

POLIMORFISMO DE LA VISION
DE LOS COLORES:
ESTUDIO DE LA VISION CROMATICA
EN LA POBLACION DE CHATEAUPONSAC
(FRANCIA)

Silvia Elizondo

INTRODUCCION

El tema que trataremos a continuación se refiere a los distintos métodos y técnicas utilizados para la detección de la visión de los colores. Dada la complejidad del mecanismo de la visión y de la percepción de los colores, un refinamiento de los métodos acompaña indefectiblemente el avance de la investigación de dicho mecanismo. Muchas de las técnicas empleadas son apropiadas a ciertos problemas específicos, aunque dentro de los últimos descubrimientos se presentan algunos de gran utilidad para los fines antropológicos, ya que no sólo permiten detectar las grandes anomalías sino que nos ofrecen una mejor comprensión del polimorfismo de la visión cromática.

Antes de abordar el análisis de los distintos métodos, y su crítica respectiva, daremos una reseña sobre el mecanismo de la visión humana de los colores y de sus anomalías.

EL COLOR

De toda la gama de radiaciones electromagnéticas sólo una pequeña banda: la luz blanca proveniente del sol o de una fuente similar es capaz de estimular el ojo y de provocar la visión y por consiguiente la visión de los colores. Únicamente las radiaciones del espectro visible deben ser descriptas como las radiaciones de la luz.

El color no es una característica del objeto sino de la luz que entra en el ojo. El color de un objeto consiste entonces en la capacidad de este objeto de modificar el color de la luz. Esta capacidad depende de la variación de absorción para

las longitudes de onda variadas (absorción selectiva). El color de un objeto depende, por un lado de la distribución espectral de la energía radiante incidente, y por otro de las funciones psicofísicas de la visión humana.

Se distinguen los diferentes tipos de energía radiante por diferencias de longitudes de onda. Siete colores forman el espectro visible de la luz blanca: rojo 0.68 μ (mili- μ : millonésima parte del mm), anaranjado 0.63 μ , amarillo 0.58 μ , verde 0.53 μ , azul-verde 0.48 μ , azul 0.43 y violeta 0.38.

La visión cromática normal percibe mucho más de siete colores porque cada color se mezcla a su vecino.

Una vez que es percibida la relación entre una longitud de onda dada y su sensación de color, el colorario natural al cual podemos atenernos es que cuando un número de radiaciones se une en un solo rayo, el color de este último estará dado esencialmente por el color de la longitud de onda dominante.

Las características de la luz que constituyen el color son:

- i) Luminosidad: la característica que diferencia la luz reflejada por un objeto cuando está iluminado con una intensidad diferente.
- ii) Longitud de onda dominante: la longitud de onda que aparece dominante en la luz.
- iii) Pureza: el grado en el cual la longitud de onda aparece predominante en la luz.

Las características de la sensación del color son las siguientes:

- i) Claridad: el atributo de la sensación por el cual el observador percibe las diferencias de luminosidad.
- ii) Tonalidad: la sensación que hace que un observador perciba las diferencias de longitud de onda dominante de la energía radiante.
- iii) Saturación: es el atributo por el cual se perciben las distintas purezas de cada longitud de onda dominante.

Las variaciones de más claro a más oscuro son variaciones de claridad; las variaciones de grises son diferencias de saturación y las variaciones hacia un miembro contiguo de la serie: rojo, amarillo, verde y azul, son diferencias de tonalidad. La sensación de color es tridimensional.

Una muestra de luz blanca como la luz del día puede ser comparada visualmente a una mezcla de tres componentes: rojo, verde y azul. El ajuste de estos tres componentes homogéneos, de longitud de onda específicos resultan en la luz blanca. A esto se debe que la visión normal de los colores sea considerada tricromática.

La percepción del color en un observador es una función de la calidad física de la luz, de los procesos fisiológicos de la retina y el cerebro, y de la interpretación psicológica de la respuesta fisiológica modificada en cierta manera por la asociación con otras características de la sensación visual. En esa secuencia la percepción última es mentalmente proyectada al mundo y vista como una propiedad del objeto externo.

ANATOMIA Y FISILOGIA DE LA VISION DE LOS COLORES

La importancia de la luz para el hombre reside en el hecho de poseer un órgano capaz de reaccionar a los rayos luminosos.

La luz es admitida en el interior del ojo a través de la córnea, un segmento transparente de forma semejante a la parte de una esfera. La refracción que tiene lugar en la córnea, combinada al poder refractario adicional del cristalino, es suficiente para focalizar la luz en la capa más interna del globo ocular. Frente a la superficie anterior del cristalino se encuentra el iris, una membrana fibrosa con una abertura central circular (la pupila) que se contrae o se dilata según la cantidad de luz incidente en el ojo, compensando en cierta forma los cambios bruscos de iluminación.

La capa del ojo sensible a la luz es la retina, que es la capa más interna del globo ocular. Está constituida por varias capas: una de células epiteliales que contienen un pigmento oscuro, la melanina; una capa receptora compuesta de células sensoriales fotorreceptoras de dos tipos: los bastoncillos y los conos; una capa de células bipolares y una capa de células ganglionares.

La imagen en la retina consiste en un modelo de flujo radiante de densidad variable. La reacción inicial en la retina es fotoquímica. Los bastoncillos y los conos, que absorben una parte de este flujo radiante, permiten que esta imagen sea transformada en un modelo de actividad nerviosa.

Los elementos visuales se unen por medio de sinapsis con las dendritas de las células de la capa siguiente, constituida por células nerviosas bipolares, que a su vez, por medio de sus cortos axones transmiten las impulsiones nerviosas recibidas por las células visuales, a la capa de células ganglionares, cuyos axones son las fibras que componen el nervio óptico, el cual dirige la información al cerebro.

En condiciones ambientes a débil iluminación, condición scotópica, son los bastoncillos los que juegan el rol principal. Son los responsables de la visión de luminosidades, o sea de la capacidad de distinguir las placas luminosas según su claridad. Son sensibles a la percepción de los colores acromáticos: blanco, gris y negro.

Los conos son los receptores principales de los estímulos a fuerte intensidad, condición fotópica (luz del día o iluminación muy intensa). Son los responsables de la apreciación de las diferentes longitudes de onda de la luz, por lo tanto de la visión de los colores.

Observamos entonces que la diferencia más importante entre los conos y los bastoncillos reside en la sensibilidad espectral. Esto puede ser registrado al encontrar la energía requerida para cada longitud de onda en el espectro visible para producir una respuesta a una magnitud constante. Se supone que la forma de la curva de sensibilidad está determinada esencialmente por la curva de absorción de la sustancia fotoquímica secretada por los receptores.

El pigmento retiniano de los bastoncillos es la rodopsina. La curva de sensibilidad visual en condición scotópica. Para los conos obtenemos tres tipos de información independientes (claro-oscuro, rojo-verde y azul-amarillo). Parece que existen tres tipos de pigmentos: uno sensible a las longitudes de ondas largas (ro-

jo), otro a las longitudes de ondas medianas (verde) y el último a las longitudes de ondas cortas (azul). Las curvas de respuesta se intercalan parcialmente.

Una de las tareas principales de la retina es la de unir los conos vecinos para que una vez que la retina sea estimulada pueda producir un color uniforme. Las condiciones requeridas para producir ese resultado son desconocidas. La calidad de la sensación cromática está ampliamente determinada por las magnitudes de los tres estímulos.

PROCESO DE LA PERCEPCION DEL COLOR

La percepción de los colores es un proceso complejo, cuya secuencia es la siguiente: 1) la energía radiante de una fuente luminosa (el sol, por ejemplo) cae sobre un objeto, 2) también sobre el medio que lo rodea y una parte de esta energía es reflejada hacia el ojo del observador, 3) forma en la retina una configuración de energía radiante, 4) los elementos retinianos captan selectivamente los componentes espectrales del flujo radiante. Una parte de esta energía es absorbida por los pigmentos fotosensibles de la retina: los conos y los bastoncillos. Esta energía provoca el desarrollo de una configuración de impulsos nerviosos, primeramente en las fibras del nervio óptico, las cuales encuentran su camino por las sinapsis; luego en el lóbulo occipital de la corteza cerebral, 5) terminando en las actividades nerviosas que controlan la acción de los músculos y de las glándulas del observador. 6) El desarrollo último de este mecanismo es la apreciación subjetiva que culmina en la percepción de los colores, que concierne en consecuencia al aspecto psicológico. La percepción final de un color es la consecuencia de un camino complejo que en condiciones normales provoca una unidad en la naturaleza de la percepción del color.

La visión normal de los colores es llamada tricromatismo porque es necesaria una combinación apropiada de tres estímulos para provocar una sensación cromática particular. En cambio en el caso de un sistema deficiente como el dicromatismo sólo dos estímulos son suficientes y en el monocromatismo sólo un estímulo es necesario. En una tricomasia anormal tres estímulos son necesarios, pero las combinaciones resultantes dan una escala de variación cromática diferente a la de la visión normal.

ANOMALIAS DE LA VISION CROMATICA

Las anomalías *adquiridas* de la visión de los colores son a menudo de carácter progresivo, más temporarias e inestables que las anomalías congénitas. Aquéllas pueden surgir luego de un envenenamiento con plomo o con una droga, por perturbaciones del sistema nervioso central, por lesiones en el cerebro, por carencia de ciertas vitaminas o como resultado de una enfermedad hereditaria.

Las anomalías *hereditarias* son de diversos tipos: acromasia, acromasia atípica, dicromasia (protanopia, deuteranopia, tritanopia, tetranopia) y tricomasias anormales (deuteranomalia, protanomalia, titranomalia, tetranomalia).

1) *Acromasia o monocromatismo*: Es una anomalía hereditaria de tipo recesivo simple y se atribuye a una ausencia completa del funcionamiento del meca-

nismo retinal de los conos. Los sujetos que la padecen no perciben ningún color, solamente sensaciones de diferencia de luminosidad. Es una condición muy rara y está acompañada de otros problemas tales como agudeza visual débil y fotofobia.

2) *Acromasia atípica*: Es muy poco frecuente y parecería estar ligada al sexo. La parte atacada no es la retina sino los centros cerebrales.

3) *Dicromasia*: La característica de esta anomalía es una confusión de las principales tonalidades cromáticas. La mayoría de los colores que son perceptibles para los tricromates normales lo son también para los dicromates. Sin embargo estos últimos no distinguen en el espectro más que dos zonas cromáticas. Se conocen varios tipos:

a) *Protanopia*: Los protanopes ven su espectro disminuido en las ondas largas, o sea el rojo, y tienen además una disminución notable en la percepción de la luminosidad.

b) *Deuteranopia*: En realidad se trata de una ceguera completa al rojo y al verde. Las solas sensaciones cromáticas que perciben los deuteranopes son las distintas saturaciones del azul y amarillo. Aquí la curva de sensibilidad es igual a la de los sujetos normales.

c) *Tritanopia*: Es un caso de dicromasia muy raro. La discriminación en la región azul-verde está alterada por una disminución perceptiva del espectro correspondiente a las ondas cortas.

d) *Tetranopia*: Es una ceguera al azul y al amarillo. Aparentemente esta condición es extremadamente rara.

4) *Tricromasia anormal*: Es el tipo de anomalía más frecuente y la menos severa. Las distintas variaciones pueden ordenarse en una escala continua de los casos más extremos a los casos más leves de afectación (esta clasificación es posible solo si se utiliza el anomaloscopio). Existen los siguientes tipos:

a) *Protanomalia*: El máximo de sensibilidad espectral está desplazado hacia las ondas cortas con poca sensibilidad al rojo. La frecuencia en la población mundial es de 1 %.

b) *Deuteranomalia*: Manifiesta una reducción al verde. Es la anomalía más frecuente, con un incidencia en la población mundial del 5 %.

c) *Titanomalia*: Presenta una disminución de la sensibilidad al azul. Los casos detectados son muy raros.

d) *Tetranomalia*: Manifiesta una reducción de la sensibilidad respecto al amarillo. Es extremadamente rara.

POSIBLES FORMAS DE TRANSMISION HEREDITARIA

Los genes de los cuales dependen las dos formas principales de estas anomalías, del grupo protan (protanopia, protanomalia) y deutan (deuteranopia, deuteranomalia) se transmiten según las leyes de transmisión de un gene recesivo ligado al sexo, en el cromosoma X. La teoría más aceptada es la bilocular de Waaler-Franceschetti (1967) que considera que los genes responsables del

grupo protan-deutan están situados en dos loci diferentes. Además *Franceschetti* (1928) declaró que cada locus está constituido por una serie de alelos múltiples en orden de dominancia: por un lado la serie que va del gene normal a la protanomalia y luego a la protanopia; por otro lado el gene normal a la deuteranomalia y a la deuteranopia. La observación de casos de mujeres que llevan dos alelos para diferentes tipos de visión, uno protan y el otro deutan con una visión cromática normal, es una evidencia respecto a la hipótesis en favor de dos loci con alelismo múltiple.

Waller (1927) y *Kherumian y Pickford* (1959) han encontrado algunas alteraciones menores de la visión cromática en mujeres heterocigotas. Esto nos probaría que el gene responsable del daltonismo (anomalia tipo protan-deutan) no es totalmente recesivo y que puede provocar microsintomas. En otros casos los heterocigotas no se pueden distinguir de los homocigotas normales.

Existen casos raros de hombres hemocigotas con dos genes defectuosos en su cromosoma X. Según *Stern* (1960) los dobles hemocigotas son casos muy raros y en ellos uno de los genes ejerce un efecto epistático sobre el otro, así que una sola de las anomalías se manifiesta fenotípicamente.

Se ha constatado que en el seno de una misma familia se encuentra generalmente el mismo tipo de anomalia. La constancia intrafamiliar de la manifestación fenotípica del gene responsable está confirmada por el hecho de que los gemelos univitelinos presentan en general el mismo tipo de discromatopsia.

Respecto a las otras anomalías, el tipo de herencia es más difícil de discernir. Parece que la acromasia es de tipo autosómico recesivo y *Sloan* (1954) sugirió que la acromasia atípica es de tipo recesivo parcialmente ligado al sexo. *Kalmus* (1955) sugirió que la tritanopia puede ser debida a un gene autosómico dominante, pero *Walls y Mathews* (1952) la tratan como recesiva ligada al sexo. Por el momento se dispone de tan pocos casos que aun no es posible dar una respuesta definitiva.

HIPOTESIS RESPECTO A LAS CAUSAS DE LAS ANOMALIAS CONGENITAS

Las causas de las anomalías son muy complejas y su estudio está aun a nivel de hipótesis. Entre estas últimas se cuentan: la de pérdida, la de fusión y la de reemplazo.

1) *Pérdida*: Este mecanismo se manifiesta en los casos de dicromasias por la ausencia de uno de los pigmentos. En la protanopia el eritrolabo, o sea el pigmento rojo, estaría ausente y eso provocaría la pérdida de sensibilidad a la luz de larga longitud de onda; en la deuteranopia faltaría el pigmento verde o clorolabo (sensible a longitud de ondas medias).

2) *Fusión*: Estipula que los fotopigmentos del rojo y del verde no llegan a diferenciarse uno de otro, teniendo absorciones espectrales idénticas y relevando por lo tanto magnitudes iguales sin que interese la distribución energética espectral del estímulo. Esto provocaría la ausencia de discriminación de tonalidades en la región del rojo y del verde. Según *Pickford* (1967) la tetranopia y la tetranomalia serían defectos de este tipo.

3) *Reemplazo*: Este modelo sugiere el reemplazo en los dicromates de uno de sus pigmentos rojo o verde por otro llamado protanolabo y deutanolabo respectivamente, con una absorción del espectro que casi coincide con la del pigmento normal (*Piantanida*, 1976). Esto implicaría que la protanopia y la deuteranopia serían formas severas de la visión tricromática. El estudio de *Schreiber* y *Boyton* (1968) demostró, al examinar la capacidad de discriminación de sujetos protanos y deutanos, que los dos tipos tenían discriminación residual en la región del espectro correspondiente a las ondas largas. Esto se ha denominado "tricromasia residual".

Hecht (1941) y *Wilder* (1970) demostraron que no existe ausencia de conos en los dicromáticos, ya que estos tienen una agudeza visual igual a la de los tricromáticos normales. Los resultados de estos autores indican que la constitución del mosaico de la retina es igual en los tricromáticos normales que en los dicromáticos, pero que la de los conos verdes es más fina en los deuteranopes que en los normales. Con respecto a las tricromasias anormales, dos autores trabajando independientemente, *Rushton* (1973) y *Piantanida* (1973) midieron la sensibilidad de los fotopigmentos anormales de los protanómalos y de los deuteranómalos y encontraron que los tricromates anormales tienen dos fotopigmentos particulares: el protanolabo que reemplazaría al eritrolabo, y el deutanolabo que reemplazaría al clorolabo.

Esta última hipótesis es de gran interés y varios hechos hablan en su favor. De todas maneras una comprensión profunda del polimorfismo de la visión humana de los colores no se obtendrá, tal como lo remarca *Piantanida* (1976), hasta que las fuentes de la variabilidad de la percepción de los colores sea elucidada.

METODOS Y TECNICAS PARA DETECTAR LAS ANOMALIAS DE LA VISION DE LOS COLORES

Las anomalías de la visión de los colores tienen una incidencia suficientemente importante como para presentar un problema en cuanto a su forma de detección. En la sociedad actual se utilizan cada vez con mayor frecuencia los colores para señales de información y prevención. Además la visión normal de los colores es necesaria para el ejercicio de numerosas profesiones. Estos hechos sumados al interés de una mejor comprensión del polimorfismo humano de la visión cromática hacen que el examen del sentido cromático sea de primordial importancia.

Dentro de los distintos métodos hay algunos que son particulares a ciertas profesiones. Haremos omisión de estos y trataremos aquellos que se ocupan de la detección y de la clasificación de las deficiencias. Los principales tipos de técnicas son los siguientes:

1) *Cartones pseudoisocromáticos*

Es la clase de test más fácilmente utilizab'le y por ello quizá la de uso más frecuente. Un cartón pseudoisocromático consiste en una figura sobre un fondo,

ambos compuestos de pequeños puntos que varían irregularmente respecto a la reflectancia, a la pureza cromática y a veces también a la dimensión. La única diferencia sistemática entre los puntos de la figura y los puntos del fondo es la tonalidad. Esto permite a un individuo de visión cromática normal distinguir la figura por la diferencia en la tonalidad. La figura es un número, una letra o un dibujo determinado. Los dicromates y los tricromates anormales no siempre pueden distinguir la figura, ya que ésta difiere del fondo por la tonalidad. Ciertas placas tienen figuras que son percibidas por los dicromates y no por los sujetos de visión cromática normal.

El método de los cartones icocromáticos más antiguo es el de *Stilling* (1876) que aun se edita, utilizándose en Europa y en América Latina. Incluye placas para detectar las tritanomalías.

Los cartones de la American Optical Company (*Sloan* 1945) son muy utilizados en Occidente y permiten detectar las dicromasias.

El atlas de cartones de *Nagel*, publicado por primera vez en 1898 consiste en placas que contienen cada una un círculo de 23 puntos coloreados de tonalidades diversas, algunas con mucho y otras con poco color rojo. Se presentan las placas al sujeto examinado y se le pide señalar los puntos rojos: un solo error presupone una anomalía.

Los cartones utilizados con más frecuencia son los de *Ishihara*, *Murray* (1935), que permiten detectar las protanomalias y las deuteranomalias, pero no las tritanomalías. Semejantes a estos son los de *Dvorine*.

Existen otros atlas de cartones isocromáticos como los de *Polack*, *Rabkin* (1939), de *Boström* y *Kugelberg* (1947), de *Freeman* (1948) y el último es el del *Colegio Médico de Tokyo*. Presentan ciertas diferencias entre ellos pero están basados en el mismo principio.

Uno de los principales inconvenientes de los atlas de cartones isocromáticos es el de presentar variaciones según las distintas ediciones. Esto crea problemas cuando debemos comparar distintas poblaciones, ya que no siempre sabemos cuál fue la edición empleada.

La lectura de algunos atlas que emplean signos o números puede ser dificultosa para ciertas poblaciones sin escritura o con un sistema distinto.

La naturaleza de la iluminación es muy importante para una buena lectura. Los tests por cartones no deben realizarse bajo la luz del sol ni en habitaciones pintadas en colores vivos: en los relevamientos de campaña las condiciones de iluminación no son siempre respetadas.

Otro de los errores más comunes es el descuidar la distancia entre el sujeto examinado y el cartón: ella debe ser de un metro, lo cual no siempre es respetado.

El método de *Ishihara* es el más utilizado y según ciertos autores es el más apto para discriminar las anomalías del eje rojo-verde, aunque no nos permite distinguir entre los casos extremos y los casos leves.

2) Pruebas de discriminación de los colores

Es a esta categoría que pertenece el test más antiguo, o sea el de las lanas de *Hölmgren*, que fue utilizado en 1874 luego de una serie de accidentes de tre-

nes atribuidos a la ceguera a los colores. Dicho test consiste en hebras de lana teñidas de diversas tonalidades y el sujeto examinado debe retirar entre 8 y 10 de ellas que le parezcan tener la misma tonalidad. Tal procedimiento se repite varias veces.

Este método es muy poco utilizado actualmente, ya que no es muy eficaz. Hay tantas variaciones respecto al test original de Hölmgren que se sufre de una falta de estandarización además de habérselo criticado por detectar solamente la mitad del número total de sujetos que tenían anomalías cromáticas.

La técnica más conocida dentro de esta clase es la de *Farnsworth-Munsell* (1943) de 100 tonalidades, con sus variantes el Panel D-15 y el Analizador de la visión de los colores de Lovibond, basados en el mismo principio. El Farnsworth-Munsell de 100 tonalidades es llamado así porque se compone de una selección de 85 muestras de colores a partir de una serie de 100 tonalidades compuestas por su creador Munsell. Estas están situadas en un círculo de tonalidades, en forma equidistante y representando la visión cromática de un sujeto a visión normal con una saturación y una iluminación constantes. Es un test de ordenamiento en serie: las 85 cápsulas de colores de la escala de Munsell se sitúan sobre paneles negros con las cápsulas terminales fijas y las otras libres para ser ordenadas en gradientes de color por el sujeto examinado. Se coloca un cuarto de círculo de tonalidades sobre un panel y se procede de la misma manera con los otros tres cuartos. Cada panel es presentado en forma separada con el fin de ubicar las cápsulas siguiendo un orden según lo recién indicado. Al revés de cada cápsula hay un número y una vez ordenadas aquéllas por el sujeto examinado sus números son volcados en un diagrama polar que tiene como ángulos las tonalidades y como radios los grados de error.

Los protanopes y los deuteranopes tienen dificultades para discriminar los rojos de los amarillos verdosos y los rojos de los azules verdosos, por lo tanto son proclives a hacer transposiciones erróneas con colores en ciertas tonalidades: por un lado alrededor del amarillo y por otro alrededor del azul. Podemos observar que los tres tipos de dicromasias están caracterizados por errores en las dos regiones del diagrama, siendo diferentes para los protanopes, los deuteranopes y los titranopes. Este test permite una buena discriminación de los distintos tipos de dicromasias. Las tres clases de tricromates anormales cometen errores en la misma región que los dicromates respectivos, pero sus errores son menores. La clasificación individual de los dicromates en protanómalos, deuteranómalos y titranómalos es raramente posible.

Este método tiene el inconveniente de ser muy largo y por consiguiente no es práctico para ser utilizado cuando el número de sujetos a examinar es importante. No es muy eficaz para distinguir los individuos de visión normal de aquellos con anomalías, pero una vez que esta distinción es hecha mediante otra técnica resulta muy útil para clasificar los diferentes tipos. Una de sus ventajas es indicar con fineza la discriminación de los colores en los sujetos normales.

Estas pruebas de discriminación, particularmente el test de Farnsworth-Munsell, pueden ser de gran utilidad para detectar anomalías que pudieran influir o ser influidas en ciertas profesiones, pero llevan demasiado tiempo y son por lo tanto poco prácticas para el uso en antropología.

3) *Los anomaloscopios*

En 1881 *Rayleigh* tentó varias experiencias para detectar las anomalías de la visión cromática. Con la ayuda de un aparato de luces monocromáticas presentaba una placa amarilla (sodio de 589 μ) para que fuese igualada con otra que podía recibir simultáneamente una luz roja (litio de 671 μ) y otra luz verde (talio de 535 μ). Los sujetos examinados debían dosificar las proporciones relativas de rojo y verde: esta relación es casi siempre constante para los individuos de visión cromática normal. Los sujetos deuteranopes y los protanopes, bajo reserva de variación de luminosidad, igualan la placa amarilla con la luz roja o verde indistintamente. Contrariamente a este grupo, los protanómalos necesitan en su mezcla una mayor proporción de rojo y los deuteranómalos una mayor proporción de verde.

La construcción de los anomaloscopios se basa en esta ecuación de *Rayleigh* y por consiguiente la clasificación de los individuos en los distintos tipos de discromatopsias está hecha según la reacción a esta experiencia.

El anomaloscopio más empleado es el de *Nagel* (1907) que se construye en los establecimientos *Schmidty Haensch* (Berlín *Schöneberg*). Emplea luces espectrales con las siguientes longitudes de onda: rojo (670.8 μ), verde (546.0 μ) y amarillo (589.3 μ). El amarillo es proyectado por una hendidura, variable en su ancho para controlar la intensidad de la luz, el rojo y el verde son enviados por otras dos hendiduras, en forma tal que una es disminuida cuando otra es aumentada. El amarillo puede ser comparado con rojo puro o con verde puro o con una combinación de ambos. El modelo II del instrumento posee también un test para el verde y el azul. Este aparato es muy costoso a la vez que poco manuable debido a su peso. Además no es conveniente para tratar a los niños o los sujetos que no son muy hábiles en la observación maxweliana observación como la de un microscopio, defecto que se trata de evitar al construir nuevos anomaloscopios a visión directa).

Una nueva versión de anomaloscopio, menos costosa y de más fácil transporte, es el de *Pickford Nicholson* (1960). Este instrumento es un simple colorímetro basado en el uso de cajas que se intercalan, como lo muestra la figura I.

Al funcionar con una lámpara de 12 voltios el aparato puede ser usado con la batería de un motor de un auto, lo que constituye una ventaja si se debe estudiar una población de campaña.

Se sitúa la lámpara (A) en una pequeña caja con dos aberturas cuadradas a través de las cuales pasa luz por una hendidura que se dirige a cada una de las dos cajas intercaladas que constituye el aparato (C). Por estas cajas la luz ilumina una abertura circular de visión (D) cubierta por un vidrio ligeramente deslustrado. La abertura de visión está separada perpendicularmente por una partición entre las cajas intercaladas, de manera tal que la luz de cada caja ilumina una de las mitades del panel del vidrio deslustrado. La luz de la lámpara, a través de filtros apropiados, pasa al interior de cajoncitos deslizadores ubicados perpendicularmente. Cada uno de ellos contiene dos filtros (F), uno encima de otro separados por una tira de metal. La posición del cajoncito deslizador determina la proporción de la abertura que debe ser cubierta por cada filtro, y así controla el color del orificio de visión. Existe, además, un obturador (O) para cada abertura que se mueve en dirección horizontal y deter-

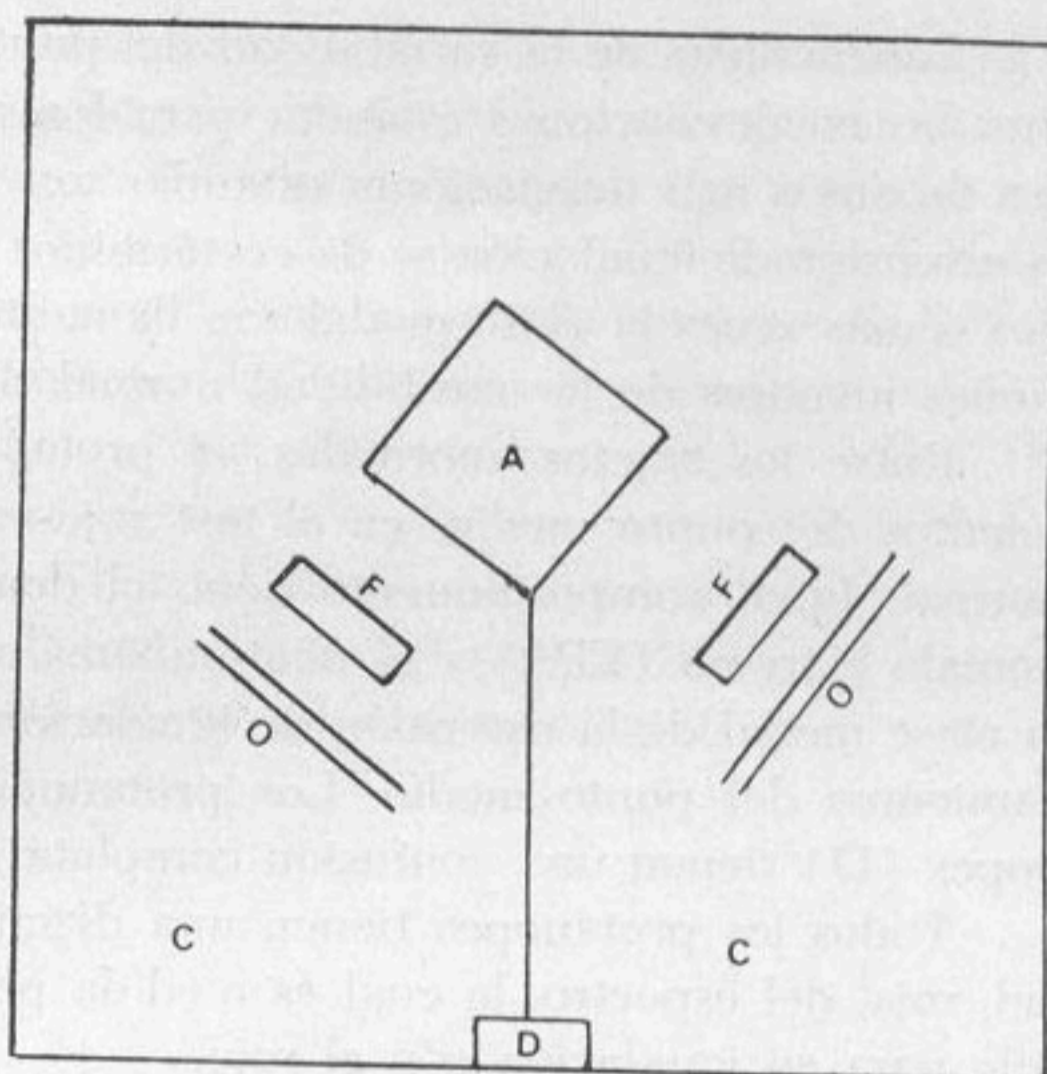


FIGURA 1: Anomaloscopio Pickford-Nicholson.

mina la intensidad de la iluminación del punto de visión sin cambiar el color de la mezcla de luz. Dos controles para los dos cajoncitos deslizadores y para los dos obturadores están situados encima del aparato y fijados a dos diales circulares. Cada contador tiene 100 divisiones arbitrarias. La escala de lectura en cada caso es de 0 a 82 unidades, divisiones suficientes para todos los usos prácticos. El aparato debe utilizarse en una habitación normalmente iluminada.

Con este instrumento se pueden obtener tres ecuaciones de color con los filtros de marca Chance Optical Glass Filters. Estas son las siguientes:

- 1) Rojo (ORI; 642 mu) + Verde (OGRL; 555 mu) = Amarillo (OY3; 585);
- 2) Verde (OGRL; 555 mu) + Azul (OBIO; 470 mu) = Azul-Verde (OB2; 495 mu);
- 3) Azul (OBIO; 470 mu) + Amarillo (OY3; 585 mu) = Neutro.

El sujeto examinado se ubica a una distancia de 0,50 m. del aparato. El examinador se sitúa a la derecha y en tanto manipula el dial con su mano derecha se ubica en una posición tal que le permita observar los colores que el sujeto examinado está comparando. Dos filtros, por ejemplo el rojo y el verde, se colocan en el cajoncito deslizador de la derecha y en el de la izquierda el filtro neutro y el amarillo. Luego se cubre la parte izquierda de la abertura con el filtro amarillo y por la parte derecha se envía el rojo o el verde. La cantidad de estos últimos colores necesaria para igualar los dos hemisferios del orificio de visión varía según el sujeto. Al mismo tiempo que se manipulan los distintos filtros hay que controlar los obturadores que determinan las diferencias de luminosidad.

Con el anomaloscopio se pueden realizar tres tests: el rojo-verde, el azul-verde y el azul-amarillo. Estos tests dan medidas sobre la visión de los colores en términos de tres variables importantes. Estas son: (1) la extensión de igualación, (2) el punto medio de igualación (ambos medidos con el cajoncito deslizador de la derecha), (3) el obscurecimiento del filtro rojo cuando éste sea requerido para el test del rojo-verde y del azul los otros dos tests (medidos con el obturador de la izquierda).

Las medidas de la variabilidad del punto medio de igualación deben ser estimadas en desviaciones estandar para los sujetos normales. Aquellos que difieren de dos o más desviaciones estandar son llamados "desviantes". La medida de la extensión de igualación se da en términos de clase modal. Aquellos que poseen dos o más veces la clase modal son llamados "débiles al color". Estas son variaciones menores de la sensibilidad normal de la visión cromática.

Entre los sujetos anormales, el protanómalo simple (PA) tiene desplazamientos del punto medio, en el test rojo-verde de cinco o más veces el sigma normal. Igual comportamiento tiene el deuteranómalo simple (DA). El protanómalo extremo (EPA) y el deuteranómalo extremo (EDA) tienen varias veces la clase modal de la extensión de igualación. Pueden o no tener amplios desplazamientos del punto medio. Los protanopes discromáticos (P) y los deuteranopes (D) tienen una confusión completa del rojo y el verde.

Todos los protanopes tienen una disminución muy marcada de la parte final, roja, del espectro, la cual es medida por un obscurecimiento del filtro amarillo para su igualación con el rojo.

Un ejemplo para el test del rojo-verde tomado de *Pickford* (1960) permitirá captar más claramente los resultados que se obtienen al utilizar el anomaloscopio Pickford-Nicholson. Se examinó una población constituida de 53 sujetos (38 hombres y 15 mujeres) con un promedio de edad de 23,5 años y una desviación estandar de 9,1 años. Por lo tanto la desviación estandar (\pm SD) se extendió de 14,4 años a 32,6 años.

Los promedios y las desviaciones estandar son las siguientes: 48 sujetos (se excluyen 3 DA, 1 EDA y 1 P).

Promedio del punto medio 37,40.

	SD 1,25			
Extensión	\pm 1	.	SD	36,15 a 38,65
	\pm 2	.	SD	34,90 a 39,90
	\pm 3	.	SD	33,65 a 41,20

Desviación al Rojo					Desviación al Verde			
> - 3 xs	- 2-3 xs	- 1-2 xs	\pm sigma		+ 1-2 xs	+ 2-3 xs	> + 3 xs	
	33,6	34,9	36,2	37,4	38,6	39,9	41,1	
0	1	6	38	2	1	4		

Test Rojo-Verde: Extensión de igualación								
1	2	3	4	5	6	7	8 +	TOTAL
15	9	13	8	3	1	1	3	

El siguiente cuadro muestra el comportamiento del punto medio y de la extensión de igualación de algunos de los sujetos examinados por *Pickford*: el 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 y 53.

Detalles respecto a los problemas y a las dificultades en la técnica y en la interpretación de los resultados se pueden encontrar en *Pickford* (1949, 1951 y 1957).

Una de las desventajas del anomaloscopio es su manejo algo complejo, ya que al mismo tiempo que se deben manipular los filtros hay que ajustar el botón correspondiente a la luminosidad. Una anomalía de visión del examinador o un mal reglaje de los botones pueden dar resultados erróneos. Pero estos inconvenientes son poco importantes con respecto a sus numerosas ventajas puesto que es la técnica más completa para detectar las anomalías y clasificarlas en sus distintos tipos, ya sea en el test rojo-verde, azul-verde o azul-amarillo. Otra característica de interés primordial reside en la captación de la variabilidad de la sensibilidad de la visión cromática normal. Todo estudio antropológico interesado en comprender el origen y la naturaleza del polimorfismo de la visión de los colores debe utilizar sistemáticamente el anomaloscopio.

4) *El test de pantalla de Rodenstock*

Este aparato ha sido recientemente diseñado y a diferencia del anomaloscopio, que requiere gran habilidad para su manejo, puede ser utilizado con facilidad. Su iluminación por una lámpara incandescente permite una independencia con respecto a la luz ambiental.

Consiste en discos intercambiables que se introducen por una ranura situada en la parte posterior del aparato. Un campo circular dividido horizontalmente es presentado simultánea y monocularmente al sujeto examinado. Estas dos hemisecciones adyacentes son idénticas para que las dos imágenes se fusionen en la retina dando una sola sensación. Estos campos circulares están montados sobre un disco rotativo que a través de seis distintas posiciones permite efectuar todas las combinaciones de colores posibles, cuyas tonalidades básicas están dadas por filtros de vidrio.

De las seis posiciones antes indicadas cinco poseen dos mitades de distinto color y solo una tiene las mitades iguales, lo que permite detectar a los sujetos que simulan. Todo lo que el observador debe hacer es decir si las mitades son distintas o no, sin referirse al color. Las placas N^o 1 o 1', 2 o 2', 3 o 3' y 5 o 5' parecen iguales a los deuteranómalos, deuteranopes, protanómalos y protanopes y los N^o 6 o 6' a los tircromates normales.

El examinador anota las respuestas y determina el tipo de anomalía basándose en una tarjeta preparada previamente y concebida sobre la clasificación hecha por el anomaloscopio de Nagel.

Las ventajas de este nuevo método son evidentes porque además de detectar anomalías de la visión de los colores puede ser utilizado para distinguir otros problemas de la visión, con la sola utilización de otro tipo de discos apropiados.

Su relación con el anomaloscopio está dada por el empleo de tarjetas basadas en la clasificación de los distintos tipos de anomalías hecha por este último. Su manejo es rápido y fácil.

La eficacia de este instrumento fue demostrada por *Guilino Wierczorck* (1975). Su mayor inconveniente es su precio elevado y no todos los laboratorios tienen la posibilidad de adquirirlo.

PERSPECTIVAS ANTROPOLOGICAS

La detección de las anomalías de la visión cromática es de gran interés para el estudio de la dinámica de las poblaciones y el mejor conocimiento del polimorfismo humano.

Como lo dice *Post* (1962) las deficiencias de la visión de los colores merece más atención en tanto que rasgo genético para el estudio de una población y de la variabilidad en las diversas poblaciones del mundo, a juzgar por los pocos datos en la literatura antropológica y de la genética humana.

En las distintas poblaciones del mundo encontramos gran variabilidad con respecto a las frecuencias de los distintos tipos de anomalías del eje protan-deutan. *Post* analiza las frecuencias de las anomalías rojo-verde (sin distinción en los diversos tipos) y observa que las frecuencias más elevadas se encuentran en las poblaciones europeas y en aquellas cuyo nivel de civilización es más antiguo, y las más bajas en poblaciones cuyo modo de vida es de tipo cazador-colector, como los aborígenes de Australia y de América. A partir de esta observación *Post* emite la hipótesis que va en favor de una relajación de la selección en los pueblos más civilizados respecto a las anomalías de la visión cromática.

Post divide las poblaciones mundiales en tres grupos según el modo de vida: A) cazador-colector; B) intermedios entre A y C; C) poblaciones muy alejadas de la caza en tiempo o habitat. Los promedios de las frecuencias de los alelos defectuosos en los tres grupos A, B, y C son respectivamente 0,020, 0,032 y 0,051. Estas diferencias significativas entre los promedios apoyarían su hipótesis.

Los argumentos para esta hipótesis son, según *Post*, razonables a pesar de no haber sido probados. En una economía basada en la caza y la recolección una anomalía cromática sería un defecto grave que podría tener consecuencias desfavorables para la supervivencia. Para recoger los frutos, para distinguir un animal en un bosque, para orientarse en la selva, etc., es imprescindible una buena percepción de los colores. *Post* (1971) señala que se constatan un mayor número de accidentes de caza en los individuos que acusan defectos de la visión cromática. En las sociedades "primitivas" los cazadores y los guerreros más competentes eran frecuentemente recompensados por un mayor número de mujeres (*Neel y al.* 1964).

Esta hipótesis de una relajación de la selección en los pueblos más "civilizados" es muy interesante, pero se necesitan más pruebas para aceptarla plenamente. El gran inconveniente reside en el hecho que el estudio de las anomalías cromáticas fue realizado esencialmente a partir del atlas de *Ishihara* y solo unas pocas a partir del anomaloscopio, como lo testimonian los trabajos de *Adam y al.* (1967), *De Vries de Mol E. y Went L.* (1978), *Iinuma I. y Handa Y.* (1972) y *Cruz-Coke R. y Barrera R.* (1969). Sabemos que sólo el anomaloscopio permite distinguir los distintos tipos de anomalías (y no sólo las del eje rojo-verde) y sus diversos grados. Como lo señala *Picford* sería interesante comprobar y profundizar la hipótesis de *Post* por el estudio de las frecuencias relativas de los distintos tipos de anomalías en poblaciones de cazadores, agricultores y en la sociedad urbana. Para ello sería indispensable la utilización del anomaloscopio.

Adam y al. (1967) señala además que la variabilidad de las frecuencias observadas en las poblaciones "civilizadas puede ser una señal que la diferen-

cia racial o étnico-genética (y no solo el modo de vida) pueda tener un rol importante también.

El estudio de las distintas hipótesis conduce a un mayor cuestionamiento y comprobamos que la utilización de una metodología más avanzada nos permitirá profundizar sobre la problemática de la visión cromática.

RESULTADOS DE NUESTRA INVESTIGACION DE LA POBLACION DE CHATEAUPONSAC (FRANCIA)

Hemos realizado el análisis de los datos obtenidos por medio del anomaloscopio de una población que se encuentra en las cercanías de Limoges, Francia. Nuestro estudio forma parte de un programa de investigación que se lleva a cabo por el equipo de Ecología Humana de la Universidad de París VII dirigido por Jean *Hiernaux* y Emile *Crognier*. La investigación se dirige a una comprensión de las incidencias biológicas y psicológicas de los cambios sociales como consecuencia del éxodo rural. Esta población rural típica del centro de Francia, cantón de Chateauponsac presenta los caracteres requeridos.

La encuesta se realiza todos los años a partir de 1975 recogiendo los datos sobre los distintos exámenes antropobiológicos hechos en los niños de todos los establecimientos escolares del cantón. Para cada niño existe una ficha que comprende los caracteres antropométricos, los datos sobre las anomalías de los colores, la lateralidad, la fuerza muscular, la audición, la edad de aparición de la menarca, la profesión de los padres y la talla de la familia.

Hemos realizado el examen de la visión cromática de todos los niños del cantón con el anomaloscopio de Pickford-Nicholson (1960). Para el test rojo-verde la muestra corresponde aproximadamente a toda la población; para el test verde-azul la muestra es más reducida y es muy pequeña para el azul-amarillo ya que este test se comenzó más tarde.

Los niños fueron examinados tres veces por lo cual se tomó como medida definitiva el promedio de los tres para cada test.

El interés de nuestro estudio (diferencia de casi todos los realizados hasta ahora) reside en el análisis intensivo de la variabilidad de la visión cromática; o sea que a un análisis cualitativo (tipos de anomalías) le hemos agregado un análisis cuantitativo (comportamiento de la visión cromática normal). Deseamos conocer si existe una relación entre factores como: edad, sexo, las relaciones entre los distintos miembros de una misma familia, con los caracteres que definen la variabilidad de la visión de los colores.

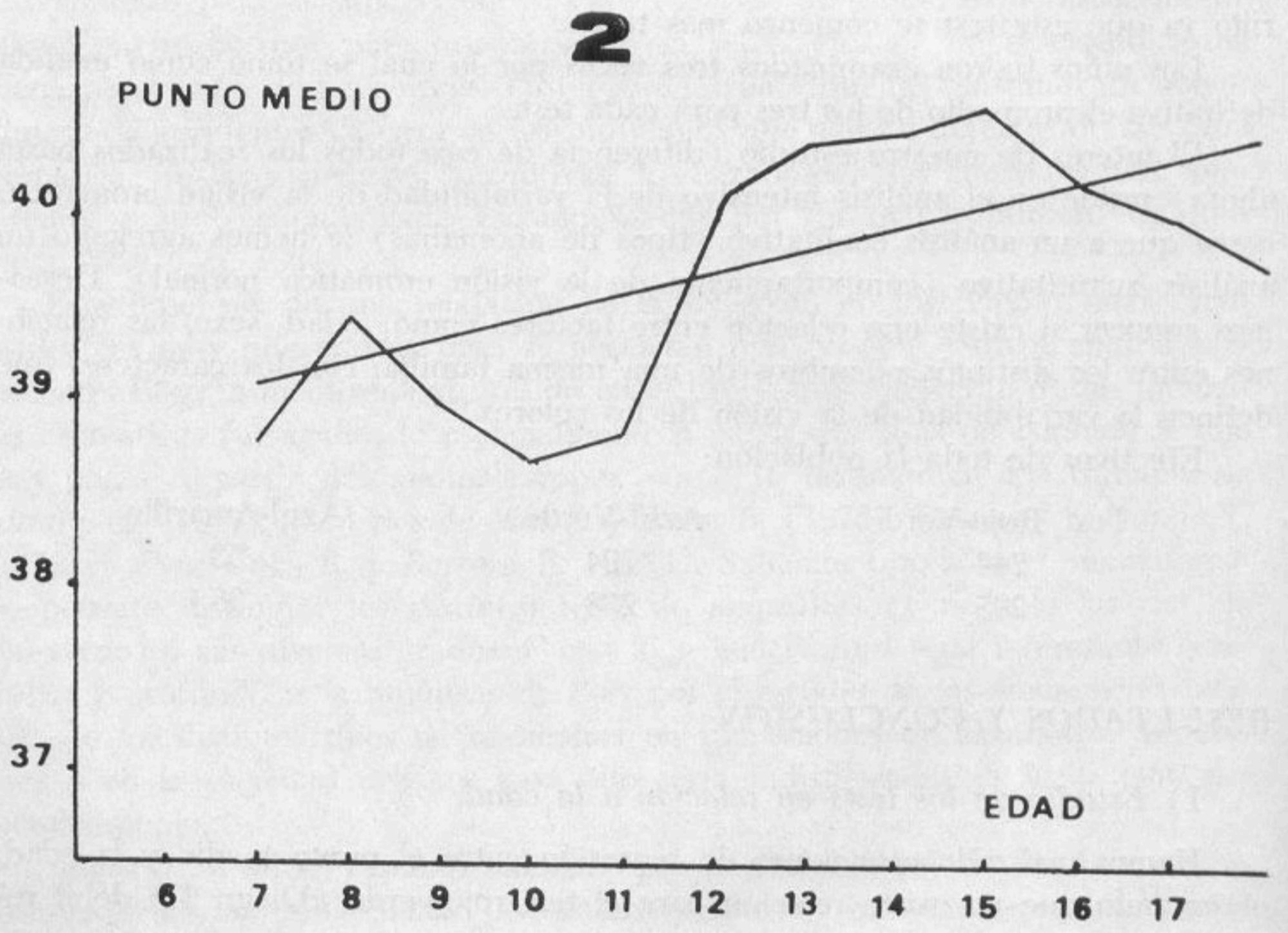
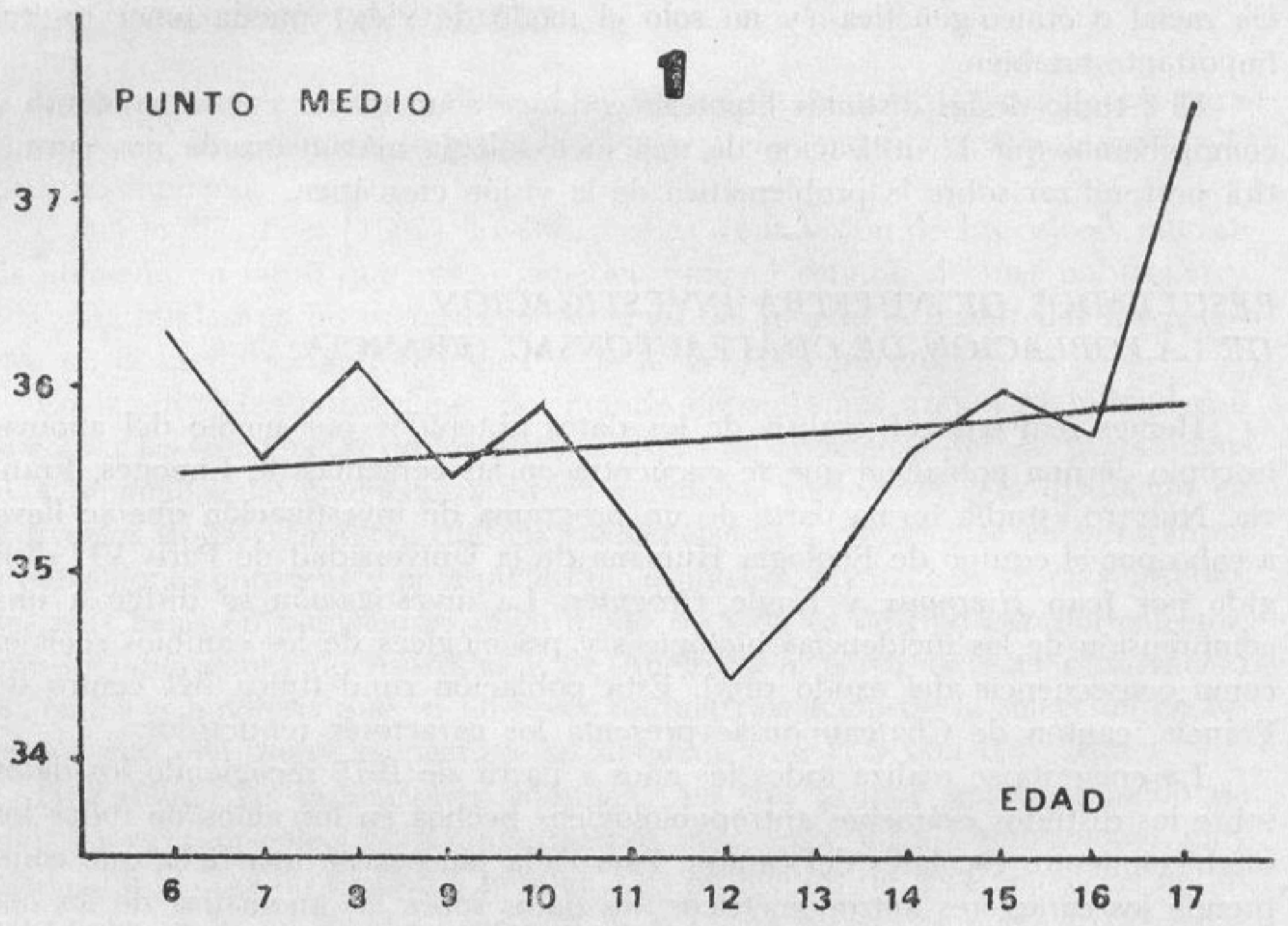
Efectivos de toda la población:

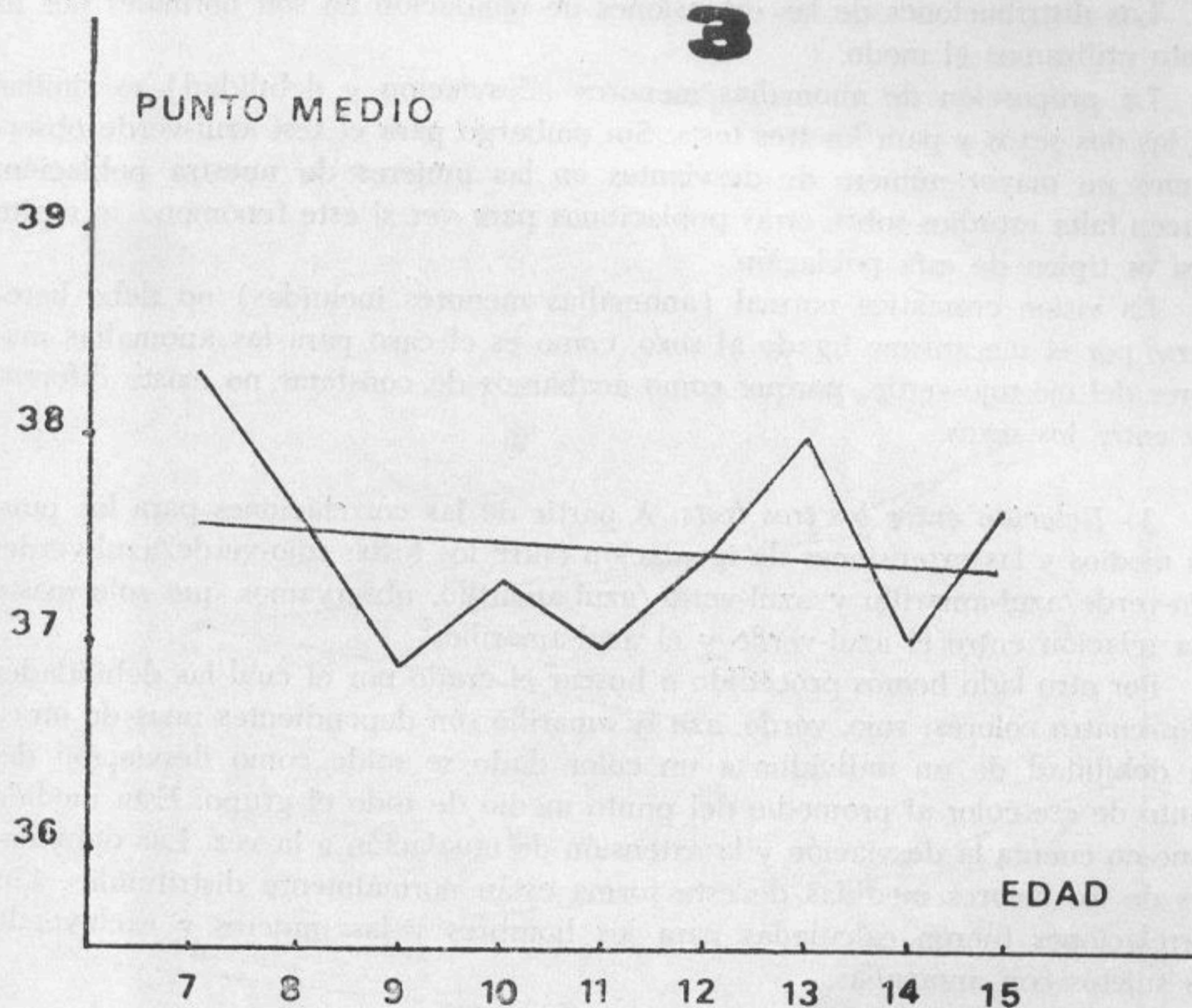
Test Rojo-Verde	Azul-Verde	Azul-Amarillo
244	194	53
295	238	38

RESULTADOS Y CONCLUSION

1) Estudio de los tests en relación a la edad:

Hemos realizado ecuaciones de regresión entre el punto medio y la edad, observando que no existe relación para el test rojo-verde (Diagr. I); débil re-





DIAGRAMAS 1/3: 1: Test Rojo-Verde. Población total Regresión, edad, punto medio. 2: Test Verde-Azul. Población total. Regresión, edad, punto medio. 3: Test Azul-Amarillo. Población total. Regresión, edad, punto medio.

lación, significativa al 1 % para el verde-azul (Diagr. 2) y ausencia de relación para el test azul-amarillo (Diagr. 3). El análisis de la población separada por sexos da los mismos resultados. Concluimos entonces que la edad (entre 6 y 18 años) no tiene efecto modificador.

2) Estudio de las distribuciones del punto medio y de la extensión de igualación en cada sexo:

La distribución de las curvas del punto medio es similar en los dos sexos para los tricromates normales. (Diagr. 4, 5 y 6). Las distribuciones del punto medio son normales: $X = 35,25 \pm 2,66$ hombres y $X = 35,61 \pm 2,50$ mujeres para el test rojo-verde; $X = 39,72 \pm 1,85$ hombres y $X = 39,84 \pm 1,55$ mujeres para el verde-azul y $X = 37,52 \pm 1,70$ hombres y $37,57 \pm 1,37$ mujeres para el azul-amarillo.

La comparación entre los dos sexos fue hecha por el análisis de varianza y el test. Los resultados observados son no significativos: R-V $t = 1,61$ $F = 2,61$ $n = 539$; V-A $t = 0,73$ $F = 0,54$ $n = 432$ y A-A $t = 0,16$ $n = 91$. El sexo no tiene un rol modificador.

Las distribuciones de las extensiones de igualación no son normales por lo tanto utilizamos el modo.

La proporción de anomalías menores (desviación y debilidad) es similar en los dos sexos y para los tres tests. Sin embargo para el test azul-verde observamos un mayor número de desviantes en las mujeres de nuestra población. Hacen falta estudios sobre otras poblaciones para ver si este fenómeno se repite o si es típico de esta población.

La visión cromática normal (anomalías menores incluidas) no debe heredarse por el mecanismo ligado al sexo, como es el caso para las anomalías mayores del eje rojo-verde, porque como acabamos de constatar no existe diferencia entre los sexos.

3) *Relación entre los tres tests:* A partir de las correlaciones para los puntos medios y las extensiones de igualación entre los tests: rojo-verde/azul-verde; rojo-verde/azul-amarillo y azul-verde/azul-amarillo, observamos que solo existe una relación entre el azul-verde y el azul-amarillo.

Por otro lado hemos procedido a buscar el grado por el cual las debilidades a los cuatro colores: rojo, verde, azul y amarillo son dependientes unas de otras. La debilidad de un individuo a un color dado se mide como desviación del punto de ese color al promedio del punto medio de todo el grupo. Esta medida tiene en cuenta la desviación y la extensión de igualación a la vez. Las debilidades de los colores medidas de esta forma están normalmente distribuidas. Las correlaciones fueron calculadas para los hombres y las mujeres y excluyendo los sujetos con anomalías.

Hombres: rojo y verde = 0,27 n = 244 r = sig.

azul-amarillo = 0,62 n = 53 r = sig.

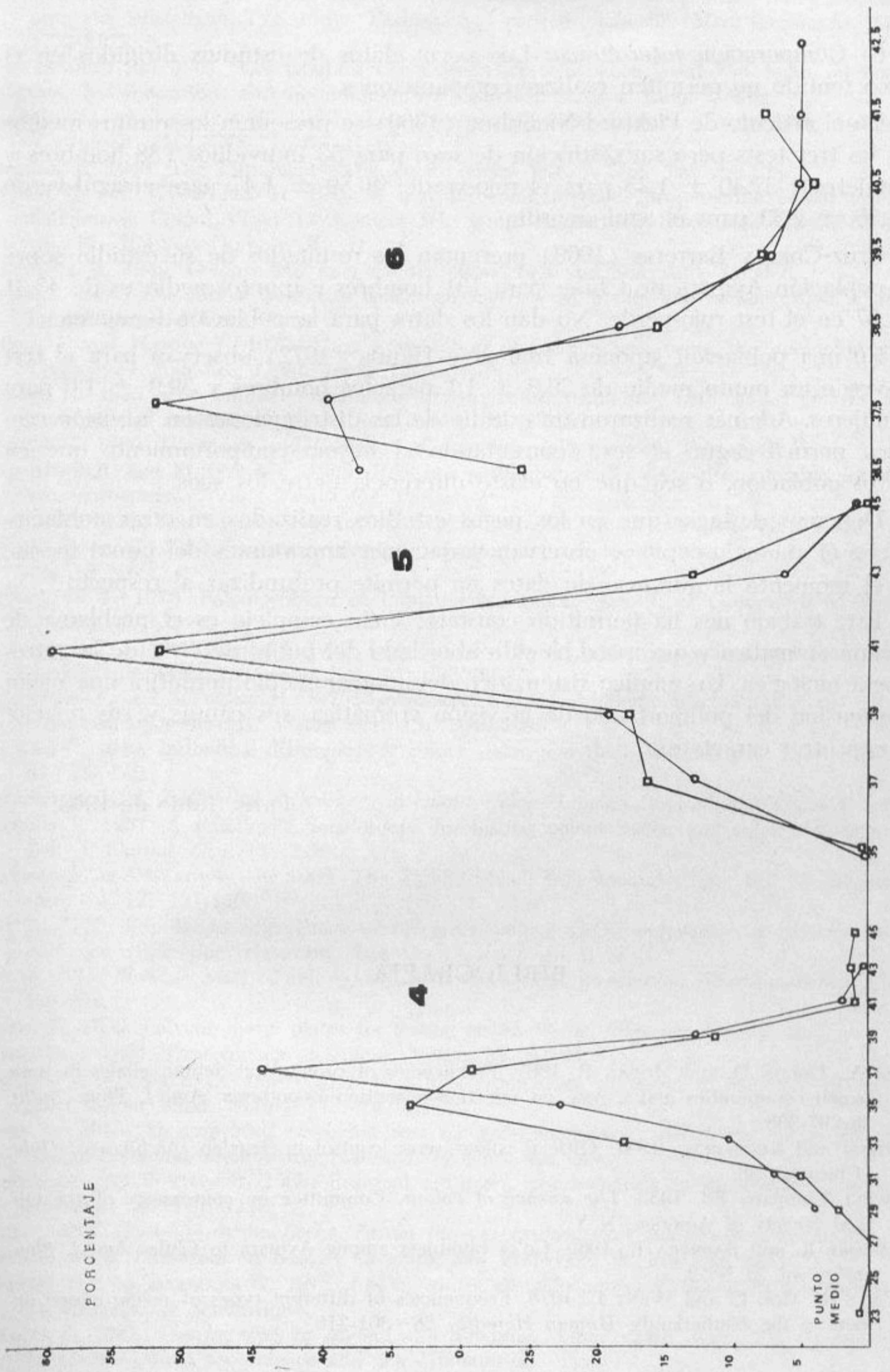
Mujeres: rojo y verde = 0,27 n = 295 r = sig.

azul-amarillo = 0,73 n = 38 r = sig.

Las correlaciones entre los otros colores no son significativas. Comprobamos entonces que los colores rojo y verde y azul y amarillo están correlacionados. Esta constatación apoya la teoría de la visión de los colores de Hering, quien considera que la percepción última del color corresponde a pares opuestos azul-amarillo y rojo-verde.

4) *Correlaciones intrafamiliares:* Fueron realizadas entre hermanos y hermanas. Ninguna deducción genética neta puede obtenerse a partir de estos resultados. Esto parece estar ligado al pequeño número de grados de libertad y al hecho de que la falta de otros datos no hayan permitido ningún otro tipo de correlación intrafamiliar.

5) *Análisis cualitativo:* Los defectos mayores de la visión cromática se observan únicamente en la población masculina en el eje rojo-verde con una frecuencia de 1,61 % de la población. Existe un sujeto deuteranopo (0,40 %), dos sujetos deuteranomalos extremos (0,81 %) y un sujeto protanomalo extremo (0,40 %). Las frecuencias son muy bajas con respecto a lo que deberíamos esperar en el caso de una población europea. Esto puede deberse al hecho de la endogamia relativa de la población.



DIAGRAMAS 4/6: 4: Test rojo - verde, porcentaje de incidencia. 5: Test verde - azul, porcentaje de incidencia. 6: Test azul - amarillo, porcentaje de incidencia.
 Referencia: El círculo indica mujeres, el cuadrado hombres.

Respecto a las anomalías menores cabe destacar que existen numerosos casos de sujetos con anomalías menores que tienen hermanos o hermanas como ellos a pesar de que no sean del mismo tipo.

6) *Comparación inter-étnica*: Los pocos datos de estudios dirigidos en el mismo sentido no permiten realizar comparaciones.

En el artículo de Pickford-Nicholson (1960) se presentan los puntos medios para los tres tests pero sin distinción de sexo para 53 individuos (38 hombres y 15 mujeres): $37,40 \pm 1,25$ para el rojo-verde; $46,89 \pm 1,47$ para el azul-verde y $38,56 \pm 2,33$ para el azul-amarillo.

Cruz-Coke y Barreras (1969) presentan los resultados de su estudio sobre una población Aymara de Chile: para 131 hombres el punto medio es de $43,31 \pm 1,67$ en el test rojo-verde. No dan los datos para la población femenina.

En una población japonesa Iinuma y Handa (1972) observan para el test rojo-verde un punto medio de $39,9 \pm 1,1$ para los hombres y $39,9 \pm 1,0$ para las mujeres. Además realizaron un estudio de las distribuciones en la visión cromática normal según el sexo, constatando el mismo comportamiento que en nuestra población, o sea que no existe diferencia entre los sexos.

Debemos destacar que en los pocos estudios realizados en otras poblaciones con el anomaloscopio se observan variaciones importantes del punto medio. Por el momento la ausencia de datos no permite profundizar al respecto *.

Este trabajo nos ha permitido constatar cuán complejo es el problema de la visión cromática y que poco ha sido abordado del punto de vista de la antropología biológica. Un empleo sistemático del anomaloscopio permitirá una mejor comprensión del polimorfismo de la visión cromática, sus causas y sus relaciones con otros caracteres.

París, Junio de 1983.

BIBLIOGRAFIA

- ADAM A., DORON D. and MODAN R. 1967. Frecuencias of protan and deutan alleles in some Israeli communities and a note on selection-relaxation hypothesis. *Am. J. Phys. Anthr.* 26:297-306.
- BOSTROM and KUGELBERG. 1947. Official colour sense control in Sweden. *Archives of Opt.* (Chicago) 38.
- CROWELL Company Ed. 1953. *The science of colour*. Committee on colorimetry of the Optical Society of América. N. Y.
- CRUZ-COKE R. and BARRERA R. 1969. Co'lor blindness among Aymara in Chile. *Am. J. Phys. anthr.* vol. 31 N° 2.
- DE VRIES de MOL E. and WENT L. 1978. Frequencies of different types of colour vision defects in the Netherlands. *Human Heredity* 28: 301-316.

* Este estudio corresponde a la tesis realizada por nosotros para la tesis del doctorado de 3er. ciclo presentado el 27 de junio de 1983 en la Universidad de París VII.

- FARNSWORTH. 1943. The Farnsworth-Munsell 100 hue and dichotomus test for colour vision. *J. Opt. Soc. Am.* 33.
- FRANCESCHETTI A. 1928. Die bedeutung der einstellungsbreite am Anamoloskop für die Diagnose der einzelnen Typen der Farbensinnotörungen. *Schweiz. Med. Wochschr.* 52: 2173-2179.
- FRANCESCHETTI A. 1967. Les troubles congénitaux du sens chromatique et leurs relations avec les aberrations chromosomiques. *De Genetica Medica*. Luigi Gedda.
- FRANCOIS G. et VERRIEST G. 1957. Les dyschromatopsies acquises. *Extrait des Annales d'occuliste*. t. CLXXX N° 10: 11-12.
- FREEMAN E. 1948. The Illuminant stable colour vision test. *J. Opt. Soc. Am.* 38.
- GUILINO G. and WIECZOREK H. 1976. A new screening method for detecting colour vision deficiencies. Colour Vision Deficiencies III. Symp. Amsterdam 1975. *Mod. Probl. Opht.* vol. 17: 204-210 (Karger, Basel).
- HARTRIDGE H. 1949. *Colours and how we see them*. Bell and Sons Ltd. London.
- HECHT S. 1931. *The retinal processes concerned with visual acuity and colour vision*. Cambridge. Harvard Univ. Press.
- IINUMA I. and HANDA Y. 1972. Mass examination of color sense, using the anomaloscope (Japanese) *Acta Soc. Opht. Jap.*
- KALMUS H. 1955. The familial distribution of congenital tritanopia, with some remarks on some similar conditions. *Ann. Hum. Genet.* 20: 33-56.
- KALMUS H. 1965. *Diagnosis and Genetics of defective colour vision*. Pergamon Press.
- KHERUMIAN R. and PICKFORD R. 1959. *Hérédité et fréquence des anomalies congénitales du sens chromatique*. Vigot Freres Ed. Paris.
- MURRAY E. 1935. The Ishihara test for colourblindness. *Am. Jour. of Psych.* 47: 551-13.
- NEEL J. POST. R. 1963. Transitive positive selection for colorblindness. *Eugenics Quaterly* vol. 10 N° 1.
- PIANTAN/DA T. 1976. Polymorphism of human color vision. *Am. J. of Optometry & Phys. Optics*. vol. 53.
- PIANTANIDA T. and SPERLING H. 1973. Isolation of a third chromatic mechanism in the protanomalous observers. *Vision Res.* 13: 2033-2047.
- PIANTANIDA T. and SPERLING H. 1973. Isolation of a third chromatic mechanism in the deuteranomalous observers. *Vision Res.* 13: 2049-2058.
- PICKFORD R. 1949. Individual differences in colour vision and their measurement. *J. of Psych.* 27: 153-202.
- PICKFORD R. 1951. *Individual differences in colour vision*. London Routledge & Kegan P. ed.
- PICKFORD R. 1957. A practical anomaloscope for testing colour vision and colour blindness. *Brit. J. Physiol. Opt.* 14: 2-26.
- PICKFORD R. and LAKOWSKI R. 1960. The Pickford-Nicholson anomaloscope. *Brit. J. Physiol. Opt.* vol. 17: 131-150.
- POST R. 1962. Population differences in red-green colour vision deficiency: a review and query on a selection relaxation. *Eugenics Quaterly* vol. 9 N° 3.
- POST R. 1971. Possible cases of relaxed selection in civilised populations. *Humangenetick* 13: 253-284.
- RABKIN E. 1939. Polychromatic plates for testing colour vision. *Ukranian Ophtal. Inst.*
- RAYLEIGH J. 1881. Experiments on colour. *Nature* 25: 64-66.
- RUSHTON W., POWELL D. and WHITE W. 1973. Anomalous pigments in the eyes of red-green colour blind. *Nature* 243: 167-68.
- SLOAN L. 1945. An improved screening test for red-green colour deficiency composed of available pseud-isochromatic plates. *J. of Opt. Soc. Am.*
- SCHREIBNER and BOYTON R. 1968. Residual red-green discrimination in dichromats. *J. Opt. Soc. Am.* 58: 1151-1158.
- STILING. 1876. *Pseudo-isocromatische Tafeln für die Prüfung des Fabernsines*. Strasbourg.
- STERN C. 1960. *Principles on Human Genetics*. San Francisco. W. Freeman and CO.
- VERRIEST G. and HERMANS G. 1975. *Les aptitudes visuelles professionnelles*. Brux Imprimerie Medicale et Scientifique.
- WAALER G. 1967. *The heredity of normal and defective colour vision*. Oslo. The Norvagian Research Council for Science and the Humanities.
- WALLS G. and MATHEWS R. 1952. *New means of studing color blindness and the normal foveal color vision*. Univ. of California Pub. in Psychol. vol. 7 N° 1: 1-172.
- WILDER D. 1970. The photopic spectral sensitivity of color normal, protanopic and deuteranopic observers. *Dis. Abs.* 31: (4-B): 2333-2334.