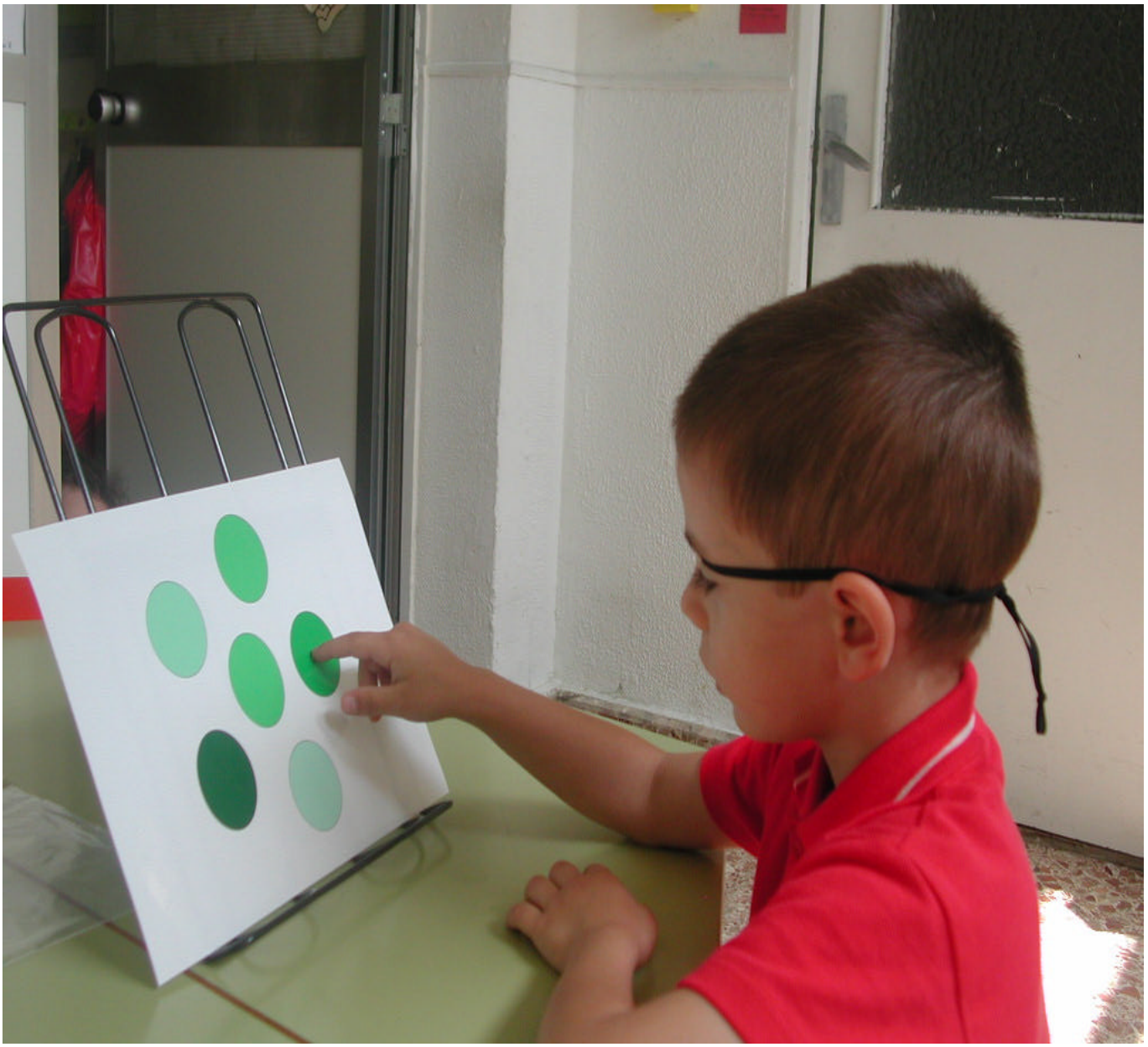


VISIÓN DEL COLOR EN LOS NIÑOS

Master En Optometría Y Terapia Visual
Centro De Optometría Internacional

AUTORES : ESTELA FERNÁNDEZ RÍO
SAL·LUSTIÀ ESTADELLA i LLOBET
TULA CROOKE GONZÁLEZ DE AGUILAR
DIRECTOR : JESÚS RAMÍREZ MERCHÁN

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer este trabajo:

A la directora del Master Marisol García Rubio, por darnos la idea del trabajo.
Especialmente a Jesús Ramírez Merchán , que nos ha dirigido el trabajo con mucho interés.
A la guardería Menagar, por su colaboración a la hora de dejarnos a los pacientes.
A nuestros compañeros del master por su ayuda a la hora de realizar el examen visual y el test de los colores a los niños.
A nuestra familia, por darnos la oportunidad de continuar formándonos en el mundo de la optometría.
Por último, a todos los que leáis el trabajo:
"Así como el proceso de desarrollo del ser humano produce la visión, el proceso visual, a su vez, influirá en su comportamiento. Y si la visión es una habilidad aprendida, puede ser mejorada"

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1

2. FÍSICA DEL COLOR 2

2.1.- Qué es el color? 2
2.2.- La descomposición del color. 5
2.3.- Mezclas del color. 7
2.4.- Leyes de Grassmann. 8
2.5.- Representación triestímulo del color. 9
2.6.- Discriminación cromática. 12
2.7.- Efectos cromáticos. 16
2.8.- Adaptación cromática. 19

3. NEUROLOGÍA DEL COLOR 22

3.1- Organización nerviosa de la retina. 22
3.2.- Estimulación de las células ganglionares. 23
3.3.- Mecanismo para la visión coloreada. 25
3.4.- Transmisión de señales de color por las células ganglionares. 27
3.5.- Cuerpo geniculado lateral. 30
3.6.- Córtex visual. 32

4. PSICOLOGÍA DEL COLOR 41

4.1.- Fenómenos del color. Contrastes. 41
4.2.- Constancia del color. 46
4.3.- Colores subjetivos. 49
4.4.- Memoria del color. 50
4.5.- Categorización de colores. 51
4.6.- Anomalías de la visión cromática. 52
4.7.- Aspectos antropológicos en la visión defectiva del color. . 65
4.8.- Métodos de detección. 67

5. PROTOCOLO DE LA PRUEBA 73

5.1.- Objetivo. 73
5.2.- Material y Método. 73

6. RESULTADOS 80

6.1.- Estadística. 80
6.2.- Discusión. 83
6.3.- Conclusiones. 84

ANEXOS :

A. Ficha del examen visual
B. Test de Discriminación Cromática (I, II y III)
C. Ficha de corrección del test.

BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo, sobre la visión del color, está enfocado principalmente al estudio de la incidencia de alteraciones cromáticas en el sistema visual de los niños.

Se tiene que tener en cuenta que en la edad a la que dichos niños empiezan a ir por primera vez a la escuela o a la guardería, según el caso, se les empieza a enseñar a nombrar los colores, un concepto que no es sencillo para ellos, puesto que el color no es una materia con forma o volumen a la puedan reconocer por estas características, sino que un mismo color puede presentarse en objetos con infinitas formas o al contrario, varias cosas con una misma forma pueden presentarse con distintos colores.

Si a esta dificultad le sumamos que a su temprana edad puede ser que la visión del color no la tengan totalmente definida o que tengan alguna anomalía del color, estos niños pueden tener pequeños problemas de aprendizaje y confusiones con respecto a los colores.

Los test que ideamos para realizar este estudio van encaminados a detectar problemas del niño en la discriminación cromática desde distintos niveles, además de comprobar si realmente el niño ha aprendido ya a nombrar correctamente los colores.

2. FÍSICA DEL COLOR

2.1.- QUÉ ES EL COLOR?

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 (luminancia = 10cd/m²) porque los receptores sensoriales para la sensación cromática son los conos (en fóvea) que sólo trabajan a este grado de luminosidad.

En 1970 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"*.

Entonces, para hablar de color, necesitamos que haya una fuente de luz y un observador, ya que como hemos dicho es una interpretación del cerebro por lo cual la percepción del color tiene un componente psicológico. También tiene una parte de importancia, pero no es imprescindible, un objeto.

La luz en sí misma 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.

La luz consiste en partículas denominadas fotones, cada uno de los cuales puede considerarse como un paquete de ondas electromagnéticas.

El que un haz de energía electromagnética sea luz visible y no rayos X u ondas de radio depende de la longitud de onda (la distancia entre la cresta de una onda y la siguiente).

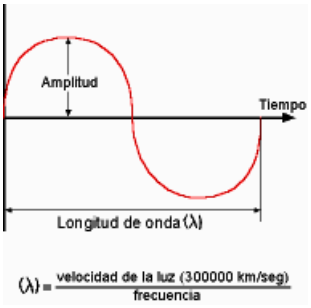
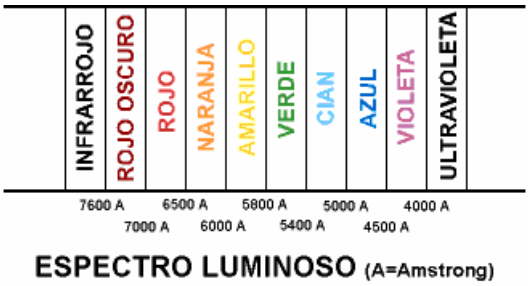


Fig. 1. Longitud de onda.

Las longitudes de onda que puede detectar el ojo humano y por lo cual forman el rango de luz visible son aproximadamente de entre 400 y 700 nanómetros.



La mayor parte de la luz que alcanza nuestros ojos consiste en una mezcla relativamente uniforme de energía de diferentes longitudes de onda que llamamos de forma imprecisa “luz blanca”.

Para determinar el contenido el longitudes de onda de un rayo de luz blanca, como por ejemplo un rayo de luz solar, medimos cuanta energía

luminosa hay entre 400 y 700nm en intervalos de 10nm. La gráfica que nos daría sería :

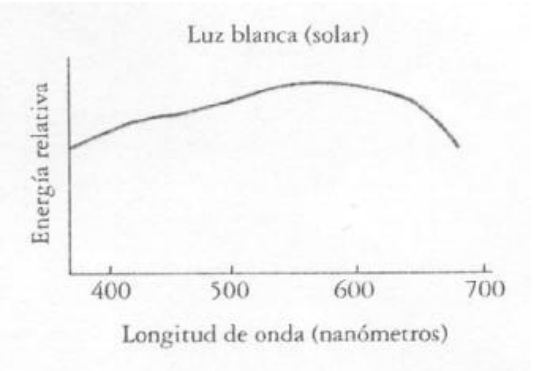


Fig. 3. Energía luminosa de un rayo solar.

Mientras que si filtramos esta misma luz blanca dejando pasar sólo una banda estrecha de longitudes de onda, la luz que obtendríamos sería monocromática. La gráfica que nos daría en este caso sería :

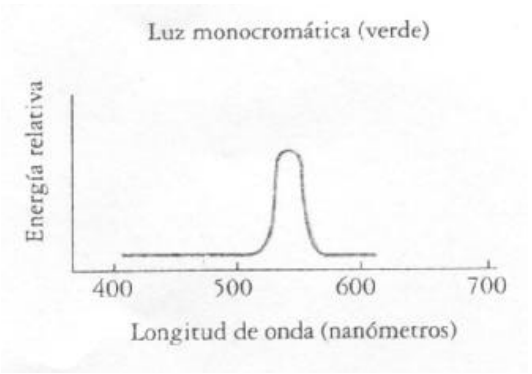


Fig. 4. Energía luminosa de una luz monocromática.

Como hemos dicho al principio el color depende de la pigmentación de los objetos a parte de la composición de la luz incidente en él y de las características del sistema visual del observador.

Esta pigmentación es la responsable de absorber y reflejar la luz incidente en el objeto.

La parte de luz que es absorbida se convertirá en energía calorífica y calentará el objeto, y la parte de luz que se refleja es la que llegará a nuestros ojos para que podamos ver el objeto.

Por ejemplo una hoja verde de una planta absorbe longitudes de onda largas y cortas, y refleja las medias, de forma que cuando el sol ilumina la hoja la luz reflejada que llegará a nuestros ojos tendrá un pico ancho pronunciado en las longitudes de onda medias, que corresponden al verde.

El resultado final de la visión de este color será el conjunto entre este pigmento, el contenido de la longitud de onda que llegue a nuestros ojos y las propiedades de nuestro sistema visual.

2.2.- LA DESCOMPOSICIÓN DE LA LUZ [1]

El hecho de que la luz no es una radiación única sino que es una mezcla de diferentes colores con sus respectivas longitudes de onda ya lo descubrió Newton en 1704 cuando hizo por primera vez el experimento de dividir un haz de luz "blanca" por su dispersión con un prisma en las diferentes gradaciones de color del espectro visible.

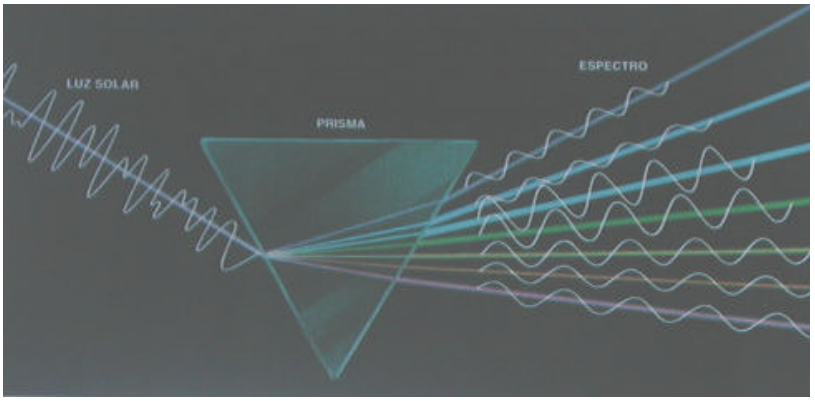


Fig. 5. Descomposición de un rayo solar con un prisma.

Como se ve en el dibujo se pueden considerar 6 colores espectrales (teniendo en cuenta que el añil es intermedio entre azul y violeta).

Un siglo más tarde, entre 1802 y 1807, Thomas Young redujo estos siete colores a tres. Propuso la existencia de tres tipos de sensores primarios que respondieran específicamente al rojo, verde y azul. Su hipótesis se basaba en que la mezcla apropiada de luces con longitudes de onda de estos tres colores primarios producía la sensación de blanco, o bien cualquier otro de los colores que pudieran ser reconocidos por el ojo humano.

Esto, junto a que para definir un color lo podemos hacer mediante tres parámetros que lo individualizan denominados *Atributos Psicofísicos* , es lo que se llama *Trivarianza Visual*.

Estos tres atributos psicofísicos con los que podemos definir un color son :

- **Tono :** es la primera respuesta que se da cuando se pide qué color tiene un objeto (rojo, amarillo, verde o azul, o una combinación de dos de ellos).

A cada tono le corresponde una longitud de onda particular. Un objeto dará una sensación de color única de acuerdo con la radiación monocromática de mayor intensidad.

- **Luminosidad o Brillo :** atributo de una sensación visual por la que un objeto parece emitir más o menos luz.
- **Saturación o Pureza :** depende de la cantidad de blanco mezclada al color. Un color es tanto o más puro, o saturado, cuanto menos blanco tenga. El rojo es, según esto, más saturado que el rosa.

2.3.- MEZCLAS DEL COLOR [2]

Cualquier color o luz espectral se puede conseguir mezclando tres colores en proporciones adecuadas de cada uno de ellos.

Estas mezclas de color se pueden hacer de dos formas distintas, mediante una mezcla aditiva y una mezcla sustractiva. Dependiendo de la mezcla que hagamos los tres colores utilizados, para conseguir el color deseado serán distintos.

- Mezcla aditiva :

Consiste en mezclar luces de color rojo, verde y azul en las proporciones adecuados para conseguir un color.

Estos tres colores son los escogidos ya que el azul se encuentra en el extremo izquierdo del espectro (longitudes de onda cortas), el verde en el centro (longitudes de onda medias) y el rojo en el extremo derecho (longitudes de onda largas). De esta manera, entre los tres se consigue abarcar todo el espectro visual. Esto lo demuestra el hecho de que la mezcla aditiva de estos tres colores da como resultado blanco.

El experimento se puede hacer en un campo circular partido por la mitad verticalmente, de forma que en el semicampo izquierdo incida la luz a igualar y en el derecho incidan las tres luces de color rojo, verde y azul.

El observador irá variando de proporción de las 3 luces hasta que consiga igualar el color de la derecha con el de la izquierda

De esta forma se puede conseguir cualquier color o luz del espectro.

- Mezcla sustractiva :

Consiste en ir poniendo filtros de colores delante de una luz blanca.

Los colores de los tres filtros utilizados en este caso son el amarillo, el cyan (azul) y el púrpura, la mezcla sustractiva de los cuales no dejaría nada de luz y por lo tanto daría negro.

Esto ocurre porque cada filtro va absorbiendo partes del espectro de la luz incidente.

El amarillo absorbe el violeta y el azul (longitudes de onda cortas), el cyan absorbe el amarillo, naranja y el rojo (longitudes de onda larga) y el púrpura absorbe el verde (longitud de onda media). Luego, entre los tres absorben todo el espectro y no dejan pasar nada de luz.

2.4.- LEYES DE GRASSMANN [2]

Las leyes de Grassmann de las igualaciones del color, son las siguientes:

1- Si un estímulo de color (A) iguala a otro (B), y un estímulo de color (C) iguala a otro (D), entonces la mezcla aditiva de (A) y (C), (A) + (C), iguala a la mezcla aditiva de (B) y (D), (B) + (D).

2- Si el estímulo de color (A) iguala al (B) y la mezcla (C), que contiene a (A), iguala a la mezcla (D), que contiene a (B), entonces el resultado de quitar (A) de (C), iguala al resultado de quitar (B) de (D).

3- Si el estímulo de color (A) iguala al estímulo (B), al incrementar o disminuir por un mismo factor el flujo radiante de ambos, sin alterar las composiciones espectrales relativas de ambos, la igualación se mantiene.

Estas son leyes de linealidad: las dos primeras de actividad y la tercera, de proporcionalidad. Estas leyes se cumplirán bajo determinadas condiciones experimentales de observación; si éstas cambian fuertemente, pueden dejar de mantenerse: la ley de la proporcionalidad puede fallar si pasamos de condiciones de baja iluminación al deslumbramiento.

2.5.- REPRESENTACIÓN TRIESTÌMULO DEL COLOR [3]

En 1931 se diseñó un sistema para poder especificar los colores basado en la igualación de un color con otro mezclando en proporciones adecuadas los tres colores primarios. Estas cantidades de color primario se denominan *Valores Triestímulos.*

Estos tres primarios son (X), (Y) y (Z) que son valores irreales :

$$X = K .S\ P_{o?} . ?_{?} . x_{?} . ??$$
$$Y = K .S\ P_{o?} . ?_{?} . y_{?} . ??$$
$$Z = K .S\ P_{o?} . ?_{?} . z_{?} . ??$$

donde : "$P_{o?}$" es información sobre la fuente de luz.

"$?_{?}$" es información sobre el objeto (reflectancia); si se trata de un objeto transparente, como un líquido hablaremos de transmitancia ($t_{?}$).

"$x_{?}$", "$y_{?}$" y "$z_{?}$" son funciones de igualación de color, por lo tanto es información sobre el observador. Se cogió un observador patrón, haciendo el promedio de las igualaciones de observadores con visión normal del color.

"K"= $100/ S\ P_{o?} . y_{?} . ??$

(*) El valor de "Y" nos influenciará sobre la claridad del color.

Una vez tenemos los valores triestímulo los pasamos a *Coordenadas Cromáticas* :

$$x = X/X+Y+Z \qquad y = Y/X+Y+Z$$

Con estas dos coordenadas cromáticas podemos representar cualquier color del espectro en unos ejes de coordenadas (x,y). Todos los colores del espectro quedan dentro de una superficie delimitada por el *Locus Espectral* (que es la línea que forman las coordenadas cromáticas de todos los colores espectrales puros) y una línea inferior que une los azules con los rojos que es la denominada *línea de los Púrpuras* , que contiene todas las tonalidades púrpura que son mezcla de rojo y azul, pero que no tienen una longitud de onda definida.

En la gráfica se puede ver la distribución por zonas de los tonos dentro de este *Diagrama Cromático* :

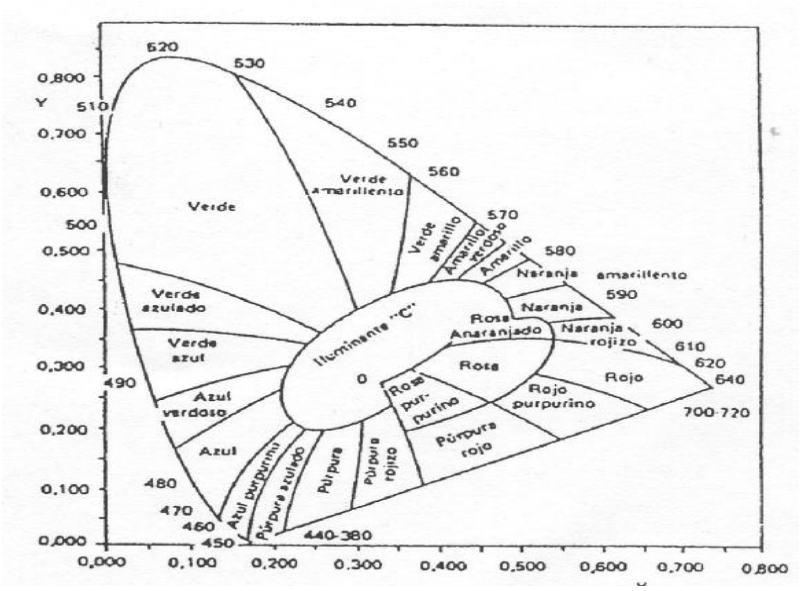


Fig. 6. Distribución de los colores dentro del Diagrama Cromático.

Al centro del diagrama esta el blanco y, como ya hemos dicho, sobre la línea que cierra la superficie se encuentran todos los colores puros (con saturación igual a 1).

A partir de las coordenadas de cromaticidad podemos definir la *longitud de onda dominante* y la *longitud de onda complementaria*. La longitud de onda dominante sería la longitud de onda que nos daría al unir un punto acromático (blanco) del centro (E) con un punto cualquiera (C) dentro de este diagrama cromático y seguir el trazo de la línea hasta el locus espectral (ver la gráfica inferior).

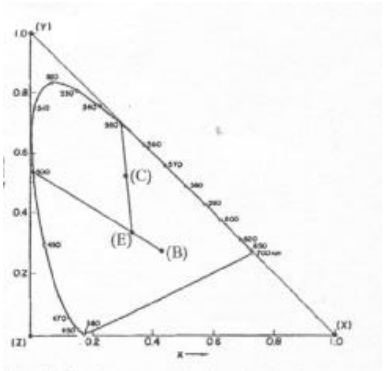


Fig. 7. Longitud de onda dominante y longitud de onda complementaria.

La longitud de onda dominante nos da información del tono.

La longitud de onda complementaria sería trazar la línea en sentido contrario, des de un punto cualquiera del diagrama (B) pasando por el centro (E) hasta el locus espectral (ver gráfica anterior).

También se puede definir la *pureza espectral* que es el grado de aproximación de un color cualquiera al de su longitud de onda dominante. Cuanto más al centro del diagrama este el color, menos pureza espectral tendrá (saturación).

$$Pe = EC/E?_d \qquad 1>Pe> 0$$

Por lo tanto, se puede conseguir cualquier color que este dentro de la línea comprendida entre cualquier color puro y el centro sólo modificando la pureza espectral (saturación o cantidad de blanco) del mismo. Con esto volvemos a ver que con tres parámetros definimos un color : la *longitud de onda dominante (tono), la pureza espectral (saturación) y la Y (claridad),* con los tres *valores triestímulo* (*Trivarianza Visual).*

2.6.- DISCRIMINACIÓN CROMÁTICA

Con el concepto de discriminación cromática se quiere representar el hecho de la limitada capacidad del sistema visual humano para diferenciar colores aún teniendo valores triestímulo distintos. Esto sucede no sólo para observadores con visión anómala del color, que pueden confundir colores de distinto tono, sino para todos los observadores con visión normal del color. Un observador normal puede ver claramente distintos un color verde y otro azul pero si poco a poco al verde le vamos aumentando color azul en su composición y por otra parte, al azul le aumentamos en la misma medida color verde en su composición llegará un momento en el que el observador poniendo los colores uno al lado del otro no pueda distinguir los dos colores aunque no se haya llegado a igualar los valores triestímulo.

Los colores que aún teniendo distintas composiciones espectrales son visualmente iguales se llaman colores *metámeros*. Esta condición de *Metamerismo* se puede romper simplemente cambiando la fuente de iluminación (los colores ya no se verán iguales).

Esta capacidad limitada del sistema visual para distinguir los colores se manifiesta en menor o mayor grado en los observadores normales. Entonces, podemos decir que dentro de los observadores normales los hay que tienen mayor o menor discriminación cromática, pero estas

diferencias entre distintos observadores normales suelen ser cuantitativas y no cualitativas. Por ejemplo, un observador que discrimine peor lo hará con todos los tonos por igual.

La discriminación cromática se puede evaluar de tres distintas formas ya que como hemos dicho son tres las variables que bastan para definir un color (tono, luminosidad y saturación), luego estas evaluaciones se pueden hacer dejando fijas dos variables e ir variando poco a poco la tercera.

Un experimento que se puede hacer para encontrar esta discriminación cromática de un observador es coger un círculo dividido por la mitad de un color cuasimonocromático. Entonces iremos aumentando en un semicampo, por ejemplo, otra longitud de onda distinta manteniendo la luminosidad y la saturación de los colores (para eso cogeríamos colores espectrales puros). Así calcularíamos el incremento de longitud de onda (??) necesario para que el observador sea capaz de diferenciar un semicampo del otro. Los resultados dependen de las condiciones en las que hagamos el experimento pero, este ?? puede ser de 1 a 7 nm como se puede ver en la gráfica :

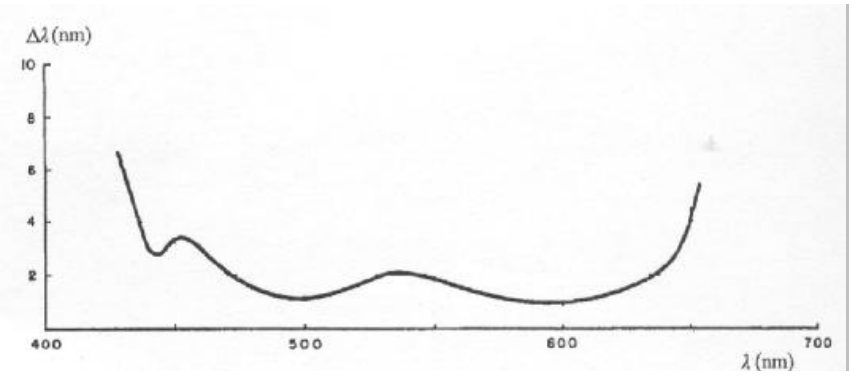


Fig. 8. Valores de discriminación cromática del tono.

En esta gráfica se pueden ver los distintos ?? necesarios para cada longitud de onda. Se puede ver como en la longitud de onda

correspondiente al amarillo (590nm) hay un mínimo de ??, lo que significa que el amarillo es el color que mejor se diferencia de los demás ya que en seguida se puede apreciar diferencia al ponerle una cantidad mínima de otra longitud de onda. Otro color a destacar es el cyan (?=490nm).

Este mismo experimento lo podríamos hacer también evaluando la discriminación de pureza espectral, manteniendo constantes la longitud de onda dominante (tono) y la luminosidad. En este caso lo que haríamos es añadir (o disminuir en el caso de coger un color espectral puro) por mezcla aditiva estímulo acromático al color de uno de los semicampos hasta poder diferenciarlo del otro semicampo.

Por lo tanto, con estos experimentos lo que tratamos de determinar es la mínima variación de alguno de los parámetros que definen un color para poder ser visto como diferente.

Se han hecho muchos estudios sobre las diferencias de color mínimamente apreciables por el sistema visual humano pero el más famoso de ellos es el estudio de Mc Adam.

Mc Adam (1942) hizo un experimento donde cogía un punto cualquiera dentro del diagrama cromático, con unas coordenadas determinadas, e iba desplazando primero en vertical, luego en horizontal y finalmente en direcciones oblicuas hasta que el paciente refería ver diferencias con el color inicial. Como se puede ver en la gráfica, el resultado de unir estos puntos, donde quedan incluidas todas las coordenadas de colores indiscernibles por el observador, son elipses :

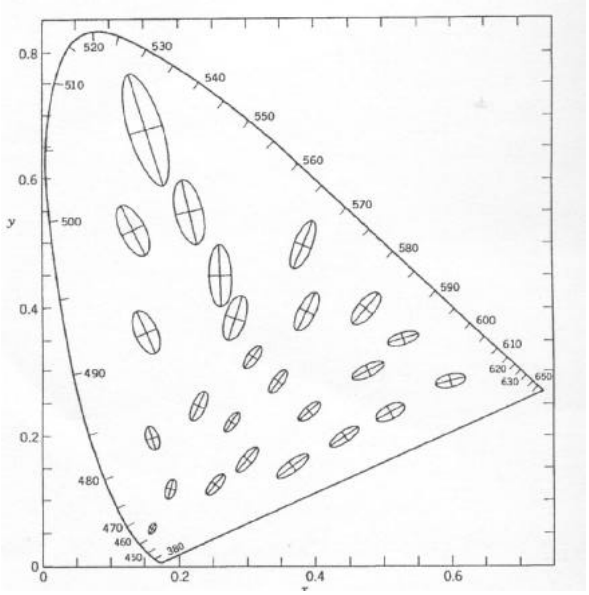


Fig. 9. Elipses del estudio de Mc Adam.

Con este experimento también se puede observar que las elipses en la zona de los verdes son mayores que las de la zona de los azules.

Esto nos dice que el sistema de representación de la CIE no es uniforme. En el caso de que lo hubiera sido el resultado del experimento de Mc Adam hubiesen sido círculos.

Por otra parte, antes también habíamos podido ver que las zonas de colores en el diagrama no estaban uniformemente distribuidas ya que los verdes ocupaban un espacio mayor que los demás, esto ya nos hacía ver que no era un espacio uniforme.

Como hemos apuntado antes, sobre la discriminación cromática influyen las condiciones de observación. Estas condiciones son : el tamaño del campo, tiempo de observación de los estímulos a comparar, tipo de comparación (simultánea o por memoria), nivel de luminancia de los estímulos, zona de retina estimulada,...

Se han hecho estudios que ponen de manifiesto la importancia científica y técnica de estos parámetros a la hora de medir la discriminación cromática.

Por ejemplo, gracias a la comparación de medidas de discriminación cromática con diferentes tamaños de campo llevo a suponer que hay una disminución de conos tipo S (los más sensibles a longitudes de onda cortas) conforme nos acercamos al centro de la fóvea, ya que los resultados encontrados para campos de 1º concuerdan con los obtenidos para personas que carecen de este tipo de conos en campos mayores.

En general si aumenta el tamaño del campo mejora el poder de discriminación.

Respecto al interés técnico también es muy importante tener en cuenta todas las condiciones que puedan modificar la percepción de un color. Por ejemplo, si se quiere que se relacione un color con una marca importante. Entonces serán más exigentes con las tolerancias del color a la hora de ponerlo en su producto.

2.7.- EFECTOS CROMÁTCOS [3]

Los atributos de la apariencia de color, tono, saturación y luminosidad, no son independientes el uno del otro. La variación en una magnitud psicofísica que evalúe uno de ellos puede afectar a otro atributo perceptivo, de forma que éste no permanezca constante.

- Efecto Bezold-brucke :

Este efecto, cuya denominación obedece a los dos investigadores que lo descubrieron de forma independiente (Belzod y Brucke), pone de manifiesto la compleja interrelación existente entre los atributos psicológicos del color y consiste en que una variación de luminancia

puede modificar el tono, cambiando, por tanto, su apariencia de color. Es decir, una variación de luminancia (luminosidad) origina un cambio en el atributo psicológico del color que está físicamente relacionado con su longitud de onda dominante (tono).

Los autores comprobaron que a niveles altos de luminancia los estímulos de tonalidad roja y verde-amarillento amarillean, mientras que los violetas y azules-verdosos tienden hacia el azul, existiendo tres tonalidades singulares que corresponden aproximadamente a las longitudes de onda dominantes 571, 506 y 474 nm, para las cuales no se detecta este efecto, o sea, permanecen invariantes en su tonalidad frente a cambios de luminancia, que corresponden a los estímulos que se denominan, respectivamente, amarillo único, verde único y azul único.

- Efecto Stiles-Crawford de segunda especie :

Si sobre un punto de la pupila del ojo incide un pincel luminoso de un estímulo cuasimonocromático que produce una determinada tonalidad cromática, al cambiar el punto de incidencia en la pupila también cambia el tono del estímulo luminoso, es decir, la sensibilidad del sistema visual humano es direccional, produciéndose variaciones en la respuesta visual según la dirección de incidencia. Este efecto fue denominado por Hansen efecto Stiles-Crawford de 2ª especie y más tarde Enoch y Stiles comprobaron que, además del cambio de tono, un pincel luminoso oblícuo con un ángulo de inclinación del 10º produce también un aumento de la saturación en la zona verde-azulada comprendida entre las longitudes de onda de 485 y 510 nm. En otras zonas la saturación disminuye ligeramente pero en menor magnitud que el aumento que se produce en la zona espectral anterior.

- Efecto Aubert o Abney :

Aubert, observó que al añadir luz blanca a una radiación cuasimonocromática o a un estímulo púrpura, además de producirse una desaturación del estímulo cromático, también ocurría un cambio de tono. Este efecto, denominado efecto Aubert, fue también estudiado por Abney, por lo que también es referenciado como efecto Abney.

Este efecto se manifiesta claramente cuando representamos en el diagrama CIE-1931 las coordenadas de cromaticidad de las muestras del atlas Munsell. Las muestras de este atlas a las que se le supone igual tono y distinto croma se sitúan, en líneas curvas que van del estímulo acromático al lugar espectral. Las líneas de igual tono y distinta pureza deberían ser rectas que fueran del estímulo acromático al lugar espectral (igual longitud de onda dominante).

Esta discrepancia se manifiesta para todos los estímulos excepto para los estímulos de color de longitud de onda dominante de 570 nm (amarillo único) y para un púrpura azulado, para los que no hay influencia del croma sobre el tono.

- Efecto Helmholtz-Kohlrausch :

Helmholtz, y posteriormente Kohlrausch, constató que el color de uno de los semicampo de un test fotométrico puede influir sobre la sensación de luminosidad del estímulo que se presenta en el otro semicampo medida por comparación directa. El efecto Helmholtz-Kohlrausch se refiere, por tanto, a que en una igualación heterocromática, a igualdad de luminancia, la sensación luminosa (luminosidad) varía con la cromaticidad del estímulo.

En general, se encuentra que cuando un estímulo de color, de amplia distribución energética espectral, se iguala en luminosidad con un estímulo acromático de referencia, la luminancia del estímulo de color

igualado es menor que la luminancia del acromático de referencia, y su relación tiende a uno conforme más desaturado es el estímulo.

El efecto Helmholtz-Kohlrausch puede ser consecuencia tanto de fallos en la ley de aditividad de Abney en igualaciones heterocromáticas como del uso incorrecto de la función de eficiencia luminosa empleada en el cálculo de la luminancia. Sin embargo, Le Grand mantiene que este efecto no implica fallo alguno en l ley de aditividad de Abney, sino que tiene su origen en los fenómenos de adaptación cromática. Según este autor altos niveles de actividad cromática pueden producir efectos selectivos de adaptación temporal, de forma que, y a título de ejemplo, la acción prolongada de una luz verde sobre la retina debilita la sensibilidad al verde, cuya eficiencia luminosa respecto al rojo disminuiría por lo tanto.

Los efectos de adaptación cromática, que podrían ocasionar fallos en la ley de Abney, podrían evitarse según Le Grand si el observador, en vez de buscar la igualación entre los dos semicampos del test fotométrico, trata de conseguir hacer lo menos distinta posible la línea de separación entre las dos mitades del campo. De esta forma se verá empujado durante todo el tiempo de observación a mover el ojo de una a otra parte de esa línea, evitando así los efectos de adaptación cromática temporal.

2.8.- ADAPTACIÓN CROMÁTICA [2]

Al hablar de adaptación, ésta se suele asociar al proceso por el cual el sistema visual cambia su sensibilidad absoluta o diferencial como consecuencia de la intensidad de las luces que observa. Este cambio en las sensibilidades de los mecanismos de respuesta visual puede también producirse como consecuencia de la composición espectral (del color) de las luces observadas. En este caso, hablaremos de adaptación cromática.

Si en nuestros ojos incide una gran cantidad de luz de los objetos, como podría ser en un día soleado al aire libre, nuestro sistema visual se adaptará a esa gran cantidad de luz y reducirá su sensibilidad a pequeñas variaciones en la cantidad de luz. Una prueba de este estado de adaptación nos la dará el pasar bruscamente a una habitación mantenida en la penumbra, en la que no percibiremos objetos o luces de débil luminancia hasta pasado un buen rato. Será entonces cuando se haya alcanzado un cierto estado de adaptación a la penumbra que supone un aumento de sensibilidad.

Cuando llevamos un rato de adaptación a la oscuridad somos capaces de detectar luces muy débiles, mientras que en el caso extremo, adaptación a una luz muy intensa que suponga deslumbramiento, somos incapaces de distinguir diferencias entre luces. Los mecanismos de visión ajustan, por tanto, su sensibilidad de forma tal que nos parecen igual de luminosos un objeto observado en una habitación con luz artificial que cuando lo es con luz natural, pudiendo ser su luminancia 100 ó 1000 veces mayor.

Los tipos de adaptación descritos anteriormente se conocen como adaptación a la luz y a la oscuridad.

Podemos definir la adaptación cromática como el proceso por el que cambia la sensibilidad de los mecanismos fotorreceptores como consecuencia, no de la cantidad de luz, sino de la composición espectral dominante en las luces que son observadas. Así por ejemplo, si permanecemos en una habitación iluminada por lámparas de incandescencia diremos que el estado de adaptación cromática viene dominado por la composición espectral de este tipo de lámpara, o se estamos al aire libre, el estado de adaptación cromática será a la composición espectral de la fuente de luz que solemos denominar como luz día.

Un ejemplo de adaptación cromática podemos encontrarlo al observar una habitación en la que está encendido un televisor blanco y negro desde la calle de noche. En ese caso el estado de adaptación es el que suministra las luces de la calle. Como consecuencia, la pantalla del televisor, que será para el observador en la calle como un objeto distante y pequeño, será vista con una tonalidad dominante azulada. Sin embargo, la persona que ve la televisión, al tener cerca la pantalla, ésta ocupa gran parte de su campo de visión y se adapta a la luz que viene de ella. Este estado de adaptación hace que no observe ese tono azulado, sino que su percepción de las zonas claras de las imágenes en el televisor sea acromática.

Este ejemplo nos ilustra acerca de cómo es observada una misma luz bajo des estados de adaptación cromática. También podemos pensar en los cambios que se producen en la sensibilidad espectral de los mecanismos fotorreceptores que hacen que dos objetos colorimétricamente distintos, como pudiera ser un mismo objeto iluminado con dos fuentes distintas, aparezcan como iguales bajo el estado de adaptación dado por cada fuente. En este sentido, la adaptación cromática consiste en el proceso por el cual la sensibilidad de los mecanismos de visión del color cambia para mantener la apariencia del color de un objeto con independencia de el iluminante. Cuando esto se cumple se dice que se presenta el fenómeno de la constancia de color.

3. NEUROLOGIA DE LA VISION DEL COLOR

3.1.- ORGANIZACIÓN NERVIOSA DE LA RETINA

Abajo podemos observar la anatomía de la retina, se ilustra lo esencial de estas conexiones; a la izquierda esta la organización general de los elementos nerviosos en un área retiniana periférica ; a la derecha, la organización a nivel de la fóvea. Obsérvese que en la región periférica tanto los conos como los bastones convergen en las células bipolares que a su vez convergen en las células ganglionares. En la fóvea donde sólo hay conos casi no se observa convergencia, sino que los conos están representados por un número de células bipolares y ganglionares aproximadamente iguales. También hay dos tipos de células en la capa nuclear interna que trasmiten impulsos, las células horizontales y las células amacrinas.

Cada retina contiene aproximadamente 125 millones de bastones y 5.5 millones de conos, sin embargo sólo salen de la retina 1 millón de fibras ópticas , de manera que en promedio 125 bastones y 5 conos convergen en cada fibra nerviosa óptica. Cuanto mas cerca de la fóvea, cada vez es menor el número de bastones y de conos que convergen en cada fibra óptica, y ambos son también cada vez más delgados. Estos dos defectos aumentan progresivamente la agudeza de la visión hacia el centro de la retina.

Otra diferencia entre las porciones periférica y central de la retina es que la primera es considerablemente más sensible a la luz débil. Se piensa que este hecho se debe principalmente a que en las regiones mas periféricas convergen sobre una misma fibra del nervio óptico hasta 300 bastoncillos, las señales generadas en estos bastoncillos se suman, dando

una estimulación más intensas .Además también son más sensible a la luz débil por diferencias intrinsecas de los receptores en si.

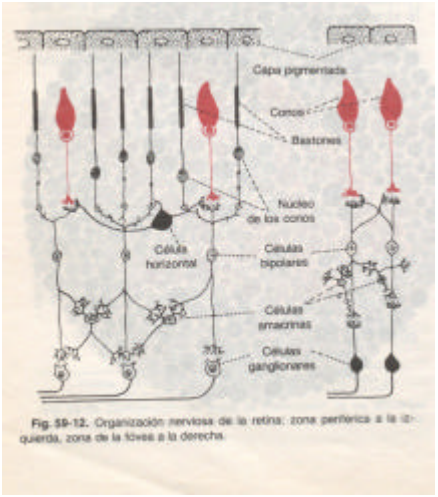


Fig. 1.Transmisión de los fotorreceptores. Guyton. Tratado de fisiología médica

3.2.- ESTIMULACIÓN DE LAS CELULAS GANGLIONARES

Las células ganglionares trasmiten sus señales al cerebro en forma de potenciales de acción, siguiendo las fibras del nervio óptico

Las células bipolares despolarizantes trasmiten la información excitatoria directa principal desde conos y bastones hacia las células ganglionares, las células bipolares hiperpolarizantes y las células horizontales trasmiten información inhibitora desde los bastones y conos. Las células amacrinas trasmiten señales transitorias directas pero de duración breve que advierten un cambio en el nivel de la iluminación de la retina. Por tanto cada una de estas células efectúa una función separada para estimular las células ganglionares, de tal forma que el conjunto de las células ganglionares trasmiten impulsos nerviosos de forma continua.

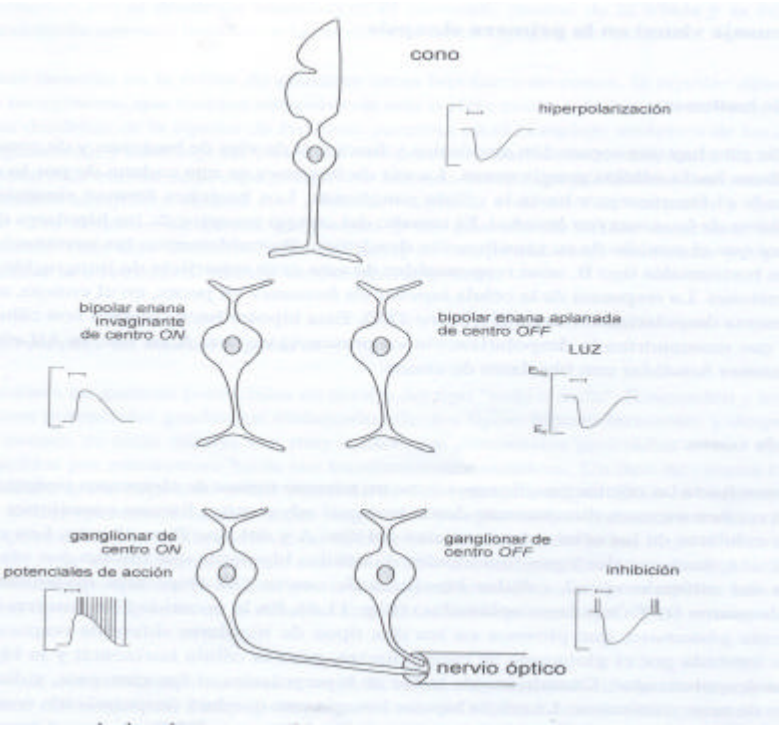


Fig 2. Transmisión sináptica hacia las células ganglionares

Cesar Urtubia Vilario. Neurología de la visión

3.3.- MECANISMO PARA LA VISIÓN COLOREADA

Se han propuesto variadas teorías para explicar el fenómeno de la visión coloreada, la mayoría de ellas basadas en la observación de que el ojo humano puede descubrir casi todas las graduaciones de colores cuando se mezclan en proporciones adecuadas luces monocromáticas roja, verde y azul.

La primera teoría importante de la visión del color es la de Young, que mas tarde amplió y fundó Hemholtz sobre bases experimentales más amplias. Por tanto se conoce con el nombre de teoría de Young-Helmholtz. Admite que hay tres diferentes tipos de conos, cada uno de los cuales responde en forma máxima a diferentes colores

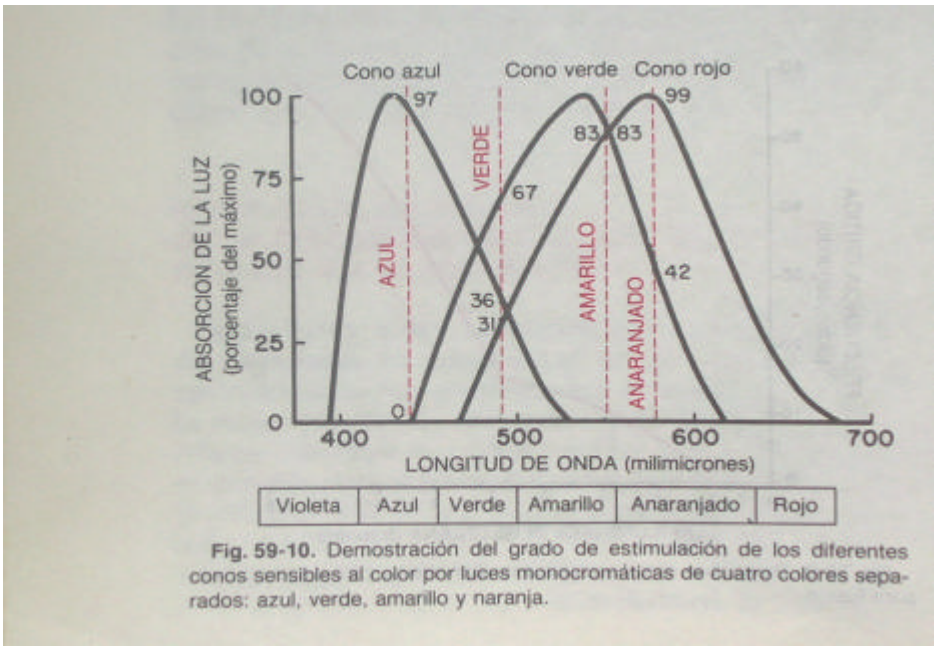


Fig. 59-10. Demostración del grado de estimulación de los diferentes conos sensibles al color por luces monocromáticas de cuatro colores separados: azul, verde, amarillo y naranja.

Fig. 3.Guyton. Tratado de fisiología médica

Como podemos observar en esta figura la absorción de la luz de los tres tipos de conos, son máximas en 445 nm(conos azules),535nm(conos verdes) y 570nm (conos rojos).Pero cómo interpreta esto el sistema nervioso? Si nos fijamos en una luz monocromática de 580nm,se estimula los conos rojos en un valor aproximado de 99(99% de la estimulación máxima),en tanto que los conos verdes el valor aproximado del estímulo es de 42 y a los azules no los estimula. En consecuencia, las relaciones de estimulación de los tres tipos de conos en este caso son 99:42:0.El sistema nervioso interpreta este grupo de relaciones de estimulación como la sensación naranja. Por otra parte, una luz monocromática de 450nm no estimula los conos rojos ni los verdes y en los azules el valor es de 97.Este grupo de proporciones 0:0:97, es interpretado por nuestro sistema nervioso como azul. Asimismo, las relaciones 83:83:0 son interpretadas como amarillo y las de 31:67:36 como verde.

Este esquema también muestra cómo es posible que una persona perciba sensación de color amarillo cuando recibe en el ojo una luz roja y verde al mismo tiempo, ya que ello estimula aproximadamente igual a los conos rojos y verdes, lo que da una sensación de amarillo aunque no exista una longitud de onda correspondiente a ese color. La estimulación casi igual de todos los conos rojos, verdes y azules da la sensación de blanco. No obstante, no hay una longitud de onda luminosa que corresponda a este color: mas bien, es una combinación de todas las longitudes de onda del espectro.

3.4.- TRANSMISION DE SEÑALES DE COLOR POR LAS CELULAS GANGLIONARES

Una sola célula ganglionar puede ser estimulada por diversos conos o sólo por unos pocos. Cuando los tres tipos de conos –rojo,verde,azul- estimulan la célula ganglionar, la señal trasmitida a través de la célula ganglionar es la de cualquier color del espectro, en dependencia de las relaciones de estimulación de los tres tipos de conos, como se dijo anteriormente

Por otra parte, muchas de las células ganglionares son excitadas por un solo tipo de color de cono, pero son inhibidas por un segundo tipo. Esto ocurre frecuentemente para los conos verdes y rojos, haciendo que el rojo cause excitación y el verde inhibición o viceversa, o sea que el verde cause excitación y el rojo inhibición. También se produce el mismo tipo de efecto recíproco entre los conos azules y la combinación de los conos rojos y verdes, lo que produce una combinación de excitación e inhibición entre los colores azul y amarillo.

El mecanismo de este efecto oponente de los colores es el siguiente: un tipo de cono de color excita a la célula ganglionar por vía excitadora directa a través de una célula bipolar despolarizante, en tanto que el cono del otro tipo de color inhibe a la célula ganglionar por la vía inhibidora indirecta, a través de una horizontal o de una bipolar hiperpolarizante.

La importancia de estos mecanismos de contraste de color reside en que presentan un mecanismo gracias al cual la propia retina distingue los colores. Así cada tipo de célula ganglionar de contraste de color es excitado por un color e inhibido por el “ opuesto”.

Tenemos tres tipos de células ganglionares:

-Células X ó P(parvocelulares): conecta con las células parvocelulares de cuerpo geniculado lateral. Estas células son muy sensibles, se activan cuando hay contraste, son capaces de estar transmitiendo información de forma continua y más conectada con los conos. Tienen muy escasa convergencia y discriminan la forma y el color. Cuando medimos la agudeza visual ,medimos este tipo de células.

-Células Y ó M(magnocelulares):conectan con las células magnocelulares de cuerpo geniculado lateral. Responden bien al movimiento y a cambios bruscos en el ambiente.
Tienen una transmisión veloz, pero sin constancia en la transmisión. Sus campos son de gran convergencia y recogen más información de los bastones. Son las células encargadas de recoger la información del movimiento.

-Células W: responden a una pérdida de uniformidad en el ambiente, a los cambios luz-oscuridad. Terminan en distintos sitios de mesencéfalo

Los tres tipos de conos, mandan información hasta las células ganglionares de retina. Los conos de onda larga(rojos), son opuestos a los conos de onda media(verdes). Los conos de onda corta son (azules) son opuestos a los conos de onda larga y de onda media (amarillo). De estos apareamientos del color se ha dicho que no pueden "vivir" los unos con los otros pero tampoco los unos sin los otros. Si se mira fijamente cualquiera de los puntos coloreados y a continuación se mira a una zona gris o blanca, aparecerá el color contrario.

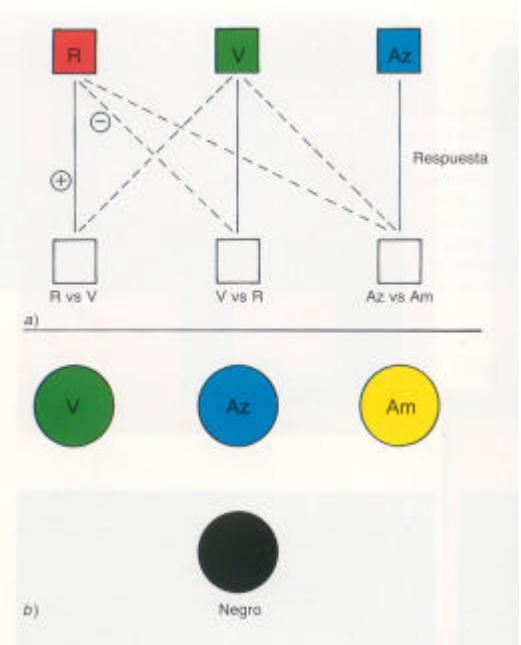
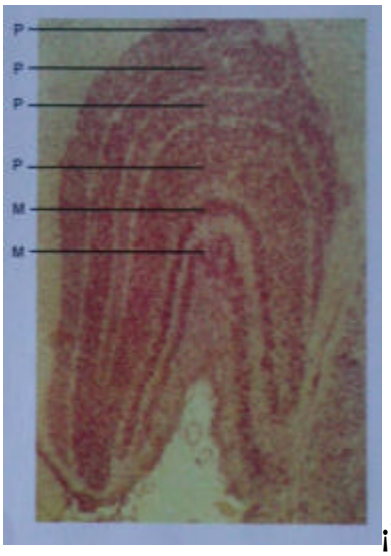


Fig. 4.imputs oponentes de los tres tipos de conos.

Senmir Zeki. Una Visión de Cerebro

Para la información del color se encargarán las células X ó P, que pasarán a través del nervio óptico, luego por el quiasma óptico donde habrá una decusación de las fibras nasales y parte de las fibras maculares hasta llegar a cuerpo geniculado lateral

3.5.- CUERPO GENICULADO



¡Error!

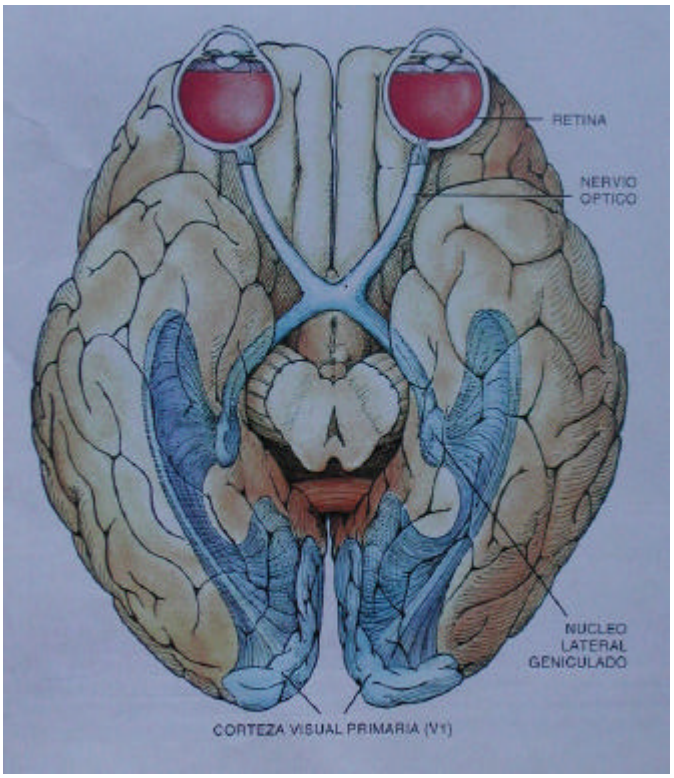


Fig. 5 y 6. Cuerpo geniculado lateral y vía visual. Visión del Color, revista Investigación y Ciencia (tomo 27)

Aquí observamos una sección trasversal del cuerpo geniculado lateral, está constituido por seis capas concéntricas de sustancia gris y blanca, dos magnocelulares (1-2) y cuatro parvocelulares (3-4-5-6),de tal forma

que las capas 2,3 y 5 reciben las fibras ópticas directas y las capas 1,4 y 6 las cruzadas en quiasma óptico. Las células ganglionares P y M que se relevan en el cuerpo geniculado lateral, serán la base, hasta el cortex occipital, de un procesamiento paralelo de la información visual: el canal M ó sistema magnocelular, que conduce las señales de movimiento y estructura grosera de la imagen, sin color y el canal P ó sistema parvocelular, que conduce las señales del análisis fino y en color de la imagen. Siendo la base de una organización del sistema visual de los primates en dos subsistemas que serán considerados globalmente dentro de las vías visuales, y que responden a una segregación inicial de la información visual .Por tanto, el cuerpo geniculado lateral es la estación de relevo principal entre la retina y la corteza visual, llegando a ésta a través de las radiaciones ópticas de Gratiolet.

3.6.- CÓRTEX VISUAL

Se localiza, clásicamente, en las áreas 17,18 y 19 de Brodman, ocupando la cara interna del lóbulo occipital alrededor de la cisura calcarina, desde el rodete posterior del cuerpo calloso hasta el polo occipital posterior, al cual rebasa apareciendo por la cara externa de dicho lóbulo.

Se divide en tres áreas anatomo-funcionales:

-V1 o corteza visual primaria, forma el área estriada

-V2 ,entre el área estriada y la preextraída.

-V3,V4 y V5 conforman la corteza preestriada

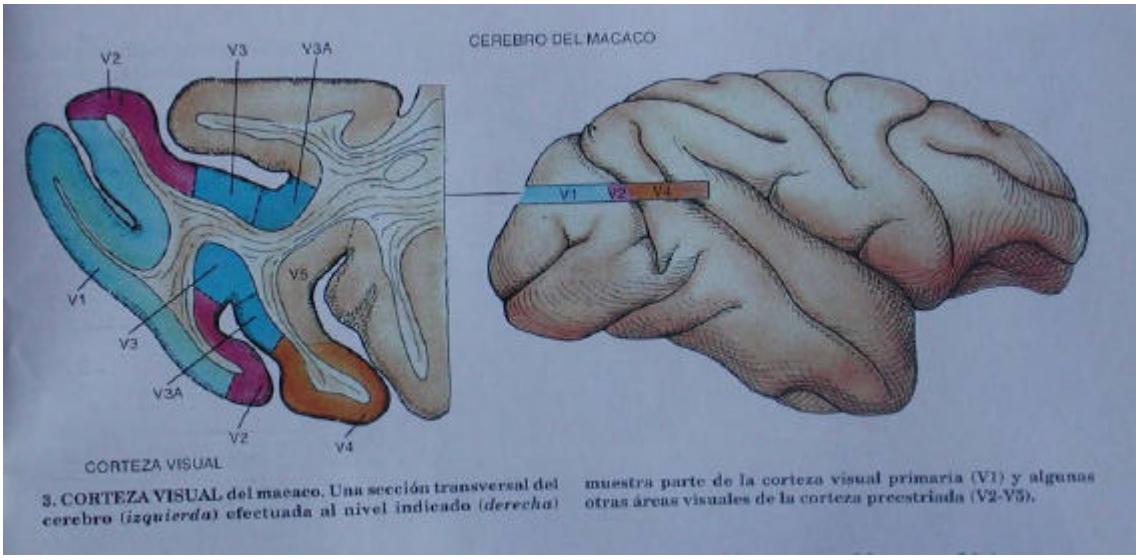


Fig. 7.Cerebro del macaco. Visión del color. Revista Investigación y Ciencia (tomo 27)

V1 recibe las fibras de las radiaciones ópticas punto a punto formando así **"la retina cortical"**,gracias a unas técnicas de tinción se sabe que la arquitectura metabólica de V1 se caracteriza por columnas de células que se extienden desde la superficie cortical hasta el tejido nervioso subyacente, la materia blanca. Observadas en secciones paralelas a la superficie cortical, dichas columnas ofrecen el aspecto de glóbulos fuertemente teñidos, separados por regiones intermedias donde la tinción es menos intensa. Se descubrió que las células con capacidad selectiva a la longitud de onda de la luz se concentran en los glóbulos de V1, mientras que las células con selectividad a las formas se concentran en los espacios interglobulares.

Las columnas destacan, sobre todo, en las capas segunda y tercera de V1,que reciben señales de las capas parvocelulares de cuerpo geniculado lateral, que antes comentábamos, encargadas muchas de ellas del color. Podemos observar un sistema muy distinto de estructuras en la capa 4B de V1,que recibe señales de las capas magnocelulares del núcleo geniculado lateral, las células de 4B responden al movimiento y son independientes del color .

En el caso de **V2** la arquitectura adopta la forma de bandas gruesas y bandas delgadas, separadas de interbandas de tinción menos intensa, las células que se muestran **selectivas a la longitud de onda** se congregan en las bandas delgadas, mientras que en las bandas gruesas se hayan las células **sensibles al movimiento direccional**. Las células sensibles a la forma se encuentran, por igual, en las bandas gruesas y en las interbandas.

Se podría afirmar que "V1 y V2 contienen casillas donde se recomponen las diferentes señales antes de remitirlas hacia las áreas visuales especializadas".Las células de estas casillas poseen campos receptivos pequeños, es decir, responden sólo a estímulos incidentes en una pequeña región de la retina. Además la información que registran concierne a un atributo específico del mundo comprendido en tal campo

perceptivo. Es como si V1 y V2 estuvieran realizando un análisis por secciones de campo completo.

Con todos estos datos, podemos perfilar cuatro sistemas paralelos que se ocupan de diferentes atributos de la visión :

-Uno para el movimiento

-Otro para el color

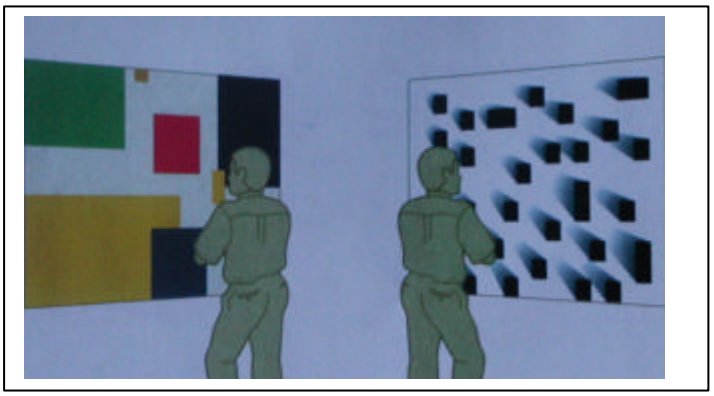
-Dos para la forma

Para el sistema encargado del **movimiento** la zona preestriada clave es **V5**, las señales viajan desde la retina a través de las capas magnocelulares de cuerpo geniculado y llegan a la capa 4B de V1. Desde ahí las señales pasan a V5 por vía directa y a través de las bandas gruesas de V2.

El **sistema cromático** depende del área **V4**, sus señales atraviesan las capas parvocelulares del núcleo geniculado hasta los glóbulos de V1 y prosiguen hasta V4, bien por vía directa o bien a través de las bandas estrechas de V2

De los dos sistemas del procesamiento de forma uno se encuentra ligado al color y el otro no. El primero se basa en V4 y extrae sus entradas de las capas parvocelulares de cuerpo geniculado lateral a través de las regiones interglobulares de V1 y de las interbandas de V2. El segundo se funda en V3 y se ocupa mas de la forma de los objetos en movimiento. Toma sus entradas de las capas magnocelulares de cuerpo geniculado a través de la capa 4B de V1, las señales prosiguen después hasta V3, ya directamente ya a través de las bandas gruesas de V2.

Como vemos V1 y V2 actúan a modo de “estafetas de correos” por así decirlo, encarrilando por paquetes las diferentes señales hacia las áreas apropiadas.



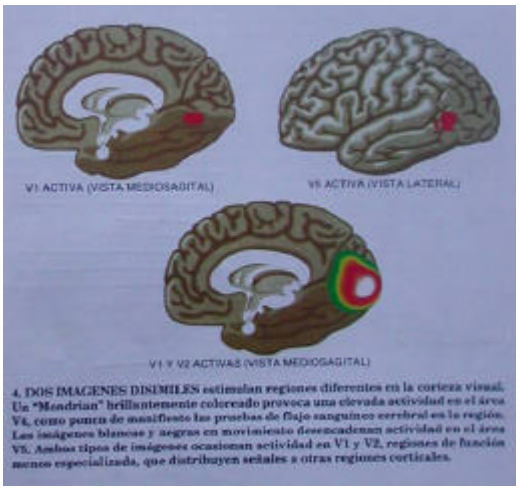


Fig. 7 y 8.Ubicación de V1,V2,V3,V4 y V5.Visión del Color. Revista Investigación y Ciencia (tomo 27)

Aquí vemos las regiones donde se produce un aumento de flujo sanguíneo en el cerebro humano cuando los sujetos contemplan una exposición de Modrian coloreada y una exposición de cuadros móviles. El primer cuadro activa el área V4 y el segundo V5.También el área V1 y V2 son activadas con ambos estímulos.

Diagrama resumido de los cuatro caminos visuales preceptúales y sus conexiones anatómicas, desde V1 hasta las áreas visuales especializadas de la corteza preestriada:

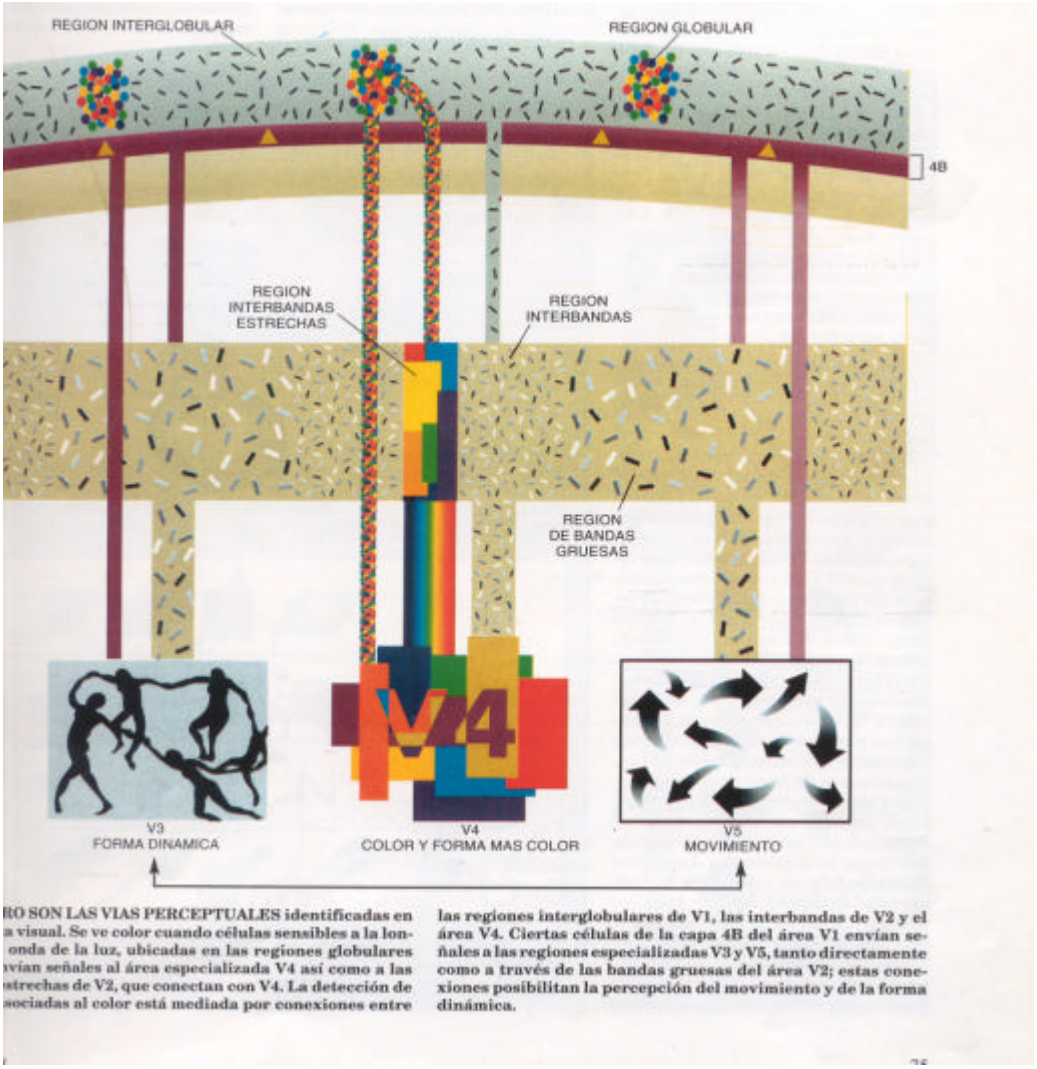


Fig. 9.Las Cuatro vías preceptúales.Semir Zeki. Una Visión de Cerebro

Las lesiones en zonas corticales específicas se corresponden con síndromes visuales igualmente específicos, quizá menos serios que la invidencia completa, pero que aún así revisten gravedad suficiente como

para provocar trastornos e incluso desesperar a los pacientes. Las lesiones en V4 desembocan en acromatopsia: quienes la padecen ven únicamente matices en gris. Este síndrome difiere de la simple ceguera al color: los pacientes no sólo son incapaces de ver o conocer el mundo en color, sino que tampoco pueden evocar colores de tiempos anteriores a la lesión. No obstante, si sus retinas y sus regiones V1 están sanas, su conocimiento de la forma, profundidad y movimiento subsiste intacto.

Análogamente, las lesiones en V5 producen acinetopsia: los pacientes ni ven ni comprenden el mundo en movimiento. Los objetos pueden serles perfectamente visibles si están en reposo, pero al moverlos con relación al paciente, se le esfuman y le desaparecen de la vista. Los restantes atributos de la visión permanecen intactos; la especificidad del mal es resultado directo de la diferenciación funcional de la corteza cerebral humana.

Dada la separación de forma y color en la corteza, tal vez resulte un poco rara que nadie halla hablado jamás de una pérdida completa y específica de la visión de la forma.

Podría yacer parte de la razón en que para que esto ocurriera exigiría la lesión completa de V3 y V4 para eliminar los dos sistemas de percepción de la forma. El área V3 es una suerte de anillo o corona que rodea a V1 y V2; por consiguiente, es casi seguro que una lesión de amplitud suficiente para destruir V3 y V4 acabaría también con V1, lo que provocaría la ceguera total. Existen, eso sí, pacientes con lesiones en la corteza preestriada que sufren cierto grado de impercepción en la forma, frecuentemente combinada con acromatopsia. Estas personas suelen experimentar mayor dificultad en el reconocimiento de formas estáticas que cuando estas mismas se encuentran en movimiento. Es corriente que estas personas prefieran ver la televisión a contemplar el mundo real, porque la televisión esta dominada por imágenes en movimiento .Al mostrarle objetos estáticos suelen adoptar la estrategia de mover la cabeza

de un lado para otro. Tales observaciones inducen a pensar que adquieren su reconocimiento de las formas a través del sistema de percepción dinámica de formas, asentado en V3.

La especialización funcional de la corteza visual también se manifiesta en un síndrome llamado cromatopsia por envenenamiento con monóxido de carbono (priva de óxigeno a los tejidos).Por culpa de ello, su visión queda gravemente disminuida en todos los aspectos, salvo en la visión de los colores. El único conocimiento visual de que dispone es el cromático, se esfuerzan-sin éxito, por lo común- en identificar objetos basándose en su color.

Resumiendo, sabemos que una lesión completa en V1 produce una incapacidad absoluta para adquirir cualquier tipo de información visual, y que una lesión en un área especializada torna inaccesible e incomprensible el correspondiente atributo del mundo visual.

Muchos neurólogos piensan que , en los pacientes con visión ciega, las señales visuales llegan a la corteza preestriada.Los pacientes de visión ciega “ven” pero “no comprenden”.

La bibliografía clínica ofrece muchos otros ejemplos de que el procesamiento previo en las áreas de V1 y V2 podría contribuir directa y explícitamente a la percepción. Por ejemplo un paciente acromatópsico con una lesión en V4, lograba discriminar entre distintas longitudes de onda debido a que su V1 estaba prácticamente intacta, pero ya no era capaz de interpretar en forma de color la información sobre longitud de onda.

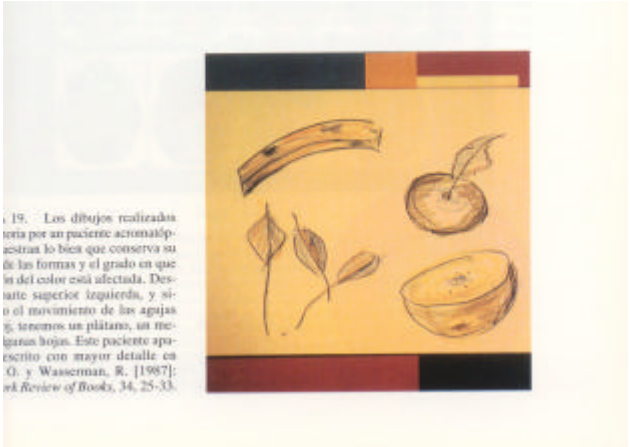


Fig.10.Dibujos realizados por un paciente acromatópsico de memoria, muestra lo

bien que conserva su visión de las formas y el grado en el que su visión del color está afectada. Semir Zeki

Fig. 11.Debido a que es el campo visual contralateral el que está representado en cada hemisferio, una lesión unilateral en el área V4 causa hemiacromatopsia , cuando sólo la mitad del campo visual se ve en color.

A decir verdad, la integración de la información visual constituye una tarea monumental que precisa en cada nivel de una vasta red de enlaces anatómicos entre los cuatro sistemas paralelos, porque cada nivel contribuye explícitamente a la percepción.

Para que el cerebro consiga entender espacialmente la información de la posición exacta de cualquier estímulo individual del interior del campo visual, necesitamos de una región que disponga de un mapa topográfico mas preciso que la retina. Entre todas las áreas de visión estas son V1, seguida de V2.Así pues, las áreas especializadas deben mandar información de retorno a V1 y V2, para que los resultados de las comparaciones puedan ser trasladados al campo visual. Las conexiones re-aferentes, o de reentrada, que permiten el flujo bidireccional de información entre áreas diferentes, resultan esenciales también para resolver conflictos entre células que, provistas de distintas facultades, responden al mismo estimulo.

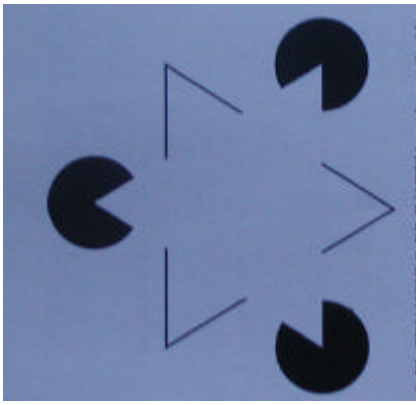


Fig. 12.Triangulo de Kanizsa.Visión del color. Revista Investigación y ciencia.

Hallamos un buen ejemplo en el caso del triángulo de Kanizsa, en esta ilusión el observador percibe que los contornos presentados definen un triangulo, a pesar de que los lados del mismo están incompletos: el cerebro ve lineas donde no las hay. Como se ha demostrado las células de V1 no responden a la ilusión y no señala la presencia de una línea. Las células de V2 reciben sus señales de V1, pero dado que estas células poseen campos receptivos más amplios , si responden a la ilusión "interfiriendo" la presencia de una linea.Para zanjar el conflicto, las células de V2 han de enviar señales re-aferentes a sus homólogas de V1.

Para concluir podemos percibir con claridad que la red entera de conexiones del seno de la corteza visual, ha de funcionar saludablemente para que el cerebro se haga con un conocimiento completo del mundo exterior. Como han puesto de manifiesto los pacientes con visión ciega, no es posible adquirir conocimiento sin consciencia, hecho que parece constituir una característica crucial de un aparato visual de correcto funcionamiento. Por consiguiente, nadie podrá alcanzar una compresión profunda del cerebro visual sin afrontar también el problema de la consciencia.

4. PSICOLOGÍA DEL COLOR

4.1.- FENÓMENOS DEL COLOR [11]

Algunos de los fenómenos del color pueden explicarse en términos puramente sensoriales (fisiológicos). Sin embargo, la percepción consiste sobre todo en factores no sensoriales. Existen situaciones en las cuales la percepción y la realidad difieren.

Los observadores frecuentemente reportan ver un color cuando el estímulo en realidad es de matiz neutro. Aún más, pueden reportar un color diferente del que generalmente se estima para la longitud de onda de la luz que se está presentando. Estos fenómenos revelan que el color está determinado parcialmente por factores distintos de la longitud de onda, la intensidad de la luz y la pureza.

CONTRASTE DE COLOR SIMULTÁNEO

Simultáneo significa “al mismo tiempo”, así que contraste de color simultáneo significa que la apariencia del color puede cambiar si está presente otro al mismo tiempo.

El color que es visto en una región del espacio está determinado no sólo por las características del estímulo en esa región, sino también por aquellas que se encuentran presentes de manera simultánea en las regiones que lo rodean.

Los matices complementarios se encuentran en lados opuestos de la rueda cromática (por ejemplo, azul y amarillo). Como resultado, el color

neutro tiende a adoptar un matiz que es complemento del que lo rodea. Así, el gris se verá ligeramente azul si el fondo es amarillo.

DEMOSTRACIÓN DE CONTRASTE DE COLOR SIMULTÁNEO

Si mira la siguiente figura de la izquierda, verá que parece contener dos líneas de diferente color en forma de "X", una más oscura en la parte de abajo y otra más clara en la de arriba. En realidad, sin embargo, las dos líneas son físicamente idénticas.

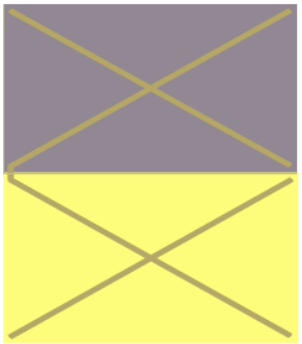


Fig. 1. Demostración del contraste de color simultáneo

CONTRASTE DE COLOR SUCESIVO

El contraste de color sucesivo consiste en que la apariencia de un color puede cambiar cuando otro color es presentado de antemano. Al mirar fijamente una figura de un matiz particular, se produce el matiz complementario una vez que el primero es eliminado.

El contraste de color sucesivo es una clase de postimagen negativa. El término postimagen negativa tiene sentido debido a que es una imagen que aparece después, y es opuesta o negativa, a la imagen original.

El contraste de color sucesivo puede atribuirse a la adaptación cromática. Adaptación cromática significa que la respuesta a un color

disminuye si es visto continuamente durante un tiempo prolongado. La adaptación es un fenómeno general que se encuentra en todos nuestros sistemas sensoriales.

Puede ser que la exposición continua a un color en particular disminuya los fotopigmentos asociados con el color, dejando los niveles de otros fotopigmentos relativamente elevados. O puede involucrar adaptación a nivel del proceso oponente. Por ejemplo, mirar fijamente el color azul puede debilitar la respuesta al azul, lo que deja a su opuesto, el amarillo, relativamente fuerte. Como consecuencia, un observador que ha estado mirando una mancha azul verá una postimagen en amarillo.

DEMOSTRACIÓN DEL CONTRASTE DE COLOR SUCESIVO

Si durante un tiempo nos habituamos a una estimulación, después podremos experimentar ciertos fenómemos ilusorios. Por ejemplo, si durante un tiempo nos adaptamos a un color determinado (ej. rojo) y después miramos a un espacio en blanco, veremos siempre en éste proyectado el color complementario (verde, en este caso).

Este experimento consiste en mirar brevemente la cruz de la imagen de arriba y comprobar que está en campo uniforme. A continuación, dedique unos 45 sg adaptándose a las porciones de colores de la figura de la abajo. Esté seguro de fijarse en la cruz central continuamente durante ese tiempo. Cuando haya terminado el período de adaptación, pase su mirada rápidamente a la cruz de la figura superior. Ahora verá superpuestas en el campo blanco porciones coloreadas ilusorias complementarias en matiz a las de la figura inferior.

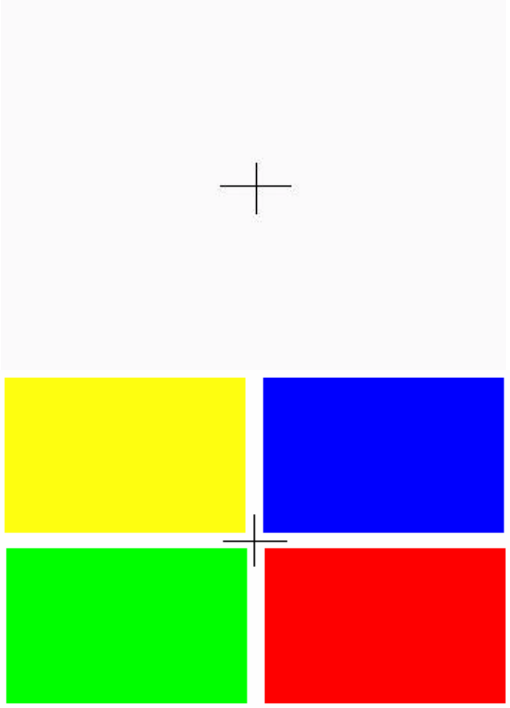


Fig. 2. Demostración de contraste de color sucesivo

Lo que ha sucedido es que su retina se ha cansado de ver amarillo, azul, verde y rojo en esa parte del campo donde estaba la imagen de abajo es menos sensible de lo normal a esos colores, dejando a las otras longitudes de onda visibles comparativamente a mayor intensidad.

OTROS EFECTOS DEL CONTRASTE

Observe el siguiente estímulo. Notará en seguida que aparece un pequeño punto gris en la unión de las líneas blancas - excepto en el punto de intersección en concreto al que mire directamente -. Cuando mueva la vista de lado a lado de la figura, pasando de un punto de intersección a otro, los fantasmas permanecen, excepto en aquellos puntos a los que mira directamente.

Los puntos grises aparecen en nuestra mente por el contraste entre el negro y el blanco. Tan grande es el contraste que nuestro aparato mental y visual es engañado, induciéndole a pensar que hay puntos grises allí donde no los hay.

El poder de resolución es mayor en fóvea, pero esto se obtiene a costa de perder sensibilidad.

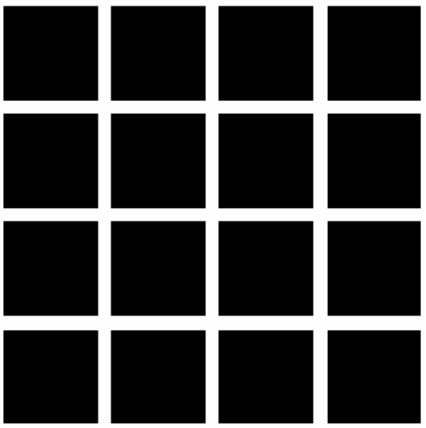


Fig. 3. Otros efectos del contraste

En la siguiente figura tanto el cuadro oscuro como el claro tienen el mismo tamaño aunque uno parezca más grande que otro.

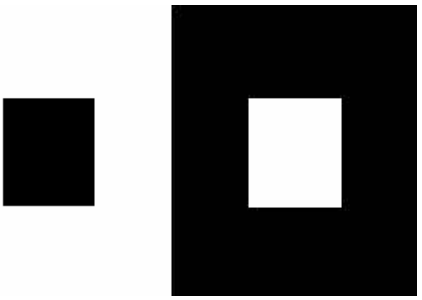


Fig. 4. Otros efectos del contraste

En la siguiente figura las separación entre los puntos es igual al diámetro de los mismos.

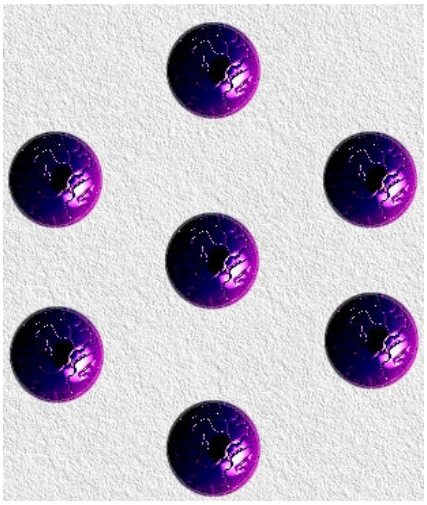


Fig. 5. Otros efectos del contraste

4.2.- CONSTANCIA DEL COLOR [10]

En los contrastes de color simultáneo y sucesivo, se percibe un color a pesar de que las longitudes de onda asociadas con ese color no caen en la retina. Esto también es cierto para la constancia del color. Por la constancia del color tendemos a ver que el matiz de un objeto permanece igual a pesar delos cambios en la longitud de onda de la luz que está iluminándolo. Por ejemplo, de día los objetos son vistos bajo luz natural y en la noche bajo luz artificial, pero asignamos los mismos colores a los objetos con ambos tipos de iluminación.

La constancia absoluta de color ocurre si un objeto parece del mismo color, sin que importe el tipo de iluminación. Por ejemplo, existe una demostración en la cual tres estímulos hechos de manchas de colores eran iluminados por fuentes de luz muy diferentes. Independientemente dela iluminación, los observadores percibieron de manera similar los tres estímulos. De hecho, la iluminación fue diseñada de forma que las

longitudes de onda físicas reflejadas por la mancha roja en un estímulo, la azul en el segundo y la verde en el tercero fueran las mismas. Si nuestro sentido del color surgiera estrictamente de la información física que recibimos, un observador diría que las tres manchas son del mismo color. Sin embargo, a pesar del hecho de que cada mancha enviaba información de longitud de entre los objetos en nuestro campo visual.

Por otro lado, la constancia del color no se mantiene completamente, en especial cuando se prueba en el laboratorio con medidas precisas; así que nuestras percepciones del color están influidas en cierto grado por la naturaleza de la iluminación.

Aunque la constancia de color no es exacta, es raro que falte al grado de que un observador asigne dos colores diferentes al mismo objeto sólo por cambios en la iluminación.

¿Cómo logramos mantener la constancia del color? Helmholtz propuso que después de experimentar con el mismo objeto bajo distintas iluminaciones, hacemos una inferencia inconsciente de cómo se vería el objeto bajo la luz blanca, Hering pensaba que el color permanecía constante merced a la memoria, el color y otras propiedades del objeto han quedado permanentemente fijadas. Nuestras teorías actuales son aún más complejas, pero más precisas.

Una teoría inicial, que aún tiene peso es la de Von Kries. Sugirió que la iluminación ocasiona cambios adaptativos en nuestros fotorreceptores (adaptación cromática), que influye sobre nuestra percepción de la luz reflejada que recibimos. La iluminación proporcionaría a nuestro sistema visual una “referencia” contra la cual se interpretaría la luz reflejada que proviene del exterior. Sin embargo, esta teoría no puede ser válida para toda la información. Algunos investigadores se preguntan en que medida la adaptación a la iluminación incide en la constancia del color. Por ejemplo, la teoría retiniana de Land busca explicar la constancia del color basándose principalmente en el patrón de reflectancia del estímulo. En

esencia, el sistema visual determina la parte más brillante del estímulo y luego intenta determinar si esa parte podría ser “blanca”.

En un experimento realizado en 1989 se ejemplificó la importancia de la adaptación a la fuente de iluminación. Se construyó una casilla de observación donde el sujeto se sentaba separado de los estímulos de color que debía juzgar, y los miraba a través de un orificio a la habitación que los contenía. El estímulo podría ser iluminado mediante una fuente de luz escondida y diferente de la que café sobre el observador. Por ejemplo, el observador podría adaptarse a una luz roja mientras que los estímulos de color eran presentados bajo una luz blanca.

En otras fases del estudio, tanto el observador como los estímulos podían estar bajo luces blanca o roja idénticas. Las habitaciones fueron diseñadas de manera que el observador no pudiera decir el tipo de iluminación que había en donde se presentaban los estímulos.

Los resultados mostraron efectos marcados cuando las condiciones de iluminación para los observadores y los estímulos que juzgaban eran diferentes. Por ejemplo, era más factible que los observadores dijeran que un estímulo era rojo, naranja o rosa cuando se encontraban bajo luz blanca y los estímulos con luz roja. Cuando los observadores eran bañados con luz roja y los estímulos con luz blanca, era más común que pensaban en verde o azul al juzgar el color del estímulo. Sin embargo, para que la constancia de color se mantuviera por completo, no deberían encontrarse diferencias entre los juicios emitidos cuando ambas habitaciones estaban iluminadas con luz roja o blanca. Este no fue el caso, lo que añade más evidencia a la idea de que la adaptación a la iluminación no basta para explicar la constancia del color, aunque parece ser necesaria.

4.3.- COLORES SUBJETIVOS [1]

Los colores subjetivos son impresiones de color producidas por estímulos en blanco y negro. Existen figuras acromáticas que pueden producir colores subjetivos. Un ejemplo claro es el disco de Benham, que cuando rota a una frecuencia de unas 10 revoluciones por segundo, colores saturados aparecen a lo largo de las líneas curvas.

¿Cómo podemos estar seguros de que los colores realmente son producidos dentro de nuestros sistemas visuales? ¿Podría ser que el giro de alguna manera ocasione que la luz blanca se rompa en sus componentes?

Esta pregunta puede contestarse tomando una fotografía a color del disco de Benham en movimiento. Si el color puede atribuirse a diferentes longitudes de onda en el estímulo, entonces la película debería registrar el mismo color que nuestro sistema visual. Sin embargo, tal fotografía se ve gris. La respuesta radica en el observador, y no en el estímulo. No obstante, la naturaleza de la respuesta aún no está clara.

PERCEPCIÓN CROMÁTICA SUBJETIVA

Según algunos estudios realizados parece probable que la visión en color no sea exactamente la misma en todos los individuos sin alteraciones en los pigmentos de sus conos. Cuando una persona ve una escena en color, supone automáticamente que los demás observadores perciben los mismos colores que ella.

Esta suposición se basa en que la mayoría de mujeres y cerca del 92% de los varones aceptan las mezclas de colores hechas por otros. Al restante 8% se les llama ciegos o deficientes para la visión en color. Sin

embargo, si estudiamos cuidadosamente estas mezclas, se puede demostrar que también entre los sujetos normales hay diferencias pequeñas pero consistentes. La uniformidad que aceptamos como normal es tan sólo el resultado de la tolerancia imbuida en el aparato visual humano y del hecho de que las diferencias entre la mayoría son muy pequeñas.

DESVIACIÓN DE PURKINJE

La desviación de Purkinje tiene que ver con la luminosidad de los diversos matices.

De acuerdo con la desviación de Purkinje nuestra sensibilidad a diversas longitudes de onda cambia a longitudes de onda más cortas conforme vamos de condiciones fotópicas (conos) a escotópicas (bastones).

La sensibilidad es sustancialmente más elevada para las longitudes de onda en el rango del azul, por lo que los azules se ven más brillantes que los rojos en condiciones escotópicas.

4.4.- MEMORIA DEL COLOR

Por la memoria del color, el color usual de un objeto generalmente influye en nuestra percepción del color real de ese objeto.

Un experimento característico consiste en cortar formas de una cartulina rojo anaranjado. Dos de las figuras, una manzana y un corazón de San Valentín, generalmente son rojo anaranjado, mientras que otras dos, una campana y un hongo no suelen ser de ese color. Se pidió a los

observadores que ajustaran un fondo hasta que contuviera la misma cantidad de rojo que cada una de las figuras. Los observadores tendieron a seleccionar un fondo más rojo cuando intentaban igualar la manzana y el corazón, que cuando igualaban la campana y el hongo. Por lo que se deduce que nuestro conocimiento y expectativas pueden moldear nuestras percepciones.

4.5.- CATEGORIZACIÓN DE COLORES

Los seres humanos tienen capacidades sorprendentes tratándose de la discriminación del color; esto es, cuando se les presentan dos manchas de color una junto a otra, los observadores pueden reportar correctamente que se trata del "mismo" o de "diferente" color hasta para casi un millón de colores. Cuando los colores no se presentan simultáneamente, sino secuencialmente, el observador debe tener ciertos medios para almacenarlos en la memoria. Para ello se requiere que el observador categorice el color asignándole un nombre. Aunque la longitud de onda (el estímulo físico que origina el matiz) es continua, los nombres de los colores son distintos y específicos.

Cuando formamos categorías, tratamos a los objetos como similares o equivalentes. Se trata a todos los artículos de cada categoría como similares a pesar de las diferencias obvias que existen entre ellos.

Podemos discriminar las diferencias en longitud de onda entre muchos colores diferentes en el extremo final de la longitud de onda corta del espectro, aunque todos ellos sean clasificados como azul.

Diversos estudios realizados demostraron que no todos los miembros de una categoría de color dada son tratados de igual manera. En particular, los colores que caen cerca del centro de las categorías del color

son en ciertos aspectos especiales, comparados con los que caen cerca de los bordes entre diferentes categorías.

En un experimento realizado se le pidió a un grupo de observadores que categorizara las longitudes de onda entre 485 nm y 500 nm ya fuera como azul o verde. Se encontró que clasificaban rápida y acertadamente a las longitudes de onda por debajo de 487nm como "azul" y por arriba de 497 nm como "verde". Sin embargo, al presentárseles longitudes de onda de 491 nm, los observadores quedaban confundidos. Este color cae en el límite entre el azul y el verde, y así, la mitad de los observadores lo categorizaron como azul y como verde la otra mitad. Su confusión también fue evidente por el hecho de que les tomó mucho más tiempo asignarle un nombre al color.

Parece que algunos colores son simplemente "mejores" que otros, y son identificados más rápidamente.

Otras investigaciones han establecido que los bebés prefieren mirar colores que se encuentran en el centro de las categorías más que limítrofes.

Parece que algunos colores son mejores que otros porque son categorizados más rápidamente, preferidos para la contemplación y mejor recordados. Estos colores son: azul, amarillo, verde y rojo.

Estos cuatro colores tienen una prominencia especial en nuestros procesos sensoriales y también en nuestros procesos psicológicos.

4.6.- ANOMALÍAS DE LA VISIÓN CROMÁTICA [9]

En lenguaje popular, ciegos al color son las personas que confunden todos los colores y parcialmente ciegos las que con mayor o menor grado sólo confunden algunos de ellos.

DEFICIENCIAS CONGÉNITAS

La deficiencia congénita para los cos colores obedece a anomalías de los fotopigmentos de los conos. A veces, la retina carece de receptores funcionales de los conos ó solo posee uno ó dos fotopigmentos, en lugar de tres. Aunque existan los tres fotopigmentos, a veces uno de ellos muestra características de absorción patológicas.

La deficiencia congénita de la visión cromática es binocular, se manifiesta en el nacimiento y se estabiliza a lo largo de la vida sin modificar otras funciones visuales.

No existe ningún tratamiento para restablecer la visión normal de los colores aunque la prescripción de un filtro coloreado puede ayudar a ciertos individuos a realizar determinadas tareas ó a superar las pruebas de visión cromática, sin que ello implique una visión normal ni una corrección del defecto.

Científicamente hablando, las anomalías congénitas en la visión cromática reciben el nombre de discromatopsia y pueden agruparse en tres grandes apartados:

a) **Tricrómatas anormales:**

Necesitan tres colores para poder obtener una mezcla metámera de cualquier color, pero en proporciones muy diferentes a la que obtendrá un observador en visión cromática normal.

b) **Dicrómatas**

Basta la mezcla de dos colores para que su suma sea igual a cualquier color (espectral o no).

b) **Acrómatas o monocrómatas**

Toda la percepción cromática se reduce a la visión de un solo color (incluyendo el blanco en el término color).

NOMENCLATURA DE LA VISIÓN DEFECTIVA DEL COLOR [1]

Para nombrar los trastornos en la visión del color se han definido unos prefijos y sufijos que atienden por una parte al tipo de cono afectado (radiación no detectada o bien disminución en la respuesta) y al hecho de que el trastorno sea imposibilidad total o dificultad en reconocer el color.

Sufijos:

- Anomalía: Dificultad en reconocer un color primario (anomalía cromática).
- Anopía: Imposibilidad de reconocer un color primario (deficiencia cromática severa).

Los prefijos indican que la alteración se produce en el primer pigmento (protos), en el segundo (deuteros) o en el tercero(tritos), siguiendo un criterio de clasificación numérica de los colores primarios:

Prot-:	Defecto en el sistema receptor del rojo.
Deuter-:	Defecto en el sistema receptor del verde.
Trit-:	Defecto en el sistema receptor del azul.

Tricrómatas anormales [9]

Nagel en 1907 construye el anomaloscopio que lleva su nombre, un colorímetro de visión directa con el campo dividido en dos partes; en una de ellas, se ve un amarillo y en la otra se debe superponer una mezcla de rojo y verde en la proporción conveniente para que dé un metámero del amarillo de la primera mitad.

Fijada por observadores normales, la proporción conveniente de rojo y verde, encontramos dos clases de sujetos con visión anormal.

Los protanómalos que ponen más rojo (parcialmente ciegos al rojo).

Los deuteranómalos que ponen más verde (parcialmente ciegos al verde).

Si en el colorímetro citado cambiamos el amarillo por un azul verdoso (longitud de onda dominante es 490 nm) y la pareja rojo más verde por un azul más verde, podemos encontrar sujetos (aunque son muy raros) que para la igualación entre las dos mitades necesitan más azul que la empleada por un observador normal, son los tritanómalos (parcialmente ciegos al azul).

Los individuos con visión normal para los colores y aquellos con protanomalía, deuteranomalía y tritanomalía, se denominan tricrómatas

porque todos ellos poseen los tres sistemas de conos, si bien alguno de ellos puede ser débil.

Una vez definidos estos términos, surge la cuestión de aclarar si los tricrómatas anormales son realmente casos especiales o simplemente los extremos de una curva de dispersión de los observadores normales.

Wright expresa sus dudas respecto a este punto pero Le Grand, recogiendo opiniones y datos de diversos autores afirma rotundamente la existencia de estas anomalías por lo menos en lo que a deuteranómalos se refiere. En los observadores normales, las dispersiones en cantidades de rojo y verde no pasa del 1,5 y en los deuteranómalos el exceso de verde es por término medio de 4.

Considerando a los tricrómatas anormales como extremos de una dispersión, su explicación podría ser debida a la variación en la pigmentación amarilla macular (si nos referimos a la visión foveal) a la absorción selectiva del cristalino, que varía con la edad y a la variación en las concentraciones de las sustancias fotoquímicas existentes en la retina y cuya descomposición por la luz origina el proceso visual.

Si no son los extremos la causa, habría que buscarla en un cambio en la composición de las sustancias fotoquímicas citadas.

La visión del azul va íntimamente unida a la de la luz sin color, hasta el extremo que algunos autores incluyen la visión del azul en la visión acromática, haciendo que este color por pertenecer a una sensación primaria –el ver- dependa de un mecanismo mucho más fuerte que los mecanismos responsables de los atributos de esta sensación, el color; lo que explica el escaso porcentaje de tritanómalos respecto a los prota y deuteranómalos, y la falta de datos en muchos de los estudios sobre estas anomalías.

El azul tiene poca importancia en las mezclas cromáticas, cuando se utilizan primarios instrumentales; la unidad luminosa del azul es muy pequeña.

Visibilidad:

La curva de visibilidad de los deuteranómalos coincide prácticamente con la de los observadores normales, la de los protanómalos se estrecha un poco por el lado de las grandes longitudes de onda, estos observadores verán el rojo más oscuro que los de visión normal.

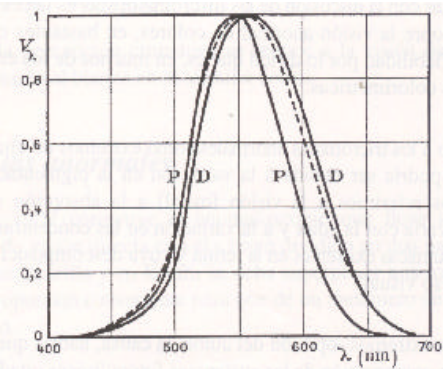


Fig. 6. Curva de visibilidad de protanómalos y deuteranómalos comparadas con las de un sujeto normal

Visión de colores:

Con un colorímetro de Wright se ha estudiado la visión cromática de prota y deuteranómalos. Los resultados obtenidos nos dicen que al contrario de lo que sucede con la visibilidad, la visión cromática de los deuteranómalos difiere mucho más de la visión normal que la de los protanómalos que es muy parecida.

Umbrales diferenciales:

Los tricómatas anormales no se diferencian de los normales solo por tener una visión cromática diferente, sino que además esta anomalía lleva consigo una disminución en la capacidad para distinguir colores.

Algunos autores definen las anomalías cromáticas en función de su capacidad para distinguir colores y establecen las siguientes definiciones:

Observador normal	Diferenciación posible:	luz – oscuridad amarillo - azul rojo – verde
Protanómalos y deuteranómalos	Diferenciación posible:	luz – oscuridad amarillo – azul rojo – verde:débil
Tritanómalos	Diferenciación posible:	luz – oscuridad amarillo – azul: débil rojo - verde

Parece probable que mientras el deuteranómalo ve el espectro con un aspecto casi ordinario, salvo en el rojo que le debe parecer un naranja, apenas un poco más saturado que del amarillo, el protanómalo ve todo el espectro con una débil saturación.

La elevación de los umbrales diferenciales hace que cromaticidades fáciles de distinguir por un observador normal, no lo sean para un anormal o necesite para hacerlo mayores tiempos o luminancias más óptimas. Los efectos de adaptación cromática, temporales y espaciales y el efecto Stiles-Crawford de segunda especie, son más acusados para el tricrómata anormal.

A pesar de todo, los tricrómatas anormales suelen ignorar su condición que sólo descubren cuando por alguna razón les hacen un reconocimiento de la visión cromática.

Dicrómatismo

Los dicrómatas sólo distinguen (más o menos saturados) dos tonos, por lo tanto, cualquier color pueden igualarlo a una mezcla de estos dos.

Entre los dicrómatas también existen tres grandes grupos, que se clasifican según la pérdida de alguno de los tres sistemas de conos. Los dicrómatas más comunes son los protanopes y deuteranopes. Su percepción es parecida, y de ambos se dice que son “ciegos al rojo y al verde”, porque es muy probable que confundan esos colores.

Los protanopes no tienen conos L y los deuteranopes no tienen conos M.

El tercer grupo de dicrómatas es bastante anómalo, son los tritanopes, quienes tienen dificultad para ver azules y amarillos, parece ser que carecen de conos C.

Protanopes:

Totalmente ciego al rojo (correspondiente a las largas longitudes de onda)

Deuteranopes:

Totalmente ciego al verde (correspondiente a las medias longitudes de onda)

Tritanopes:

Totalmente ciego al azul (correspondiente a las cortas longitudes de onda). Éste grupo es muy escaso, y normalmente es consecuencia de una inflamación o desprendimiento de retina, siendo raras veces orgánico.

Visibilidad:

Las curvas de visibilidad de los prota y deuteranopes coinciden prácticamente con las curvas de los prota y deuteranómalos.

Visión de colores:

	cortas	**largas**
Protanopes	azul	amarillo
Deuteranopes	azul verdoso	naranja
Tritanopes	verde	Rojo

De esta tabla podemos deducir los colores que confunden los dicrómatas y establecer una definición de diferenciación posible:

Observador normal Diferenciación posible: luz-oscuridad
amarillo-azul
rojo - verde

Prota y deuteranopes Diferenciación posible: luz - oscuridad
amarillo - azul

Tritanopes Diferenciación posible: luz -oscuridad
rojo – verde

Por lo que podemos decir que: los protanopes confunden el rojo con el azul verdoso y el azul con el púrpura rojizo

los deuteranopes confunden el verde con púrpura rojizo y el verde amarillento con rojo

los tritanopes confunden el púrpura azulado con amarillo verdoso y el amarillo con púrpura rojizo.

Acromatismo

Los acrómatas (o monocrómatas) son incapaces de distinguir colores, podemos decir que sólo diferencian la luz de la oscuridad.

Existen dos tipos de acrómatas. En el primer grupo situamos a los que les fallan los conos y sólo cuentan con los bastones como fotorreceptores. Las características de esta acromatopía son las propias de la visión de bastones.

a) Curva de visibilidad propia de la visión escotópica con un máximo de sensibilidad para = 510 nm

b) Escotoma foveal, consecuencia de la no existencia de bastones en la fóvea.

c) Mala agudeza visual: con los bastones no se pueden percibir los pequeños detalles.

d) Nistagmos, o movimiento incontrolado de los ojos al no tener punto de fijación que sólo se obtiene con los conos.

e) Fotofobia, la gran sensibilidad de los bastones hace que la luz normal diurna baste para deslumbrarlos.

TABLA RESUMEN DE LAS ANOMALÍAS CONGÉNITAS DEL COLOR

Denominación	Comportamiento Colorimétrico	Tipo	Deficiencia	Grado Mecanismo
Protanomalía	Tricrómata anormal	Protán	rojo-verde	medio alteración
Deuteranomalía	Tricrómata anormal	Deután	rojo-verde	medio alteración
Tritanomalía	Tricrómata anormal	Tritán	amar-azul	medio alteración
Protanopía	Dicrómata	Protán	rojo-verde	alto reducción
Deuteranopía	Dicrómata	Deután	rojo-verde	alto reducción
Tritanopía	Dicrómata	Tritán	amar-azul	alto reducción

Acromatopsia	Monocrómata	rojo-verde	muy alteración	alto reducción
		amar-azul		

DEFECTOS ADQUIRIDOS [8]

Los defectos adquiridos de la visión cromática ocurren como manifestaciones secundarias de estados patológicos, tanto oculares como sistémicos. Algunos fármacos producen defectos de la visión de colores cuando se administran en cantidad excesiva ó como consecuencia de una respuesta alérgica.

Los defectos adquiridos muestran una gravedad fluctuante y se acompañan de pérdida de la agudeza visual y defectos campimétricos. Con frecuencia, se observan diferencias monoculares

Los defectos adquiridos de la visión de los colores tienen un interés especial cuando aparecen como síntoma precoz de la enfermedad de base y también pueden emplearse para controlar la evolución de ésta. En ocasiones, el deterioro inicial de la visión cromática se sigue de una recuperación espontánea y otras veces ésta se recupera con el tratamiento adecuado de la enfermedad que lo provoca.

4.7.- ASPECTOS ANTROPOLÓGICOS EN LA VISIÓN DEFECTIVA DEL COLOR [1]

VISIÓN DEL COLOR EN ALBINOS

Dentro de las alteraciones de la visión del color es de singular interés considerar las alteraciones en la visión del color de personas que carecen prácticamente de pigmentación (melanina) en todo su cuerpo y por tanto también en el iris y en la "cámara oscura" del ojo, con lo que toda su visión se verá alterada.

Algunos autores han efectuado estudios realizados sobre las alteraciones de la visión en albinos y se ha hallado que estas personas presentan fotofobia, nistagmus pendular, estrabismo, alta miopía y muy baja agudeza visual.

Estos estudios se efectuaron en 9 individuos (17 ojos, ya que uno de los ojos era ciego) y respecto a la visión del color se utilizaron las tablas de Ishihara, el test de Roth de 28 HUE y el anomaloscopio de Davico. Se obtuvieron los siguientes resultados: 4 de estos individuos no presentaban los signos anómalos que se esperaba en un albino, en cada uno de sus ojos. Otros 2 eran deuteranómalos simples en ambos ojos. El resto eran protanómalos, pero la desviación para el rojo aparecía en ambos ojos sólo para un sujeto, mientras que en otros 2 sujetos aparecía sólo en un ojo, si bien su visión binocular del color era prácticamente normal.

ANOMALÍAS DE LA VISIÓN CROMÁTICA DE UN OJO NORMAL [9]

La visión normal de los colores exige unas condiciones mínimas de observación que de no cumplirse puede conducir, a que ojos con visión cromática normal se conviertan en dicrómatas.

Visión lateral

A medida que nos separamos de la visión foveal, nos estamos volviendo prota o deuteranómalos pues nuestra capacidad para distinguir colores disminuye mucho más en el rojo - verde que en el azul – amarillo. A partir de unos 30º extrafoveales nos convertimos prácticamente en dicrómatas (prota o deuteranopes) pues ya sólo distinguiremos el azul y el amarillo; pasados los 40º nuestra incapacidad para distinguir colores nos convierte en acrómatas. Estos límites tienen solo un valor indicativo, variando significativamente en función de la luminancia del campo de adaptación y de la luminancia y tamaño del test.

Tamaños pequeños

Un test de luminancia dada, con tamaño del orden de 20 minutos, visto en la fóvea o parafóvea se ve como lo vería un tritanope, sin distinción entre el azul del amarillo, disminuyendo el tamaño se llega a perder la capacidad para diferenciar cualquier color, los ojos de visión normal se han convertido en acrómatas.

Luminancia insuficiente

Con luminancias bajas propias de la visión de bastones, los observadores normales se convierten en acrómatas pues los bastones son ciegos al color.

Tiempos pequeños

Se pierde la visión cromática cuando el tiempo de exposición del test tiene una duración máxima del orden de una décima de segundo.

Estas condiciones límites de observación en que la visión normal de los colores se transforma en defectuosa o se pierde totalmente, se hacen más severas cuando ya partimos de observadores con anomalías en la visión cromática.

4.8.- METODOS DE DETECCIÓN [10]

El hecho de que los distintos colores se designen con el mismo nombre explica el que las ligeras anomalías en la visión cromática generalmente no sean detectadas ni por los mismos sujetos que las padecen.

Los test para detectar diferencias en la visión cromática están pensados principalmente para los prota y deuteranopes y para los prota y deuteranómalos, ya que las otras anomalías son muy escasas.

Existen gran cantidad de modelos, todos ellos pueden reunirse en tres grupos:

Test de reconocimiento

Test de clasificación

Test colorimétricos

TEST DE RECONOCIMIENTO

Es el grupo más numeroso. Entre los más conocidos están:

- S. Ishihara
- Test de Murakami
- Test del Tokio Medical College (TMC)
- etc.

Test ó laminas pseudoisocromáticas de Ishihara

Las láminas pseudoisocromáticas 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.

Constan de distintas láminas que llevan impresos una serie de puntitos de distintos colores y tamaños, que enmascaran un número o bien una figura.

Este test detecta a: protanómalos
deuteranómalos
acrómatas

Para realizar este test hay que seguir una serie de normas:

- El paciente utilizará su prescripción habitual

- El examen se realizará monocularmente

- El test debe estar uniformemente iluminado

- Colocar el test a 75 cm de forma perpendicular a la línea visual del paciente

- Pasar las láminas para que el sujeto identifique en dada una de ellas números ocultos o para que pueda seguir unos recorridos confusos.

- El tiempo de observación de cada lámina no será superior a 3 seg

Existen dos tipos de test:

A. Test de Ishihara de 38 láminas

La lámina 1 es una lámina demostrativa; puede ser observada por todos los pacientes.

Las respuestas obtenidas en las láminas de la 2 a la 21 determinan la normalidad o anormalidad de la visión cromática.

Si las respuestas válidas son diecisiete o más láminas, la visión cromática puede considerarse normal.

Si solamente se han podido descifrar con normalidad trece o menos láminas, la visión cromática puede considerarse deficiente.

Si se han podido identificar números en las láminas 18, 19, 20, 21 se consideran respuestas anormales, por tanto, alteraciones de la visión del color.

Si se detecta una deficiencia rojo – verde se puede diferenciar entre una protanomalía (deficiencia al rojo) o una deuteranomalía (deficiencia al verde); por esta razón se deberán pasar las 22, 23, 24, 25 que distinguen el tipo de deficiencia cromática, clasificándola en aguda o leve.

Las láminas de la 26 a la 38 permiten realizar el examen a individuos que no conocen los números o niños entre 3 y 5 años. El tiempo empleado en trazar el camino que se oculta en cada lámina no puede ser superior a los diez segundos.

B. Test de Ishihara de 24 láminas

Es un test simplificado de las láminas de Ishihara.

La lámina 1 es demostrativa.

Las respuestas obtenidas en las láminas de la 2 a la 15 determinan la normalidad o anormalidad de la visión cromática.

Si se han identificado nueve o más láminas con normalidad, la visión cromática puede considerarse normal.

Si solamente se han podido descifrar con normalidad cinco o menos láminas, la visión cromática se considerará deficiente.

Si se han podido identificar números en las láminas 14 y 15, se consideran respuestas anormales y por tanto alteraciones de la visión del color.

Si se detecta una deficiencia rojo – verde se puede diferenciar si se trata de una protanomalía (deficiencia al rojo) o de una deuteranomalía (deficiencia al verde); por esta razón se deberán presentar las láminas 16, 17 que distinguen el tipo de deficiencia cromática que existe, diferenciando entre anomalía aguda o leve.

Si se detecta una deficiencia rojo – verde se puede diferenciar si se trata de una protanomalía (deficiencia al rojo) o de una deuteranomalía (deficiencia al verde); por esta razón se deberán presentar las láminas 16, 17 que distinguen el tipo de deficiencia cromática que existe, diferenciando entre anomalía aguda o leve.

Las láminas de la 18 a la 24 permiten realizar el examen a personas que no conocen los números o niños pequeños como ya hemos dicho anteriormente.

TEST DE CLASIFICACIÓN

Constan de una serie de fichas que hay que ordenar en función de su tono o de su grado de saturación. El más conocido es el test de Farnsworth con 85 fichas de color uniforme. La prueba consiste en ordenarlas de la 1 a la 85 en la parte inferior llevan el núm3ero de orden) según lo están en el Atlas de Munsell de donde se han obtenido. Unas

tablas indican la anomalía que se padece en función de las equivocaciones cometidas.

TEST COLORIMÉTRICOS

Son verdaderos colorímetros, en los que se determinan las ecuaciones colorimétricas apropiadas para fijar las anomalías buscadas.

Los colorímetros tienen la desventaja respecto a los grupos anteriores de que son más caros y de manejo más delicado,teniendo a su favor una mayor precisión en la determinación del grado de las anomalías.

Un ejemplo de colorímetro es el de Nagel. Es un colorímetro de visión directa con el campo dividido en dos partes; en una de ellas, se ve un amarillo y en la otra se debe superponer una mezcla de rojo y verde en la proporción conveniente para que dé un metámero del amarillo de la primera mitad, segùn la anomalías se pondrá más cantidad de rojo ó de verde para obtener el metámero.

5. PROTOCOLO DE LA PRUEBA

5.1.- OBJETIVO

Determinar las posibles incidencias de alteraciones cromáticas en el sistema visual de los niños.

El estudio lo realizamos con una muestra de niños de 3 a 5 años de la guardería Menagar.

5.2.- MATERIAL Y MÉTODO

El test está formado por dieciocho láminas, las cuales las clasificamos en tres grupos de seis láminas. Estos tres grupos se diferencian en:

-Luminosidad, que es el atributo de la sensación visual según el cual un campo parece exhibir mas o menos cantidad de luz.

-Saturación, que es el colorido de un campo juzgado en proporción a su luminosidad.(colorido: es el atributo de la sensación visual de acuerdo con el cual un campo parece exhibir más o menos color cromático)

-Matiz, es el atributo de la sensación visual que nos permite caracterizar un color como azul, verde, amarillo, naranja, rojo o púrpura.

De tal forma que en el test I esta formado por seis láminas que poseen la misma luminosidad y saturación pero diferente tono, el test II esta formado por otras seis láminas con la misma saturación y tono pero diferente luminosidad y el test III tiene la misma luminosidad y tono pero distinta saturación.

Test I

Test II

Test III

Cada lámina esta compuesta por seis círculos de diámetro 4.8 milímetros, uno central y cinco concéntricos a éste que distan del circulo central 1.8 milímetros en la recta de unión de centro a centro de los círculos y la separación entre los cinco círculos es de 3 milímetros.

Los test se han diseñado por ordenador, en la opción de colores personalizados y con un modelo de color HSL, donde se ha elegido el matiz (es el propio color):

-azul:146

-rojo:6

-amarillo:42

-verde:78

-naranja:20

-morado:207

Se ha optado por este matiz para que los niños no tuvieran muchos problemas a la hora de diferenciarlos.

El test I, tenemos una luminosidad y saturación constante de 150, lo que nos cambia es el matiz.

El test II, tenemos una saturación constante de 200 y en cuyas láminas el circulo central posee una luminosidad de 150 y de los cinco restantes uno es exactamente igual y los otros cuatro tienen luminosidades de 50,100,200 y 215, dispuestos aleatoriamente. A mayor luminosidad, más vivo será el color.

El test III esta compuesto por una luminosidad constante de 150 y una saturación del circulo central de 150 y los cuatro restantes tenemos dos más saturados(200,250) y dos menos saturados(50,100).Cuanto mayor sea la saturación mayor intensidad tendrá el color.

Todos estos datos (saturación, matiz 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.

Para el diseño de las plantillas se utilizo un papel fotográfico (HP Premium) y una impresora HPSC 750, cuyo cartucho estaba recién puesto.

En primer lugar le hicimos a cada niño un examen visual para estar seguros de que los niños no tuvieran ningún problema visual como ametropías significativas sin corregir, problemas acomodativos, ambliopías ó problemas de salud ocular (patologías).

Los niños que no tenían ningún problema que pudiera influir en el resultado de nuestro estudio fueron los seleccionados para el test.

Seleccionamos 3 test para hacer el estudio:

- E de Sellen:

Para tener un dato de AV de cerca (aunque ya teníamos información del examen visual). Es un test direccional de AV apropiado para las edades de los niños seleccionados.

- Ishihara (caminos):

Para tener un dato comparativo con el test diseñado por nosotros.

- Test de discriminación del color:

I- Discriminación de tono

II- Discriminación de luminosidad

III- Discriminación de saturación

A todos los niños les pasamos los test en una misma sala y ckn los siguientes condiciones:

• E de Snellen

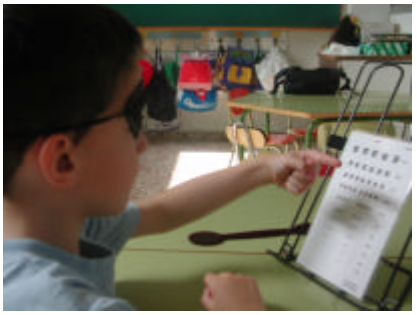
- Tomamos la AV monocularmente, primero en el OD y después en el OI.

- Colocamos el test en un atril encima de una mesa.

- Situamos al niño sentado en una silla frente al test a 40 cm.

- Controlamos que el test esté bien iluminado y que no tenga sombras ni reflejos.

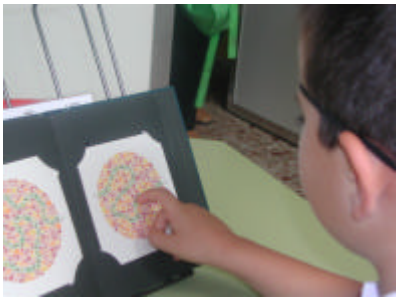
- Le pedimos al niño que nos diga la dirección en que está la E o que nos lo señalen con la mano.



Medida de la A.V.

- Ishihara (caminos)

Este test ya está explicado en el apartado de "Métodos de detección de anomalías del color".



Test de Ishihara (caminos)

• Test de discriminación del color

- El test lo presentamos igualmente en un atril.

- Mantenemos al niño sentado a 40 cm del test.

- Controlamos también la iluminación del test.

- Pasamos el test monocularmente, primero el ojo derecho y después el ojo izquierdo.

- Les pasamos los test por orden (I, II, III).

- Cada página de los test la pasamos primero de pie y después apaisada, teniendo así dos datos de la misma página con el mismo ojo con distinta orientación para controlar que la respuesta del niño sea la que realmente cree y no lo diga sin pensar.

- Test I (discriminación del tono): le pedimos al niño que nombre el color del centro y luego nos señale que color de los cinco círculos de alrededor es el mismo.

Test I

- Test II y III (discriminación de la luminosidad y la saturación): le pedimos al niño que nos señale que color de los cinco círculos de alrededor es el mismo que el del centro.

Test II (apaisado)

Test III (de pie)

6. RESULTADOS

6.1.- ESTADÍSTICA

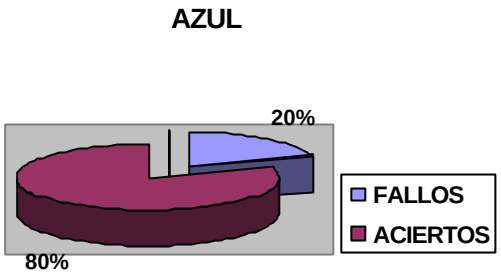
- Media de las edades = 4.5 años
- Desviación estándar = ± 0.97

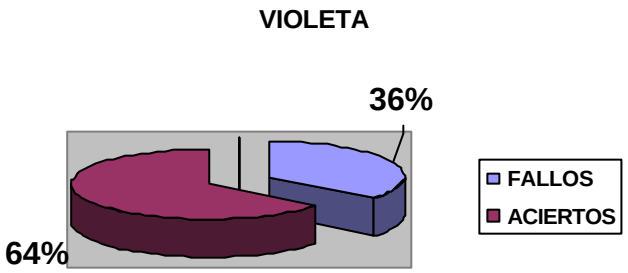
- Resultados del Test de Ishihara : Todos los niños pasaron el test.

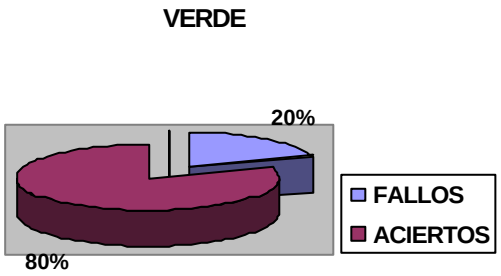
	ROJO		AMARILLO		**NARANJA**	
	OD	OI	OD	OI	OD	**OI**
MATIZ	100%	100%	100%	100%	100%	**100%**
LUMINOSIDAD	100%	100%	96,42%	98,21%	92,85%	**87,50%**
SATURACIÓN	**83,92%**	**78,57%**	**78,57%**	**80,35%**	**92,85%**	**85,71%**

	AZUL		VERDE		**VIOLETA**	
	OD	OI	OD	OI	OD	**OI**
MATIZ	100%	100%	100%	100%	100%	**100%**
LUMINOSIDAD	78,57%	83,92%	82,14%	75%	53,58%	**75%**
SATURACIÓN	**39,28%**	**17,85%**	**50%**	**50%**	**44,64%**	**37,50%**

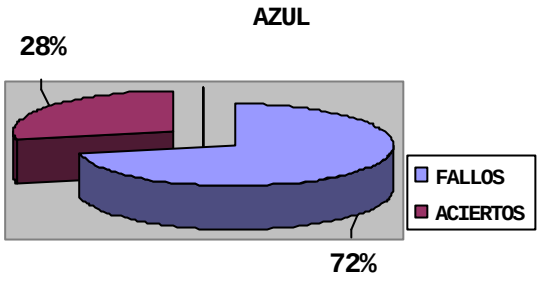
GRÁFICA DE LUMINOSIDAD PARA LONGITUDES DE ONDA CORTA:

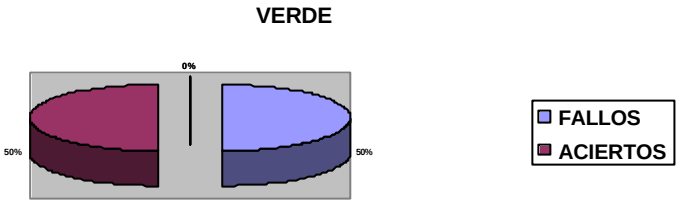


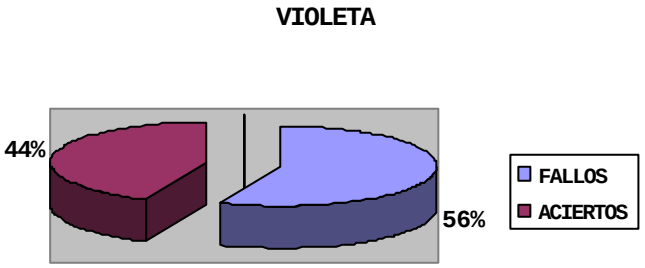




GRÁFICA DE SATURACIÓN PARA LONGITUDES DE ONDA CORTA:







6.2.- DISCUSIÓN

La media de las edades de los niños que han participado en el estudio es de 4.5 años y la desviación estándar es de ± 0.97. Esto significa que la muestra de niños es muy homogénea des del punto de vista de las edades.

En el test I de discriminación del tono, donde también se pedía al niño que nombrara los colores, nos encontramos que el color amarillo era el único en el que no había ningún fallo, todos lo decían correctamente. En los colores verde, azul y naranja encontramos un 3,58% de fallos y en el violeta un 14,29% de fallos. El valor más significativo lo encontramos en el color rojo con un 25% de fallos.

Según se muestra en las tablas anteriores hemos obtenido que los colores donde ha habido menos errores son en el rojo, amarillo y naranja correspondientes a longitudes de onda largas.

El porcentaje de aciertos en la discriminación del tono de estos colores ha sido del 100% en todos los casos.

En la discriminación de luminosidad el porcentaje de aciertos ha sido de entre un 87,50% y un 100%.

En la discriminación de saturación el porcentaje de aciertos ha sido de entre un 78,57% y un 92,85%.

Por el contrario en los colores azul, verde y violeta correspondientes a longitudes de onda cortas el porcentaje de aciertos ha sido menor.

Aunque en la discriminación del tono el porcentaje ha sido del 100%, en la discriminación de luminosidad ha sido de entre un 53,58% y un 83,92% y entre un 17,85% y un 44,64% en la discriminación de saturación.

Los datos de discriminación cromática de la saturación, que han salido más disminuidos en las longitudes de onda cortas, se pueden relacionar

con el estudio que hizo ya en 1942 Mc Adam (este estudio se explica en el punto 2.6. del apartado de *Física del Color*), donde mostraba que las elipses que contenían los colores que para el sistema visual humano no eran distinguibles, eran mayores en los verdes que en los rojos y los naranjas. Luego, como en todos los colores hemos puesto una diferencia igual entre las distintas saturaciones del mismo color en cada lámina del test III, siguiendo los resultados de Mc Adam podemos deducir que una diferencia igual de saturaciones entre dos rojos y entre dos verdes será más fácil de ver las diferencias entre los dos rojos.

Por otro lado, desde este punto de vista, la teoría de Mc Adam no se cumpliría según los resultados que hemos obtenido para azules y violetas, porque las elipses en la zona de estos colores también son pequeñas como el rojo y el naranja.

6.3.- CONCLUSIONES

Con los datos obtenidos hemos llegado a la conclusión que en la discriminación del tono los niños no han mostrado dificultades a la hora de elegir el mismo color que la muestra.

En la discriminación del rojo, amarillo, naranja, verde, azul y violeta con distintas luminosidades sólo un pequeño porcentaje de niños presentaron dificultades. Esto nos hace pensar que la diferencia de luminosidades en un mismo color es fácilmente distinguible.

En la discriminación de saturación de los colores rojo, amarillo y naranja los niños apenas muestran dificultades a la hora de distinguirlos. Sin embargo, en la discriminación de saturación del azul, verde y violeta el porcentaje de errores fue bastante mayor por lo que deducimos que la discriminación de saturación de longitudes de onda cortas es más difícil de distinguir que las longitudes de onda largas y que la saturación es la

característica en la que los niños presentan más dificultades, comparándolo con la discriminación del tono y la luminosidad.

Además hay que tener en cuenta la dificultad de cada test, ya que en el test I en el que los colores son fácilmente distinguibles los niños contestaron bien a todos y los nombraron sin apenas dificultades. Sin embargo los test II y III son más difíciles, incluso una persona adulta con visión cromática normal podría fallar en alguno de estos test al pedirle que identifique el color, por lo que no es raro que un niño de esta edad también falle al realizar la prueba.

Por esta razón, para tener otro dato y poder compararlo con los resultados obtenidos con nuestro test, se les pasó también el test de Ishihara y así asegurarnos de si existía o no alguna anomalía cromática. Todos los niños respondieron correctamente a esta prueba.

Por lo que en general concluimos que nuestro test es más sensible que el test de Ishihara a la hora de evaluar la visión cromática ya que no sólo se limita al aspecto de comparación de tonos, como hace el test de Ishihara que es un test de confusión donde el color a evaluar está confundido entre otros distintos, sino que nuestro test de Discriminación Cromática evalúa los otros dos aspectos que definen un color, la saturación y la luminosidad.

Con nuestro test hemos podido ver que es fundamental el estudio de estos otros dos aspectos, principalmente en longitudes de onda cortas, ya que hay un porcentaje significativo de fallos en los colores violeta, azul y verde.

Esto nos anima a proponer un estudio posterior donde se pase nuestro test sobre una muestra de niños ya diagnosticados como pacientes con algún defecto de la visión cromática, de forma que se evalúe si este defecto es en todos los aspectos del color o sólo en alguno de ellos.

BIBLIOGRAFÍA

1. César Urtubia Vicario.
   "Neurología de la visión." Edicions UPC.

2. Javier Romero Mora / José A. García García / Antonio García y Beltrán.
   "Curso introductoria a la óptica fisiológica." Editorial Comares.

3. Aurora Torrens.
   Apuntes de la asignatura de "Òptica fisiològica II." EUOOT. UPC.

4. Revista de Investigación y Ciencia "El Color".Editorial española de Scientific American.

5. Dr. Arthur C. Guyton.
   "Tratado de fisiología médica". 7ª Edición. Editorial Interamericana. Mc Graw-Hill.

6. Semir Zeki.
   "Una visión del cerebro". Editorial Ariel

7. D. Goddé-Jolly J.L. Dufier.
   "Oftalmología pediátrica". Editorial Masson.

8. Keith Edwards / Richard Llewellyn.

"Optometría". Edición Masson-Salvat.

9. Mariano Aguilar / Felipe Mateos.
"Óptica Fisiológica" Tomo 3. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.

10. M. Rosa Borràs García / Marina Castañé Ferrón / Juan Carlos Ondetegui Parra / Mireira Pacheco Cutillas / Elvira Peris March / Eulàlia Sánchez Herrero / Consuelo Varón Puentes.
"Optometría. Manual de exámenes clínicos". Edicions UPC.

11. http://www.ads.uam.es/≈adarraga/studs/Percepcion/cobrieo.htlm