino una sensación. Es uno de los elementos de la interpretación que da el cerebro a la radiación luminosa recibida por el ojo a partir de un cierto nivel de luminosidad, ya que el color sólo existe en un ambiente fotópico, que es cuando actúan los conos.

La CIE (Comisión Internationale de l'Eclairage) definió el color como *"el aspecto de la percepción visual mediante el cual un observador puede distinguir diferencias entre dos campos del mismo tamaño, forma y textura tal que puedan ser debidas a diferencias en la composición espectral de las radiaciones relacionadas con la observación"*.

Por tanto, para hablar del color se sabe que es necesaria una fuente de luz y un observador, ya que como se ha dicho es una interpretación del cerebro por la cual la percepción del color tiene un componente psicológico. La luz es incolora o lo que es lo mismo, el color no es un atributo absoluto de la materia, depende no sólo de su pigmentación sino también de la composición de la luz y del observador.

Paradójicamente todos los millones de matices que el ojo es capaz de distinguir pueden explicarse con el modelo de visión tricromática simplificándose en un sistema con tres variables cromáticas: azul, verde y rojo, que combinados adecuadamente permiten obtener los demás colores. Estos tres tipos de colores se encuentran en tres tipos de los conos presentes en retina central. Estas tres variables cromáticas se denominan colores primarios al presentar la particularidad de que ninguno de ellos puede ser obtenido por mezcla de los otros dos.

Como se ha comentado el color es una característica psicofísica, es decir, depende del individuo. En física, medir un color es un proceso complejo en el cual se miden magnitudes objetivas que no tienen en cuenta la respuesta psicofísica. Aquí es donde entran los colores metámeros, donde un individuo puede ver como iguales dos colores con diferentes composiciones espectrales, estos dos colores son distintos pero son percibidos como iguales. Por tanto, la respuesta particular de cada individuo obtiene un considerable grado de importancia.

Para hablar del color se tienen que tener en cuenta tres parámetros que lo individualizan denominados *Atributos Psicofísicos*. Estos tres atributos están ligados a las condiciones a las que está sometido el sistema visual. De esta forma un mismo objeto que es percibido de un color a mediodía, puede ser visto de forma distinta al atardecer.

Estos tres atributos son: *tono, saturación y luminosidad*.

Tono: es la primera respuesta que se da cuando se pide que color tiene un objeto (rojo, amarillo, verde o azul, o combinación de dos de ellos). La clasificación según el tono nos lleva a los estímulos acromáticos (grises) o a los estímulos cromáticos (el resto).

Luminosidad: es la sensación por la cual un campo parece exhibir más o menos luz.

Saturación: depende de la cantidad de blanco mezclada para un color. Un color es tanto o más puro o saturado cuanto menos blanco tenga. El rojo es, según esto, más saturado que el rosa.

ANOMALÍAS DEL COLOR

Aunque en la primera parte de este trabajo se habló extensamente de las anomalías al color, se va a desarrollar un breve resumen para recordar cuales son sus principales características y luego poder compararlas con los test que se analizarán posteriormente.

Existen tres tipos:

- **Tricrómatas anormales**: poseen una alteración en uno de los fotorreceptores. Siguen teniendo los tres conos pero necesitan,

para poder obtener una mezcla metámera de cualquier color, proporciones muy diferentes a las que necesita un observador con visión cromática normal. Estos sujetos necesitan una mayor cantidad de uno de los colores primarios para obtener el mismo color.

- **Dicrómatas**: un observador es capaz de igualar todos los colores, con una mezcla de sólo dos de ellos. Es decir, estos individuos sufrirán el deterioro total de uno de los conos.
- **Acrómatas** o **monocrómatas**: toda la percepción cromática se reduce a la visión de un sólo color. Únicamente les es posible una discriminación cromática de claro-oscuro.

Están relacionados con los tres tipos de conos que existen en la retina: rojo, verde y azul. Estos defectos son:

Protan → rojo Deutan → verde Tritan → azul

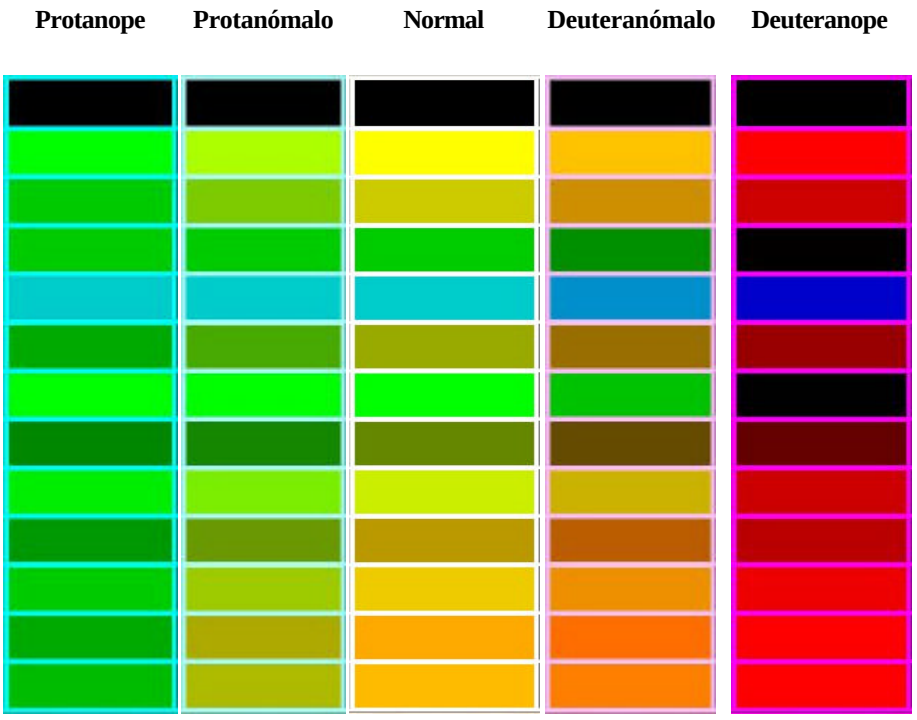


Fig. 1 Colores en visión normal y anómala rojo-verde. Fuente: www.HiddenTalens.org

Un estudio, de los muchos que se han realizado, sobre la incidencia de la anomalía del color en los seres humanos fue efectuado en Suiza con un muestreo de 5000 hombres que deseaban ser pilotos (Cameron, 1966).

Los resultados de la prueba concluyeron que el 5% de los varones tenía deficiencia al color. El más común era el defecto al verde con casi el 4%, y el segundo más frecuente fue carencia completa de la visión al color rojo.

En la actualidad, se han hecho otros muchos estudios parecidos a este que se presenta, y los datos obtenidos oscilan sobre estas mismas conclusiones.

Problema	**Término oficial**	**% de varones**	**por 1000 varones**
Anomalía al rojo	Protanómalo	0.5 %	5
Ciego al rojo	Protanope	0.8 %	8
Anomalía al verde	Deuteranómalo	3.3 %	33
Ciego al verde	Deuteranope	0.6 %	6

Tabla 1 Resultados del estudio realizado por Cameron.

Deután → ver Tritán → azul

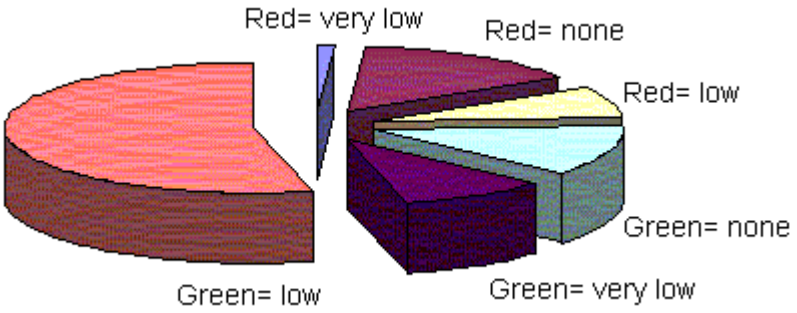


Fig.2 Gráfica de porcentajes de anomalías en varones.(Cameron,196

Si el defecto del fotorreceptor es total, es decir, es ciego a ese color el sufijo será –ope. Ejemplo: tritanope (ciego total al azul).

Si, por el contrario, el fotorreceptor sólo sufre una alteración, el sufijo será –omalía. Ejemplo: tritanómalo (tiene problemas para distinguir el azul).

Hay que subrayar que cuando existe una anomalía para ese fotorreceptor o color, éste está estrechamente ligado a su complementario. Por tanto, el deuteranómalo, aparte de tener problemas con el color verde, también los tendrá para distinguir el rojo. Y el tritanómalo tendrá problemas con el color amarillo, además de con el azul.

Con ello, los test desarrollados para encontrar dichas anomalías están formados de tal manera que indican si el problema existe con el rojo-verde o con el azul-amarillo. Si el problema es total en un cono, es decir sufijo –ope, se podrá distinguir dicha anomalía en el test con más facilidad y clasificar el defecto del cono de ese color.

Variables en ?	Fofopigmentos en cono	Tipo de alteración	Denominación cromática	Discriminación
3	Tres	Tricrómata	Normal	Óptima
3	Tres(1 anormal)	Tricrómata anormal	Protanómalo deuteranómalo tritanómalo	Deterioro leve, moderado o severo
2	Dos	Dicrómata	Protanope deuteranope tritanope	Deterioro severo
2	Uno	Monocromata	Atípico monocromata	Ausente
1	Ninguno	Monocromata	Típico monocromata	Ausente

Tabla 2 Clasificación de alteraciones congénitas de la visión de los colores.

Fig. 3 Ejemplos de simulación de cómo sería la visión de: A) tricrómata normal. B) protanomalía con un 50% disminuido al rojo. C) deuteranómalo con disminución 50% en verde. D) tritan con disminución 50% en azul. E) protanope. F) deuteranope. G) tritanope. H) acromatopsia.

TESTS DE COLORES

A continuación se va a explicar con brevedad los test más usados para la detección de problemas cromáticos y nuevos test que hayan podido aparecer en los últimos años con la intención de mejorar los anteriores en algunos aspectos. Se explicará también en que consiste nuestro test, las posibles conexiones que se puedan encontrar entre ellos y las diferencias, al ser un test innovador, se podrá ofrecer una valiosa información para seguir el estudio de su validación o abrir nuevos campos de investigación.

TEST DE ISIHARA

Este test es uno de los más reconocidos y usados dentro del marco del estudio de los problemas visuales con el color. Se ha usado para realizar la prueba a todos los niños que han participado en la investigación junto con el nuevo test Tolusa, para poder comparar resultados y de esta forma intentar sacar algunas conclusiones que se verán mas adelante. De momento se pasa a su descripción simplificada para poder posteriormente discutir posibles similitudes con los datos obtenidos durante el estudio.

Está formado por unas láminas pseudo isocromáticas que son las pruebas más conocidas para detectar los defectos de la visión del color, es un test altamente sensitivo para evaluar los problemas hereditarios (congénitos) y detectar individuos con defectos leves. Estos tests sólo distinguen alteraciones del rojo-verde, ya sea parcial o absoluta. Existen dos tipos: el de 38 láminas y el de 24.[1]

[1] La descripción de dichos test se encuentra en el volumen 1, páginas 68-71.

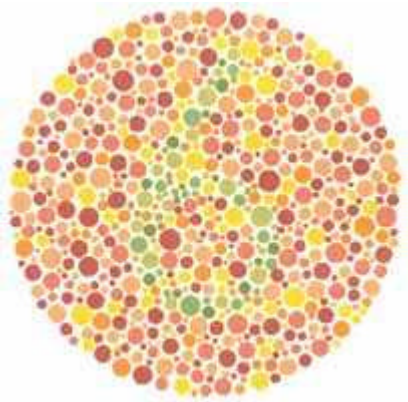


Fig. 4 . Tarjeta de Isihara. Los deuteranopes no verían el 6

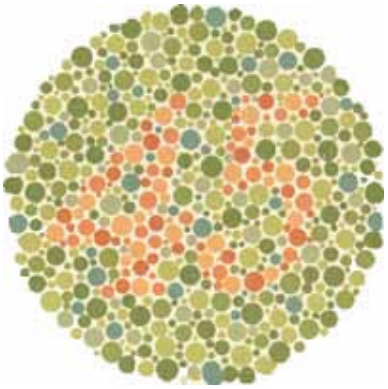


Fig. 5 Tarjeta de Isihara. Los protanopes no verían el 45.

Aquí se presenta un ejemplo de un protanope ante una tarjeta de Isihara con el número 2 vista por un individuo sin alteración cromática (dibujo1) específica para esa anomalía en la que los sujetos son ciegos totales al color rojo, se manifiesta en el dibujo 2 donde la visión roja es débil o nula y la identificación de este número 2 es inexistente. En el dibujo 3 se muestra cómo vería esta tarjeta un deuteranope, si diferenciará el 2, pero lo verá todo en tonalidades rojizas, acentuándose en la parte numérica con un rojo brillante.

Dibujo 1 Dibujo 2

Dibujo 3

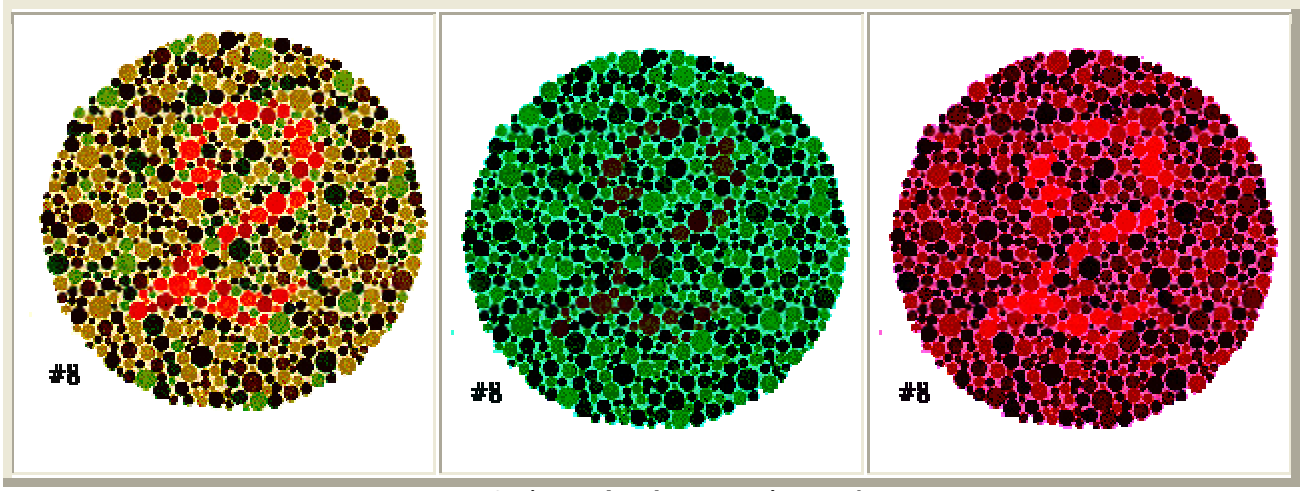


Fig. 6 Láminas de Isihara en visión normal y anormal rojo-verde.

En los últimos años, este test homologado a sufrido varias modificaciones ya sean legalizadas o no, que se basan en el mismo principio de puntitos de colores y tamaños, que enmascaran otras figuras en vez de números, y se han fabricado laminas para detectar el problema azul-amarillo, que aunque su porcentaje de aparición sea mucho menor que el defecto rojo-verde, sirve para tener un test altamente completo para la detección de todas las anomalías. Por otra parte, el desarrollo de un test basado en el mismo principio pero substituyendo los números por figuras geométricas, u otras pero que sean de fácil interpretación para los niños, ha sido motivado por la falta de seguridad en los datos obtenidos con el test clásico.

Por ello se ha desarrollada un test con el nombre de **"Prueba de la visión hecha fácil" (CVTME)** para intentar conseguir datos más fiables en grupos sociales discapacitados o de poca edad.

En este caso, la prueba de la visión hecha fácil fue administrada como parte de la investigación de la visión del color patrocinada por la sección americana de la visión en los deportes de la asociación de Optometría y las Special Olimpic , que son individuos con retraso mental. El test fue presentado en los Juegos de Invierno de Toronto, la Competición Europea Regional de Sevilla y los Juegos de Verano en Houston y Boston.

Los datos que se obtuvieron en dicho estudio servirán para comparar los obtenidos con el Test TC-COI de una forma meramente informativa. El porcentaje de atletas que realizó correctamente la prueba fue de 93,2% de los 1078 participantes. Se encontró que el 7,5% de los varones presentaba alguna anomalía al color y el 0,6% de las mujeres. Estos resultados son muy parecidos a los de la población en general.

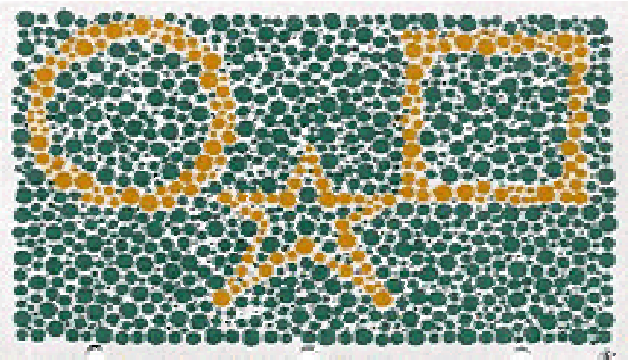


Fig. 7 Lámina del Test Isihara “hecho fácil”.

Los resultados del estudio realizado con el CVTME indican una validación en un alto grado de eficacia como prueba de la visión del color. El CVTME es cien por cien compatible con el test de Isihara con la misma especificidad y sensibilidad. No se encontraron positivos falsos.

Los patrones de respuesta de los niños deficientes ante el color fueron muy netos, de modo que una diagnosis fuera fácil, y hecha con un alto grado de confianza.

TEST DE FARNSWORTH

El Test de Farnsworth también es un test que ayuda a detectar anomalías en la visión del color. Pero su estructura de presentación y detección difiere del test de Isihara porque, en lugar de ser láminas pseudo isocromáticas, consiste en un test de clasificación. Pertenece al grupo de los llamados colores pigmentarios, que son aquellos que presentan una saturación y luminosidad constantes pero una tonalidad distinta. Sería semejante al Test TC-COI número 1, con la diferencia de que en este test se trata de secuenciar mientras que en el de Tolusa simplemente hay que comparar.

Hay varios tipos diferentes de este test, el más completo consta de 85 fichas pero su dificultad y lentitud hacen de él un test complicado. En el más usado figuran quince fichas numeradas del uno al quince, en una de sus caras, y en la otra presentan una tonalidad distinta para cada una de ellas. Los distintos tonos están repartidos regularmente en todo el círculo cromático, obtenidos del Atlas de Munsell.

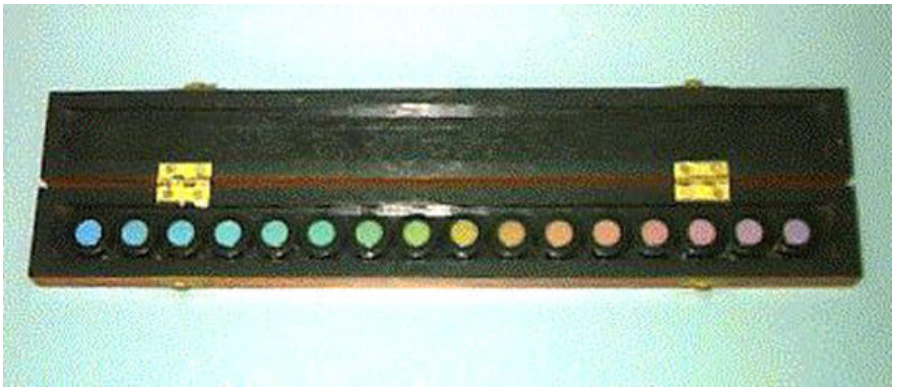


Fig. 8 Test de Farnsworth F15

Las fichas se colocan en un estuche, que tiene una ficha fija a partir de la cual el paciente debe colocar el resto según el color. Previamente el optometrista las ha desordenado colocándolas al azar.

Una vez colocadas las fichas se les da la vuelta para ver su orden. Estos resultados se llevan a un diagrama de forma que se conectan los números en el orden en que el paciente los ha colocado. Se obtiene así, líneas paralelas al eje neutral (conecta los colores neutros y por tanto, los colores que confunde), en caso de existir alteraciones en la visión cromática. Estas líneas permiten hacer un rápido diagnóstico y distinguir entre protanopes, deuteranopes y tritanopes.

Un tricrómata los coloca del 1 al 15.
Un deuteranope: 1, 15, 2, 3, 14, 13, 4, 12, 5, 11, 6, 7, 10, 9, 8.
Un protanope: 15, 1, 14, 2, 13, 12, 3, 4, 11, 10, 5, 9, 6, 8, 7.

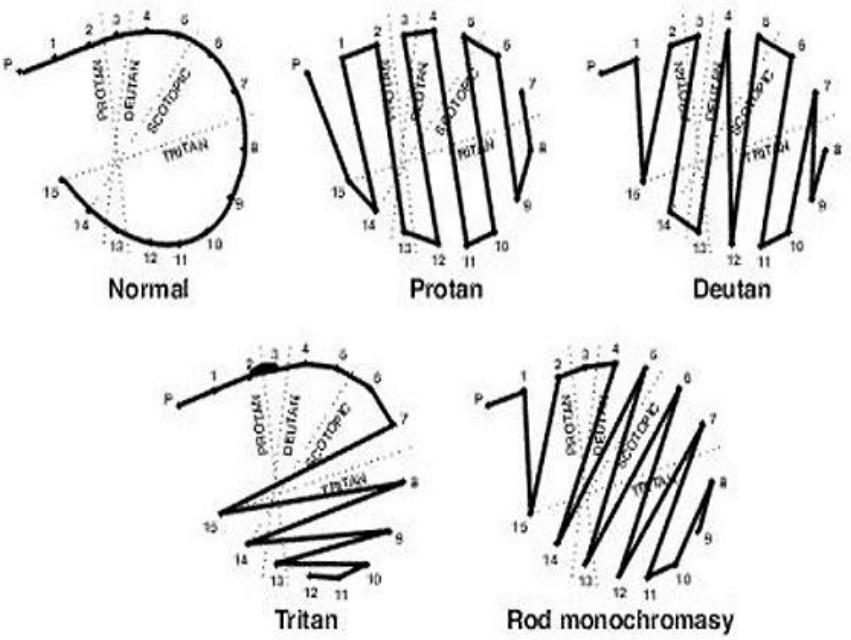


Fig. 9 Modelos de resultados del Test de Farnsworth.

TEST DE FLETCHER (CITY UNIVERSITY TEST)

El test de Fletcher-Hamblin contine 2 partes, se pueden mostrar por separado o en secuencia (según el juicio clínico). La parte uno tiene 4 páginas y es la más sensible de las dos, cada página tiene cuatro líneas de puntos coloreados, dispuestas verticalmente con el sistemas de tres puntos. Los sujetos deben elegir un punto de cada línea cuando uno de los tres puntos es diferente de los otros dos. En la página 1 se pueden confundir los problemas tritán y las páginas 2-3-4 contienen colores de la confusión rojo-verde. La ventaja respecto al test de Isihara[2] es que muestra problemas tritán mientras que la desventaja es que no diferencia entre el problema deután y protán.

La segunda parte consta de diez páginas, cada una de las cuales está compuesta por la muestra y cuatro círculos adicionales. Éstos tienen

[2] Actualmente ya existen test de Isihara que detectan problemas al azul-amarillo, pero no tan extendidos ni completos como el básico.

un diámetro de 5 mm y se presentan sobre una placa de fondo negro. El paciente debe elegir que círculo de los cuatro adicionales se asemeja al central. Los colores que se muestran fueron basados en las tarjetas de Munsell, con una variedad de valores en cuanto a tonalidad, luminosidad, saturación. Este test tiene el grado de dificultad similar a la D15 de Farnsworth.

Esta prueba aún está considerada como investigación, se modifican colores en cada generación y en la actualidad sigue siendo tema de discusión entre los optometristas y oftalmólogos, aunque muchos de ellos la consideran muy aceptable. Se sabe que en los defectos adquiridos pueden presentar datos erróneos y se indaga sobre su mejora. Sin embargo, el test fue enfocado para ofrecerlo a niños mayores de 7 años, donde los problemas serían básicamente congénitos, además el estudio se realizó para ese rango de edad.

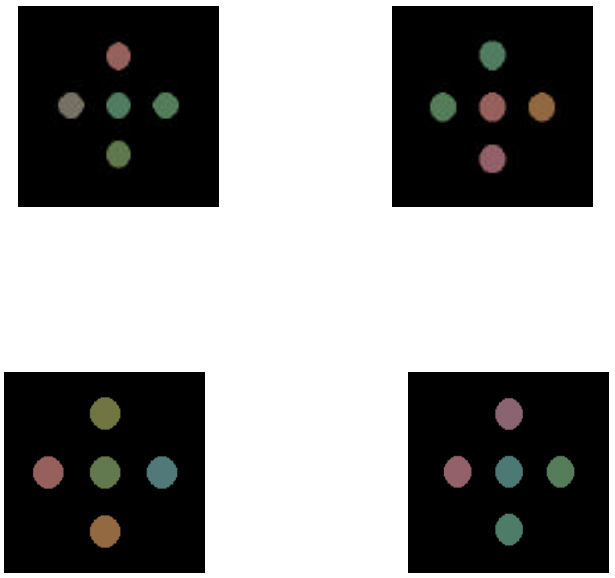


Fig. 10 Tarjetas pertenecientes a la parte 2 del Test de Fletcher.

TEST DE HOLMGREN

La prueba de Holmgren es la más antigua que se conoce y la basó en la teoría de Helmholtz (1879), donde explicaba los tres tipos de color que percibe la retina. Según la teoría, un defecto en uno de estos tres elementos causa una variante del color- ceguera.

Holmgren diseñó la prueba de tal forma que eligió tres colores (rojo, violeta, verde) con tres anillas con las letras A, B, C y 40 pequeños manojos. Éstos estarán etiquetados con un número identificatorio que permanecerá oculto mientras se realiza la prueba.

Al paciente se le pide que elija 10 manojos y los ponga junto al color verde (anilla A).

Después, de los 30 restantes, escoger 5 de los que más se asemejen al color rojo (anilla C).

Finalmente de los 25 restantes se eligen los 5 manojos que más se parezcan al color violeta (anilla B).

Tras haber realizado esta parte de la prueba, se voltean las etiquetas para comprobar que la numeración sea correcta.

Fig. 11 Test de Holmgren.

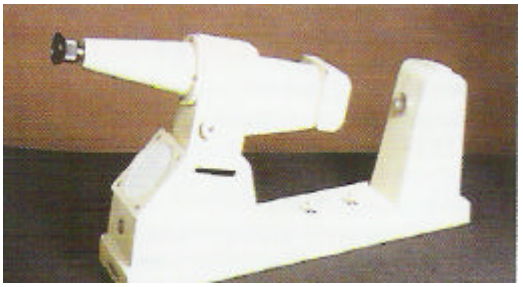
Este test obtuvo mucho éxito por su simplicidad y portabilidad de su diseño, aunque actualmente no se encuentra entre las primeras elecciones al realizar un test de colores.

ANOMALOSCOPIO

El anomaloscopio se puede definir como un instrumento útil para distinguir una visión tricrómata normal de una deficiencia rojo-verde. Esto se consigue a través del valor necesario para igualar un espectro amarillo con una mezcla de longitudes de onda rojo-verde.

Estas pruebas requieren un equipamiento complicado y suelen utilizarse de manera experimental en trabajos de investigación básica para realizar el diagnóstico definitivo del tipo y grado de alteración cromática. Como nombre genérico se conocen como anomaloscopios y los resultados se representan en forma de ecuaciones. Su utilización en la clínica no está muy difundida por su complejidad y dificultad de realización.

Existen varios tipos de anomaloscopios pero el más utilizado y conocido es el de **Nagel**. Este instrumento consiste en un espectroscopio en



el que dos mitades de campo circular bipartido se iluminan por radiación monocromática amarilla (589 nm) y una mezcla de radiación rojo-verde (670-546 nm), respectivamente. Un sistema mantiene constante la luminancia del campo con la mezcla de radiación para un rango rojo-verde.

El procedimiento de examen se realiza en dos pasos. En el primer paso el observador hace cambios en el rojo y en el verde para ajustar la luminancia con el campo amarillo del test. En el segundo paso, el proceso se invierte, el examinador ajusta el rango rojo-verde y el observador intenta hacer una igualación exacta cambiando la luminancia del campo del test amarillo.

Los rangos de emparejamiento de tricrómatas protanómalos se encuentran fuera del rango normal de medidas, y forma dos distribuciones separadas. Éstos necesitan más luz roja en su mezcla de color y la luminancia del campo amarillo del test más baja, es decir, que la luminosidad relativa eficiente está reducida hacia las longitudes de onda larga. Sin embargo, los deuteranómalos necesitan más luz verde. Los dos tipos de dicrómatas se diferencian por el ajuste de luz amarilla cuando equiparan rojo puro y verde puro.

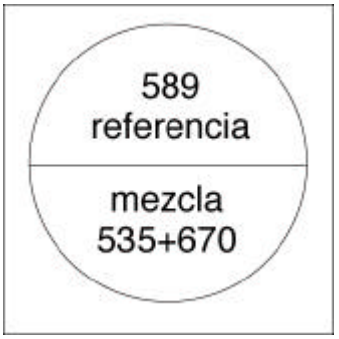


Fig. 12 Mezcla de rangos normales de la longitud de onda.

La diferencia en la extensión del rango de emparejamiento muestra una severidad del defecto y la afectación de sensibilidad del foto pigmento.

Como ya hemos dicho, el anomaloscopio es un instrumento complejo y de difícil utilización en clínica. Por ello, el área de Óptica del departamento de Física de la Universidad de Extremadura ha realizado un proyecto basándose en dicho instrumento para crear un anomaloscopio virtual llamado **anomascopio**. El presente proyecto es un programa informático con el que se simula dicho aparato. Con él se pueden realizar las mismas operaciones que con un anomaloscopio con la ventaja de su mayor versatilidad y su coste muchísimo más reducido. El programa sirve para la enseñanza del color, el adiestramiento en la discriminación de colores y el diagnóstico en deficiencias en la percepción de los mismos.

El programa permite detectar personas daltónicas pero, además, da valores cuantitativos de proporción de cada uno de los colores primarios que se han mezclado y los valores de cada uno de ellos, dándonos exactamente el patrón de referencia. Por lo tanto, permite cuantificar la deficiencia.

Existen algunos programas informáticos con los que se puede realizar alguna de las aplicaciones que éste posee, pero ninguno de ellos permite hacer igualaciones de color.

Este programa permite realizar igualaciones de color en la pantalla del monitor. La pantalla principal del programa presenta un círculo dividido en dos mitades. En una mitad se genera un color y se pide a la persona que lo está usando que modifique la segunda mitad hasta que vea un círculo de un color uniforme. Para ello dispone de tres barras con los tres colores primarios.

El programa memoriza los datos de los usuarios y de las igualaciones de color por cada uno de ellos realizadas. Cuando se utiliza con fines didácticos se pueden visualizar los resultados correctos para comprobar instantáneamente los errores. Si se utiliza con fines de investigación se pude hacer desaparecer de la pantalla el botón que permite la visualización instantánea de los resultados. Se puede disminuir la dificultad manteniendo en su valor correcto 1 o 2 de los colores primarios. Suministra información individual respecto a la capacidad de diferenciación entre colores de un usuario o información colectiva para trabajos de investigación.

El programa está patentado y funcionando. En el último trimestre se han leído 2 Tesis de Licenciatura basadas en el uso del mismo y se continúan los trabajos que constituirán 2 Tesis Doctorales. También se está llevando a cabo un Proyecto de Investigación incluido dentro del marco de los Programas del I Plan Regional de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Extremadura.

Con el Proyecto antes mencionado se pretende detectar precozmente alumnos de educación infantil con el objetivo de minimizar las influencias negativas que dicha limitación pudiera tener en su proceso de aprendizaje. Además, el programa está siendo utilizado para el aprendizaje de los colores, habiéndose revelado como muy eficaz para combatir las preconcepciones relativas a la formación de los colores.

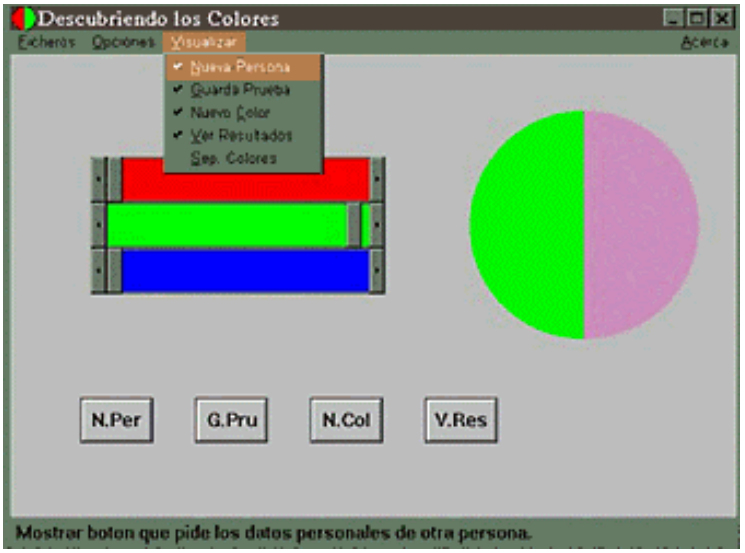


Fig. 13 Diseño del programa del anomascopio.

TEST DE HRR

Esta prueba se diseña para identificar defectos protan, deutan y tritan, y para calificar su severidad. La prueba consiste en 24 placas que contienen símbolos más fácilmente reconocibles para los niños que el de Isihara básico.

Emplea los colores neutrales que aumentan de saturación en las placas sucesivas de la prueba. Hay cuatro placas introductorias, seis placas para la investigación de la visión de color, y catorce placas para calificar la severidad de los defectos visuales cromáticos: protan, deutan y tritan.

La prueba de HRR tiene valor para su función que califica para la detección de defectos tritan. Se identifican solamente defectos tritan moderados o severos. Aunque las placas que califican son eficaces, no es posible distinguir dicrómatas y tricrómatas anómalos severos de los resultados.

Las placas de Ishihara y de HRR se utilizan a menudo juntas en una examinación clínica. Las placas de Ishihara se utilizan para la investigación rojo-verde y las placas de HRR para estimar la severidad de la deficiencia del color y para la investigación tritan.

Fig. 14 Test de HRR.

TEST DEL DISCO DE COLOR DE ROTH 28

La prueba de la tonalidad de Roth 28 estudia los problemas característicos de la discromatopsia similares al Farnsworth D15, no obstante esta prueba de 28 tonalidades proporciona un mayor grado de la sensibilidad. El test se presenta con una base transparente para ver los resultados de una forma más sencilla.

Fig. 15 Test del Disco de colores de Roch 28.

RESUMEN

Estos tests forman la familia para detectar las anomalías del color. No todos son igual de eficaces en las distintas características que forman dichas

alteraciones. Unos detectan mejor el problema rojo-verde; algunos azul-amarillo; otros son de más fácil interpretación y otros mucho más exactos.

Los métodos definidos para el estudio de la visión cromática se pueden clasificar en tres categorías:

- Pruebas de detección o screening
- Pruebas o test de discriminación
- Pruebas o test de visión cromática o anomaloscopios

A partir de estas técnicas se pasa a hacer una clasificación de las utilidades de los tests para la exploración clínica de la visión del color.

TEST	FUNCIÓN
Anomaloscopio de Nagel	Clasifica la visión cromática y diagnostica diferencias protan y deutan, la cuantifica y diferencia entre dicrómatas y tricrómatas anómalos.
Láminas pseudoisocromáticas de Isihara	Test más preciso para el screening de deficiencias tipos protan y deutan.
Láminas pseudoisocromáticas (HRR)	Prueba de screening limitada. Utiliza una escala para clasificar las alteraciones protan, deutan y tritan, como defectos medios o leves.
Test de Farnsworth D15	Permiten la detección de defectos moderados o severos tipo protan, deutan y tritan. Los defectos leves pasarían la prueba.
City University Test o de Fletcher	Solo diagnostican los defectos severos protan, deutan y tritan.

Tabla 3 Utilidad de los test de exploración cromática.

Como se ha podido comprobar, los tests estudiados tienen sus ventajas e inconvenientes. Analizándolos uno por uno, se ha intentado

crear un test basándose donde se cree que existen más carencias, es decir, en adquirir un rango menor de edad y en una más fácil interpretación.
Para ello se pasa a describir las características, diseño y diferencias del test de colores 2º (TC-COI) respecto del 1º (realizado dos años atrás).

Capítulo 4

MATERIAL Y MÉTODO

TEST TC-COI

El test[3] está formado por dieciocho láminas, las cuales se clasifican en tres grupos de seis láminas. Estos tres grupos se diferencian en: luminosidad, saturación y tono (matiz).

Test I: Esta diseñado para seis láminas que poseen la misma luminosidad y saturación pero diferente tono.

Test II: Esta formado por seis láminas con la misma saturación y tono pero diferente luminosidad

Test III: En este caso tiene la misma luminosidad y tono pero diferente saturación.

Test I Tono

[3] Ver anexo III.

Test II Luminosidad

Test III Saturación

Cada lámina está compuesta por seis círculos de diámetro 4,8 cm, uno central y cinco concéntricos a éste, que distan del círculo central 1,8 cm y en la recta de unión de centro a centro de los círculos y la separación entre los cinco círculos es de 3cm. Los test se han diseñado por ordenador en la opción de colores personalizados y con un modelo de color HSL[4], donde se ha elegido el tono:

- Rojo: 6
- Azul: 145
- Amarillo: 42
- Verde: 78
- Naranja: 20
- Morado: 207

[4] Opción del programa que nos indica la luminosidad, el tono y la saturación de cada color.

Los únicos matices que han variado respecto a la primera edición del test han sido el azul y naranja, y tan sólo en un punto, por debajo y por encima, respectivamente.

Los tonos han sido seleccionados de esta manera para que nuestra pretendida muestra, es decir, los niños no tengan dificultad en diferenciarlos.

En el test I tenemos una luminosidad de 150 y saturación de 255 constantes, lo que cambia es el matiz.

Foto 1 Lámina 4 del Test III Saturación

El test II tiene una saturación de 205 y tono de 41 constantes, lo que cambia aquí es la luminosidad. El círculo central posee una luminosidad de 150 y de los cinco restantes uno es exactamente igual y los otros 4 tienen luminosidades de 50, 100, 200, 250. En esta última luminosidad (250), el test ha variado respecto al test de color 1º en 35 puntos, antes este valor correspondía a 215.

El test III está compuesto por un tono de 5 y luminosidad constante de 150 y una saturación del círculo central de 150, los cinco

círculos restantes, uno es igual al central y los otros cuatro difieren en su saturación, dos más saturados, 200 y 250; y dos menos saturados 50 y 100. Cuanto mayor sea la saturación mayor intensidad tendrá el color.

En los tres test no se muestra un orden específico para cada diferencia de saturación, tono y luminosidad, sino que están colocadas aleatoriamente.

En el anterior test de colores (1º) se utilizó papel fotográfico HP Premium Brillo mientras que en este nuevo perfeccionamiento del test se ha utilizado el mismo tipo de papel pero en calidad mate. En ambos se ha utilizado una impresora HPSC 750, cuyo cartucho estaba recién puesto.

Otra modificación se basa en la eliminación del borde negro de cada círculo que aparece en cada lámina del test. Se ha optado esta vez actuar de esta forma para que no influya en la discriminación de los colores.

Todos estos datos (saturación, tono y luminosidad) que permite asignar una magnitud a un determinado color, se puede tomar también como mezcla de los tres colores rojo, verde y azul del modelo de color RGB.[5]

Así que de esta manera, después de haber realizado las pertinentes modificaciones, se pasa a desarrollar el método junto con el material utilizado en el estudio para llegar a conclusiones sobre el Test TC-COI.

El procedimiento de la valoración del test se preparó por una secuencia de estaciones en las cuales se tomaron los siguientes datos:

[5] Esta otra opción del programa nos indica la cantidad de rojo, verde y azul que contiene cada color.

- **Agudeza Visual**: se tomó este dato a distancia lejana y cercana. La de lejos se obtuvo a la distancia de 3 metros con el Test de Lea, diseñado para esa distancia, mientras que la de cerca fue tomada con el test de E de Snellen a 30-35 cm en un atril e iluminado con luz de 60W.[6]

Foto 2 Test de Lea

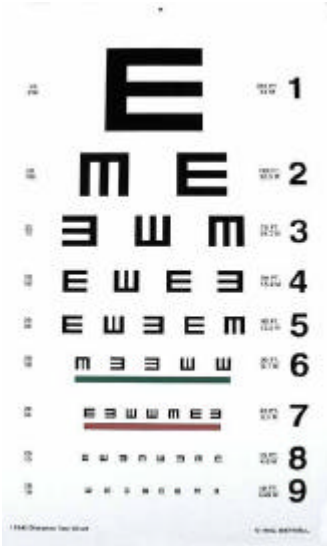


Foto 3 Test de la E

- **Estereopsis:** aunque este dato parezca que no es de mucho interés en el estudio de la visión del color, ya que la prueba cromática se realiza en monocular, puede dar una información valiosa, si el mal desarrollo de la visión binocular en edades tempranas puede influir o no en el conocimiento y asimilación de los colores y de sus distintos contrastes. Se utilizaron varios test para obtener

[6] Este tipo de iluminación es la más adecuada para la visión del color y se utilizó para el desarrollo de todas las pruebas, junto con luz ambiente. El atril también se usó en todas las estaciones.

información sobre el tercer grado de fusión. Se manejaron los denominados *Randot*, *Mosca* y *Reno*.

Fig. 16 Test de Randot

- **Test de Isihara**: para poder obtener datos comparativos con el Test TC-COI (aún no validado), se pasó en monocular y en ambos ojos. Fueron utilizados dos modelos: el de 24 y 38 láminas, además a una pequeña parte de la muestra se mostró otro test de Isihara que consta de 10 tarjetas y puede detectar problemas tritan, que los dos anteriores no pueden averiguar.

- **Refracción:** se anotó si el paciente necesitaba corrección óptica y qué tipo de ametropía era, para orientarse de nuevo con la estadística, si estos datos o no influyen en la visión del color. No se dará mucha importancia, ya que las variables serán escogidas a groso modo en tres grandes grupos: miopía, hipermetropía y astigmatismo, aunque quizás se pueda encontrar algún dato relevante para proseguir la investigación.

- **Test TC-COI:** se mostraron monocularmente a ambos ojos los tres test de una forma aleatoria en cada paciente. Se mantiene al niño sentado a 40 cm del test y se le pide que nombre en el test I el color del centro y luego señale que color

de los cinco círculos de alrededor es el mismo. En los test II y III se le solicita simplemente que nos señale cual de los círculos periféricos es idéntico al central.

Todos estos datos adquiridos en las estaciones comentadas fueron reflejados en una ficha[7] creada especialmente para este estudio. En ella figuraban espacios y casillas para ser rellenados por el optometrista de una forma sencilla y rápida. Se optó por dos colores: azul para niños y rosa para niñas. La anotación para el Test TC-COI se hizo en un apartado especial diseñado para anotar la lámina fallada y la posición del círculo erróneo, mostrando así el grado de saturación, luminosidad o tono respecto al central. De esta manera se puede observar qué cantidad es la que da más equivocaciones en la muestra, y por tanto sacar datos sobre el comportamiento del sistema visual humano y su poder de discriminación en las distintas condiciones.

Foto 3

Se eligió una muestra de niños con edades comprendidas entre los 6 y 12 años, a diferencia del estudio anterior realizado por nuestros compañeros con niños de 3 a 5 años. De esta forma se podrá comparar los resultados en

[7] Ver anexo I.

un amplio margen y poder determinar si el nivel cognoscitivo influye o no en hacer correctamente el test y si los errores no positivos están más presentes en una edad o en otra. También decir que servirá para contrastar dichos datos con el test ya validado de Isihara.

El estudio fue realizado, en su mayor parte, en el colegio Nuestra Señora de la Sabiduría (Madrid) y, en menor proporción, en el Centro de Optometría Internacional. Cabe decir que las pruebas se realizaron con el mismo material y prácticamente en las mismas condiciones.

Se efectuó a 127 individuos entre niños y niñas, a 74 de ellos se les mostró el test de Isihara de 24 y 38 láminas, los cuales detectan el mismo tipo de anomalía. A los 53 restantes se les expuso un test modificado de Isihara, donde las anomalías tritan también son detectables.

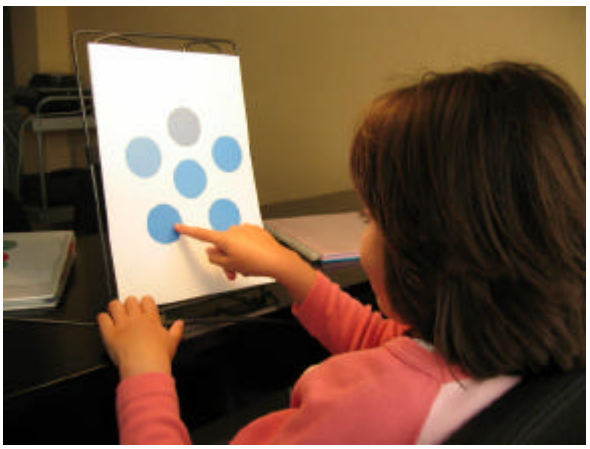


Foto 4

Para poder estudiar las variables de saturación y luminosidad (como ya hemos comentado en el test I Tono no se encontró ningún error) se ha creado

una ficha[8] donde se muestra de una forma especifica los grados de éstas en un pequeño test II y III simulado con todas las láminas, esto se hace así, debido a que estas variables están dispuestas aleatoriamente en cada círculo. De esta manera, se podrá comparar los datos estadísticos con los de la ficha y estudiar las conclusiones que de aquí derivan, profundizando un poco más en la cuestión y de nuevo quizás obtener datos que ayuden a validar este test.

[8] Ver anexo II.

Capítulo 5

RESULTADOS Y ESTADÍSTICA

A continuación, antes de mostrar los resultados obtenidos a través de la estadística del programa SPSS, y poder sacar las conclusiones pertinentes se va a intentar especificar los puntos de interés a contrastar para poder desarrollar un criterio de discusión óptimo y retroceder o avanzar en la línea de investigación para llegar a su validación.

- Porcentaje de participación niños/as.
- Diferenciar errores niños/as, en conjunto y por edades.
- Test con más índice de error, en general y por sexos.
- Lámina más fallada de toda la prueba, y por test.
- Variable menos acertada en las láminas con más errores.
- Bloque o lámina más fallada en Isihara, en general y por sexos
- Comparación errores Isihara y Tolusa, en general y por sexos.
- Qué porcentaje de saturación o luminosidad es sustituido más veces por el correcto.

SEXO Y EDAD

Como se ha comentado anteriormente la participación del estudio realizado fue de 127 niños y niñas, cuyos porcentajes por sexo se muestran en la siguiente representativa. En ella se puede apreciar que es muy similar en su proporción.

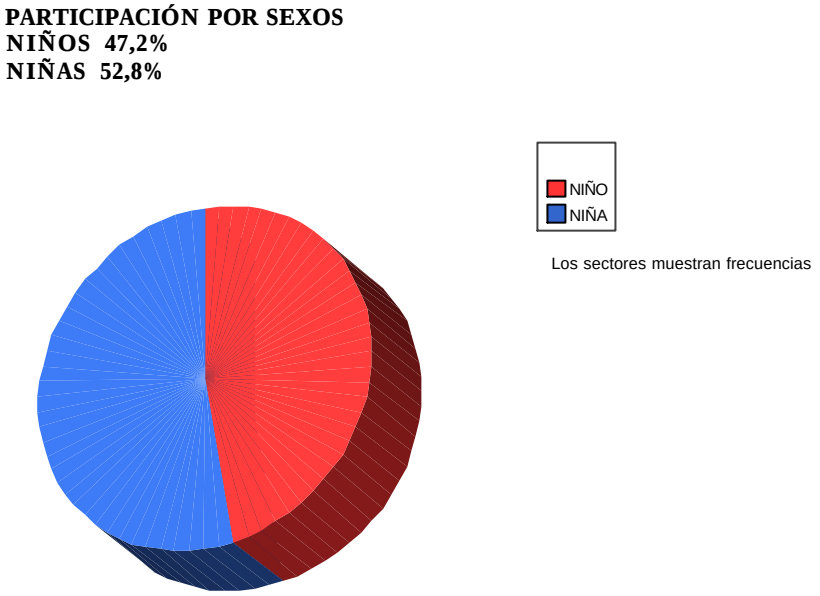


Gráfico 1

PORCENTAJE NIÑOS/AS POR EDADES

Después de observar la relación general, vamos a desglosar estos porcentajes por edades. La muestra cubrió las edades de 6 a 12 años y la estadística se efectúo por rangos de año a año, para observar en qué edad se obtuvo mayor participación y la cantidad de individuos por sexos. Se aprecia con claridad que la mayor colaboración se alcanzó entre los 7 y 9 años.

Estadísticos

EDAD

N	Válidos	127
	Perdidos	0
Media		8,638
Mediana		8,200
Moda		8,1
Desv. típ.		1,5377
Mínimo		6,0
Máximo		12,8

Tabla 4

	NIÑO		NIÑA	
	Recuento	%	Recuento	%
6-7	5	8,3%	3	4,5%
7-8	17	28,3%	20	29,9%
8-9	23	38,3%	15	22,4%
9-10	9	15,0%	11	16,4%
10-11	4	6,7%	6	9,0%
11-13	2	3,3%	12	17,9%
Total	60	100,0%	67	100,0%

Tabla 5

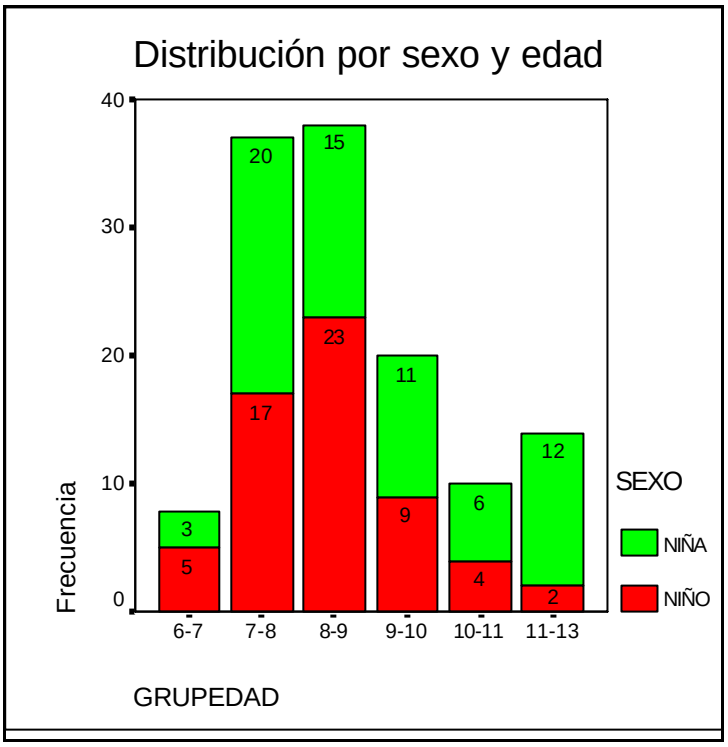


Gráfico 2

AGUDEZA VISUAL

En las siguientes tablas se puede apreciar que las agudezas visuales del estudio no difieren en demasía a la norma, es decir, rozando la unidad, que las diferencias entre niños y niñas es prácticamente inapreciable, aunque ellas están ligeramente por encima en ambas distancias. También se estima que este dato, referido por edades, se mantiene casi constante.

Estadísticos

		AVLD	AVLI	AVCD	AVCI
N	Válidos	*127*	*127*	*127*	*127*
	Perdidos	*0*	*0*	*0*	*0*
Media		*,959*	*,952*	*,962*	*,968*
Mínimo		*,3*	*,4*	*,5*	*,5*
Máximo		*1,0*	*1,2*	*1,0*	*1,0*

Tabla 6

AV MEDIA	NIÑOS	NIÑAS
AV LEJOS	O,950	0.960
AV CERCA	0.962	1.0

Tabla 7

AV MEDIA POR EDAD	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-13
AV CERCA	0,97	0,975	0,925	0,98	0,98	0,975

Tabla 8

	AV cerca<0,8		AV cerca>0,8	
	Recuent	%	Recuento	%
NO FALLA	*3*	*16,7%*	*16*	*14,7%*
FALLA	*15*	*83,3%*	*93*	*85,3%*
Total	*18*	*100,0%*	*109*	*100,0%*

Tabla 9

ESTEREOPSIS

La estereopsis no es un dato relevante para la discriminación del color, ya que sus características de madurez del sistema binocular no son necesarias ni influyen en lo que se investiga, por ser de carácter monocular. Pero puede dar datos relevantes si su falta de desarrollo ha influido en el aprendizaje y comparación de las distintas longitudes de onda.

A continuación se especifica el grado de estereopsis de los partícipes:

	NIÑOS		NIÑAS	
	Recuento	%	Recuento	%
20	10	16,7%	17	25,4%
25	3	5,0%	1	1,5%
30	2	3,3%	2	3,0%
40	30	50,0%	33	49,3%
50	5	8,3%	3	4,5%
60	2	3,3%	1	1,5%
70	1	1,7%	5	7,5%
80	1	1,7%	1	1,5%
100	1	1,7%	2	3,0%
140	1	1,7%		
200	2	3,3%	1	1,5%
800	2	3,3%	1	1,5%
Total	60	100,0%	67	100,0%

Tabla 10

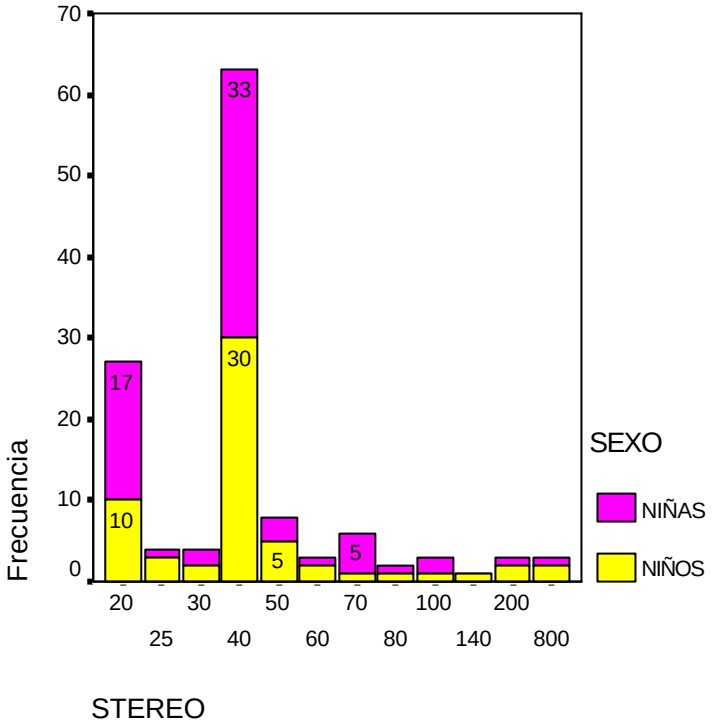


Gráfico 3

Estadísticos

STEREO

N	Válidos	127
	Perdidos	0
Media		62,05
Mediana		40,00
Moda		40
Mínimo		20
Máximo		800

Tabla 11

De esta estadística se deduce que más del 80% de la muestra presenta una estereopsis precisa, es decir que su sistema binocular se desarrolló correctamente, que la media fue sobre unos 40” de arco y que las distinciones entre sexos fueron inapreciables.

TEST TC-COI

A continuación se presenta la estadística del test TC-COI de una manera general y segmentada para, a posteriori, poder entender mejor los resultados obtenidos. Cuando se trate cada test por separado se omitirá la estadística del test I Tono, debido a que el porcentaje de aciertos es del 100% tanto por edades como por sexos.

	TC-COI
NO FALLA	***15,0%***
FALLA	***85,0%***

Tabla 12

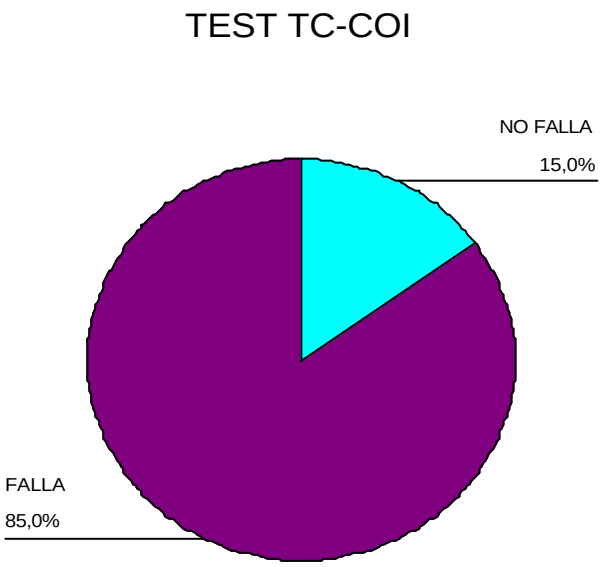


Gráfico 4

Solo el 15% de la muestra que efectuó el test TC-COI no cometió ningún error y resolvió bien en todas las láminas.

FALLOS TEST II

	TEST II
NO FALLA	***73,2%***
FALLA	***26,8%***

Tabla 11

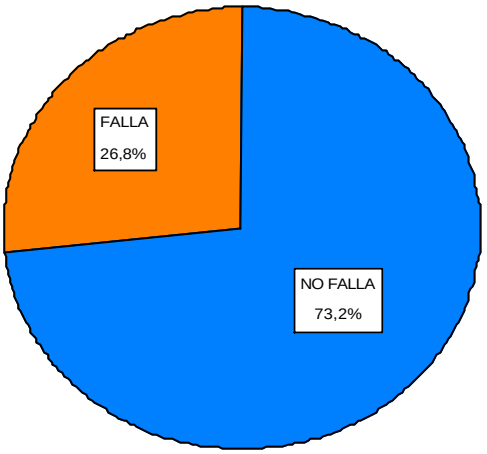


Gráfico 5

FALLOS TEST III

	TEST III
NO FALLA	*16,5%*
FALLA	*83,5%*

Tabla 12

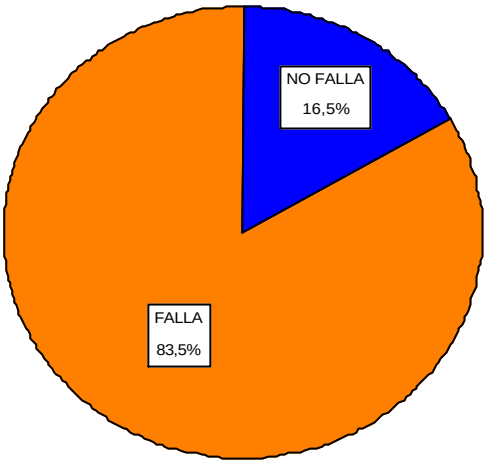


Gráfico 6

Estas dos gráficas por sectores representan claramente que el test III, es el más fallado por los niños y demuestra que la saturación en sus distintas proporciones es menos discriminatoria para el ojo humano.

FALLOS TEST II POR SEXOS

	NIÑO		NIÑA	
	Recuento	%	Recuento	%
NO FALLA	*42*	*70,0%*	*51*	*76,1%*
FALLA	*18*	*30,0%*	*16*	*23,9%*

Tabla 13

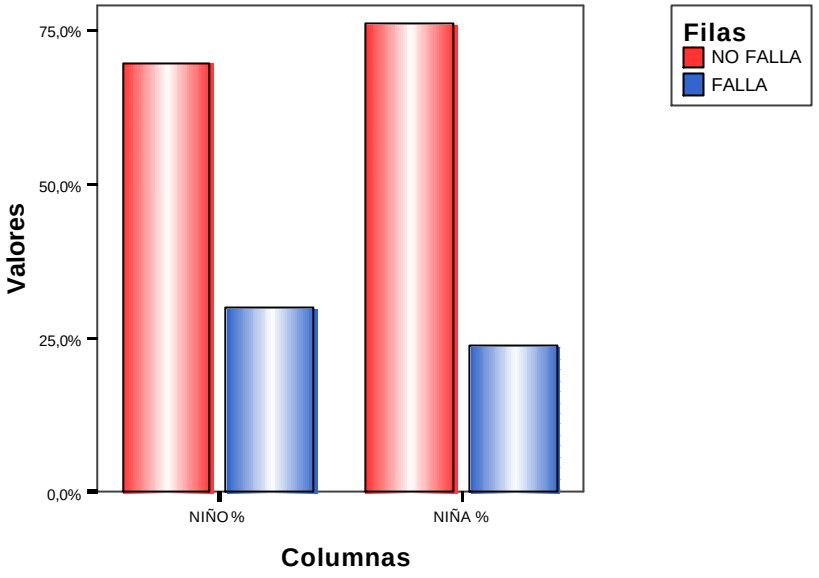


Gráfico 7

FALLOS TEST III POR SEXOS

	NIÑO	NIÑA
	%	%
NO FALLA	*13,3%*	*19,4%*
FALLA	*86,7%*	*80,6%*

Tabla 14

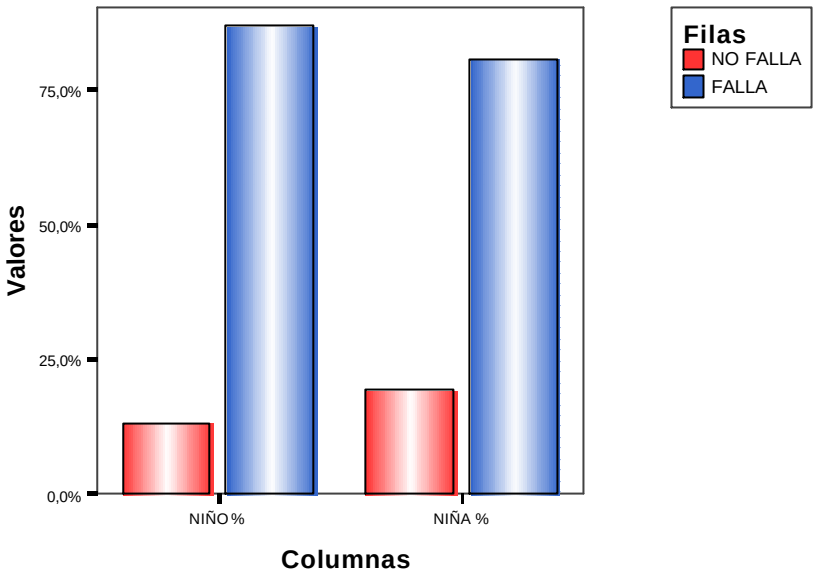


Gráfico 8

En este nuevo dato estadístico se aprecia que tanto niños como niñas, siguen la variante general, el test III, saturación, es el más fallado para ambos sexos, pero sin embargo hubo menos aciertos en el sexo masculino que en el femenino en ambos tests.

ESTADÍSTICA TEST II Y III POR LÁMINAS

Estas tablas son las más complicadas de interpretar. En ellas se especifica en cada test y en cada ojo, diferenciando por sexos, qué lámina es la más fallada y la posición del círculo equivocado que señala en vez del correcto. Las características de cada disco están dispuestas aleatoriamente. Por ello, existe una tabla (ver anexo II) donde se especifica las cualidades de cada círculo y su posición. De esta manera por comparación se sabrá qué grado de luminosidad o saturación es elegido por el sujeto. En la tabla estas posiciones

están dispuestas en columnas expresadas en números del 1 al 6. la columna 1 expresa la cantidad de aciertos. La 6 corresponde a la posición 1 del test. Las 4 restantes simbolizan el número de su posición.

En el **test II Luminosidad** si se observa la tabla se aprecia que la lámina con más errores es la número 3, que corresponde al color *violeta*. Lo sustituye por el círculo en posición 2. Y si se consulta el anexo II, se comprueba que el grado de luminosidad que se confunde es el 100, por el correcto que es el de 150.

La segunda lámina con más errores es la número 2 que corresponde al color *azul*. Lo sustituye por el círculo en posición 3. Se comprueba que el grado de luminosidad que se confunde es el 100, por el correcto que es el de 150.

En el **test III Saturación** si se observa la tabla se aprecia que la lámina con más errores es la número 4, que corresponde al color *verde*. Lo sustituye por el círculo en posición 2. Y si se consulta el anexo II, se comprueba que el grado de saturación que se confunde es el 200, por el correcto que es el de 150.

La segunda lámina con más errores es la número 2 que corresponde al color *azul*. Lo sustituye por el círculo en posición 3. Se comprueba que el grado de saturación que se confunde es el 200, por el correcto que es 150.

En este tercer apartado del test TC-COI, existen muchos más errores que en el de luminosidad (test II), por ello el dato de la tercera lámina con más errores también es un dato importante, se trata de la lámina número 6, que corresponde al color *violeta*. Lo sustituye por el círculo en posición 3. Se comprueba que el grado de saturación que se confunde es el 200, por el correcto que es de 150.

Todos estos datos se han tomado sin diferenciar sexos, es decir tomando la muestra al completo.

A continuación se presentan las tablas comparativas para cada lámina y la gráfica donde se especifica el total de aciertos diferenciado entre niños y niñas. También muestra que posición fue elegida más en cada caso, aunque este dato para esta investigación no tiene valía.

TEST II LUMINOSIDAD OD

		1	2	3	4	5	6	Total
NIÑO	L.1	60						60
	L.2	55		5				60
	L.3	55	4				1	60
	L.4	58	2					60
	L.5	59				1		60
	L.6	59			1			60
NIÑA	L.1	67						67
	L.2	64		1		2		67
	L.3	59	7				1	67
	L.4	66	1					67
	L.5	66					1	67
	L.6	67						67

Tabla 15

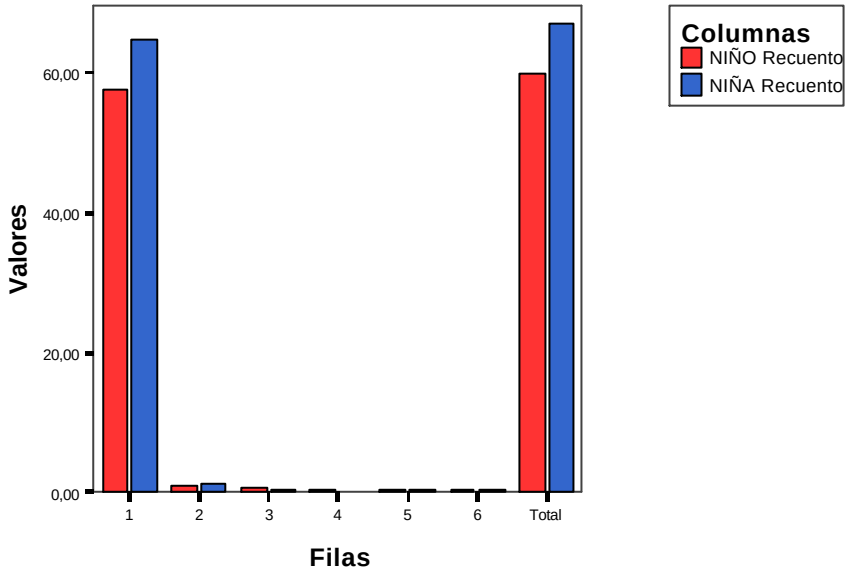


Gráfico 9

TEST II LUMINOSIDAD OI

		1	2	3	5	6	Total
NIÑO	L.1	59	1				60
	L.2	56		4			60
	L.3	53	6	1			60
	L.4	59	1				60
	L.5	60					60
	L.6	60					60
NIÑA	L.1	67					67
	L.2	64		2	1		67
	L.3	64	3				67
	L.4	67					67
	L.5	66				1	67
	L.6	66	1				67

Tabla 16

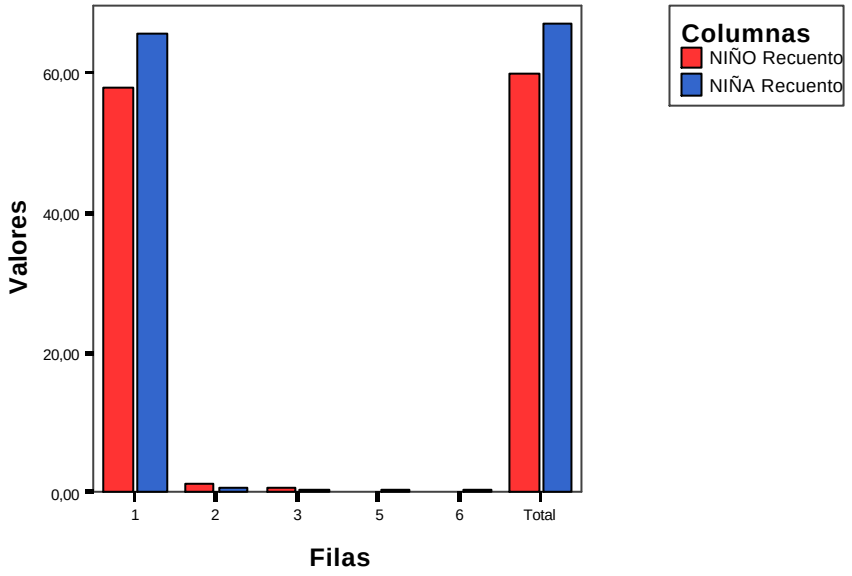


Gráfico 10

TEST III SATURACIÓN OD

		1	2	3	4	5	6	Total
NIÑO	L.1	60						60
	L.2	45		6	5	4		60
	L.3	57	1				2	60
	L.4	28	24			6	2	60
	L.5	57	3					60
	L.6	46	5	6		3		60
NIÑA	L.1	67						67
	L.2	50		12	4	1		67
	L.3	66		1				67
	L.4	41	21			5		67
	L.5	64	3					67
	L.6	52	4	7		4		67

Tabla 17

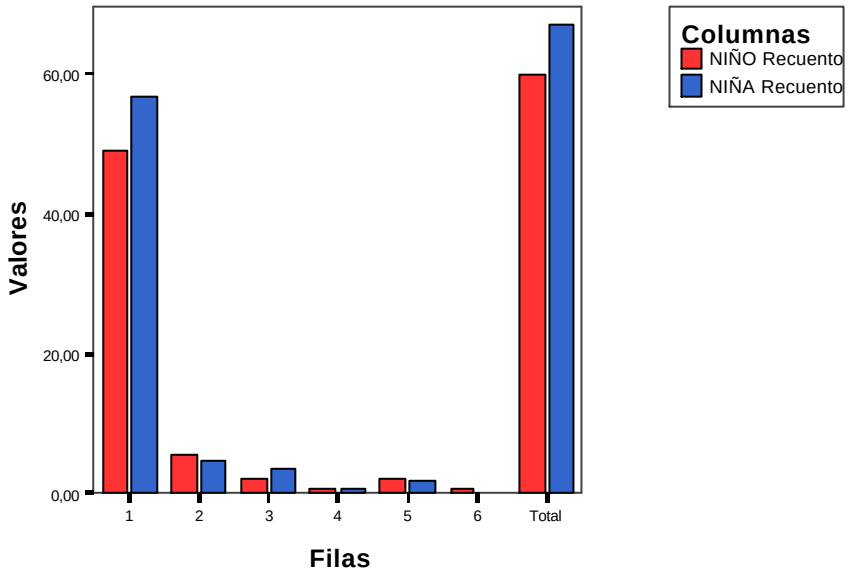


Gráfico 11

TEST III SATURACIÓN OI

		1	2	3	4	5	6	Total
NIÑO	L.1	60						60
	L.2	44		2	4	10		60
	L.3	58				1	1	60
	L.4	40	15	1		3	1	60
	L.5	58	2					60
	L.6	46	1	5		8		60
NIÑA	L.1	67						67
	L.2	42		11	10	4		67
	L.3	65					2	67
	L.4	46	14			7		67
	L.5	67						67
	L.6	52	2	9		4		67

Tabla 18

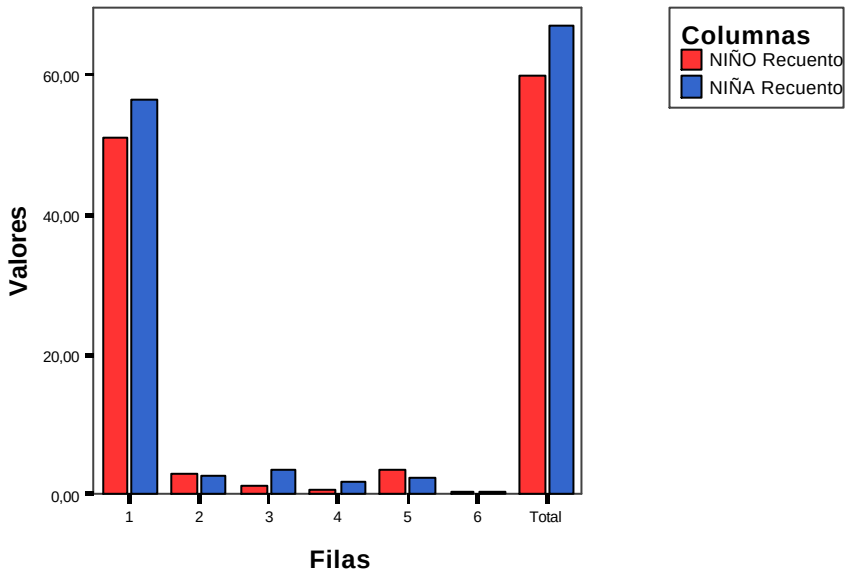


Gráfico 12

TEST DE ISIHARA (10 láminas)

Aunque el test de Isihara se mostró a todos los niños/as, sólo a 53 de ellos también se les presentó láminas para detectar el defecto tritan. Por ello, se hará comparativa de esta muestra con ambos test de una forma independiente. La estadística de este test se efectúo por sexos, de forma binocular y a cada ojo por separado.

ISIHARA AMBOS OJOS

	NIÑOS		NIÑAS	
	Recuento	%	Recuento	%
NO FALLA	*18*	*69,2%*	*21*	*77,8%*
FALLA	*8*	*30,8%*	*6*	*22,2%*
Total	*26*	*100,0%*	*27*	*100,0%*

Tabla 19

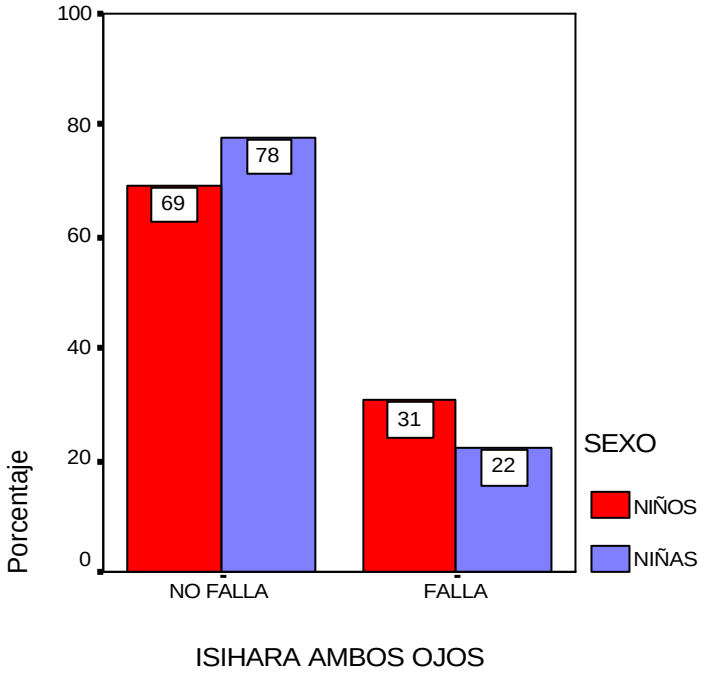


Gráfico 13

Aunque el porcentaje de error entre niños y niñas sea parecido, ellos fallan ligeramente más que ellas.

ISIHARA OD

	NIÑOS		NIÑAS	
	Recuento	%	Recuento	%
NO FALLA	19	73,1%	21	77,8%
FALLA	7	26,9%	6	22,2%
Total	26	100,0%	27	100,0%

Tabla 20

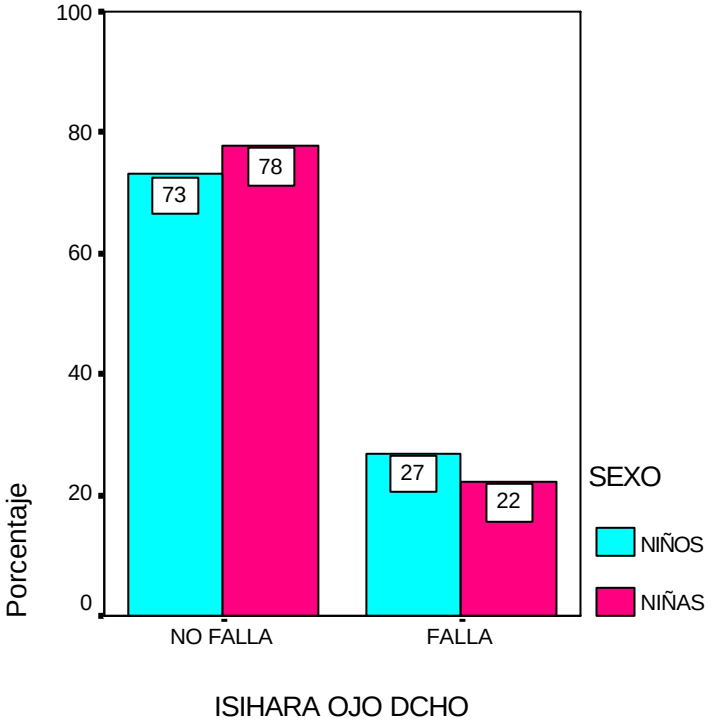


Gráfico 14

ISIHARA OI

	NIÑOS		NIÑAS	
	Recuento	%	Recuento	%
NO FALLA	*19*	*73,1%*	*22*	*81,5%*
FALLA	*7*	*26,9%*	*5*	*18,5%*
Total	*26*	*100,0%*	*27*	*100,0%*

Tabla 21

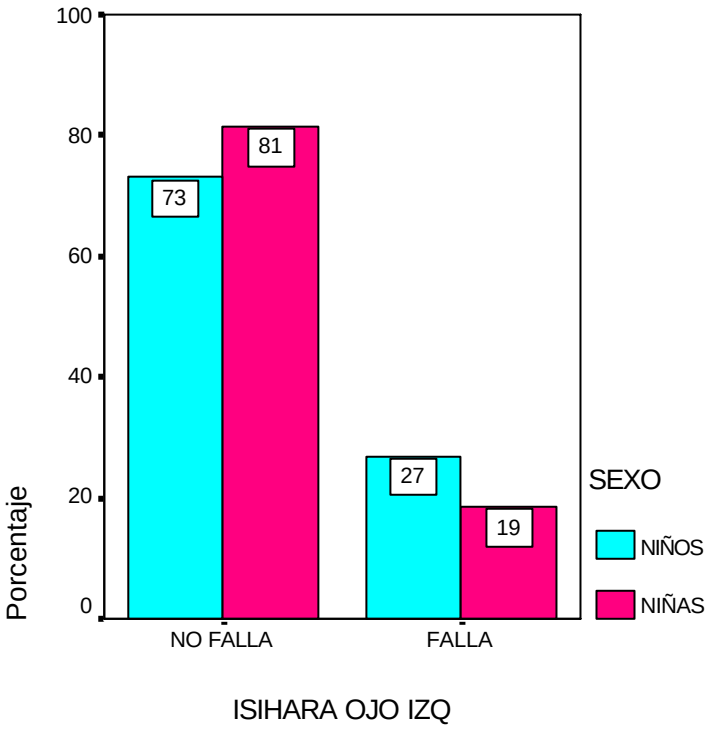


Gráfico 15

La diferencia entre ambos ojos por separado no difiere de la general, ni por sexos ni por fallos.

ISIHARA OD POR LÁMINAS

		NO FALLA	FALLA
NIÑOS	L.1	*100,0%*	
	L.2	*96,2%*	*3,8%*
	L.3	*100,0%*	
	L.4	*96,2%*	*3,8%*
	L.5	*96,2%*	*3,8%*
	L.6	*73,1%*	*26,9%*
	L.7	*100,0%*	
	L.8	*96,2%*	*3,8%*
	L.9	*100,0%*	
	L.10	*96,2%*	*3,8%*
NIÑAS	L.1	*100,0%*	
	L.2	*100,0%*	
	L.3	*100,0%*	
	L.4	*100,0%*	
	L.5	*92,6%*	*7,4%*
	L.6	*85,2%*	*14,8%*
	L.7	*96,3%*	*3,7%*
	L.8	*96,3%*	*3,7%*
	L.9	*100,0%*	
	L.10	*92,6%*	*7,4%*

Tabla 22

ISIHARA OI POR LÁMINAS

		NO FALLA	FALLA
NIÑOS	L.1	*100,0%*	
	L.2	*96,2%*	*3,8%*
	L.3	*100,0%*	
	L.4	*96,2%*	*3,8%*
	L.5	*96,2%*	*3,8%*
	L.6	*73,1%*	*26,9%*
	L.7	*100,0%*	
	L.8	*96,2%*	*3,8%*
	L.9	*100,0%*	
	L.10	*96,2%*	*3,8%*
NIÑAS	L.1	*96,3%*	*3,7%*
	L.2	*96,3%*	*3,7%*
	L.3	*96,3%*	*3,7%*
	L.4	*100,0%*	
	L.5	*96,3%*	*3,7%*
	L.6	*85,2%*	*14,8%*
	L.7	*96,3%*	*3,7%*
	L.8	*96,3%*	*3,7%*
	L.9	*96,3%*	*3,7%*
	L.10	*92,6%*	*7,4%*

Tabla 23

La lámina que más confunde los niños es la número 6, que detecta anomalía rojo-verde. Aunque para diagnosticar dicha anomalía se necesita haber errado en tres láminas más. Se comprueba que los niños aciertan menos que las niñas, en algo más de un 10%.

La gráfica siguiente muestra el porcentaje de la lámina más equivocada sin diferenciar qué ojo es.

ISIHARA AMBOS OJOS POR LÁMINAS

	NO FALLA	FALLA
L.1	***98,1%***	***1,9%***
L.2	***96,2%***	***3,8%***
L.3	***98,1%***	***1,9%***
L.4	***98,1%***	***1,9%***
L.5	***96,2%***	***3,8%***
L.6	***79,2%***	***20,8%***
L.7	***98,1%***	***1,9%***
L.8	***96,2%***	***3,8%***
L.9	***98,1%***	***1,9%***
L.10	***94,3%***	***5,7%***

Tabla 24

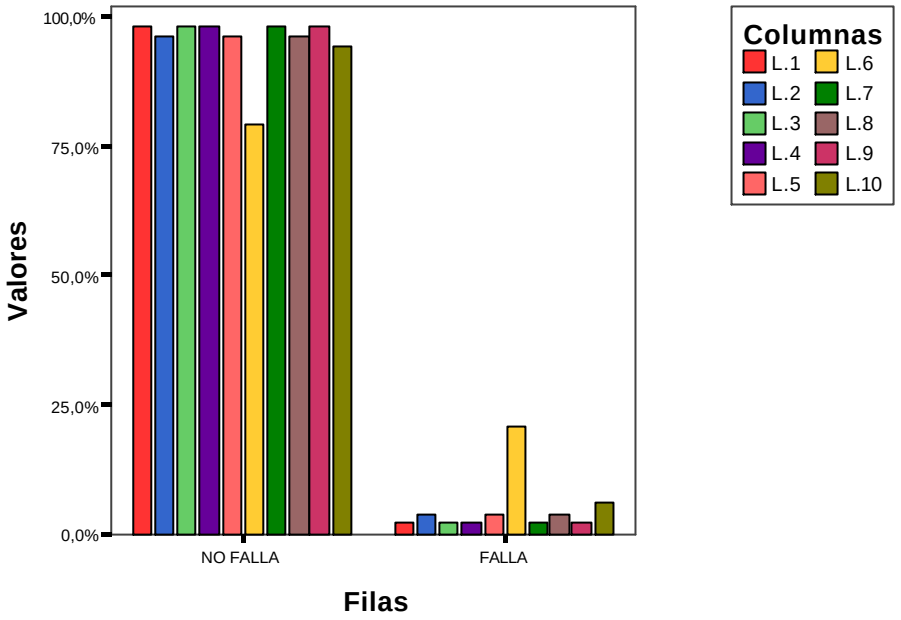


Gráfico 16

TC-COI / ISIHARA

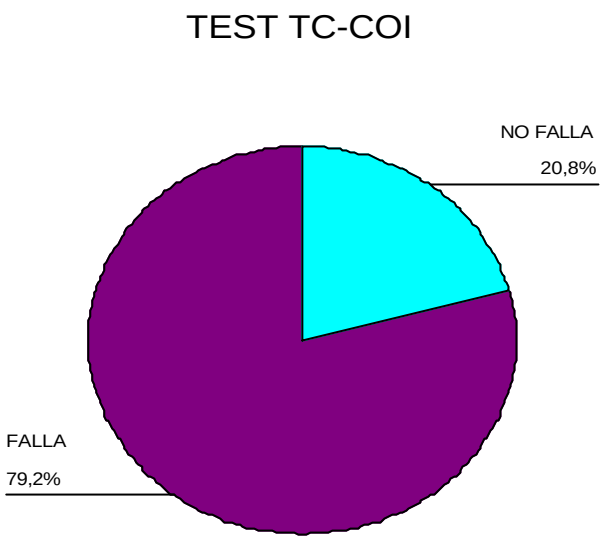


Gráfico 17

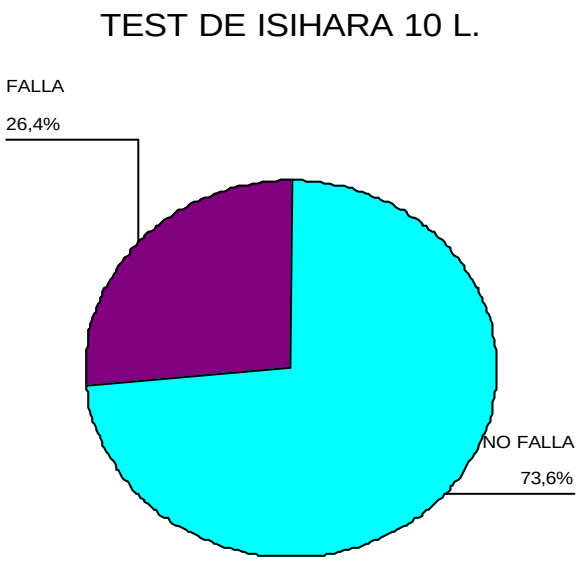


Gráfico 18

En esta comparación se aprecia fácilmente que en el test TC-COI sólo un 20,8% de los partícipes lo resolvió sin cometer ningún fallo, mientras que en el test de Isihara (10 láminas) el 76,6% superó la prueba.

Capítulo 6

DISCUSIÓN

Antes de empezar a discutir la cuestión hay que recordar los datos que se obtuvieron en el primer estudio.

Estos resultados llevaron a la conclusión de que a los niños de 3 a 5 años les costaba discriminar por comparación más los colores verdes frente a los rojos y naranjas. Este dato se apoyaba en la teoría de Mc Adam[9](1942) que sostenía que los verdes eran de más difícil discriminación para el ojo humano.

En este estudio del color también se encontró que las longitudes de onda corta como son el azul y el violeta eran de similar dificultad de discriminación que los verdes. Por tanto, aquí no se cumple la teoría de Mc Adam.

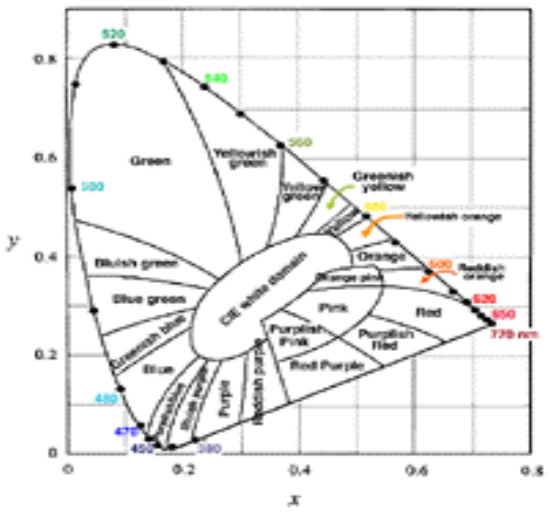


Gráfico 19

[9] Ver primer estudio de Test TC-COI (*Visión del color en niños*, COI 2002)

Después de haber realizado los datos y haberlos comentado, podemos concluir de forma muy similar al resultado que obtuvo la primera edición. En el test II, luminosidad, el color de más dificultad fue el violeta y el verde, no tuvo resultados significativos de error. En cambio en el test III, saturación, el color verde fue con diferencia el color que más candidatos llevó al error, seguido de cerca por el azul y violeta.

En esta faceta se reafirma el trabajo anterior a éste, donde los resultados no acaban de encajar con la Elipse de Mc Adam (ver gráfico 19), en el cual la zona de los verdes es mucho más amplia que la de los azules y violetas, y los resultados obtenidos sugieran una menor proporción de diferencia sobre todo en el test II. Sin embargo, quizás por clasificar los test por atributos y sólo variar uno de ellos, puede influir en que la elipse de Mc Adam pudiera salir ligeramente alterada.

Otro dato interesante que plantea discusión y que no fue estudiado en la primera edición es que en el test II Luminosidad la lámina más fallada fue la del color violeta y fue sustituido en su mayor parte por el círculo de luminosidad 100 frente al correcto 150. Y, en cambio, las tres láminas más falladas del test III Saturación que son los colores verde, azul y violeta, la mayoría sustituyeron el color correcto 150 por el de 200. Así, dichos resultados plantean como el cerebro puede equivocarse por debajo (100), respecto al valor correcto (150) en el caso de distintas luminosidades y porqué cuando la variedad de elección es entre distintas saturaciones la media de error es un valor por encima del correcto (200). Este planteamiento merece ser investigado y se cree que puede otorgar nuevas conclusiones para clasificar las utilidades del test TC-COI.

Otro dato que se puede leer en la estadística es que la media de la edad fue de 8,68 años, un valor significativamente superior al del estudio anterior. Este dato ayuda a entender que aunque el porcentaje de error para las

longitudes de onda corta, es parecido, en este segundo estudio hay menos fallos. Y se comentara en las conclusiones.

Los resultados estadísticos nos ofrecen que la agudeza visual media es de 0,95 para niños y 0,96 para niñas en la visión de lejos. Mientras que en visión cercana obtenemos 0,96 y 1,0 para niños y niñas, respectivamente. Estos datos nos ofrecen un desarrollo de la visión monocular, en general, de toda la muestra muy buena. Una de las tablas, compara el porcentaje de errores en el test TC-COI, respecto al grupo con agudeza visual inferior y superior a 0,8 en visión cercana. Manifiesta que este dato no altera la decodificación del test. Cabe decir que dicha estadística tampoco puede tomarse muy en serio debido a que la muestra con agudeza visual inferior a 0,8 es poco significativa.

Respecto a la estereopsis, dato en que ya se ha comentado que en principio no era interesante para la discriminación del los tests, ya que éstos se resuelven de forma monocular, si que de forma secundaria podría influir en discriminar los colores, pensando en que un desarrollo de la fusión entre ambos ojos mejora en percepción, profundidad y contraste y por tanto quizás podría mejorar la discriminación cromática. Desafortunadamente, este dato de comparación que pretendíamos hacer entre los sujetos de una estereopsis reducida, con los que la tenían dentro de la norma, y comparándola frente al test TC-COI, ha sido imposible conseguir realizarla con el programa estadístico SPSS. Pero para nuevos estudios puede ser un dato interesante a tener en cuenta. Por otra parte decir que la estereopsis media de la muestra en general sin diferenciación de sexos, está sobre los 40” de arco, reafirmando de esta manera la norma. Y mostrando un desarrollo de la visión binocular normal.

Se comparó una fracción de la muestra compuesta por 53 sujetos de una forma meramente informativa, entre el test de Isihara y el pretendido test TC-COI. No se pudo profundizar en ello debido a las diferencias evidentes

entre ambos, pero observar algunos datos nos puede llevar a ciertas conclusiones. El dato más relevante es que en el test de Isihara también los niños tienen más errores que las niñas, aunque ligeramente. Tras haber mostrado el test la lámina que peor fue discriminada fue la número 6, la cual detecta anomalías leves o moderadas al color rojo-verde. De la estadística se obtiene que los niños fallaron un 10% más que las niñas. Algo que podría considerarse normal teniendo en cuenta que esta patología la sufre un 8% los hombres frente a menos del 1% las mujeres. Este dato puede ser ficticio, ya que no sólo depende de esa lámina el "screening" de la anomalía, sino que depende de otras 3 láminas más para poder diagnosticar. Otro dato a comparar fue qué cantidad de partícipes no erró en ninguna ocasión alguna lámina. Claramente en el test de Isihara se falló mucho menos, con el 73,6 de aciertos y tan solo el 26,4 de errores, mientras que en el test TC-COI se invierten prácticamente los papeles con el 79,2 de fallos y el 20,8 de aciertos. Este dato también se puede considerar ficticio ya que el test de Isihara utilizado solo tenía 10 láminas frente al test TC-COI que esta compuesto por 18 y siempre hay que elegir una opción frente a 5.

Capítulo 7

CONCLUSIONES

En la observación extensa que se ha ejercido sobre todos los test más relevantes que existen, se ha llegado a la conclusión de que todos tienen utilidades distintas para pacientes distintos. La anamnesis aquí será primordial, ya que el conocimiento del color en edades tempranas es esencial para el aprendizaje. Por tanto, se cree que el test TC-COI puede llegar a estar dentro de alguna de estas variantes, como son el screening, discriminación o de visión cromática o Anomaloscopio. Aún falta definirlo, pero los datos inversamente proporcionales entre saturación y luminosidad pueden ser un filón para quizá orientarse hacia un test de discriminación, y al ser por comparación podría ejercerse con éxito a la edad que se empieza a ser consciente del color. Pero para ello se concluye que, principalmente, hacen falta más datos tanto de sujetos con algún tipo de anomalía como compararlas más a fondo con otros tests ya validados.

Como se ha podido comprobar aún falta mucho trabajo para poder validar el test TC-COI, pero la labor realizada hasta ahora se cree que muestra resultados positivos, relevantes y estimulantes para seguir avanzando en su investigación.

El test de screening de Isihara lo superaron correctamente todos los escolares menos uno, el cual mostraba una tendencia deuteranope y no encontramos ninguna relación con los resultados del test TC-COI. Por esto, se concluye que este último test podría no ser de screening, aunque sólo teniendo un dato a comparar es precipitado avanzar acontecimientos.

Otra conclusión a la que se puede llegar con este estudio es que la elipse de Mc Adam sólo se cumple cuando variamos únicamente la saturación,

mientras que si sólo variamos la luminosidad dicha elipse no es congruente. Por tanto observando la cantidad de errores que se cometen en el test III Saturación, y siendo la que mas se asemeja al patrón de Mc Adam, quizá la línea de investigación de los problemas del color esta más conectada al atributo de saturación.

Referido a la edad, ésta y el desarrollo psíquico y de la visión, quizás hayan podido influir en los resultados, puesto que son inferiores en error al del estudio de la primera edición. Decir, que las niñas siempre han errado menos que los niños. Asimismo se suele indicar que el sexo femenino madura antes cuando se habla de la psique, por tanto ahí puede estar la respuesta a esa varianza en el resultado. Todo ello son hipótesis que habrá que investigar en profundidad para hallar datos coherentes y saber si el test TC-COI con respecto a otros, obtiene menos margen general de errores respecto a la edad. Así, si esto se consigue será un punto muy favorable e incuestionable para hallar su validación.

El dato estadístico más revelador, curioso y quizás más importante que se ha podido encontrar en esta investigación, ha sido el ya comentado en anteriores capítulos. Trata sobre la inversa similitud en los errores de los niños en los tests de saturación y luminosidad. La cuestión es ¿porqué la mayoría de la muestra cuando se equivoca, eligiendo uno de los otros círculos que cree que se asemeja al central, lo hace en un atributo por encima y el otro por debajo? En el test de luminosidad, lo hace prefiriendo una luminosidad de 50, inferior a la correcta. Y en el test de saturación lo hace eligiendo de una forma clara una saturación superior a 50 de la correcta. Esto sucede en casi todas las láminas y de forma más clara en aquellas dónde el error se sucedió con más frecuencia, que eran las de longitudes de onda corta. Estas, según la elipse de Mc Adam son más difíciles de discriminar, pero ¿Qué mecanismo, quizá neurológico, lleva al ser humano a decidir erróneamente con más reiteración la

variable con menos luminosidad de la correcta y por el contrario más saturación de la que corresponde en especificados tests?

Se plantea, que tipo de mecanismos a nivel de la vía aferente se traduce a nivel de la vía eferente, y lleve a decidir equivocadamente. También se plantea que conexión debe haber entre estos dos atributos (luminosidad y saturación) y el sistema neurológico, para que se dé esta resolución tan atractiva para su investigación.

Por otra parte, la conclusión global que se extrae de todo el estudio, a parte de los resultados estadísticos y de las conclusiones que de ahí se derivan, es que el test TC-COI todavía está en proceso de evolución. Pero que se dejan líneas abiertas bien definidas para su futuro desarrollo. Y, por tanto, se anima a todo profesional que estudie y realice los cambios convenientes tanto en método como en formato, y que avance en la línea de trabajo que prefiera para, de alguna forma, conseguir una utilidad precisa y nueva a este test TC-COI.

BIBLIOGRAFÍA

FERNÁNDEZ, E.; ESTADELLA, S. y GONZÁLEZ, T. (2002) *Visión del color en niños.* Estudio del Centro de Optometría Internacional

MARTÍN HERRAZ, R. (2002) *Guía clínica para la exploración de la visión de los colores.* Suplemento de la revista Gaceta Óptica nº 362

Internet:

www.psych.utoronto.ca

www.hannover2000.net

www.members.shaw.ca

www.veatchinstruments.com

www.geocities.com

www.richmondproducts.com

www.colorvisiontesting.com

www.e-oftalmologia.com

www.ophtalmic.hyperguide.com

TEST DE COLORES

NOMBRE Y APELLIDOS: _____

FECHA DE NACIMIENTO:_____ **EDAD:**_____

COLEGIO: _____ **CURSO:**____

AMETROPÍA: _____ **OD:**

OI:

VISIÓN BINOCULAR: _____

Tipo de cristal: _____

AV: OD: L: C: **Test utilizado:** _____

OI: L: C: **C.C:** **S.C:** ☐

TEST DE ISIHARA: OD: falla lámina/s_____

OI: falla lamina/s_____

TEST 1

		OD	OI
Lámina 1 (Rojo)	**5**	☐	☐
Lámina 2 (Violeta)	**2**	☐	☐
Lámina 3 (Azul)	**1**	☐	☐
Lámina 4 (Verde)	**4**	☐	☐
Lámina 5 (Amarillo)	**3**	☐	☐
Lámina 6 (Marrón)	**2**	☐	☐

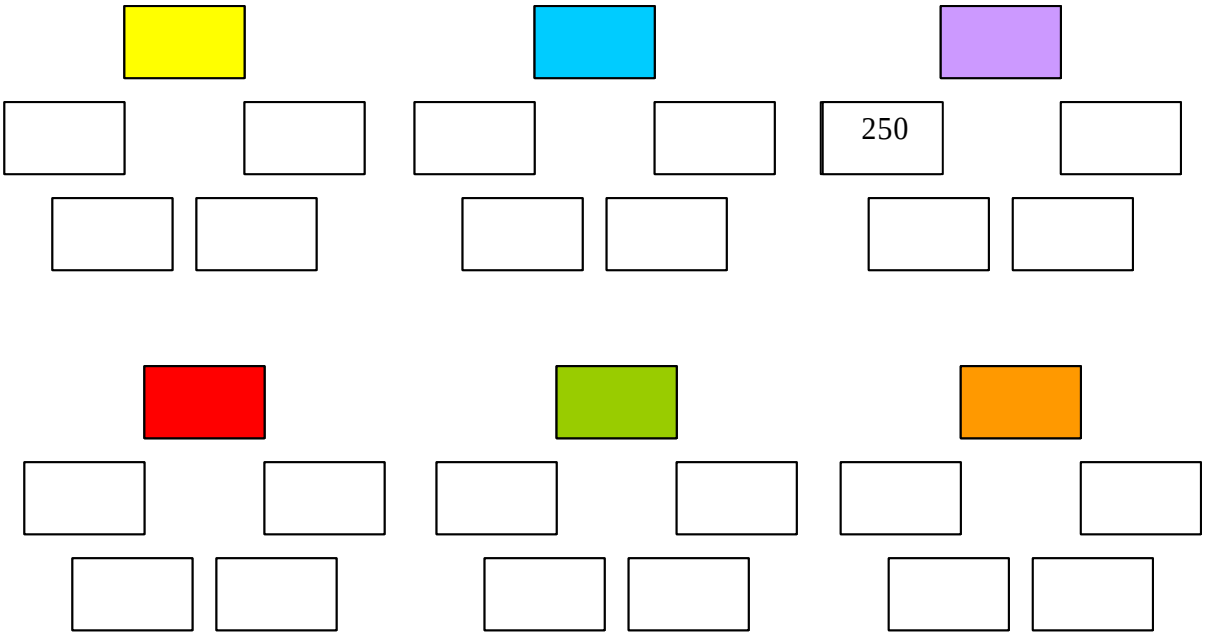
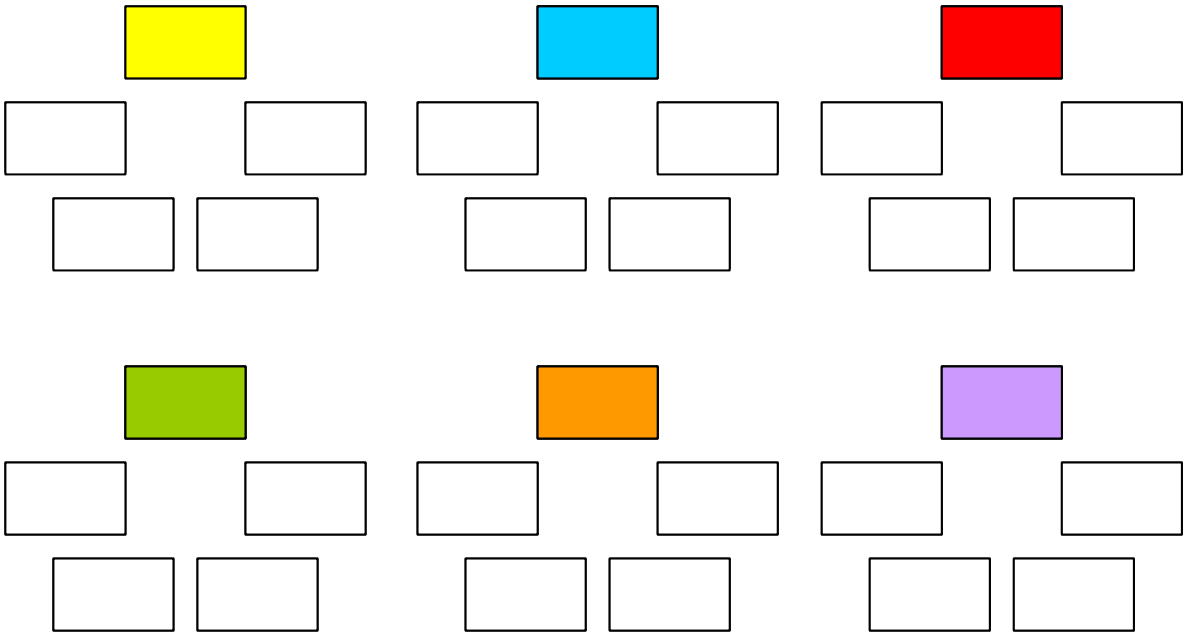
TEST 2

		OD	OI
Lámina 1 (Amarillo)	**3**		
Lámina 2 (Azul)	**1**		
Lámina 3 (Violeta)	**4**		
Lámina 4 (Rojo)	**5**		
Lámina 5 (Verde)	**4**		
Lámina 6 (Marrón)	**3**		

TEST 3

		OD	OI
Lámina 1 (Amarillo)	**5**		
Lámina 2 (Azul)	**2**		
Lámina 3 (Rojo)	**3**		
Lámina 4 (Verde)	**4**		
Lámina 5 (Marrón)	**5**		
Lámina 6 (Violeta)	**4**		

TEST II LUMINOSIDAD



TEST III SATURACIÓN