

EL DALTONISME

Una manera diferent de veure les coses



Bru Trabal Marfany

2n de batxillerat

IES Joan Brossa

18/01/11

BARCELONA

Tutors: Josep Illa, Pilar Godínez i Carmen Uroz

El color no es un asunto trivial, sino algo que ha suscitado durante cientos de años una apasionada curiosidad entre los más grandes artistas, filósofos y científicos de la naturaleza [...] Y sin embargo muchos de nosotros no reparamos ni una sola vez en toda nuestra vida en su gran misterio.

Oliver Sacks

People only see what they are prepared to see.

Ralph Waldo Emerson

Vull agrair aquest treball al meu tutor Josep Illa que encara que és professor de català i no és expert en discromatòpsies m'ha ajudat molt.

També a les meves tutores d'òptica, Pilar Godínez i Carmen Uroz que m'han proporcionat molt bona informació i savis consells.

Finalment agrair als meus pares l'esforç que han dedicat en suportar-me aquests dies de gran estrès, i que m'han donat l'empenta necessària sempre que ha calgut .

Índex

0.Introducció	3
1. Part teòrica	5
1.1 INTRODUCCIÓ A LA PART TEÒRICA	6
1.2 FONAMENTS ANATÒMICS	8
1.2.1 El sistema nerviós	8
-Parts i funcions	8
-Parts del cervell que influeixen en la interpretació de la imatge	10
1.2.2 L'ull	12
-Globus ocular	12
-Sistema nerviós ocular	20
-Elements que actuen en la diferenciació dels colors	22
*Espectre electromagnètic	22
*Fotoreceptors	26
1.2.3 Procés visual	34
-Medis òptics	34
-Fototransducció	35
-Interpretació de la imatge al cervell	36
1.3 PATOLOGIA: EL DALTONISME	37
1.3.1 Descripció de l'anomalia	37
-Etimologia	37

- És una malaltia?	38
-Les discromatòpsies	38
1.3.2 El factor hereditari	51
- Lleis de Mendel	51
- Teoria cromosòmica de l'herència	54
- El daltonisme com a anomalia hereditària	55
1.3.3 Aspectes culturals	58
-Avantatges i inconvenients del daltonisme	58
-Té cura el daltonisme?	62
-Tests de detecció	64
2. Part Pràctica	67
2.1 INTRODUCCIÓ A LA PART PRÀCTICA	68
2.2 PROCEDIMENT	70
2.2.1 Passar el test a l'institut	71
2.2.2 Recollida de dades	74
2.2.3 Confirmació de discromatops	77
2.2.4 Comparació dels percentatges de daltonians	84
2.2.5 Passar l'enquesta als daltonians	87
3. Conclusions	90
4. Bibliografia	92

0. Introducció

L'única cosa que tenia clara sobre el meu futur treball de recerca era que volia que fos sobre biologia. De seguida em va venir al cap el tema del daltonisme. Les raons són obvies: de ben petit dibuixava les cares dels meus pares de color verd, alguna girafa de color marró i confonia sovint el blau i el lila. Causa de totes aquestes accions absurdes? Soc daltonià.

Si he de ser sincer el primer cop que hi vaig pensar, de seguida vaig descartar el tema del daltonisme. Pensava que ja ho sabia tot sobre aquesta anomalia i tampoc sabia per on encarar-ne un possible treball. En canvi tenia altres idees que m'interessaven més com el projecte del genoma humà o el tema de les cèl·lules mare i les clonacions. Vaig parlar amb la meua professora de biologia Marisa Asensio, i li vaig proposar els diversos temes. Resumint, em va baixar dels núvols. Totes les maneres com havia enfocat les diferents propostes eren inviabilitats i massa complicades. En canvi va veure molt possible el treball sobre el daltonisme i em va indicar per on podia aprofundir.

Aleshores vaig començar a buscar informació sobre el daltonisme i vaig veure que era un tema més complex del que em pensava. Realment només sabia que era una anomalia que feia confondre els colors. Però no sabia quina era la seva causa, quins tipus de daltonisme hi havia, si tenia cura...

La curiositat sobre tots aquests nous dubtes i la manca d'idees per altres treballs van fer acabar de tombar la balança i vaig escollir aquest treball. Fent-lo se m'obrien les portes d'un camp desconegut i que sempre m'havia fascinat: la visió.

A l'escola, igual que a l'institut i al batxillerat, el tema de la vista es tracta molt per sobre i jo mai havia entès quin era el funcionament de l'ull. Quan vaig anar a parlar amb el meu tutor del treball de recerca, el Josep Illa (que és professor de català) vaig veure que ell estava pitjor que jo en aquest tema: tampoc en tenia ni idea. Però de seguida em va informar que les meves tutores pel que

feia referència al contingut del treball de recerca serien la Pilar Godínez i la Carmen Uroz, professores de Cicles d' Òptica.

Quan vaig anar a parlar amb elles a la primera reunió ja em van proporcionar dos llibres dels quals posteriorment vaig extreure la major part de la informació de l'anatomia de l'ull i de les seves funcions. Quan vaig voler ampliar la informació, em vaig adonar de seguida que les dades que dóna internet són molt simples i moltes vegades errònies.

La meva principal font d'informació van ser, doncs, els llibres que em van deixar les meves tutores i un llibre en anglès que vaig trobar per internet. I és que en català i en castellà hi ha molt poca informació sobre el daltonisme i, per tant, vaig haver d'ampliar amb llibres i webs en anglès.

Després de recollir tota la informació necessària i quan vaig fer-me una idea general de què era el daltonisme vaig començar a posar-ho per escrit.

Vaig dividir el treball en dues parts clares i ben diferenciades: una part teòrica on explicava el funcionament de la visió i del daltonisme i una part pràctica on posava per escrit les meves hipòtesis i les pràctiques que vaig dur a terme a l'institut.

Els objectius que esperava assolir en aquest treball de recerca eren:

- Entendre el funcionament de l'ull i del procés visual.
- Conèixer a què és degut i quins tipus de daltonisme hi ha.
- Aprendre a plantejar i desenvolupar un treball experimental i de camp.
- Conèixer com afecta el daltonisme a diferents persones afectades.
- Aprendre a utilitzar algun test de detecció de daltonians.
- Informar-me sobre els desavantatges en l'àmbit laboral i altres aspectes relacionats amb el daltonisme.

1. PART TEÒRICA

1.1 Introducció a la part teòrica

Jo crec que per entendre què és el daltonisme primer cal conèixer bé el funcionament de l'ull. Per això a la part teòrica hi ha un apartat parlant de l'anatomia i el funcionament de l'ull.

Per entendre el mecanisme de l'ull, es pot comparar el seu funcionament amb el d'una càmera fotogràfica de les antigues, les anomenades analògiques, que funcionen amb carret.

La part davantera d'aquestes càmeres, és a dir l'objectiu, serveix per enfocar, i la llum ha de travessar-lo i arribar al carret, on queda projectada la imatge. Al carret, però, no hi podem veure la fotografia, ens cal portar-lo a revelar. És als tallers de revelat on la imatge queda plasmada en una fotografia que aleshores sí que podem veure.

L'ull funciona exactament igual: el que a les càmeres analògiques és l'objectiu serien a l'ull els medis òptics: la còrnia, l'humor aquós, el cristal·lí i l'humor vitri. Aquestes parts de l'ull controlen el pas de la llum i l'enfocament de la imatge. Un cop la llum ha travessat aquests medis òptics, arriba a la retina, on es projecta la imatge. La retina fa la mateixa funció que el carret a la càmera: capta la imatge però ho fa en un format que no ens permet interpretar-la. Per això fa falta una transformació, que es pot equiparar al revelat de la fotografia.

Aquest canvi és dut a terme a l'ull per les cèl·lules funcionals de la retina: les cèl·lules ganglionars, les cèl·lules bipolars i els fotoreceptors, que transformen la llum en un impuls nerviós.

Finalment només falta imprimir la imatge perquè puguem veure-la. Aquest procés d'impressió seria el camí que fa l'impuls nerviós a través dels nervis òptics fins arribar al cervell on, per fi, es pot interpretar la imatge.

Si el carret de la càmera fos defectuós i no pogués fixar els colors adequadament, els colors de la fotografia també estarien alterats. Això és el

què li passa a una persona daltoniana: els fotoreceptors de la retina no funcionen correctament i per això la persona no pot captar bé els colors.

En aquesta part del treball he remarcat el factor hereditari del daltonisme, amb una introducció on explico les bases de la genètica per tal de poder entendre-ho bé.

També he explicat els principals tests de detecció del daltonisme i els possibles inconvenients dels daltonians, temes que m'han estat de gran utilitat a la part pràctica.

1.2 Fonaments anatòmics

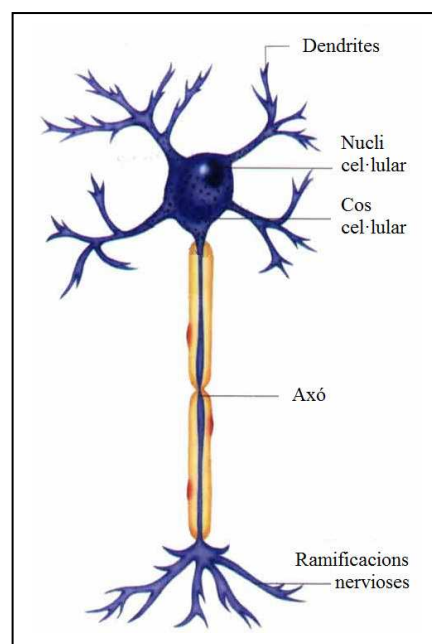
1.2.1 El sistema nerviós

Parts i funcions

El sistema nerviós és una xarxa neuronal de cèl·lules especialitzades que transmeten informació sobre l'entorn d'un animal i sobre ell mateix. Processa aquesta informació i ocasiona reaccions en certes parts del cos. Està format per milers de milions de neurones, que són les unitats bàsiques d'aquest sistema.

Les funcions principals del sistema nerviós són la regulació de l'organisme, com per exemple dirigir l'aparell digestiu i circulatori o controlar els batecs del cor.

La neurona és la principal cèl·lula del teixit nerviós. Està formada pel cos cel·lular, on es troba el nucli, el citoplasma i diferents dendrites (petites prolongacions del cos neuronal), i per l'axó, que és la prolongació més llarga del cos de la neurona i és per on es transmeten els impulsos nerviosos. Els milers de milions de neurones estan connectades entre elles i estan en contacte amb tot el cos. Estan especialitzades en la recepció d'estímuls i conducció de l'impuls nerviós (en forma de potencial d'acció) entre elles o amb altres tipus cel·lulars.



Neurona

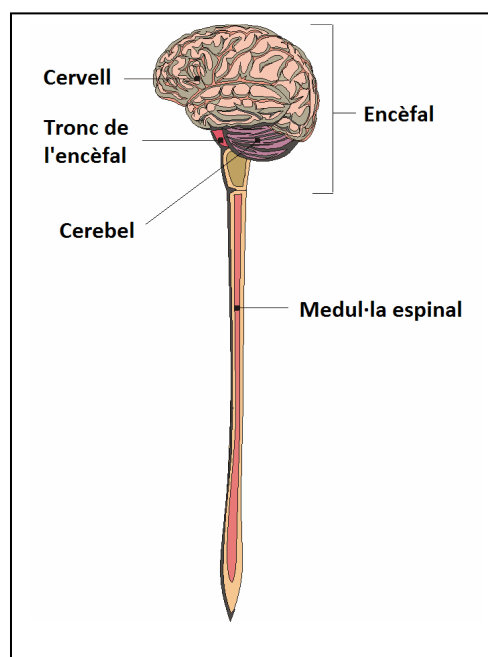
El sistema nerviós consta de dues parts: el sistema nerviós central, que comprèn l'encèfal i la medul·la espinal; i el sistema nerviós perifèric, que comprèn tots els nervis del nostre cos.

-El sistema nerviós perifèric: també anomenat SNP està constituït pels principals nervis de l'organisme (cranials i espinals) i totes les ramificacions d'aquests.

Els nervis són unes estructures en forma de cordó constituïdes per un conjunt de d'axons, agrupats en fibres nervioses i reunides i associades en fascicles per mitjà de teixit conjuntiu. La seva funció és relacionar els centres nerviosos amb les diferents parts del cos. A través d'ells es transmeten impulsos nerviosos.

-El sistema nerviós central: també anomenat SNC està constituït per l'encèfal i la medul·la espinal. L'encèfal, a la seva vegada està constituït pel cervell, el cerebel i el tronc de l'encèfal.

La medul·la espinal és el cordó cilíndric format per vies nervioses situat dins la columna vertebral. La seva funció és la conducció dels senyals nerviosos motrius (procedents del cervell i que es dirigeixen cap al tronc i extremitats) i sensitius (en sentit contrari).



Esquema dels òrgans del SNC

L'encèfal és el conjunt d'òrgans del sistema nerviós central: el cervell, el cerebel i el tronc de l'encèfal. Està protegit pel crani. És l'encarregat de recollir la informació percebuda del medi o del propi organisme, processar-la i avaluar l'execució d'una resposta fisiològica o de conducta, ja sigui de forma conscient o inconscient.

-El cerebel és l'òrgan situat a la porció posterior inferior del cap, sota el lòbul occipital, s'encarrega de la coordinació dels moviments voluntaris del cos humà i està relacionat amb funcions cognitives com l'atenció o el processament del llenguatge.

-El tronc de l'encèfal o tronc encefàlic és la part de l'encèfal que connecta el diencèfal i el cerebel amb la medul·la espinal. Està format per el mesencèfal, la protuberància anular i el bulb raquidi (òrgan encarregat de transmetre impulsos de la medul·la espinal al cervell).

-El cervell és el centre supervisor del sistema nerviós central. Està situat al cap (a la part avant superior de l'encèfal), protegit pel crani. Està format per la matèria grisa (composta pel conjunt de cossos cel·lulars i dendrites de les neurones) i dividit en dos hemisferis (dret i esquerre). La superfície exterior del cervell s'anomena escorça cerebral.

És l'encarregat de controlar i coordinar el comportament i les funcions mentals: les emocions, la memòria, l'aprenentatge, la cognició, la percepció i l'atenció; a més a més engloba els aparells sensitius primaris de la vista, oïda, equilibri, gust i olfacte. Controla també la transició entre els estats de son i vigília.

Parts del cervell que influeixen en la interpretació de la imatge

El cervell es divideix en tres regions: el romboencèfal, el mesencèfal i el prosencèfal; en aquest últim, al neopal·li s'hi troba l'escorça cerebral.

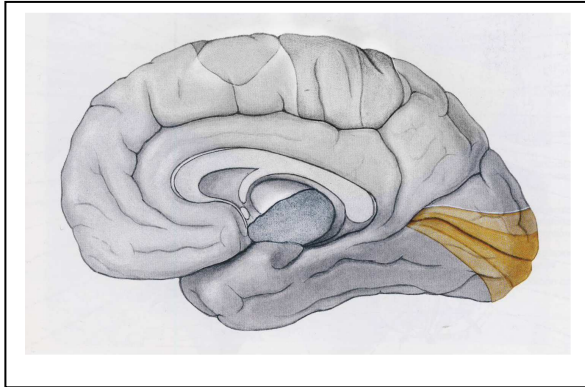
L'escorça cerebral o còrtex cerebral és la capa més nova i més superficial del cervell i està formada per la **matèria grisa**. Es divideix en els diferents lòbuls del cervell: el lòbul frontal, el temporal, el parietal i l'occipital.

La matèria o substància grisa està formada pel conjunt de somes o cossos neuronals, dendrites sense mielina i cèl·lules glials.

L'escorça visual està situada al lòbul occipital i inclou l'escorça visual primària, V1 i les àrees visuals corticals extra estriades, també conegudes com V2, V3,

V4, y V5. L'escorça o còrtex visual també es pot anomenar àrea de Brodmann número 17.

Està formada, com la resta del neocòrtex, per sis capes.



**Vista lateral interior del cervell
remarcant el camp de projecció i
associació de la visió**



**Vista lateral exterior del cervell
remarcant el camp de projecció i
d'associació de la visió**

El tàlem és un nucli gris situat a la zona central del cervell, que està format fonamentalment per substància o matèria grisa. Dins del tàlem hi ha el nucli geniculat lateral (NGL) que és una estructura en forma de genoll situada a cada un dels dos hemisferis del cervell. Està connectat amb les cèl·lules ganglionars de la retina per mitjà del nervi òptic i, per tant, tota la informació rebuda a la retina arriba al nucli geniculat lateral en forma d'impuls nerviós. Posteriorment envia aquesta informació a l'escorça visual primària on és interpretada la imatge.

Tot i que és un òrgan independent, pel fet d'estar connectat amb el cervell per mitjà del nervi òptic, l'ull es considera una prolongació del cervell.

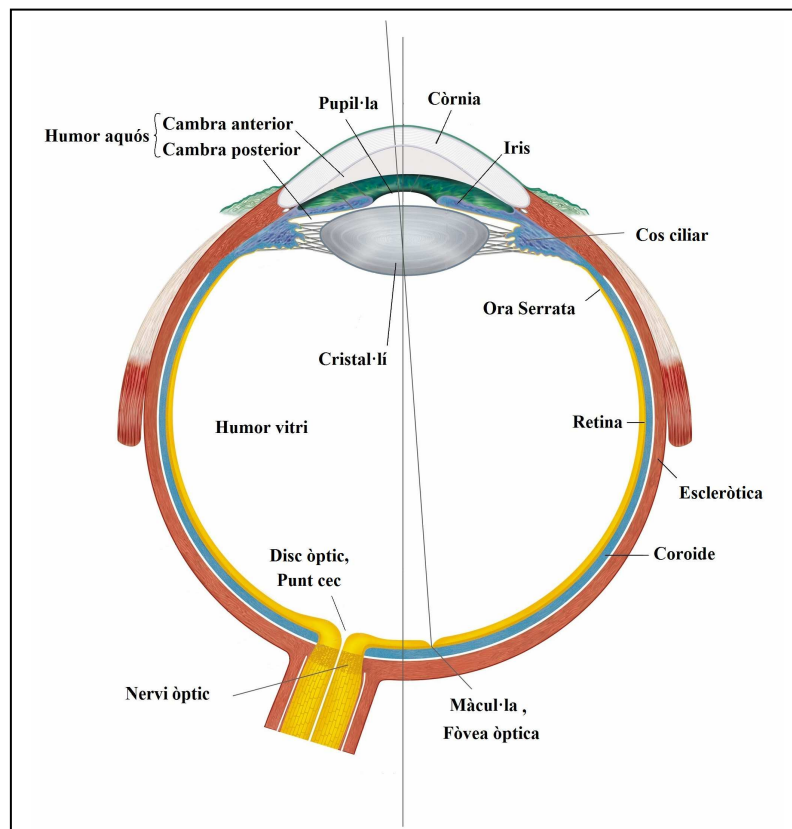
1.2.2 L'ull

L'ull és l'òrgan del sentit de la vista encarregat de captar la llum i de fer possible la visió. Els globus oculars estan situats als orificis oculars del crani i es poden dividir en capes (externa, intermèdia i interna) i en parts (posterior i anterior). Per la part posterior del globus ocular surt el nervi òptic que està format pels axons d'un tipus de cèl·lules de la retina, i que forma part del sistema nerviós ocular.

Globus ocular

L'ull es pot dividir en tres capes:

- La capa externa o fibrosa
- La capa intermèdia o vascular
- La capa interna o retina.



Anatomia de l'ull

-Capa externa o fibrosa del globus ocular: conté la l'escleròtica i la còrnia

Escleròtica: és la part blanca de l'ull. És una membrana opaca de color blanc, gruixuda, resistent i rica en fibres de col·lagen. Constitueix la capa més externa del globus ocular. La seva funció és la de donar forma al globus ocular i protegir els elements més interns.

Còrnia: És l'estructura hemisfèrica transparent localitzada al capdavant de l'òrgan ocular que permet el pas de la llum i protegeix l'iris i el cristal·lí.

-Capa intermèdia o vascular del globus ocular: conté l'iris, el cos ciliar i la coroide.

L'iris separa la cambra anterior de la posterior. És una membrana contràctil que es troba davant del cristal·lí i s'obre o es tanca en funció del nivell de llum present. Té un pigment que és el responsable del color de l'ull i una obertura central de color negre i mida variable que comunica les dues cambres: la **pupil·la**. Aquesta és la responsable de regular la llum que arriba a la retina.

Cos ciliar: és la part de l'ull situada entre l'iris i la regió de l'ora serrata de la retina, responsable de la producció de l'humor aquós i del canvi de forma del cristal·lí necessari per a aconseguir la correcta acomodació (enfocament).

L'humor aquós és un líquid clar que passa de la cambra anterior cap a la cambra posterior per la pupil·la i té la funció de donar forma a l'ull, mantenir-hi la pressió constant i aportar nutrients i oxigen a la còrnia.

El cristal·lí és una part de l'ull situada entre l'iris i l'humor vitri amb forma de lent biconvexa i que fa possible l'enfocament d'objectes a diferents distàncies.

Coroide: és una membrana profusament irrigada amb vasos sanguinis i teixit conjuntiu, de coloració fosca que es troba entre la retina i la escleròtica del ull. La part més posterior està perforada per al nervi òptic i continua per davant

amb la zona ciliar. La funció de la coroide és mantenir la temperatura constant i nodrir algunes estructures del globus ocular.

-Capa interna del globus ocular o retina: conté la porció cega i la porció visual o òptica.

La retina és la capa més interna del globus ocular i té un gruix aproximat de 5 mm encara que al centre de la fòvea és de 0,3 mm i a la perifèria de la retina augmenta. Està situada entre la coroide i el cos vitri de la part posterior de l'ull.

El cos vitri està format per un líquid gelatinós i transparent que omple l'espai entre el cristal·lí i la retina i que dóna forma a l'ull.

La funció de la retina és la de "captar" les imatges que hi són projectades i transformar-les en impulsos nerviosos que el cervell pugui interpretar.

Parts de la retina:

-Porció cega

La porció cega de la retina va des del límit de l'iris fins a l'ora serrata i està formada per una porció iridiana i una porció ciliar. Els raigs de llum visible no arriben a aquesta part de la retina i, per tant, la porció cega no capta les imatges com fa la porció visual i té una estructura anatòmica diferent sense fotoreceptors.

-Porció visual

La porció visual de la retina està compresa entre les dues ores serrates i és l'encarregada de captar els raigs de llum que hi arriben i transformar els seus fotons en impulsos nerviosos que el cervell pugui interpretar. Té dues zones específiques: la màcula (amb la fòvea) i el disc òptic (amb el punt cec).

La màcula lútia o màcula retinal és la regió central de la retina on es concentren la majoria dels raigs de llum que entren a l'ull. Està especialitzada en la visió dels detalls i ens serveix entre altres coses per poder llegir i distingir les cares de les persones. Al centre de la màcula hi ha la fòvea òptica que és una petita depressió de la retina. Ocupa una àrea total d'una mica més d'1 mm quadrat i és l'àrea de la retina on hi ha la major quantitat de cons, que són els responsables de la percepció de colors.

La resta de la retina s'anomena perifèria, i hi ha menys cons que no pas bastons, l'altre tipus de fotoreceptor.

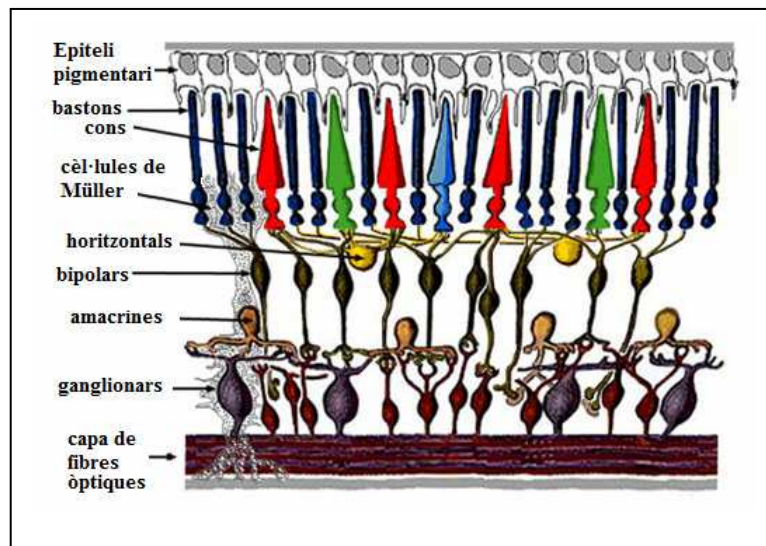
El disc òptic o papil·la òptica és una zona oval de la retina situada a uns vint graus del seu centre, pel costat nasal. El lloc per on surten del globus ocular els axons de les cèl·lules ganglionars de la retina que formen el nervi òptic és el punt cec. Al punt cec la imatge que queda indefinida perquè no hi ha cèl·lules sensibles a la llum.

Cèl·lules funcionals de la retina:

Per entendre el funcionament de la retina cal conèixer els diferents tipus de neurones en sinapsi que fan possible el pas de l'impuls nerviós des del fotoreceptor fins al nervi òptic. Aquestes neurones són:

-Els fotoreceptors: són les primeres neurones de la retina. Són les encarregades de captar la llum i transformar-la en forma de potencial d'acció. N'hi ha de dos tipus: els cons, que són els encarregats de la visió fotòptica i de la visió dels colors i els bastons que s'encarreguen de la visió corpuscular perifèrica i de la visió amb poca llum. Ambdós transmeten els impulsos a les cèl·lules bipolars.

-Les cèl·lules bipolars: són les segones neurones de transmissió de l'impuls nerviós. Transmeten les senyals que reben dels fotoreceptors a les cèl·lules ganglionars.



Esquema de les cèl·lules de la retina

Hi ha tres tipus de cèl·lules bipolars: les cèl·lules bipolars amb terminacions en forma de brotxa que fan sinapsis amb diversos bastons, les cèl·lules bipolars nanes que contacten amb un sol con i les cèl·lules bipolars de ramificació plana que fan sinapsis amb diferents cons a la regió extrafoveal.

-Les cèl·lules ganglionars: són l'últim relleu sinàptic de la retina. Les seves dendrites connecten amb les cèl·lules bipolars i transmeten l'impuls nerviós pels seus axons que formen el nervi òptic. També fan sinapsis amb les cèl·lules amacrines.

Hi ha dos tipus de cèl·lules ganglionars: les ganglionars nanes que contacten amb una cèl·lula bipolar nana i moltes amacrines i les ganglionars difuses que estableixen sinapsis amb el tres tipus de bipolars i amb les amacrines.

-Les neurones d'associació: a més a més de les cèl·lules anteriors, a la retina hi ha dos tipus de neurones d'associació: les cèl·lules horitzontals i les cèl·lules amacrines.

Ambdues contribueixen a la conducció horitzontal de l'impuls. Les cèl·lules horitzontals transmeten senyals horitzontalment des dels fotoreceptors fins les cèl·lules bipolars. En canvi, les amacrines associen mitjançant diferents sinapsis

cèl·lules bipolars, cèl·lules ganglionars i cèl·lules amacrines.

-Les cèl·lules de sosteniment: són les els astròcits, les glies perivasculars, les micròglies i les cèl·lules de Müller, que són les més abundants. Totes fan una funció de suport i sosteniment.

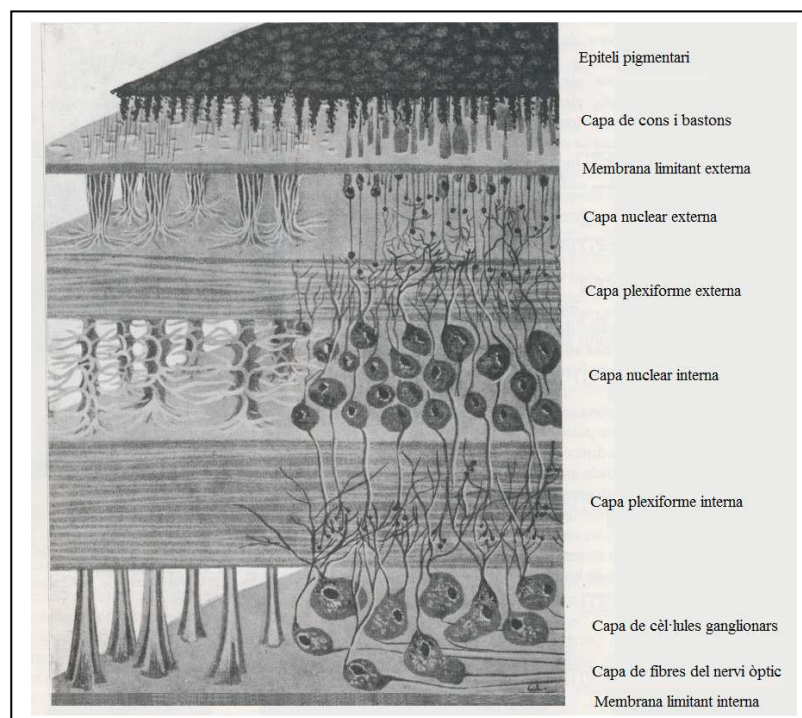
Les cèl·lules de Müller són un component essencial de la retina. Estan situades al voltant de tots els cossos cel·lulars proporcionant un teixit de suport. A més a més són una font d'energia que s'emmagatzema en forma de glicogen. També exerceixen una funció defensiva mitjançant fagocitosi.

Capes de la retina:

La retina està dividida en dues capes:

L'epiteli pigmentari i el neuroepiteli, que està format per nou capes.

Les deu capes de la retina ordenades de més interior a més exterior són:



Esquema de les capes de la retina

1. L'epiteli pigmentari: és la capa més interna de la retina, situada entre la coroida i la capa de cons i bastons. Té un gruix de 10 a 20 micròmetres i està formada per un mosaic de cèl·lules pigmentàries. Aquestes cèl·lules estan separades les unes de les altres per un ciment intercel·lular anomenat neuroqueratina i, com el seu nom indica, contenen un pigment format per grans de melanina. El nombre de cèl·lules pigmentàries és proporcional al de fotoreceptors.

L'epiteli pigmentari fagocita i digereix (lisosòmicament) els discs del segment extern dels cons i bastons, intervé en el cicle de la vitamina A i sintetitza la melanina que absorbeix la llum no capturada pels fotoreceptors impedit que es reflecteixi dins l'ull. A més a més aporta nutrients pels fotoreceptors i sintetitza glicosaminoglicans (components de la matriu extracel·lular dels fotoreceptors). També actua de barrera entre la circulació col·loïdal i les capes externes de la retina i proporciona un transport iònic i d'aigua des de l'espai subretinal.

2. La capa de cons i bastons: està situada entre l'epiteli pigmentari i la membrana limitant externa i té un gruix de 40 micròmetres. La formen el conjunt dels segments externs dels fotoreceptors de l'ull: els cons i els bastons. Es calcula que hi ha uns 120 milions de bastons i entre 6,3 i 6,8 milions de cons repartits per tota la capa de cons i bastons.

La seva funció principal és captar la llum que arriba a la retina mitjançant els diferents pigments que contenen els fotoreceptors en els seus discs del segment extern.

3. La membrana limitant externa: està situada entre la capa de cons i bastons i la capa nuclear externa i té un gruix insignificant. No és ben bé una membrana sinó que representa una làmina fina que deixa passar els cons i els bastons i enllaça els segments interns dels cons i bastons amb les cèl·lules de Müller, així com les cèl·lules de Müller entre sí.

4. La capa nuclear externa: està situada entre la membrana limitant externa i la capa plexiforme externa i el gruix varia 22 a 45 micròmetres menys a la fòvea que és de 50 micròmetres. Conté els segments interns dels cons i bastons, amb els seus cossos cel·lulars i nuclis respectius.

5. La capa plexiforme externa: està situada entre la capa nuclear externa i la capa nuclear interna i té un gruix d'entre 2 i 50 micròmetres. Està formada per una zona interna, amb els cossos sinàptics dels fotoreceptors; una zona externa, amb les dendrites de les cèl·lules bipolars, les cèl·lules horitzontals i les cèl·lules de Müller i una zona mitja amb sinapsis entre cons i bastons i la resta de cèl·lules funcionals.

6. La capa nuclear interna: està situada entre la capa plexiforme externa i la capa plexiforme interna. Està formada pels cossos cel·lulars de les cèl·lules bipolars, les horitzontals, les amacrines i cèl·lules de Müller.

7. La capa plexiforme interna: està situada entre la capa plexiforme externa i la capa de cèl·lules ganglionars i té un gruix de 18 a 36 micròmetres. Conté les connexions sinàptiques entre les cèl·lules bipolars i amacrines amb les ganglionars.

8. La capa de cèl·lules ganglionars: està situada entre la capa nuclear interna i la capa de fibres del nervi òptic i té un gruix d'entre 10 i 20 micròmetres menys en la regió macular que és de 80 micròmetres. Conté tots els cossos cel·lulars de les cèl·lules ganglionars i algunes sinapsis com les de la capa plexiforme interna.

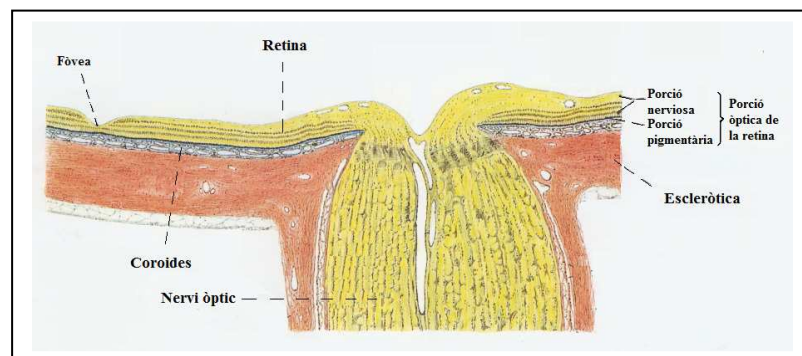
9. La capa de fibres del nervi òptic: està situada entre la capa de cèl·lules ganglionars i la membrana limitant externa i té un gruix de 20 a 30 micròmetres. Està formada pel conjunt d'axons de les cèl·lules ganglionars que convergeixen a la part posterior de l'ull (a la papil·la) formant el nervi òptic.

10. La membrana limitant interna: està situada entre la capa de fibres del nervi òptic i l'humor vítri de la part posterior de l'ull i té un gruix d'entre 0,1 i 1 micròmetre. És una verdadera membrana basal autònoma, que forma una fina línia regular separant les terminacions expandides de les cèl·lules de Müller i la superfície vítria.

Sistema nerviós ocular

El sistema nerviós ocular està format pels components que uneixen el cervell amb els globus oculars, és a dir, els dos nervis òptics i el quiasma.

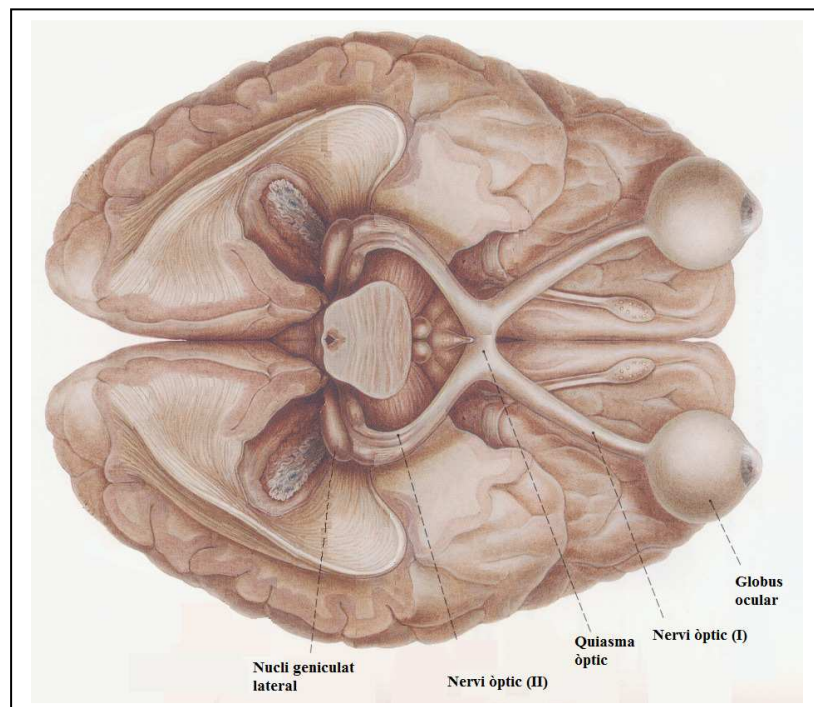
El nervi òptic comença al disc òptic i acaba al nucli geniculat lateral, situat al tàlem, i és l'encarregat de transportar la informació provinent de la retina en forma d'impuls nerviós fins al cervell. De fet, el nervi òptic no és una estructura a part, sinó que forma part de l'ull: el nervi òptic és la continuació de la capa de fibres del nervi òptic, la novena capa de la retina. El conjunt d'axons de les cèl·lules ganglionars que formen aquesta capa convergeixen al disc òptic, on s'ajunten en forma de feix formant el nervi òptic. Per tant, la informació visual que rebien les cèl·lules ganglionars a la retina serà transmesa pels seus axons fins al nervi òptic.



Inici del nervi òptic

Al llarg dels quatre centímetres de longitud que recorren, els nervis òptics es troben en un punt anomenat quiasma. En aquest punt algunes de les fibres que tenen informació de la hemiretina nasal es creuen. Per tant, hi ha informació visual de l'ull esquerre que arriba a l'hemisferi dret del cervell i informació de l'ull dret que arriba a l'hemisferi esquerre del cervell.

La segona part del nervi òptic uneix el quiasma amb el nucli geniculat lateral, tot i que hi ha algunes fibres del nervi òptic que arriben directament a la membrana visual.

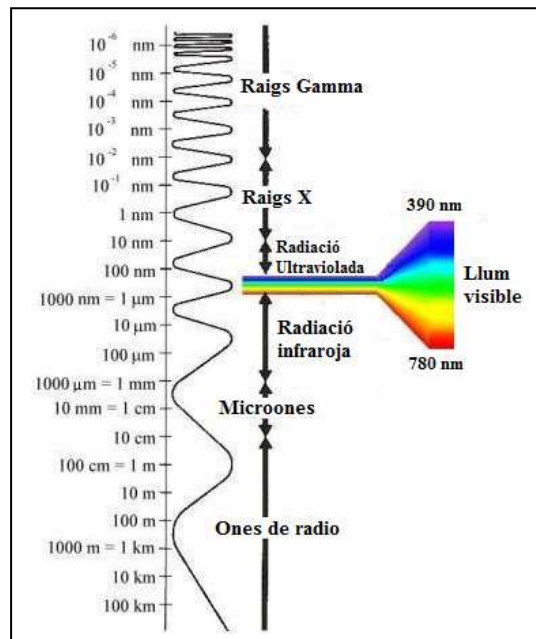


Quiasma òptic

Elements que actuen en la diferenciació dels colors

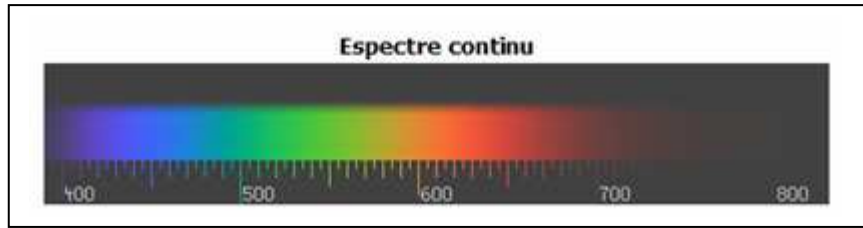
-L'espectre electromagnètic

L'espectre electromagnètic està constituït pel conjunt d'ones electromagnètiques. Les ones electromagnètiques són: els raigs gamma (que tenen una longitud d'ona d'entre 0,00001 i 0,006 nm), els raigs X (de 0,006 a 0,6 nm), la radiació ultraviolada (de 0,6 a 390 nm), la llum visible (de 390 a 780 nm), la radiació infraroja (de 780 nm a 0,001 m), les microones (de 0,001 a 0,3 m) i les ones de radiofreqüència (de 0,3 m a alguns quilòmetres).



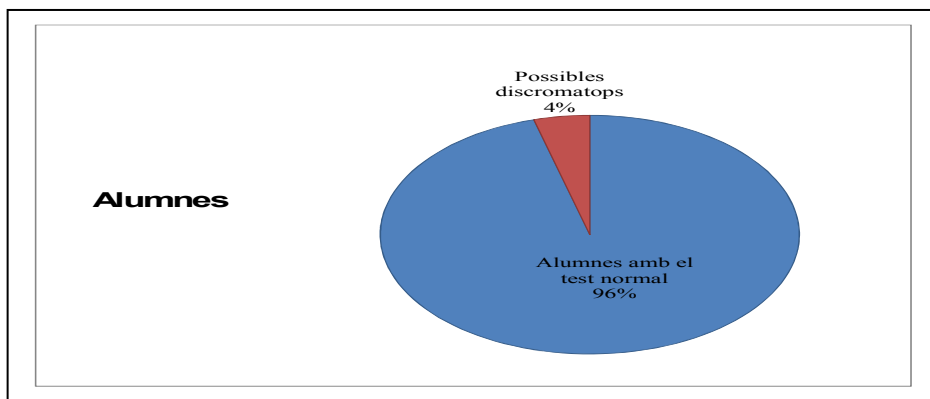
Espectre electromagnètic

Els éssers humans només podem captar, per mitjà de l'ull, ones que tinguin longituds compreses entre 390 i 780 nm que és el que anomenem llum visible o espectre visible. És a dir, no podem veure ni la llum inferior a una longitud de 390 nm com la radiació ultraviolada, o superior a 780 nm com la radiació infraroja.



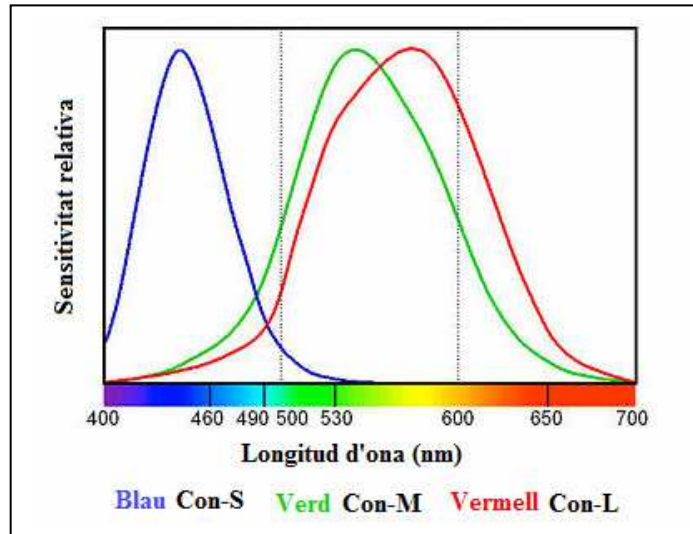
Espectre de la llum visible

Les diferents longituds d'ona s'interpreten al cervell humà com colors, des del vermell en les longituds d'ona més grans fins al violeta en les més baixes. Les freqüències intermèdies en ordre creixent es poden interpretar com a taronja, groc, verd, blau i, convencionalment, blau indi.



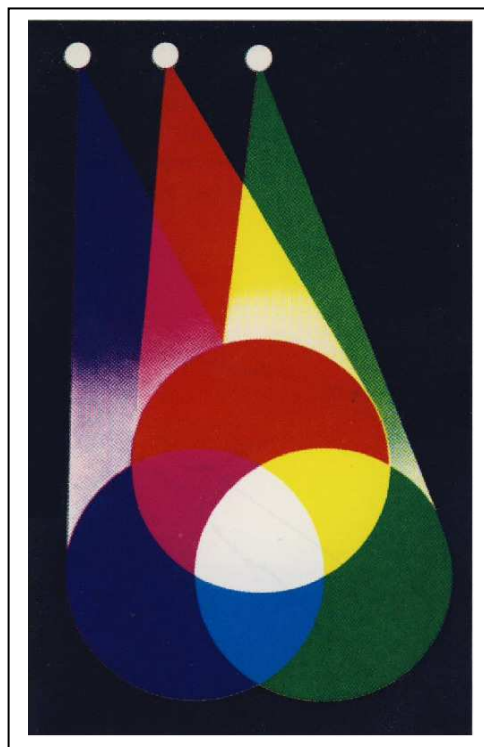
Colors interpretats depenent de les diferents longituds d'ona

La retina, conté uns fotoreceptors anomenats cons que, gràcies als diferents pigments (opsines) que contenen poden captar les ones de llum pel color verd, vermell i blau i convertir-les en impulsos nerviosos que el nostre cervell interpreta com a colors.



Sensitivitat espectral humana al color

Gràcies a la superposició d'aquestes tres fonts de color (verd, vermell i blau) en diferents intensitats, el nostre ull és capaç de reproduir tots els colors de l'espectre.



Síntesi additiva

Al gràfic anterior es pot observar com, a partir de tres fonts de llum primàries (blava, vermella i verda), per mitjà d'una superposició es formen més colors (magenta, groc i cian). A la seva vegada aquests últims superposats també formaran més colors.

Aquesta teoria, anomenada tricromàtica, va ser postulada per Young i, posteriorment, per Helmholtz i va demostrar que la majoria dels colors es podien formar superposant tres fonts de llum separades conegudes com a colors primaris, en un procés anomenat síntesi additiva.

-Fotoreceptors

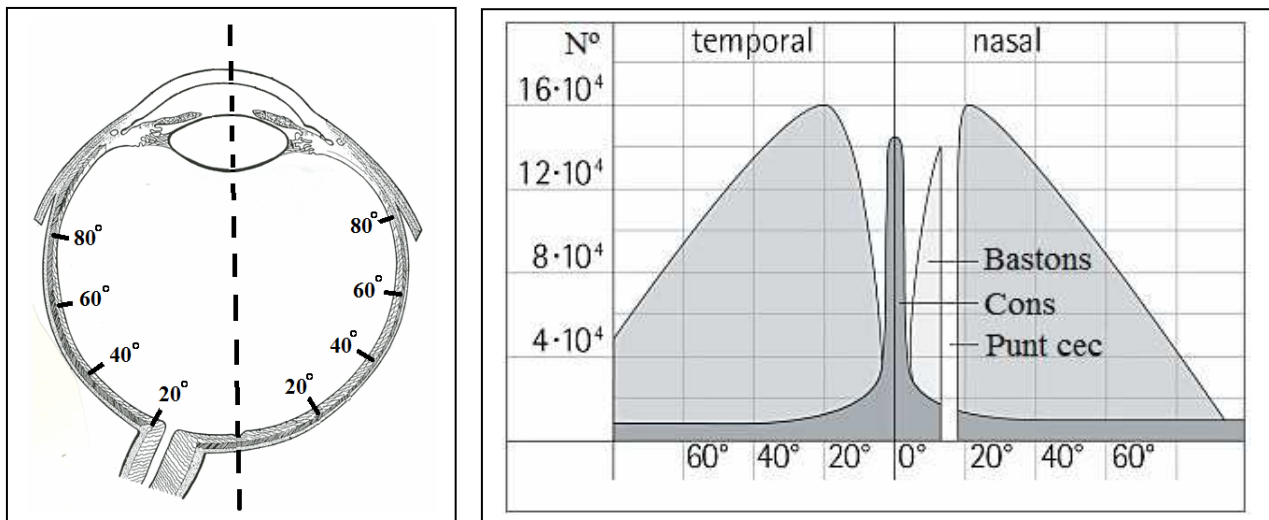
A la retina hi ha dos tipus de fotoreceptors: els cons i els bastons, que estan distribuïts entre la capa de cons i bastons, la membrana limitant externa, la capa nuclear externa i la capa μ iforme externa.

Els dos tipus de fotoreceptors no estan distribuïts de la mateixa manera a la retina:

-La densitat dels cons és extremadament superior a la fòvea òptica, on es troba el focus de la lent. Aquesta densitat disminueix considerablement a la perifèria.

-Els bastons, però, estan repartits de manera molt diferent a la dels cons: a la fòvea no se'n troben i el seu punt de màxima densitat és cap als 20° .

Només en un punt anomenat punt cec no hi ha fotoreceptors ja que és on desemboca el nervi òptic.



Distribució de fotoreceptors a la retina

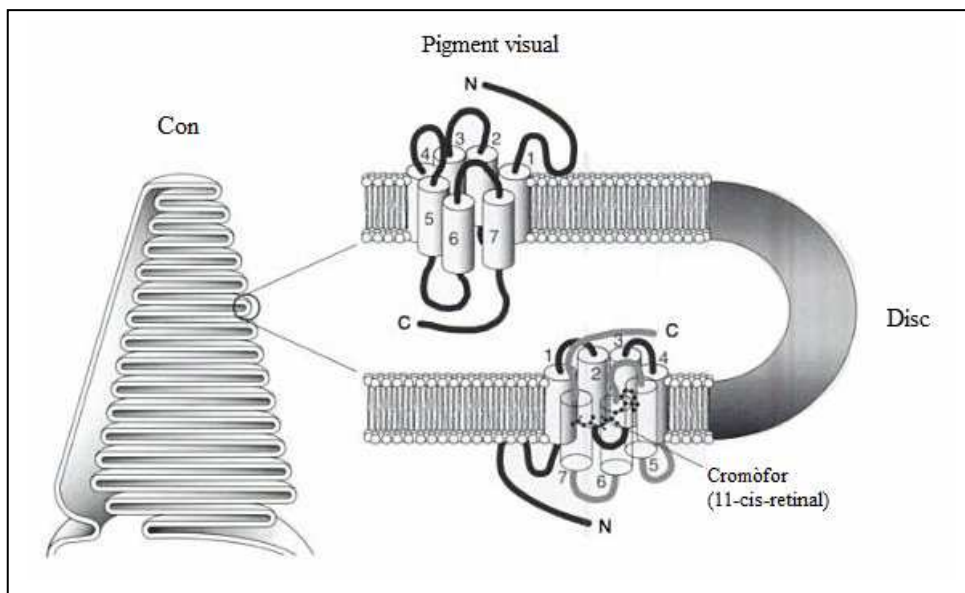
Els cons i els bastons tenen un origen embriològic gairebé idèntic per això tenen una anatomia molt semblant. Els dos tenen a la seva estructura:

-Un segment extern: format per una gran quantitat de discs.

- Un cili connector: que uneix els segments extern i el segment intern.
- Un segment intern: amb el cos cel·lular i el nucli.
- Un cos sinàptic: que constitueix la part terminal del fotorceptor i fa sinapsis amb diferents cèl·lules de la retina.

Ambdós posseeixen, al seu segment extern, diferents molècules anomenades pigments visuals que reaccionen de manera diferent a la presència de llum.

Aquests pigments visuals estan formats per una part proteica (opsina), que és diferent en cada tipus de fotorceptor, i un cromòfor (captador de llum) o retinal, que és igual per tots. El retinal és un aldehyd de la vitamina A que, quan té la forma de 11-cis-retinal, es manté unit a l'opsina i el fotorceptor està desactivat.



Situació del pigment visual dins el con

Els cons

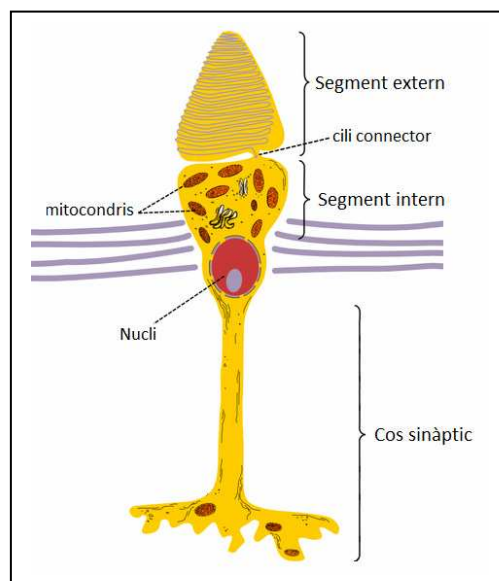
Els cons són els fotoreceptors encarregats de la visió discriminatòria i de la visió a alts nivells de llum (fotòpica) i per això perceben els colors i permeten una visió diürna molt rica en detalls.

Es troben entre la capa de cons i bastons, la membrana limitant externa, la capa nuclear externa i la capa plexiforme externa, a la retina.

Hi ha entre 6,3 i 6,8 milions de cons a cada ull encara que no estan distribuïts de la mateixa manera: la fòvea és la zona on hi ha la majoria de cons i a la perifèria la quantitat disminueix considerablement.

Els cons estan formats per:

-Un segment extern, que és la part que té forma de con.



Dibuix esquematitzat d'un con amb les seves diferents parts

El segment extern dels cons mesura la meitat de llarg que els bastons i conté de 1000 a 1200 discs apilats flotant en una proteïna aquosa. Aquests discs no són més que invaginacions successives de la membrana unitària del segment extern. És al llarg d'aquesta membrana on es troba el pigment visual capaç de captar la llum.

-Un cili connector, que uneix el segment extern amb el segment intern.

-Un segment intern o prolongació interna que presenta el nucli, amb la informació genètica, i el cos cel·lular amb una porció distal anomenada el·lipsoide, que conté abundants mitocondris, i una porció proximal o mioide, on es troben el reticle endoplasmàtic rugós i l'aparell de Golgi.

-Un cos sinàptic, anomenat pedicle o peu terminal (ja que la superfície sinàptica té una base plana) amb sinapsis amb les dendrites de les cèl·lules bipolars i les cèl·lules horitzontals.

Cada tipus de con conté, al seu segment extern, un tipus de pigment visual. Els pigments visuals són unes molècules que estan formades per una proteïna anomenada opsina i un cromòfor aldehyd de la vitamina A₁ anomenat 11-cis-retinal, i són capaços de captar una porció de llum de l'espectre visible. Les opsines presents en els cons s'activen en quantitats de llum altes i, per això, aquests fotoreceptors són els responsables de la visió diürna.

Depenent del tipus d'opsina que presenti, el pigment visual serà diferent. Els cons poden tenir tres tipus d'opsines, anomenades fopsines:

-El con que conté en el seu pigment la fopsina del tipus eritropsina, pot captar l'ona de llum de color vermell (580 nm aprox.) i s'anomena con-L, de l'anglès *long-wavelength* (ona de longitud llarga).

-El con que conté en el seu pigment la fopsina del tipus cloropsina, pot captar l'ona de llum de color verd (545 nm aprox.) i s'anomena con-M, de l'anglès *medium-wavelength* (ona de longitud mitjana).

-El con que conté en el seu pigment la fopsina del tipus cianopsina, pot captar l'ona de llum de color blau (540 nm aprox.) i s'anomena con-S, de l'anglès *short-wavelength* (ona de longitud curta).

En espera d'una denominació específica d'aquests pigments, i ja que sembla no haver encaixat la proposta clàssica de Rushton i de Wald (1958) de eritrolab, clorolab i cianolab, es parla de pigment sensible al vermell, al verd i al blau.

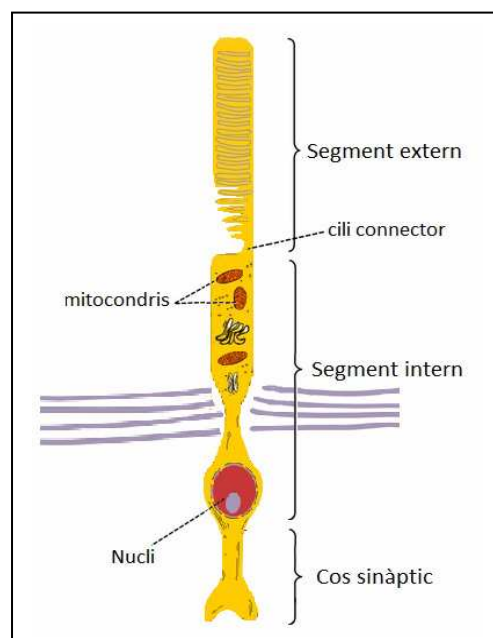
Els bastons

Els bastons són els fotoreceptors encarregats de la visió amb poca llum i de la visió corpuscular perifèrica i s'utilitzen per la visió nocturna.

Hi ha aproximadament 120 milions de bastons a cada ull i, encara que no són presents a la fòvea ni, òbviament al punt cec, la gran quantitat que se'n troba a la perifèria, supera, de llarg, el nombre de cons.

Estan formats per:

-Un segment extern, que té forma cilíndrica i està format per 600 a 1000 discs independents de la membrana cel·lular. En aquesta membrana es troba el pigment visual capaç de captar la llum.



Dibuix esquematitzat d'un bastó amb les seves diferents parts

-Un cili connector, que uneix el segment extern amb el segment intern.

-Un segment intern, que presenta el nucli i el cos cel·lular amb l'el·lipsoide, que conté abundants mitocondris, i el mioide, on es troben el reticle endoplasmàtic rugós i l'aparell de Golgi.

-Un cos sinàptic, anomenat esfèrula o bulb terminal (ja que és petit i arrodonit) amb sinapsis amb les dendrites de les cèl·lules bipolars i les cèl·lules horitzontals.

El pigment visual que contenen els bastons és la rodopsina, molècula formada per una part cromòfora anomenada retinal i una opsina anomenada escotopsina.

Aquest pigment els permet percebre els colors negre, blanc i la diferent escala de grisos i, per tant, ens permeten percebre el contrast.

La rodopsina s'activa quan les quantitats de llum són molt baixes, per això els bastons són els responsables de la visió nocturna.

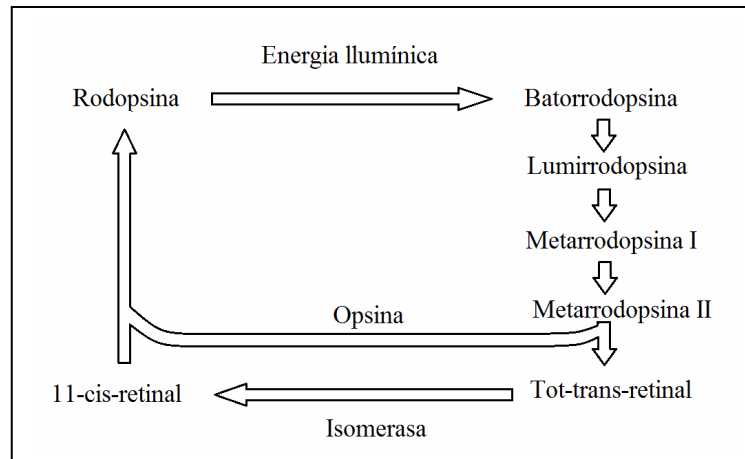
-Activació dels fotoreceptors

El pigment visual dels bastons és la rodopsina i està formada per una part cromòfora (retinal) i una proteïna (escotopsina). Quan el retinal es manté unit a l'opsina, és a dir, el bastó està desactivat, aquest cromòfor té la forma de 11-cis-retinal.

Quan un fotó és absorbit per la rodopsina, aquesta es comença a descompondre rapidíssimament, i la seva estructura tridimensional canvia en diferents etapes que conclouen amb la separació del retinal i l'escotopsina. Això és causat per la fotoactivació dels electrons situats als enllaços del cis-retinal, que produeix un canvi quasi instantani i passa a la forma trans-retinal, també coneguda com a retinal tot-trans, que té una forma més estirada. A causa d'aquest canvi d'estructura, el retinal i l'escotopsina ja no encaixen i comencen a separar-se.

Gràcies a refredaments propers al zero absolut s'ha pogut alentir aquest procés i s'han pogut observar uns productes intermedis. El producte immediat de la rodopsina amb l'11-cis-retinal és la batorrodopsina o prelumirrodopsina, que és un compost molt inestable i es descompon en funció de nanosegons en lumirrodopsina, que es descompon en pocs microsegons en metarrodopsina I, que es descompon en pocs segons en metarrodopsina II. Aquesta última es descompon molt més lentament en escotopsina i tot-trans-retinal. La metarrodopsina II, també anomenada rodopsina activada, és la que provoca els canvis elèctrics en la membrana dels segments externs dels bastons per mitjà d'uns complexos enzimàtics a la membrana dels discs. Aquests canvis transmeten la senyal pel cos sinàptic dels bastons fins a les cèl·lules bipolars.

Posteriorment el tot-trans-retinal es reconverteix en cis-retinal, que es torna a ajuntar amb l'opsina en un procés que dura uns minuts.



Esquema de l'activació del pigment visual

És possible la transmissió de la senyal dels fotoreceptors fins a les bipolars gràcies a la bomba sodi-potassi que tenen, ja que és a causa de la diferència iònica i potencial de dins i fora la cèl·lula el que possibilita que la senyal es traspassi per la sinapsis.

La senyal que transmeten els fotoreceptors, així com la resta de neurones de la retina menys les cèl·lules ganglionars, és del tipus de potencial gradual local, i es pot desplaçar per un flux directe de corrent elèctric.

S'ha estudiat l'activació dels bastons molt a fons durant els últims cinquanta anys. Es poden argumentar els mateixos principis bioquímics als cons tenint en compte que agafen els fotons d'ones de llum de diferent freqüència que els bastons.

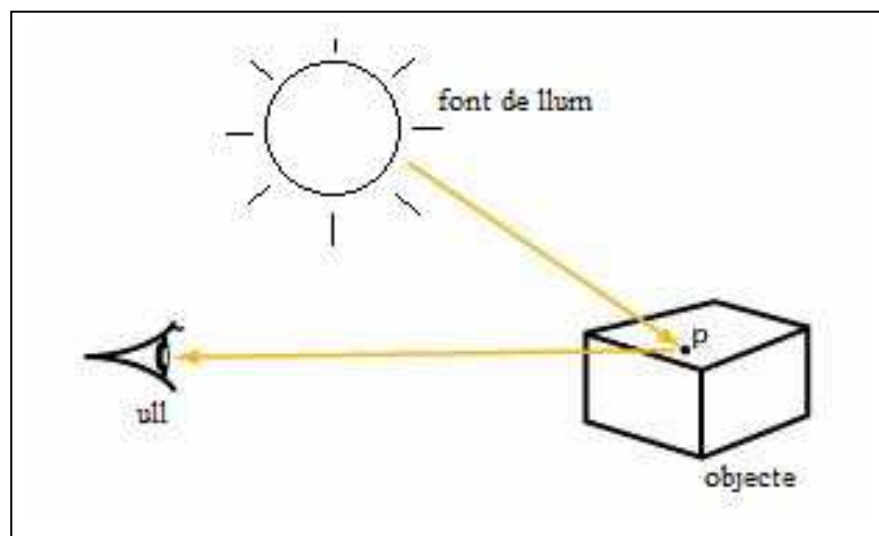
1.2.3 Procés visual

S'anomena procés visual al conjunt de processos que tenen lloc des que la llum entra a l'ull fins que la imatge és interpretada al cervell. Està dividit en tres fases:

- El pas de la llum a través dels medis òptics.
- La fototransducció: el canvi de llum a impuls nerviós que té lloc a la retina.
- La interpretació de la imatge al cervell.

Pas de la llum a través dels medis òptics

La llum provinent del Sol es desplaça en forma d'ones electromagnètiques de diferent freqüència i longitud. Aquestes travessen l'atmosfera, reboten contra els objectes i són reflectides al nostre ull.



Recorregut de la llum

Quan la llum arriba a l'ull, ha de travessar totes les seves capes i cambres.

Primer ha de travessar la còrnia, una capa transparent que controla el seu pas, i arribar a la pupil·la passant per l'humor aquós. La pupil·la és un forat que estarà més o menys dilatat en funció de les condicions lluminoses. L'iris s'encarrega de la contracció i dilatació de la pupil·la.

Després de travessar la pupil·la, els rajos de llum restants arribaran al cristal·lí. Allà, el cos ciliar canviarà la forma d'aquest complex en forma de lent biconvexa per tal d'aconseguir un bon enfocament. Aquest procés s'anomena acomodació. Quan travessin el cristal·lí, els rajos de llum, a causa d'un fenomen de refracció, canviaran la seva direcció i en sortiran pel costat oposat del que havien entrat. D'aquesta manera un cop travessat el cristal·lí la imatge quedarà invertida.

Finalment la llum arribarà a la retina passant per l'humor vitri de la part posterior de l'ull.

Fototransducció

Sorprenentment, les cèl·lules fotosensibles o fotoreceptors (cons i bastons) estan situats a la part posterior de la retina, a les capes més allunyades de l'obertura de l'ull. Per això, la llum ha de travessar abans les altres capes de la retina abans d'arribar a la capa de cons i bastons. En aquesta capa és on estan situats els segments externs dels fotoreceptors que tenen en els seus discs el pigment visual que els permet captar els fotons de la llum. Els fotoreceptors, però, no poden agafar tota la llum que arriba a la retina i, l'epiteli pigmentari, per mitjà de les cèl·lules pigmentàries, s'encarrega d'agafar la llum restant per evitar que es reflecteixi a l'interior de l'ull gràcies a la melanina que contenen. Aquesta podria ser la causa evolutiva del model invertit de la retina.

Quan els pigments visuals dels fotoreceptors es posen en contacte amb certa quantitat de llum, s'activen (els cons amb altes quantitats de llum i els bastons amb poca), és a dir, reaccionen. El retinal del pigment pateix uns canvis en la

seva estructura que fan que es separi de l'opsina. Aquesta separació provoca uns canvis elèctrics a la membrana dels segments externs dels bastons que, amb l'ajuda de la bomba sodi-potassi, fan que es transmeti una senyal del tipus potencial graduat local pel cos sinàptic dels bastons fins a les cèl·lules bipolars.

De les cèl·lules bipolars, aquesta senyal és transmesa fins a les cèl·lules ganglionars de la mateixa manera, on la senyal passa a ser del tipus de potencial d'acció. Finalment, aquest potencial d'acció travessa la cèl·lula ganglionar fins arribar al seu axó, que ja forma part del nervi òptic.

Interpretació

L'impuls nerviós es desplaça al llarg del nervi òptic en forma de potencial d'acció fins arribar al quiasma que és el lloc on es troben els nervis òptics dels dos ulls. En aquest punt les fibres que contenen informació de la hemiretina nasal es creuen i, per tant, hi haurà informació en forma de potencials d'acció de l'ull esquerra que arribaran a l'hemisferi dret del cervell i a la inversa.

Els potencials d'acció continuen pel nervi òptic i arriben al nucli geniculat lateral, situat al tàlem visual del cervell. Des d'allà arriben a les diferents parts del còrtex visual on la imatge és interpretada com l'escorça visual primària o V1 i altres zones importants per la visió com la V4.

Tot i que l'escorça visual es troba situada al lòbul occipital, no és l'única part del cervell que intervé en la captació de les imatges: hi ha altres zones del còrtex cerebral que també responen als estímuls visuals com les zones més baixes del còrtex temporal inferior, el còrtex parietal posteroinferior i parts del lòbul frontal.

1.3 Patologia, el daltonisme

1.3.1 Descripció de l'anomalia

Etimologia

Les paraules daltonià i daltonisme són epònims del físic i químic John Dalton (1766-1844).

John Dalton, igual que el seu germà, patia aquest defecte des que va néixer, però no ho va notar fins que es va adonar que confonia els flascons de reactius dels seus experiments. Intrigat, va començar a estudiar la visió dels colors i va veure que la seva visió era diferent a la de la majoria de persones.

Al 1794, va publicar el llibre "*Extraordinary Facts Relating to the Vision of Colours*", on explicava que la ceguesa als colors era causada per una tinció de l'humor vitri de color blau. Dalton va demanar que s'examinessin els seus ulls després de la seva mort, però l'observació va demostrar que els seus humors eren clars i iguals als de la resta de persones.

Tot i que les seves teories no van ser correctes, el seu gran treball sobre aquesta anomalia fou tan reconegut per tothom que la paraula daltonisme va substituir al concepte de ceguesa als colors.

Gràcies a la conservació d'una mostra d'ADN del seu ull es va poder constatar que Dalton patia una deuteranopia, un tipus de discromatòpsia dicromàtica que causa una confusió a l'hora de distingir el color verd amb el vermell. Aquest fet va crear un dilema que encara dura fins avui: no se sap si s'ha d'anomenar daltonisme a totes les discromatòpsies, a totes les anomalies amb deficiència del tipus verd-vermell o només a la que va patir Dalton, és a dir, la deuteranopia.

La teoria més acceptada, però, és la d'anomenar daltonisme a les deficiències del tipus verd-vermell o a la deuteranopia, és a dir, el tipus de discromatòpsia que patia Dalton.

És el daltonisme una malaltia?

És un error molt comú anomenar el daltonisme com a malaltia. La majoria de persones i diccionaris usen aquest terme per referir-se al daltonisme. La RAE i el DIEC, que són els principals diccionaris en castellà i català respectivament, anomenen com a malaltia una alteració de la salut del pacient. El daltonisme, però, no altera la salut: es viu perfectament essent daltonià sense notar canvis ni alteracions en la salut. Per tant, es pot afirmar que el daltonisme no és una malaltia. Aleshores, com s'ha d'anomenar? Buscant la definició de daltonisme als diccionaris esmentats anteriorment, s'observa que fan servir les paraules com defecte i trastorn. També en serien correctes d'altres com anomalia o disfunció (de la vista).

Les discromatòpsies

La visió normal, és a dir, la que tenen la majoria de persones, consta d'una visió tricromàtica. Les persones que tenen aquest tipus de visió tenen a la retina els tres tipus de con: con-L, con-M i con-S, amb el seu pigment visual i capten els colors vermell, verd i blau respectivament. Gràcies a la superposició d'aquests tres colors, les persones amb visió tricromàtica poden veure tots els colors de l'espectre visible per mitjà d'un procés anomenat síntesi additiva.

Quan una persona no és capaç de distingir un o més colors es diu que té una deficiència en la seva visió cromàtica o que pateix una discromatòpsia.

La discromatòpsia és un defecte que provoca la ceguesa parcial als colors. Pot ser adquirida o hereditària i, en el segon cas, és recessiva i lligada al sexe. Actualment no té cura i és causada per l'incapacitat dels gens per crear determinats tipus de pigments visuals o produir correctament les opsines d'aquests.

En les discromatòpsies el sufix –anomalopia indica una desviació o anormalitat en el funcionament dels pigments dels cons L (protanomalopia), M (deuteranomalopia) i S (tritanomalopia). En canvi, el sufix –anopia indica

l'absència dels pigments dels cons L (protanopia), M (deuteranopia) i S (tritanopia).

Hi ha diferents tipus de discromatòpsies depenent del tipus de visió cromàtica i del con afectat:

Monocromatisme

-*monocromatòpsia* (presència d'un sol tipus de con)

-*acromatòpsia* (absència de cons)

Dicromatisme

-*protanopia* (absència del pigment del con-L)

-*deuteranopia* (absència del pigment del con-M)

-*tritanopia* (absència del pigment del con-S)

Tricromatisme anòmal

-*protanomalopia* (alteració del pigment del con-L)

-*deuteranomalopia* (alteració del pigment del con-M)

-*tritanomalopia* (alteració del pigment del con-S)

-Monocromatisme.

El monocromatisme és la visió dels colors en una sola dimensió a causa de l'absència o el mal funcionament de tots o de dos tipus de pigments del con, normalment els pigments pel color verd i vermell. Per tant, els monocromats no són capaços distingir els colors. Hi ha dues anomalies que poden produir una visió monocromàtica: la monocromatòpsia i l'acromatòpsia.

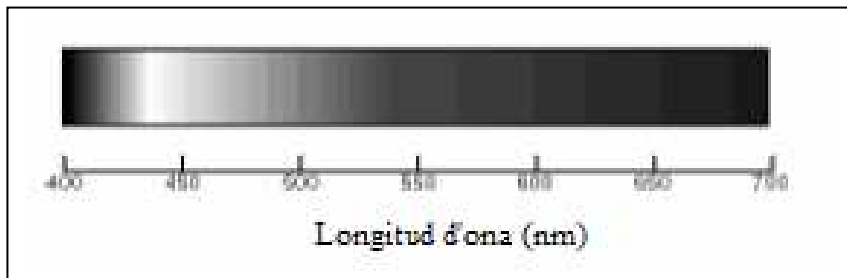
Monocromatòpsia

Els individus amb aquesta anomalia només presenten un sol tipus de con funcional a la retina, normalment el con-S, que conté el pigment pel color blau, de manera que no tenen capacitat per veure els colors: hi veuen amb una escala de grisos. La seva visió és semblant a la d'aquells que no presenten cap tipus de con (acromatòpsia). És un defecte molt rar i afecta a 1 de cada 40.000 individus.

Hi ha tres tipus de monocromatòpsies segons els tipus de cons afectats:

Monocromatòpsia blava o del con-S: monocromatòpsia que afecta els gens que codifiquen els pigments pels colors verd i vermell. Els cons afectats són els cons L i M.

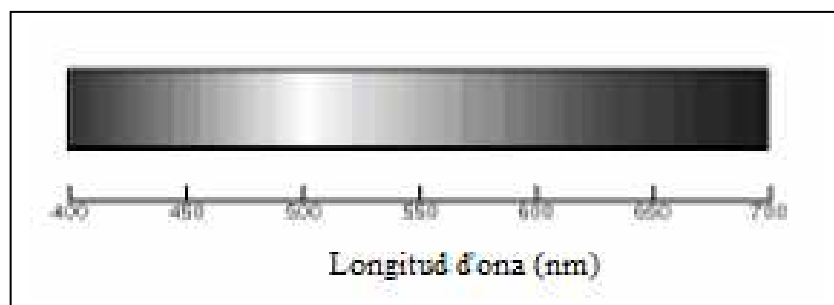
Monocromatòpsia verda o del con M: monocromatòpsia que afecta els gens que codifiquen els pigments pels colors blau i vermell. Els cons afectats són els cons S i L. Monocromatòpsia vermella o del con L: monocromatòpsia que afecta els gens que codifiquen els pigments pels colors verd i vermell. Els cons afectats són els cons M i L.



Visió de l'espectre d'un monocromatop del con-S

Acromatòpsia completa o monocromatòpsia dels bastons

Els individus amb aquesta anomalia no presenten cap con a la retina de manera que no tenen capacitat per veure els colors. La visió dels acròmats queda limitada a la que els proporcionen els bastons. Els acròmats hi veuen en blanc i negre i es calcula que només 3 de cada 10 milions de persones són acròmats.



Visió de l'espectre d'un acròmat

-Dicromatisme

La visió dicromàtica es dona en casos en què l'individu afectat té només dos tipus de cons funcionals dels tres possibles, i la visió del color queda reduïda a dues dimensions. Això ocasiona que les tonalitats del color absent siguin captades per un altre con, veient-se dos colors com un de sol. La visió dicromàtica és semblant a la tricromàtica anòmala però més accentuada.

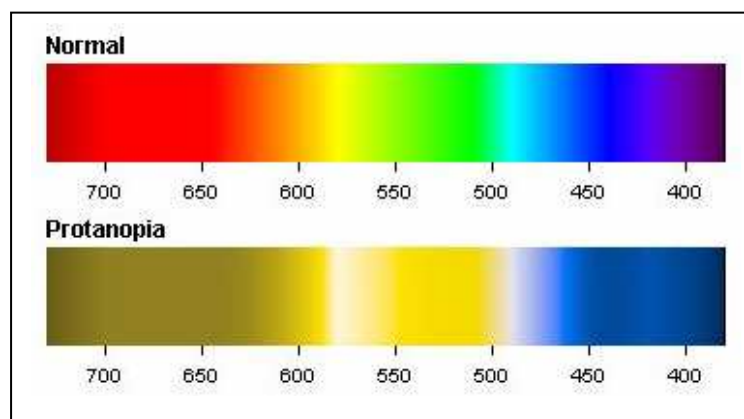
Depenent del tipus de pigment visual absent hi ha tres tipus de discromatòpsies que causen una visió dicromàtica: la protanopia, la deuteranopia i la tritanopia.

Protanopia

Els individus que presenten aquesta anomalia s'anomenen protanops, i tenen els con-L afectats, ja que aquests fotoreceptors tenen absència del pigment visual pel color vermell. Per tant, són dicromats perquè tenen només dos cons funcionals: els cons-M i els cons-S.

Es diu que els protanops tenen una deficiència del tipus vermell-verd però si s'observa bé l'espectre es pot veure que hi ha molts més colors que no són ben distingits pels individus amb protanopia. Aquest concepte és, doncs, enganyós i dona una impressió equivocada de la visió protanòpica.

El mateix passa amb els deuteranops, que també tenen una deficiència del tipus vermell-verd.



**Visió de l'espectre d'una persona normal
i d'un protanop**

L'espectre visible dels protanops té l'extrem vermell més curt del normal, i la part de l'espectre que per la visió normal és el blau-verd, és vista per les persones amb protanopia com un gris. Això fa que l'espectre dels protanops quedi dividit en dues àrees separades aquesta part gris. Cada àrea és vista com un sistema de color amb una brillantor i una saturació de diferents. El vermell amb un lleuger tint de color porpra que és el color complementari del blau-verd també és un gris en l'espectre dels protanops.

Aproximadament 1 de cada 100 homes i 2 de cada 10.000 dones pateixen protanopia, que és una anomalia hereditària, recessiva i lligada al sexe.



Visió normal

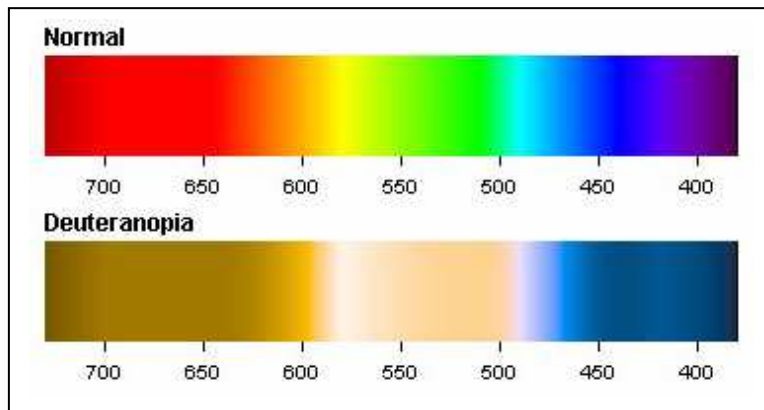


Visió protanòpica

Deuteranopia

Els individus que pateixen aquesta anomalia s'anomenen deuteranops, i tenen els con-M afectats, ja que aquests fotoreceptors tenen absència del pigment visual pel color verd. Per tant, els deuteranops són dicromats perquè tenen només dos cons funcionals: els cons-L i els cons-S.

John Dalton patia una anomalia d'aquest tipus i per això molts cops la deuteranopia és anomenada com el propi daltonisme.



**Visió de l'espectre d'una persona normal
i d'un deuteranop**

Els deuteranops tenen dificultat sobretot per distingir el color vermell amb el verd, però tampoc poden distingir molt bé altres colors com el color gris, el porpra i el blau verdós.

Les anomalies del tipus deutà són les més comunes, sobretot la deuteranomalopia. Es considera que aproximadament 12 de cada 1000 homes i 1 de cada 10.000 dones pateixen deuteranopia, que és una anomalia hereditària, recessiva i lligada al sexe.



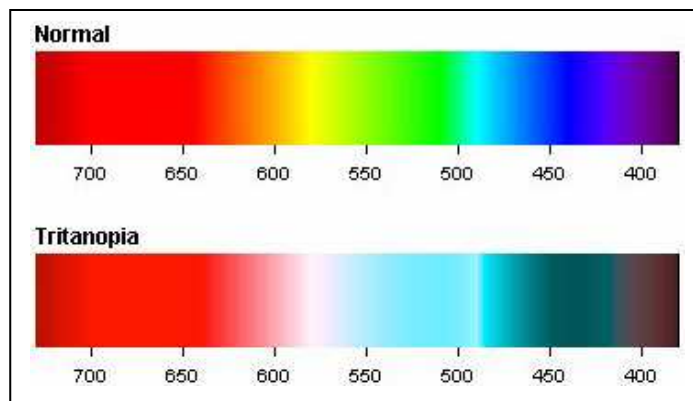
Visió normal



Visió d'un deuteranop

Tritanopia

Els individus que pateixen aquesta anomalia s'anomenen tritanops i tenen els con-S afectats, ja que aquests fotoreceptors tenen absència del pigment visual pel color blau. Per tant, els tritanops són dicromats perquè tenen només dos cons funcionals: els cons-L i els cons-M.



**Visió de l'espectre d'una persona normal
i d'un tritanop**

Es diu que els tritanops tenen una deficiència del tipus blau-groc però realment no acostumen a confondre el color blau amb el groc sinó que confonen el blau amb el verd i el groc amb el violeta. Per tant, seria més correcte anomenar blau-verd el tipus de deficiència dels tritanops.

La tritanopia s'observa molt rarament i només 1 individu de cada milió de persones presenta aquesta anomalia.

Al contrari que en la protanopia i la deuteranopia, la tritanopia és una anomalia autosòmica ja que els gens que determinen el pigment visual pel color blau (present en els con-S) estan situats al cromosoma 7. Per tant, la tritanopia es dóna igual en els homes que en les dones.



Visió normal



Visió tritanòpica

-Tricromatisme anòmal

Una visió tricromàtica anòmala es dona en casos en què l'individu afectat té els tres tipus de con (L, M i S) però un dels tres no funciona correctament a causa d'una deficiència en l'opsina del seu pigment visual. Normalment els fotoreceptors afectats són els cons-L i els cons-M.

Els daltonians tricromàtics anòmals acostumen a identificar com a iguals aquelles tonalitats que són, de fet, molt semblants i això dona com a resultat un espectre visible del color més curt.

El tricromatisme anòmal és el tipus de discromatòpsia més freqüent i té uns efectes similars al dicromatisme però menys notables.

Hi ha tres tipus de tricromatisme anòmal segons el tipus d'opsina absent: la protanomalopia, la deuteranomalopia i la tritanomalopia.

Protanomalopia

Els individus afectats per aquesta anomalia s'anomenen protanomalops i tenen els gens que codifiquen l'opsina del pigment visual pel color vermell

(eritropsina) afectats. Per tant, tot i que presenten el pigment pel color vermell, els cons-L no funcionen correctament.

Igual que els individus que pateixen protanopia, els protanomalops tenen una deficiència del tipus vermell-verd, tot i que confonen altres colors.

Es pot dir que la protanomalopia és una protanopia menys accentuada en què els colors de confusió són més semblants.

Aproximadament 11 de cada 1000 homes pateixen protanomalopia i només 3 de cada 10.000 dones en resulten afectades. Això és degut a causa que, com la resta de deficiències del tipus vermell-verd, la protanomalopia és una anomalia hereditària recessiva i lligada al sexe.

Deuteranomalopia

Els individus que pateixen aquesta anomalia s'anomenen deuteranomalops, i tenen els gens que codifiquen la fopsina del pigment visual pel color verd (cloropsina) afectats. Això fa que, tot i que presenten el pigment pel color verd, els cons-M no funcionin correctament.

Els deuteranomalops confonen més o menys els mateixos colors que els deuteranops però de manera no tant accentuada.

La deuteranomalopia és el tipus de daltonisme més patit, tant en homes com en dones i afecta a 46 homes de cada 1000 i a quasi 4 dones de cada 1000. Aquesta diferència entre homes i dones és causada pel caràcter d'anomalia hereditària lligada al sexe de la deuteranomalopia.

Tritanomalopia

Els individus que pateixen aquesta anomalia s'anomenen tritanomalops i tenen els gens que codifiquen l'opsina del pigment visual pel color blau (cianopsina) afectats. Per tant, tot i que els cons-S tindran el seu pertinent pigment visual no funcionaran correctament.

Els tritanomalops, igual que els tritanops, tenen una deficiència del tipus blau-groc encara que confonen molts altres colors.

Es considera que la visió dels tritanomalops és menys accentuada que la dels tritanops.

La tritanomalopia és una de les discromatòpsies més estranyes i el nombre de persones que la pateixen és insignificant: només 2 de cada milió de persones pateixen tritanomalopia. La tritanomalopia és una anomalia autosòmica ja que els gens que determinen el pigment visual pel color blau (present en els con-S) estan situats al cromosoma 7. Per tant, la tritanomalopia es dona igual en els homes que en les dones.

Distribució i estadístiques dels daltonians

Com molts altres tipus d'anomalies o com les malalties hereditàries, els diferents tipus de discromatòpsies estan repartides de diferent manera. Això és a causa que els gens que codifiquen les mutacions dels pigments que produeixen daltonisme s'hereten. D'aquesta manera, al llarg del temps els individus que patien diferents tipus de daltonisme s'han anat acumulant a diferents zones geogràfiques o classes socials.

A més a més els diferents tipus de daltonismes són molt variats: afecten de diferent manera a homes i dones i hi ha discromatòpsies molt rares amb nombres d'individus quasi insignificants i d'altres que tenen un gran pes sobre la població mundial.

La taula de sota indica quin és el percentatge d'homes i de dones que pateixen cada tipus de discromatòpsia i que tenen un tipus de visió cromàtica diferent (monocromatisme, dicromatisme i tricromatisme anòmal).

Tipus de visió cromàtica	Tipus de discromatòpsia	Prevalència	
		Homes	Dones
Monocromatisme	Acromatòpsia	0,00003%	
Dicromatisme	Protanopia	1,01%	0,02%
	Deuteranopia	1,27%	0,01%
	Tritanopia	0,0001%	
Tricromatisme anòmal	Protanomalopia	1,08%	0,03%
	Deuteranomalopia	4,63%	0,36%
	Tritanomalopia	0,0002%	
TOTAL		8%	0,42%

Percentatge de població afectada de discromatòpsia

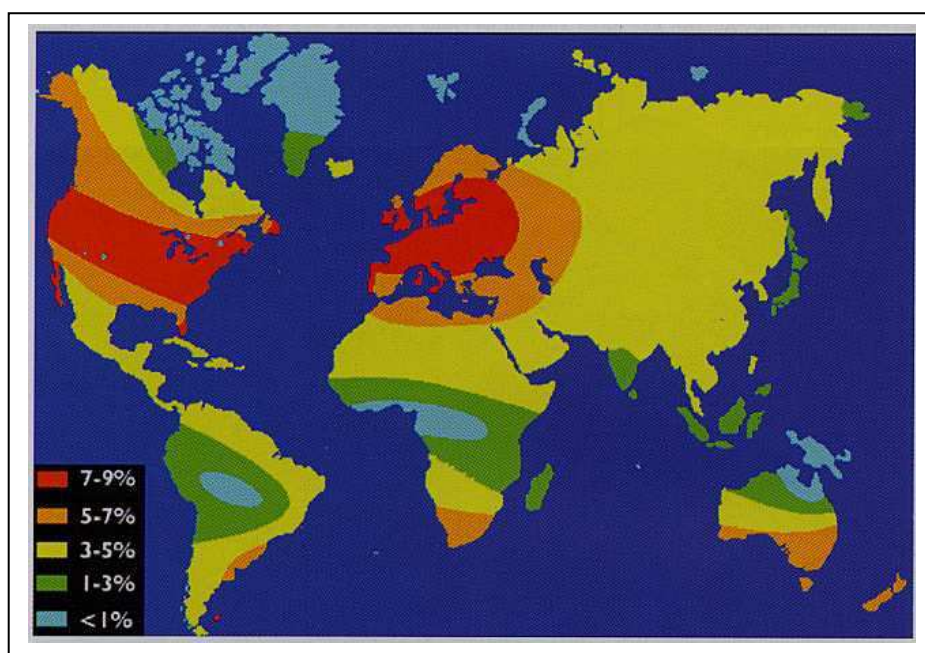
Com es pot observar, els daltonismes més abundants són els de deficiències del tipus vermell-verd, destacant la deuteranomalopia que és present en més part de la població que la resta de daltonismes, tant en homes com en dones.

Altres discromatòpsies com l'acromatòpsia o els defectes del tipus tritan, que són adquirits, es donen molt rarament i el nombre d'afectats és realment petit.

En resum, dos de cada vint-i-cinc homes són daltonians i aproximadament una de cada dos-centes cinquanta dones també.

Aquesta diferència de prevalença en homes i dones és deguda a causa que el daltonisme és una anomalia lligada al sexe: el gen del daltonisme està al cromosoma X i com que les dones tenen dos cromosomes X, per presentar l'anomalia hauran de tenir els dos al·lels afectats, mentre que els homes, al tenir només un cromosoma X, si tenen el gen afectat ja patiran l'anomalia.

Però el daltonisme no varia només en funció del sexe i del tipus de discromatòpsia: el mapa que hi ha a continuació va ser publicat a la revista *Color Research* i elaborat per L.T. Sharpe & H. Jagle al 2001. Els seus estudis van demostrar la diferent incidència del daltonisme arreu del món.



Distribució de daltonians al món

Com es pot observar, una àmplia zona, sobretot central, d'Europa i dels Estats Units presenta un 7-9% d'afectació, sent els dos nuclis on el daltonisme afecta un percentatge més elevat de població. A la perifèria d'Europa, en dues franges d'Amèrica del Nord, el sud d'Austràlia i d'Àfrica i Nova Zelanda, l'afectació és del 5-7%.

En canvi, a la major part d'Àsia, en dues franges d'Àfrica, a l'Amèrica Central, al centre d'Austràlia, una franja d'Amèrica del Nord i la vessant atlàntica d'Amèrica del Sud, l'afectació és del només 3-5%.

Finalment hi ha zones com el vessant pacífic d'Amèrica del Sud, el centre d'Àfrica, la meitat nord d'Oceania, el nord de Canadà i Groenlàndia on menys d'un 3% de la població és daltonià.

A més a més hi ha dues illes de Micronèsia, situades a l'oceà Pacífic, anomenades Pingelap i Pohnpei on una proporció molt elevada de la població (més d'un 25 %) pateix una monocromatòpsia total o acromatòpsia, un dels tipus de discromatòpsia més estranys. Oliver Sacks ho relata amb detall al llibre *La isla de los Ciegos al color*.

1.3.2 El factor hereditari

Lleis de Mendel

Gregor Mendel (1821-1884) és considerat el pare de la genètica gràcies als seus experiments que li van permetre demostrar que l'herència es produïa d'una manera previsible.

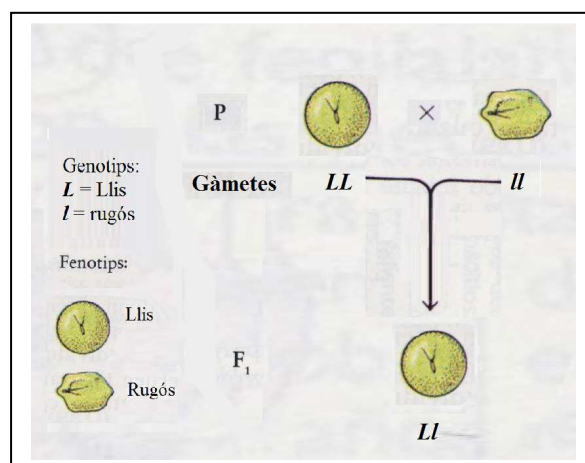
Mendel, que va ser un religiós agustí, va treballar al monestir de la ciutat de Brno, a la República Checa. Els seus experiments van consistir en l'encreuament de races pures de pesoleres amb diferents característiques com la forma i color dels seus pèsols o la posició i color de les seves flors.

La seva gran obra, que no va ser reconeguda fins després de la seva mort, va quedar resumida en tres lleis:

Primera llei de Mendel o llei de la uniformitat de la primera generació:

Mendel va observar que en encreuar dos individus de línies pures que tenien al·lels diferents per un mateix caràcter, tota la generació filial presentava només un dels dos al·lels. És a dir va adonar-se que si encreuava una línia pura de pèsol llis amb una de rugós, tots els descendents eren pèsols llisos.

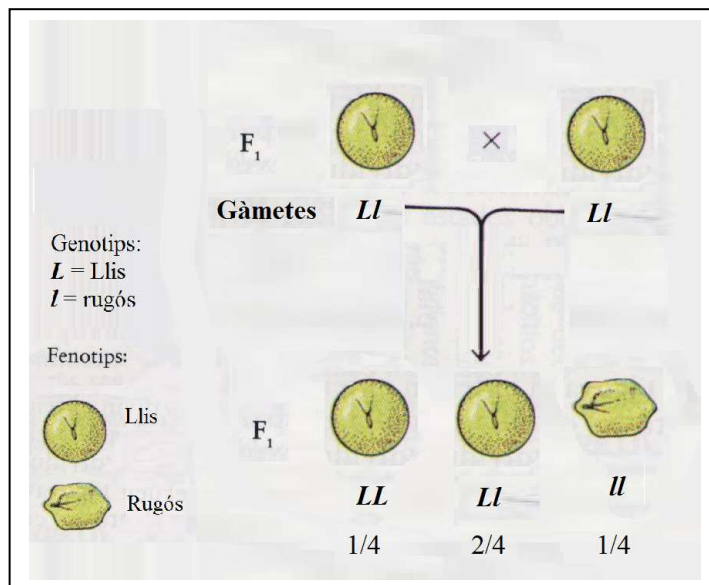
Va anomenar a l'al·lel que apareixia en la descendència de la primera generació al·lel dominant i al que desapareixia al·lel recessiu.



Primera llei de Mendel

Segona llei de Mendel o llei de la segregació:

Mendel no es va quedar aquí i va decidir encreuar els individus sorgits de la primera generació filial entre ells i va observar que els al·lels recessius que havien desaparegut del fenotip (aspecte visible) de la primera generació filial tornaven a aparèixer a la segona generació filial. A més a més, Mendel es va adonar que la proporció d'individus amb l'al·lel recessiu era d'1 per cada 3 amb al·lel dominant.

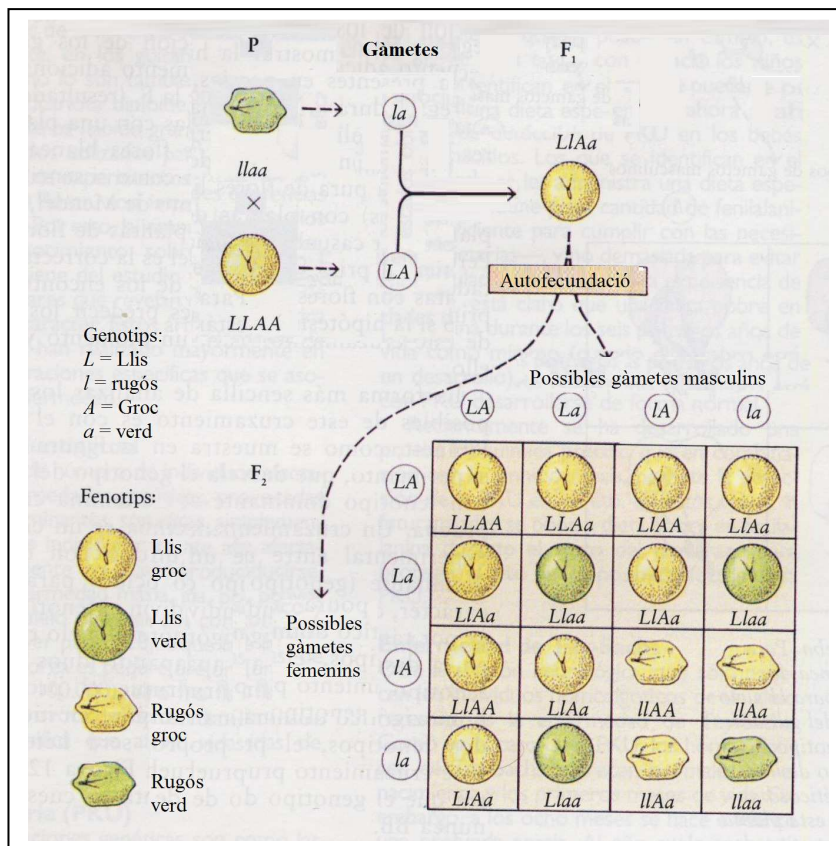


Segona llei de Mendel

Mendel va suposar, llavors, que cada individu té parelles d'al·lels per a cada caràcter i que els descendents n'obtenen un de cada progenitor. Si els dos al·lels per un mateix caràcter d'un individu són iguals, l'individu s'anomena homozigot per aquell caràcter, en canvi, si són diferents, s'anomena heterozigot.

Tercera llei de Mendel o llei de la transmissió independent:

En una sèrie d'experiments posteriors Mendel va estudiar l'encreuament entre pesoleres amb dos caràcters diferents. Va agafar pesoleres que feien pèsols grocs i llisos (ambdós són al·lels dominants) i altres que feien pèsols verds i rugosos (al·lels recessius). En tots els individus de la primera generació els fenotips (aspecte visible) va ser pèsols grocs i llisos. En encreuar els descendents de la primera generació entre ells va observar que de cada 16 pèsols, 9 eren grocs i llisos, 3 eren grocs i rugosos, 3 eren verds i llisos i 1 era verd i rugós. Aquest experiment no contradeia els anteriors de Mendel, simplement demostrava que les proporcions corresponien a les que produeix una combinació a l'atzar de tots el gàmetes possibles. És a dir, en l'herència de dos caràcters simultàniament, els resultats són els que s'esperen suposant que es transmetessin aquests dos caràcters independentment.



Tercera llei de Mendel

Teoria cromosòmica de l'herència

Al 1902, Walter Stanborough Sutton (1877-1916) i Theodor Boveri (1862-1915) van descobrir de forma independent (el primer a EE.UU i el segon a Alemanya) que els gens amb els al·lels que havia anomenat Mendel, estaven situats als cromosomes. Aquesta teoria es va anomenar teoria cromosòmica de l'herència i no va ser acceptada fins que al 1915 Thomas Hunt Morgan (1866-1945) la va demostrar amb els seus experiments realitzats amb la mosca de la fruita (*Drosophila Melanogaster*).

El daltonisme com a anomalia hereditària

Els gens que codifiquen l'eritropsina (opsina del pigment visual pel color vermell) i la cloropsina (opsina del pigment visual pel color verd) es troben en el cromosoma X. La mutació d'aquests gens fa que els cons que tenien aquests pigments tinguin una deficiència que no els permeti captar els colors o, directament, que no es formin aquests fotoreceptors.

Com que aquestes mutacions són de caràcter recessiu i les dones tenen dos cops el cromosoma X a la parella de cromosomes sexuals (XX), les dones hauran de tenir els dos al·lels afectats per presentar l'anomalia. Si una dona té un gen mutat en un cromosoma X (recessiu) i l'altre cromosoma X (dominant) té els gens que codifiquen els pigments de manera normal, aquesta dona només serà portadora del defecte.

Els homes, però, com que tenen un sol cromosoma X a la parella de cromosomes sexuals (XY), si tenen el gen mutat sempre patiran el defecte.

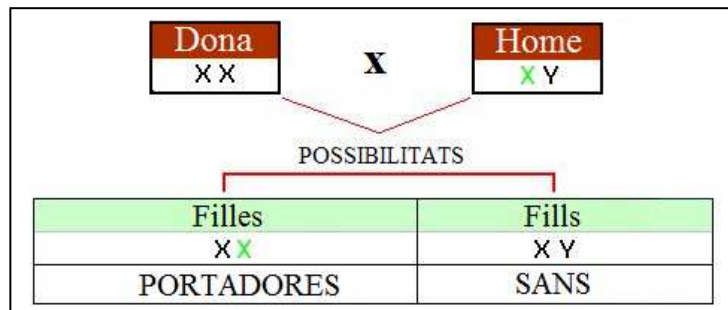
El daltonisme és, per tant, una anomalia lligada al sexe en el cas dels dicromatismes i tricromatismes anòmals pels colors vermell i verd.

En canvi, com que els gens que codifiquen la cianopsina (opsina del pigment visual pel color blau) es troben en el cromosoma 7, els dicromatismes i tricromatismes anòmals pel color blau seran donats per una mutació en un gen autosòmic i la quantitat d'afectats serà igual en les dones que en els homes.

En els següents esquemes apareixen les possibilitats de néixer daltonià/a, sa/na o portadora depenent dels cromosomes defectuosos que tinguin els progenitors. Podem observar cinc casos possibles:

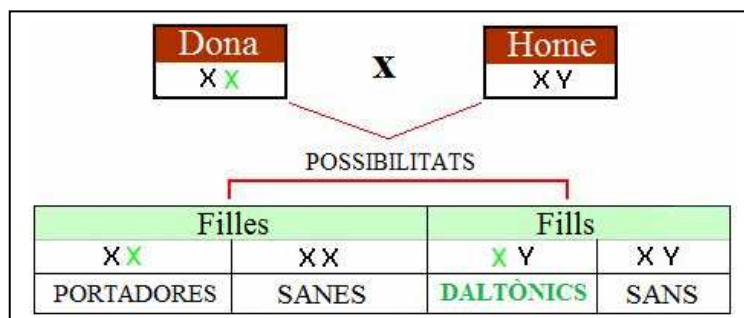
-Mare normal pare daltonià

En l'encreuament d'una mare normal i d'un pare daltonià totes les filles naixeran portadores i tots els fills naixeran sans.



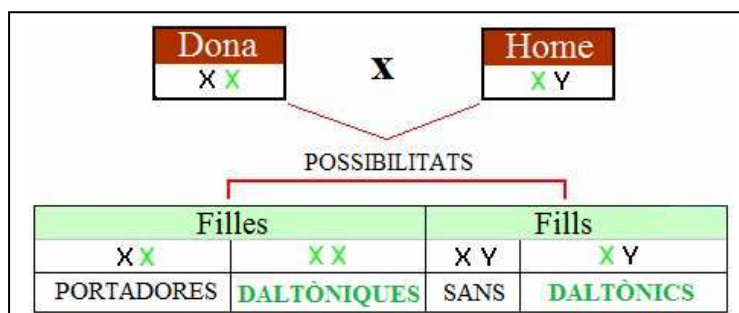
-Mare portadora pare normal

En l'encreuament d'una mare portadora i d'un pare normal la meitat de les filles naixeran portadores i l'altra meitat sanes. En canvi, la meitat dels fills naixeran daltonians i l'altra meitat sans.



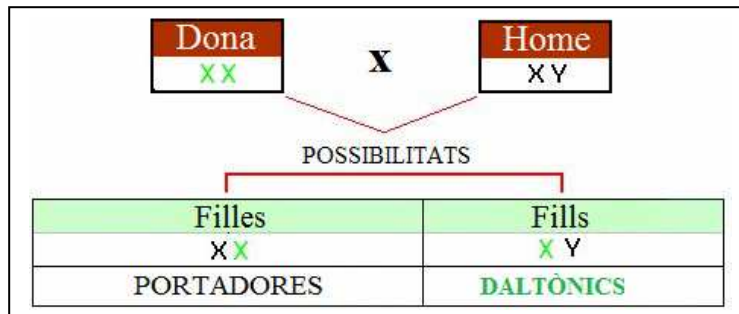
-Mare portadora, pare daltonià

En l'encreuament d'una mare portadora i d'un pare daltonià la meitat de les filles naixeran daltonianes i l'altra meitat portadores. En canvi, la meitat dels fills naixeran daltonians i l'altra meitat sans.



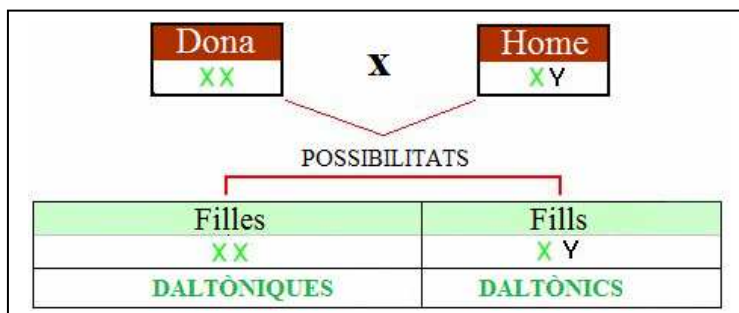
-Mare daltonià pare normal

En l'encreuament d'una mare daltonià amb un pare normal la meitat totes les filles naixerien portadores. En canvi, tots els fills naixerien daltonians.



-Mare daltoniana pare daltonià

En l'encreuament d'una mare daltoniana amb un pare daltonià totes les filles naixerien daltonians i tots els fills també.



Llegenda

X: cromosoma X

X: cromosoma X mutat

Y: cromosoma Y (masculí)

1.3.3 Aspectes culturals

Avantatges i inconvenients dels daltonians

Els individus que pateixen algun tipus de discromatòpsia tenen certes desavantatges respecte la població amb una visió tricromàtica normal. Deixant de banda els casos de monocromatisme (com l'acromatòpsia) en què no es distingeix cap color i les adversitats són desmesurades, podem dir que l'impediment més important dels daltonians és l'impossibilitat de dedicar-te a algunes professions on és necessària una bona visió del color.

Algunes de les feines a les quals els daltonians no poden optar són:

En el transport:

- En l'Armada, la Força Aèria i Naval: pilots i enginyers.
- En l'aviació civil: pilots, mecànics i enginyers.
- En el control del trànsit aeri.
- En la marina mercant: mariners i oficials.
- En els ferrocarrils: mecànics i conductors de tren.
- En el transport públic: conductors col·lectius.

En protecció pública:

- En la policia (en alguns graus).
- Com a inspector duaner.
- Com a bomber.

Altres feines (depenent de l'empresa o lloc on es treballi)

- Alguns electricistes i tècnics electricistes.
- En laboratoris: tècnics i droguistes.
- Tèxtils i indústria gràfica
- Fotògrafs i pintors
- Feines on es seleccionen fruites, vegetals o carns
- Altres ocupacions com feines de geologia, cartografia o química.

Hi ha molts casos de gent que ha hagut de deixar els estudis per una determinada feina quan ha descobert que patia algun tipus de discromatòpsia que li impedia treballar-hi. Un exemple es podria trobar a la pel·lícula *Pequeña Miss Sunshine* en què un dels protagonistes que s'havia promès que no parlaria fins que aconseguís ser pilot d'avió descobreix que és daltonià i que no podrà ser-ho.

Tot i això, s'han donat casos de pilots d'avió daltonians que han aconseguit passar les proves mitjançant unes lents distorsionadores del color. A més a més hi ha molts oficis que realment no impedeixen a un daltonià realitzar les seves funcions correctament com s'ha comprovat en diversos casos de daltonians policies, per exemple. I és que en moltes convocatòries per algunes de les feines citades anteriorment no s'han passat els tests de daltonisme.

Un dels altres factors que influeix en la vida d'un daltonià és la conducció. Alguns tipus de daltonismes no permeten una bona distinció d'alguns senyals de tràfic o llums de cotxes així com els colors del semàfor (tot i que a la majoria de ciutats cada llum del semàfor està en una posició diferent). De fet, hi ha estudis que demostren que el percentatge de daltonians del tipus protà implicats en accidents de tràfic és més alt del normal. Alguns científics estimen que el fet de ser protanop equival a tenir un nivell d'alcohol a la sang d'entre un 0,5 i un 0,8 per cent.

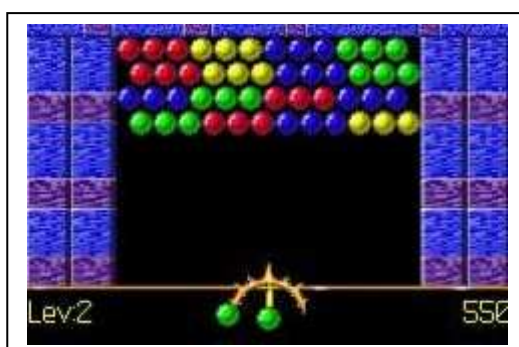


Semàfor

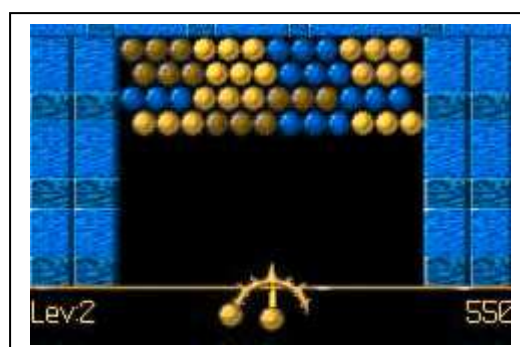
A Austràlia, per exemple, des del 1994 no es pot aconseguir una llicència per conduir un vehicle comercial o públic si es pateix protanopia o una protanomalopia.

En alguns carrers d'Asunción, al Paraguai, s'estan provant uns semàfors especials per a daltonians. Aquests estan dissenyats de manera que tenen una sola llum amb tres colors diferents (vermell, taronja i verd). Hi ha una creu a la llum vermella i una franja vertical a la verda, símbols que els daltonians distingeixen perfectament. Aquests semàfors són més barats i pot ser que s'estenguin en els pròxims anys.

Un altre aspecte on els daltonians tenen dificultats és en la tecnologia. Hi ha molts videojocs on és necessari diferenciar certs colors. Un bon exemple seria el Bubble Gun un joc que consisteix en ajuntar les pilotes del mateix color.



Visió normal del Bubble Gun

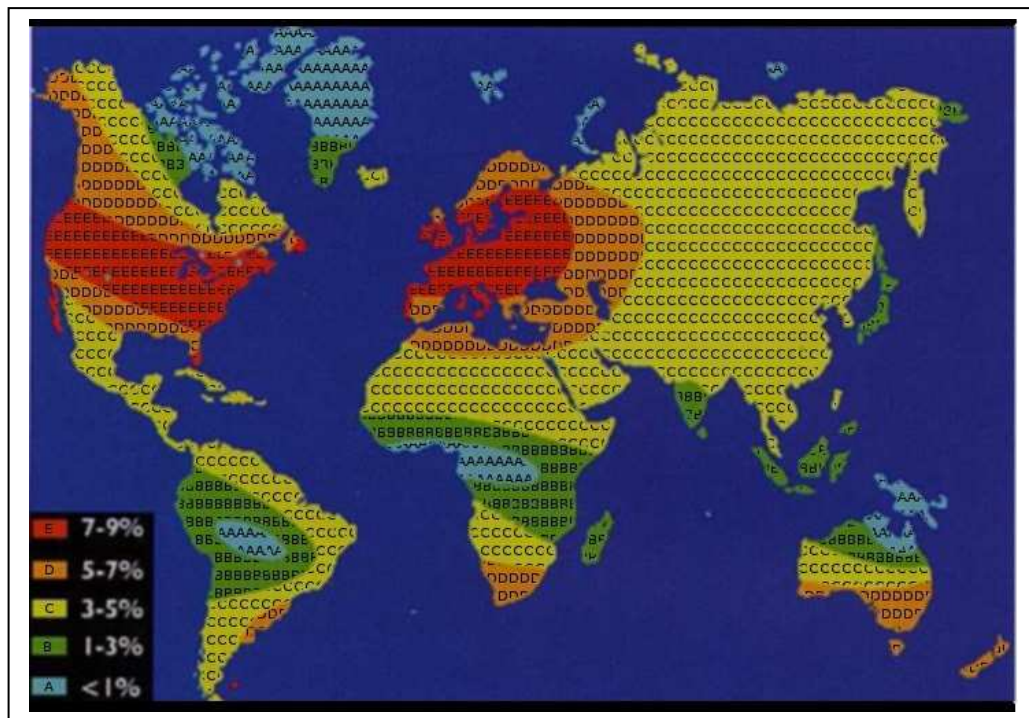


Visió deuteranòpica del Bubble Gun

A la vida diària hi ha molts altres problemes que els daltonians han de superar. Per exemple a l'hora de conjuntar la roba molts daltonians poden vestir-se amb peces de roba ben llampants pensant-se que porten colors discrets. Això mateix li va passar a Dalton quan va anar a conèixer el rei Guillem IV amb una vestimenta acadèmica de color escarlata quan ell es pensava que portava roba de color gris.

La majoria de daltonians també es troben el problema de distingir els llapis de colors a l'hora de pintar, cosa que pot crear algunes confusions divertides.

També hi ha el problema dels colors dels mapes o gràfics de molts llibres de text que són realment difícils o impossibles de distingir pels daltonians. Fins i tot el mapa que he adjuntat prèviament a l'apartat de la distribució de daltonians al món, té una llegenda en funció dels colors. I mira que va adreçat sobretot a daltonians! Una de les solucions fàcils a aquest problema seria per exemple separar les àrees de diferent color per línies puntejades o posar símbols diferents a cada àrea. El mapa citat anteriorment quedaria així:



Mapa de la pàgina 49 amb una llegenda adequada per daltonians

Però no tot són desavantatges: durant la segona guerra mundial o la guerra del Vietnam alguns exèrcits van utilitzar daltonians per detectar els individus camuflats de l'exèrcit enemic. Molts anys més tard es va demostrar que aquesta estratègia no estava tant equivocada, ja que, segons un estudi d'uns científics de la universitat de Cambridge, les persones que pateixen deuteranomalopia perceben alterats els colors en què el verd participa en la mescla i són capaços de distingir entre parells de colors que per la resta semblen iguals.

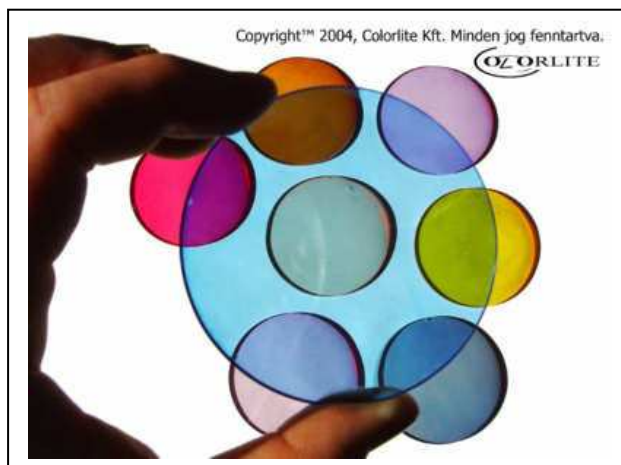
Té cura el daltonisme?

Actualment el daltonisme no es pot curar. Fins fa pocs anys no existia cap tractament capaç de canviar la vista daltoniana d'un pacient i els daltonians s'havien d'ajustar a la realitat i buscar mètodes per diferenciar els colors com per exemple distingir els semàfors per la posició dels colors o enganxar als llapis un paperet amb el nom del seu corresponent color. No obstant, darrerament han aparegut nous mètodes que permeten als daltonians un cert contrast entre diferents colors.

És el cas de les lents correctores *ColorMax*, *Colorlite* i *Chromagen*. Aquestes lents, que es poden trobar en forma de lents de contacte o lentilles i en forma d'ulleres, no solucionen el daltonisme i fan d'una visió dicromàtica o tricromàtica anòmala una visió normal sinó que es veuen com a colors diferents d'altres que es veien com iguals i es confonen uns altres.

Els anomenats lents *ColorMax* es van dissenyar per incrementar la discriminació de colors que semblen iguals. Són funcionals per a persones amb deficiències en distingir els colors vermell i verd, encara que, com afegeix Waggoner, no produeixen efecte en els altres tipus de deficiències.

Les lents de contacte *Colorlite* utilitzen una lent amb una capa especial. Aquesta capa transforma l'espectre de la llum que hi passa de manera que genera un estímul semblant a la vista normal. Aquestes lents fan efecte sobretot a les ones mitjanes (defectes vermell-verd). Amb l'ús de les lents *Colorlite* es pot aconseguir que la persona daltoniana vegi diferents matisos de color que anteriorment no veia. En més del 80% dels casos es pot corregir el daltonisme totalment.



Una de les lents de Colorlite

Les lents de contacte *Chromagen* també busquen millorar i ressaltar la visió dels colors per a les persones daltonianes. Encara que hi ha gent que es veu molt enlluernada amb els resultats i que es triga un temps a acostumar-se a les lents, la majoria de gent nota una gran millora i pot identificar els colors amb més facilitat. A més a més, algunes d'aquestes lents tintades permeten passar diferents proves de detecció del daltonisme sense problema.

Gràcies a aquests tres tipus de lents s'han pogut trobar pilots i altres treballadors daltonians que han pogut passar les proves de detecció de daltonisme i entrar a la seva feina, no apte per daltonians.

Tests de detecció

Tot i que actualment el daltonisme no té cura, és molt fàcil de detectar. A més a més la seva detecció és molt important: com abans es conegui que un nen es daltonià menys problemes tindrà. Fins i tot hi ha casos de nens daltonians que han estat portats al psiquiatre per dir que els professors feien veure que escrivien a la pissarra quan el què passava era que no distingia bé els colors del guix i la pissarra.

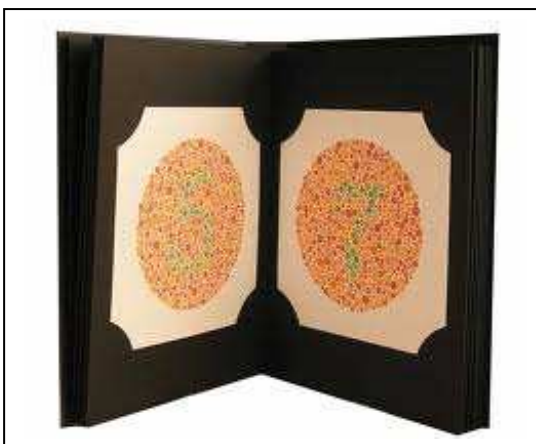
Avui en dia hi ha molts tests de detecció del daltonisme. N'hi ha que simplement detecten si una persona és daltonià; d'altres diferencien el tipus de deficiència que té (vermell-verd o blau-groc); i d'altres determinen el tipus de daltonisme i, fins i tot, el seu grau.

Cada test utilitza un sistema determinat però el més típic és l'ús de làmines puntejades de diferents colors.

Els tests de detecció de daltonisme més típics són el test d'Ishihara, el test de Farnsworth 100-hue i l'anomaloscopi.

-Test d'Ishihara

El test d'Ishihara és el test més conegut i el que fan servir a la majoria de clíniques oftalmològiques. El seu nom ve donat pel seu creador, el doctor Shinobu Ishihara, professor de la universitat de Tòquio, que el va publicar l'any 1917.



Test d'Ishihara

Aquest test consta d'una sèrie de 38 làmines i està dissenyat per proporcionar una valoració ràpida i exacta del tipus de deficiència cromàtica, tot i que només permet diferenciar entre protanopia o protanomalia forta i deuteranopia o deuteranomalia forta, és a dir, entre deficiències del

tipus vermell-verd.

Cada làmina del test està formada per un cercle ple de punts de diferents colors, tonalitats i mides poc separats entre ells.

Si una persona amb una visió tricromàtica normal observa aquest mosaic de punts, podrà veure-hi un número d'una o dues xifres o una línia que podrà resseguir. En canvi, un daltonià al veure els punts de diferents tonalitats com iguals o no podrà veure-hi el número o en veurà un de diferent o no podrà resseguir la línia marcada.

El número de làmines que cal utilitzar per detectar un daltonisme es pot reduir a 17 o menys però llavors la detecció perd fiabilitat.

El test està creat per passar-se amb llum solar i les seves impressions o fotocòpies poden alterar els colors.

-Test de Farnsworth hue-100

Aquest test també és molt conegut i es basa en la ordenació de tons. Consta de quatre safates que contenen 25 fitxes de diferent tonalitat cada una. Es treuen totes les fitxes menys dues: la primera i la última, i el pacient les ha d'ordenar de manera que a partir del color de la fitxa inicial



Test de Farnsworth 100-hue

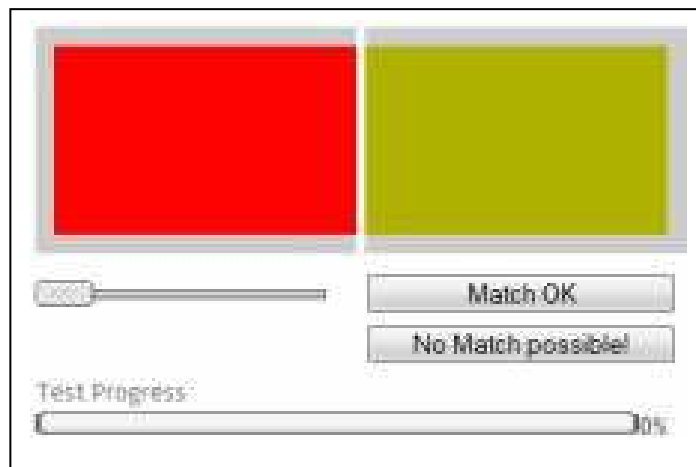
es passi al color de la fitxa final. Aquest test permet la detecció dels defectes moderats del tipus protà, deutà i trità però els daltonismes lleus passarien el test.

-Anomaloscopi

L'anomaloscopi és un aparell òptic que actualment s'ha incorporat als ordinadors i que permet classificar el tipus de visió cromàtica i diferenciar entre protanopia, protanomalopia, deuteranopia i deuteranomalopia.

Existeixen diferents tipus d'anomaloscopis: l'anomaloscopi de Nagel, el de Pickford-Nicolson i d'altres que gairebé no es fan servir.

Consta d'una pantalla amb dos colors diferents. El de l'esquerra es manté sempre fix i és de tonalitat groguenca i el de la dreta pot variar i conté l'escala de tons entre el verd i el vermell. El pacient ha d'intentar igualar el color de la dreta amb el de l'esquerra graduant el to del de la dreta. S'ha de repetir el procés diferents vegades amb diferents colors a l'esquerra (sempre groguencs) i finalment l'aparell classifica el daltonisme patit.



Anomaloscopi

El procés és bastant feixuc i per això aquest test no és gaire utilitzat. S'utilitza sobretot per especificar el tipus de daltonisme que es pateix, quan ja se sap que s'és daltonià.

2. PART PRÀCTICA

2.1 Introducció a la part pràctica

Aquesta part del treball ha estat la més difícil d'elaborar sobretot pel que fa a la tria dels objectius i els apartats.

Em va costar molt arribar a trobar idees factibles, cosa que em va dificultar la seva elaboració pel poc temps que em quedava quan finalment vaig trobar els objectius.

Primer havia pensat en altres idees, com per exemple demostrar si el daltonisme era una anomalia hereditària observant els arbres genealògics de diferents famílies, buscar els fonaments dels diversos tests de detecció del daltonisme o simplement comparar els problemes dels daltonians a la seva vida quotidiana.

Cap de les tres opcions em va resultar satisfactòria: la primera, demostrar si el daltonisme és una anomalia hereditària, no tenia cap misteri. A totes les pàgines web que tenen a veure amb el daltonisme es parla del caràcter hereditari d'aquesta anomalia, igual que a la majoria de llibres de text que es refereixen en algun apartat al daltonisme. De fet, al llibre de Biologia de tercer d'ESO, ja sortia com a exemple de anomalia hereditària el daltonisme. Per tant si utilitzava aquest tema, de recerca n'hi hauria hagut poca, simplement hauria estat un recull de dades. A més a més la utilització d'arbres genealògics per demostrar-ho era poc viable ja que, normalment, a partir de la tercera generació cap amunt ja es desconeix el caràcter daltonià dels parents.

La segona idea, buscar els fonaments de diversos tests de daltonisme, a part de ser realment difícil, com van remarcar-me les meves tutores d'òptica, es desviava bastant de l'àmbit de biologia que a mi m'interessava i tocava de ple el tema de la fisiologia del color, que jo trobava poc interessant.

La tercera proposta, comparar els diferents tipus de daltonismes i veure com afecten a la vida quotidiana no em va desagradar però vaig veure que el treball seria molt breu i per tant vaig decidir col·locar aquest tema com un subapartat del treball pràctic en sí.

A més a més a l'hora de començar vaig pensar que si havia de trobar daltonians el primer lloc on buscaria seria a l'institut, cosa que em va conduir a la idea que finalment vaig escollir.

Per això, em vaig decidir per buscar daltonians a l'institut alhora que comprovava si es complien els percentatges establerts per la majoria d'estudis científics (el 8% dels homes i el 0,4% de les dones) que tant havia observat mentre recopilava informació per la part teòrica. Vaig pensar que posteriorment ja podria ampliar aquesta part pràctica amb alguns dels temes rebutjats anteriorment.

Un cop decidits els objectius del meu treball, les dues hipòtesis que podrien resumir la meva part pràctica són:

-Veure si es compleixen les dades científiques sobre la freqüència del daltonisme a la població (8% dels homes i 0,42% de les dones afectats) a l'IES Joan Brossa.

-Comprovar que el daltonisme afecta a la vida diària dels daltonians.

Tot i que el principal objectiu era comparar els percentatges científics de daltonians amb els de l'institut, la segona hipòtesi m'ajudaria a saber si a la resta de daltonians tenien els mateixos problemes que jo.

Sempre vaig saber que hi havia un cert risc de no trobar cap altre daltonià o que només n'hi hagués dos o tres més, però les tutores em van informar que si això passava, podia passar el test també als cicles on em van assegurar que com a mínim hi havia dos discromatops.

A més a més era molt poc probable que passant el test a tres-centes persones –més de la meitat homes- i veient els percentatges de daltonians, no trobés més persones amb aquesta anomalia.

2.2 Procediment

Abans de fer la part pràctica pensava que tot el treball estaria dividit en tres parts: objectius, metodologia i elaboració i conclusions. Però a mesura que treballava vaig veure que el treball s'anava estenent. Quan portava un bon tros de treball em vaig adonar que ni jo mateix entenia com estava ordenat el contingut i vaig decidir fer uns apartats fixos.

Vaig separar el contingut del treball en quatre apartats:

1. Passar un test breu a tots els alumnes de l'institut .
2. Comprovar si realment eren daltonians passant el test d'Ishihara complert als possibles discromatops i observar quin tipus de daltonisme presentaven.
3. Un cop assegurats, comprovar si es complia el percentatge de daltonians (8% homes, 0,4% dones) a l'institut.
4. Passar als daltonians unes enquestes per veure com afectava el daltonisme a la seva vida quotidiana.

Però vaig veure que el primer apartat era massa extens i embolicat i el vaig dividir en dos apartats: Passar el test i recollir les dades.

Cada apartat el vaig dividir en tres subapartats: objectius, metodologia i conclusions.

Finalment el contingut va quedar resumit com a l'índex:

- 2.2.1 Passar el test a l'institut
- 2.2.2 Recollida de dades
- 2.2.3 Confirmació de discromatops
- 2.2.4 Comparació dels percentatges de daltonians
- 2.2.5 Passar l'enquesta als daltonians

2.2.1 Passar el test a l'institut

Objectius

Passar un test ràpid i senzill a tots els alumnes de l'institut que diferenciï als discromatops de les persones amb visió normal de manera que els resultats siguin fàcils d'obtenir.

Elaboració i metodologia

El primer que vaig fer va ser buscar els diferents tipus de tests de detecció de daltonisme i informar-me de com es passaven. Amb això ja vaig descartar la majoria de tests de detecció ja fos per la complexitat i feixuguesa del test (com l'anomaloscopi) o perquè era molt difícil aconseguir-los.

Vaig escollir el test d'Ishihara, un test que consta d'una sèrie de 38 làmines cadascuna de les quals està formada per un cercle ple de punts de diferents colors on, depenent de la visió cromàtica que es tingui, es pot observar un número o no. Els motius de l'elecció van ser fàcils: és un test molt simple i fàcil d'usar, es triga poc temps a passar-lo i a la classe d'òptica en tenien un que podia fer servir.

Però a l'hora de calcular el temps que trigaria a passar el test a tots els alumnes de l'institut vaig veure que hi havia un problema. A l'institut hi ha aproximadament 350 alumnes, i es triga uns 10 minuts per persona en passar el test, cosa que volia dir que trigaria gairebé dos dies i mig en passar el test: unes 58 hores.

Davant la inviabilitat de la situació vaig haver de buscar alternatives: vaig buscar tests més curts i vaig pensar en no passar totes les làmines del test però tampoc donaven a l'abast. Llavors se'm va acudir l'idea de, aprofitant que a totes les aules de l'institut s'havien instal·lat kits informàtics que constaven d'un ordinador i d'un projector, passar el test a tots els nois/es de cada classe a la vegada.

Primer de tot vaig fer una prova a la meua aula a l'hora del pati: vaig agafar 17 làmines del test d'Ishihara i les vaig adjuntar a un document Word. Vaig encendre el projector i vaig veure que la cosa funcionava: jo continuava cometent els mateixos errors de vista daltoniana que abans.

Vaig plantejar un primer esquema de com podria ser el full de respostes. Vaig intentar que fos el més senzill possible i fàcil d'entendre pels alumnes i que posteriorment em permetés recollir les dades amb la màxima facilitat.

Després vaig pensar que necessitaria el sexe i l'edat dels alumnes i vaig afegir-hi aquestes dades. A més a més vaig afegir una petita introducció i vaig aprofitar més l'espai, de tal manera que van cabre dues enquestes en cada full i vaig aconseguir un model més respectable amb el medi ambient i més barat pel què respecta al nombre de fotocòpies.

Nom i cognoms:	Curs:	Edat:	Sexe:
Test de detecció de daltonics			
El test que fareu a continuació és el test d'Ishihara. Aquesta prova consta de 17 làmines formades per punts de diferents colors. En aquestes làmines hi ha nombres d'una o dues xifres que, depenent de si sou daltonics o no teniu aquesta anomalia, podreu veure o no.			
A continuació escriu quin número veus a cada làmina. Si no hi veus cap número fes una creu. (fes el test en silenci i de manera individual).			
Làmina 1:	Làmina 7:	Làmina 13:	
Làmina 2:	Làmina 8:	Làmina 14:	
Làmina 3:	Làmina 9:	Làmina 15:	
Làmina 4:	Làmina 10:	Làmina 16:	
Làmina 5:	Làmina 11:	Làmina 17:	
Làmina 6:	Làmina 12:		
Nom i cognoms:	Curs:	Edat:	Sexe:
Test de detecció de daltonics			
El test que fareu a continuació és el test d'Ishihara. Aquesta prova consta de 17 làmines formades per punts de diferents colors. En aquestes làmines hi ha nombres d'una o dues xifres que, depenent de si sou daltonics o no teniu aquesta anomalia, podreu veure o no.			
A continuació escriu quin número veus a cada làmina. Si no hi veus cap número fes una creu. (fes el test en silenci i de manera individual).			
Làmina 1:	Làmina 7:	Làmina 13:	
Làmina 2:	Làmina 8:	Làmina 14:	
Làmina 3:	Làmina 9:	Làmina 15:	
Làmina 4:	Làmina 10:	Làmina 16:	
Làmina 5:	Làmina 11:	Làmina 17:	
Làmina 6:	Làmina 12:		

Esquema final del test de detecció de daltonians

Vaig trobar diferents problemes: hi havia una classe que no tenia kit informàtic (ni ordinador ni projector), una altra on el projector no funcionava i també vaig trobar la dificultat dels horaris.

El primer que vaig pensar va ser passar el test a les hores de tutoria perquè és una hora en què tots els alumnes són a la classe (no és una classe partida) i és una hora que acostuma a tenir un contingut més flexible. D'aquesta manera aprofitaria els deu primers minuts o els deu últims de la classe per passar el test.

Llavors vaig anar a buscar els llibrets amb els horaris de cada classe i em vaig fer un calendari amb les hores que podia passar el test a cada classe vigilant que jo no tingués exàmens ni classes que no pogués perdre.

Amb la majoria va ser possible, però hi havia algunes classes que tenien l'hora de tutoria molt ocupada ja fos perquè havien de repartir les notes o havien de veure una pel·lícula i en aquests casos vaig haver de parlar amb diversos professors que fessin classes no partides fins a trobar-ne que no els importés. En el cas de les aules on no hi havia kit o no funcionava vaig haver de buscar una aula que no es fes servir en aquella hora i que tingués kit, parlar-ho prèviament amb el professor i organitzar el canvi de classe.

Resultats

Vaig obtenir un total de 330 tests dels quals quatre van ser erronis – aquests alumnes no van entendre el funcionament del test.

Hi havia més o menys uns 24 tests per classe, des de 1r d'ESO fins a 2n de batxillerat.

2.2.2 Recollida de dades

Objectius

Trobar els possibles daltonians de l'institut.

Metodologia

Vaig fer el recompte total de tests separant els tests que no tenien cap error i els que sí. Mentre feia les separacions vaig anar apuntant quines eren les làmines que s'havien errat.

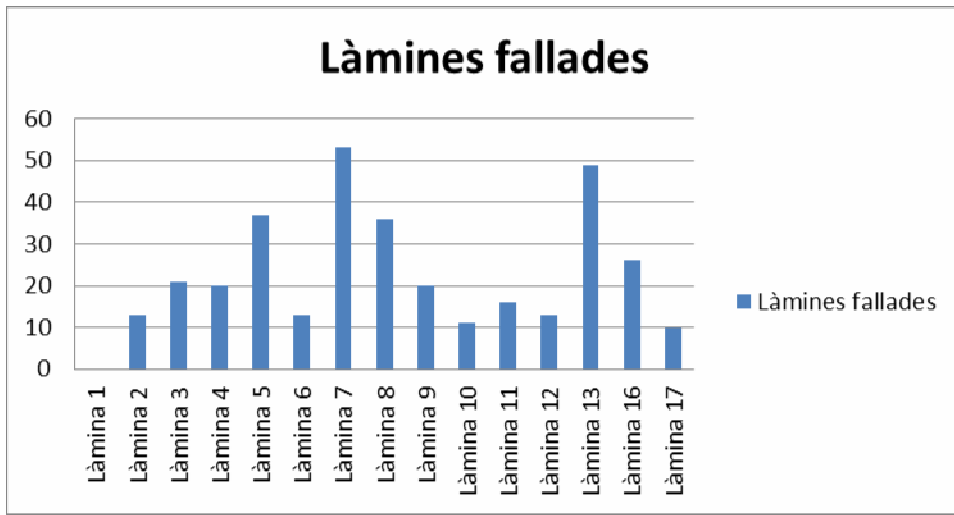
Un cop observats els resultats de les làmines fallades, vaig apuntar els noms dels alumnes que havien fallat tres o més làmines que no fossin les més comunament fallades, que no les vaig tenir en compte. D'aquesta manera vaig obtenir el nombre total de tests sense cap error, amb 1 o 2 errors i amb 3 o més errors i, per tant, possibles discromatops.

Resultats

Al començar a interpretar els resultats del test vaig adonar-me que hi havia molts alumnes que fallaven determinades làmines i per tant eren poc fiables per l'estudi.

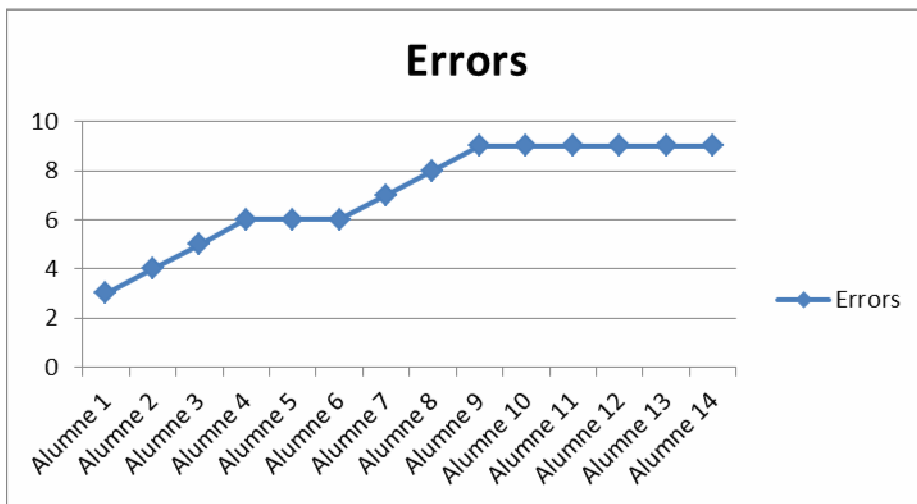
Per tant, no vaig valorar totes les làmines sinó que vaig basar-me en les que donaven uns resultats més clars.

Les làmines que no vaig tenir en compte van ser les làmines número 5, 7, 8, 13 i 16.



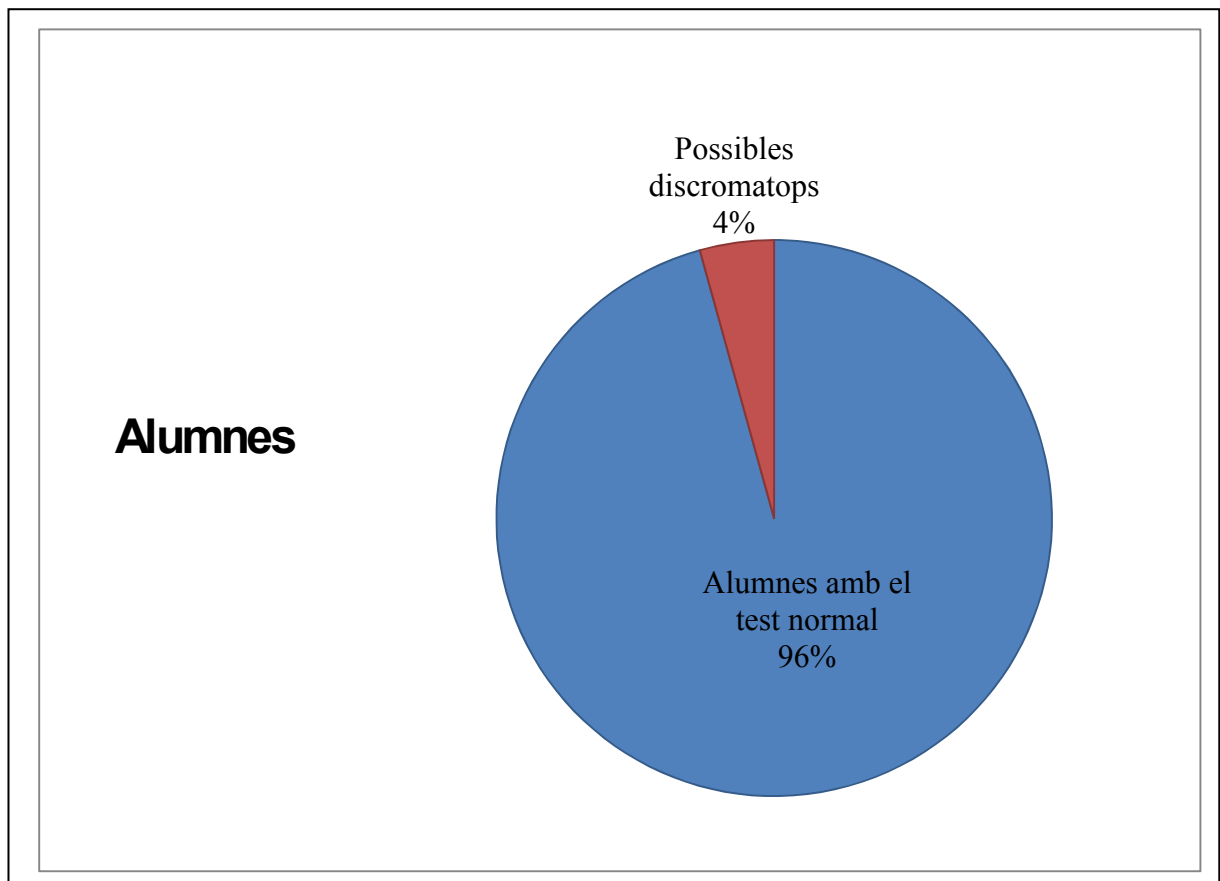
Làmines fallades en el test reduït d'Ishihara

Vaig seleccionar un total de 14 alumnes que havien tingut 3 o més errors i que, per tant, podien tenir algun tipus de discromatòpsia.



Número d'errors en el test d'Ishihara reduït dels alumnes seleccionats

- Total d'alumnes: 325
- Tests normals: 235
- Tests amb 1 o 2 errors: 76
- Tests amb 3 o més errors (possibles discromatops): 14



Total d'alumnes

2.2.3 Confirmació dels discromatops

Objectius

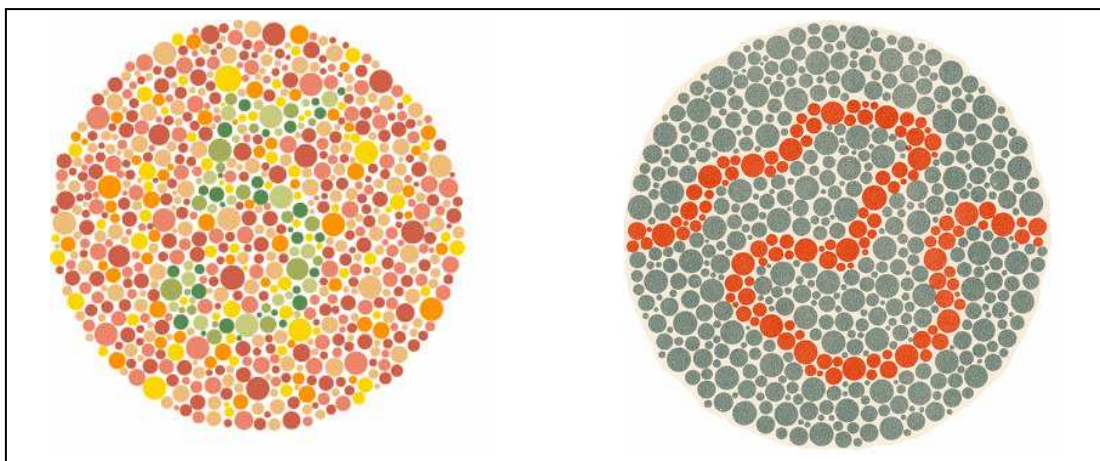
Comprovar quins dels alumnes que havia seleccionat com a possibles discromatops amb el test d'Ishihara reduït, realment patien aquesta anomalia.

Metodologia

Per comprovar quins dels alumnes seleccionats realment eren daltonians necessitaria passar-los un test complet i en bones condicions. Vaig anar a parlar amb les tutores d'òptica i em van aconsellar que els passés el test d'Ishihara -aquesta vegada però sencer- perquè és el més fàcil d'avaluar i dóna resultats clars. Me'n van proporcionar un que tenien a la classe d'òptica.

Abans de passar-lo vaig haver de llegir com funcionava i quins passos s'havien de seguir:

Es tractava d'una edició del 2001 del test d'Ishihara de 38 làmines. En les primeres vint-i-cinc làmines hi havia números i en la resta línies. Aquestes darreres làmines només s'havien de fer servir si qui havia de fer el test no coneixia els números i que per tant només havia de seguir la línia amb el dit però jo vaig decidir usar-les totes per assegurar els resultats.



**Làmines del test
d'Ishihara**

Vaig fer la prova de passar-me el test a mi mateix. Vaig anar escrivint quin número veia a les primeres làmines i si podia o no seguir les línies de la resta de làmines i després vaig comprovar els resultats obtinguts a la taula que venia adjunta amb el test. Vaig veure que els resultats encaixaven.

Posteriorment el vaig passar a la meva mare per veure si els resultats d'una persona amb visió normal també concordaven i vaig comprovar que sí.

La taula de sota és la taula de resultats que indica quins número es veu a cada placa depenent de la visió cromàtica que es tingui:

Làmina	Persona amb una visió tricromàtica normal	Persona amb deficiències del tipus vermell-verd		Persona amb acromatòpsi a completa	
		Protà	Deutà		
1	12			12	
2	8			X	
3	6			X	
4	29			X	
5	57			X	
6	5			X	
7	3			X	
8	15			X	
9	74			X	
10	2			X	
11	6			X	
12	97			X	
13	45			X	
14	5			X	
15	7			X	
16	16			X	
17	73			X	
18	X			X	
19	X			X	
20	X			X	
21	X			X	
		Protà		Deutà	
		Fort	Fluix	Fort	Fluix
22	26	6	(2)6	2	2(6)
23	42	2	(4)2	4	4(2)
24	35	5	(3)5	3	3(5)
25	96	6	(9)6	9	9(6)

Les marques X indiquen que no es pot llegir la làmina. Els espais en blanc indiquen que la lectura és indefinida. Els números entre parèntesis indiquen que es poden llegir però amb dificultat.

Aleshores vaig fer una taula que permetés apuntar de manera fàcil i organitzada els resultats del que l'alumne anava veient a cada placa i vaig començar a passar el test als 14 possibles daltonians, aquest cop però, de manera individual:

Vaig anar cridant als alumnes individualment i els vaig portar a una taula on hi havia una bona il·luminació. Els vaig fer asseure i els vaig anar passant les làmines i apuntant què hi veien.



Realització del test d'Ishihara

Les làmines havien de quedar perpendiculars a l'eix de visió dels alumnes, que havien de dir el número que hi veien en menys de cinc segons.

Ja tenia els resultats de què havien vist els alumnes a cada les làmina. Però havia de comparar aquestes dades amb les de la taula de resultats per saber si l'alumne patia una discromatòpsia. Per tant, vaig escriure els resultats al costat de la taula adjunta al test d'Ishihara per poder comparar bé els resultats.

Aquestes taules les podreu trobar als annexos del treball.

Resultats

Els resultats de cada alumne són els següents:

Bru Trabal: No té cap resultat coincident amb una visió tricromàtica normal i, en canvi, tots els números observats menys dos coincideixen amb la visió d'una persona amb deficiències del tipus vermell-verd. Per tant, aquest alumne és daltonià.

Els resultats de les últimes quatre làmines amb números mostren que aquest alumne és deuteranop.

Alumne 1: Tampoc té cap resultat coincident amb una visió normal i, molts números coincideixen o són semblants als que veuria una persona daltoniana.

Els resultats de les últimes quatre làmines amb números indiquen que també pateix una deuteranopia.

Alumne 2: Tampoc té cap resultat coincident amb els d'una visió normal i, encara que els primers números tampoc són els que veuria un daltonià, els resultats de tota la segona part de la prova coincideixen amb els d'una visió daltoniana. A més a més pot llegir quasi a la perfecció els números que la visió tricromàtica normal no et permet llegir.

Per tant, aquest alumne és daltonià i del tipus deutà de grau fort, és a dir, deuteranop, com indiquen les últimes quatre làmines numerades del test.

Alumne 3: Tots els seus resultats coincideixen amb els d'una visió normal. Això vol dir que els errors que va fer en el test reduït d'Ishihara no van ser deguts a una mala visió cromàtica.

Per tant, aquest alumne no és daltonià i té una visió normal.

Alumne 4: Només té un resultat coincident amb el d'una visió normal i bastants iguals o semblants als d'una persona amb deficiències del tipus vermell-verd. A més a més pot veure la majoria de números que les persones amb visió normal no poden. Per tant aquest alumne és daltonià.

Les últimes quatre làmines amb números indiquen que també és deuteranop.

Alumne 5: Només un resultat coincideix amb els d'una visió normal i tota la resta són iguals o molt semblants als d'una persona amb deficiència del tipus vermell-verd. A més a més pot veure la majoria de números que les persones amb visió normal no poden. Per tant, aquest alumne és daltonià.

Les últimes quatre làmines indiquen que aquest alumne té una visió tricromàtica anòmal i que és deuteranomalop.

Alumne 6: Els resultats d'aquest alumne són bastant estranys: tot i que només dos resultats coincideixen amb els d'una visió normal, pocs resultats són iguals o semblants als d'una persona amb deficiències del tipus vermell-verd. Les quatre últimes làmines indicaven que era daltonià del tipus deutà fort però vaig decidir confirmar-ho basant-me en la segona part del test les làmines amb línies. Els resultats van ser molt clars tots els resultats menys un coincidien amb una visió daltoniana.

Amb aquesta segona part del test vaig confirmar que l'alumne era daltonià del tipus deuteranop.

Alumnes 7 i 8: El cas d'aquests dos germans va ser molt semblant. Ambdós van tenir molt pocs resultats coincidents amb els d'una persona amb visió normal però també en van tenir pocs d'iguals amb els d'una persona daltoniana. En canvi en les últimes quatre làmines indicaven que els dos eren deuteranops. Això era clar, el fet de ser germans comportava tenir el mateix tipus de daltonisme, que era el què havien heretat de la seva mare. Com que el

cas tampoc era molt clar vaig mirar la segona part dels seus tests i vaig veure que molts dels resultats d'aquesta part del test coincidien amb una visió daltoniana.

Per tant, vaig confirmar que els dos germans eren daltonians del tipus deuteranop.

Alumne 9: Els resultats d'aquest alumne tampoc eren molt exactes. Tenia només un resultat coincident amb el d'una visió normal i pocs iguals als d'una visió daltoniana. Podia intuir, però, la majoria de números que la visió tricromàtica normal no veia i les quatre últimes làmines indicaven que patia una deuteranopia.

Amb la segona part del test vaig acabar de confirmar que aquest alumne era deuteranop.

Alumne 10: Els resultats d'aquest alumne no eren gens exactes. Hi havia alguns resultats coincidents o semblants als d'una visió normal així com també als d'una visió daltoniana. A més a més podia intuir alguns dels números que una visió normal no pot veure i les quatre últimes làmines del test indicaven una possible deuteranopia. La segona part del test també va ser molt inexacte.

Per tant, tot i que aquest alumne no patia un daltonisme clar, vaig confirmar que tenia algun defecte en la seva visió cromàtica.

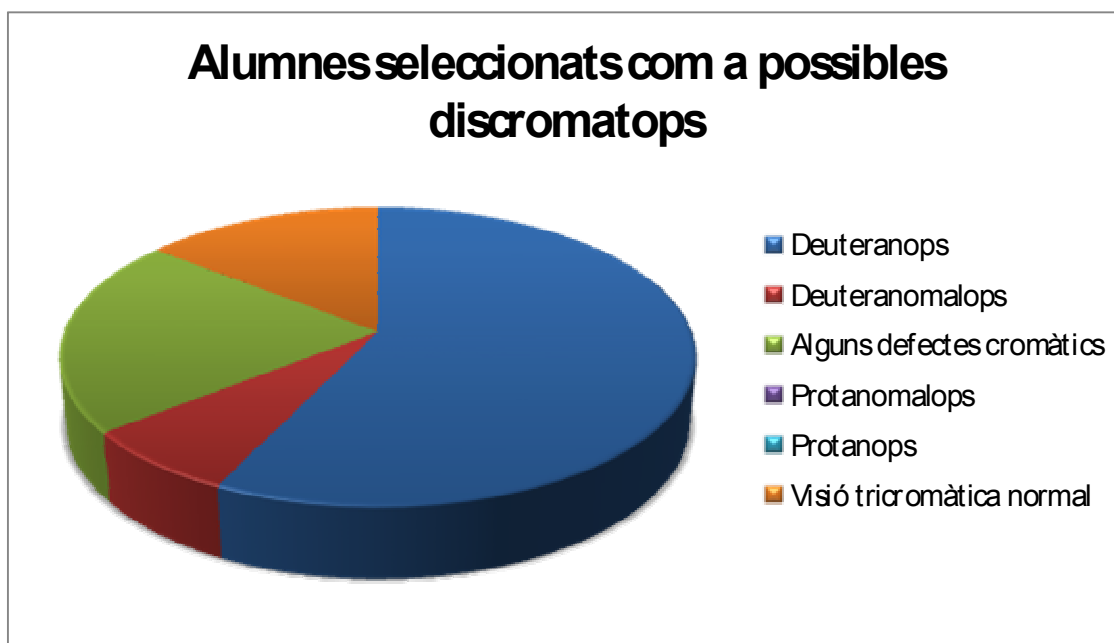
Alumnes 11 i 12: Els casos d'aquests dos alumnes eren molt semblants. Tenien bastants resultats coincidents amb els d'una visió normal, però no els suficients com per no descartar un defecte a la visió cromàtica. Moltes de les làmines eren llegides amb molta dificultat i els resultats de la segona part del test tampoc eren gens exactes.

Alumne 13: Tots els seus resultats coincideixen amb els d'una visió normal. Això vol dir que els errors que va fer en el test reduït d'Ishihara no van ser deguts a una mala visió cromàtica.

Per tant, aquest alumne no és daltonià i té una visió normal.

Dels 14 possibles daltonians, 9 ho eren molt clarament, 3 tenien alguns problemes en la seva visió cromàtica però no eren considerats daltonians, i 2 no ho eren i tenien una visió tricromàtica normal.

Dels 9 daltonians, 8 eren deuteranops i 1 era deuteranomalop. Es pot veure amb claredat que, com s'explica a la part teòrica els defectes del tipus deutà són els més comuns.



2.2.4 Comparació dels percentatges de daltonians

Els estudis dels darrers anys diuen que a Espanya, igual que a França, un 8% dels homes i un 0,42% de les dones pateix algun tipus de discromatòpsia. Aquestes dades podrien haver variat a causa dels grans moviments migratoris de la gent en aquests últims anys per exemple. També s'ha de tenir en compte que al ser el daltonisme hereditari, amb el temps els daltonians es van acumulant a certes zones geogràfiques.

Objectius

Calcular el percentatge de daltonians i daltonianes a l'IES Joan Brossa i veure si és el mateix que van establir els principals estudis fa uns anys, mitjançant un treball de camp.

Metodologia

Un cop confirmats el nombre de daltonians a l'institut (9 alumnes amb algun defecte de la visió cromàtica) i les daltonianes (cap alumna té defectes a la seva visió cromàtica), només faltava calcular els percentatges.

Vaig calcular el total de nois a qui havia passat el test (164) i quants n'havien resultat discromatops (12) i vaig calcular-ne el percentatge:

$$\frac{12}{164} \cdot 100 = 7,32\%$$

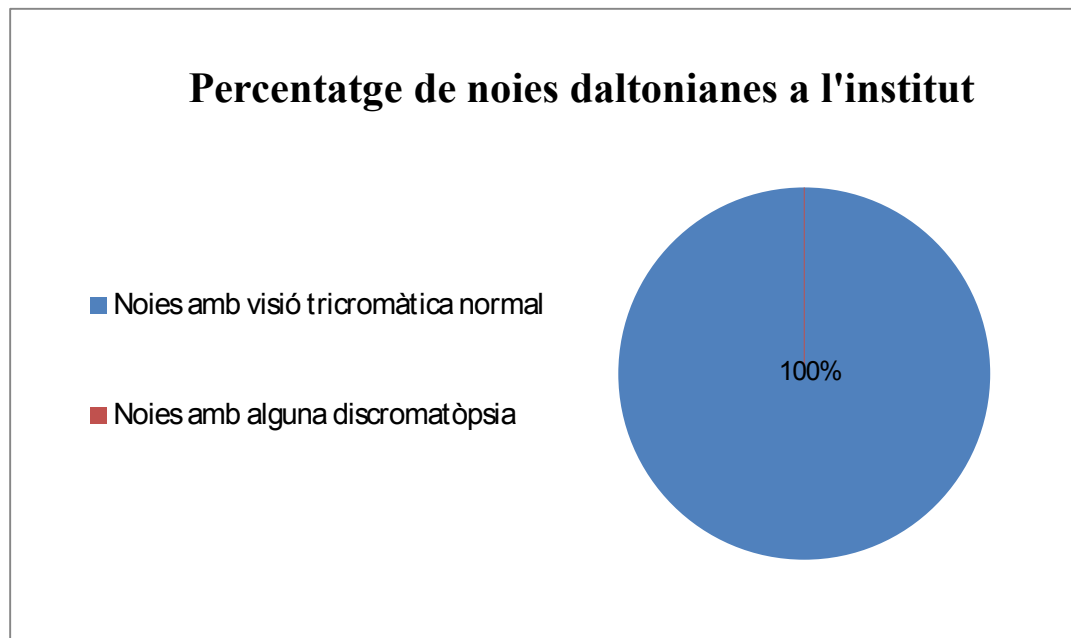
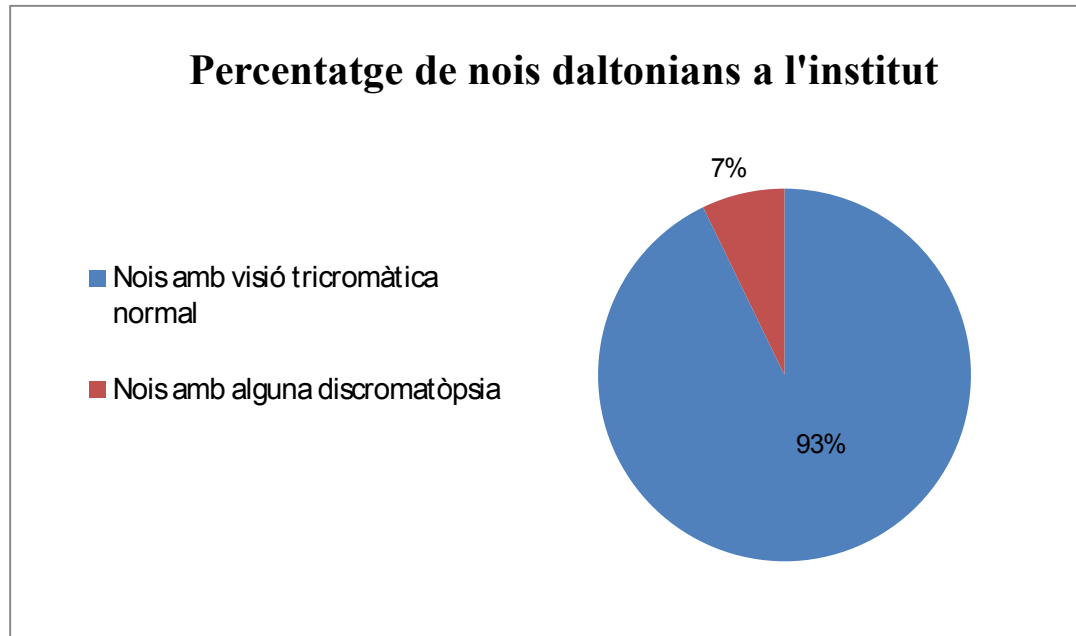
És a dir, un 7,32% dels nois de l'institut patien tenien algun defecte en la seva visió cromàtica.

Vaig fer el mateix amb les noies, encara que el resultat era obvi: de les 158 noies a qui havia passat el test, cap era daltoniana.

$$\frac{0}{158} \cdot 100 = 0\%$$

És a dir un 0% de les noies patia un defecte en la seva visió cromàtica.

Resultats



Tenint en compte que els percentatges de daltonians a l'institut no s'allunyen ni un 1% dels percentatges publicats pels principals estudis, podem dir que el marge d'error entre els percentatges de daltonians a l'IES Joan Brossa i els resultats que s'esperaven no és prou gran com per desmentir les dades publicades:

Per tant, el 8% d'homes daltonians i el 0,42% de noies daltonianes segueixen vigents, al menys a l'IES Joan Brossa.

2.2.5 Passar l'enquesta als daltonians

Aprofitant que ja havia confirmat i localitzat tots els daltonians a l'institut, vaig pensar en passar una enquesta per veure què n'opinaven del daltonisme i com els afectava a la seva vida quotidiana.

Objectius

Veure què sabien i opinaven del daltonisme els alumnes amb aquesta anomalia i veure com els afectava a la seva vida quotidiana.

Metodologia

Vaig fer una enquesta que resumís bastant bé què pensaven sobre el daltonisme i com els afectava a la seva vida quotidiana. Les preguntes de l'enquesta eren les següents:

1. A quina edat aproximada vas saber que eres daltònic?
2. Te'n vas adonar sol o t'ho va dir algú? Qui?
3. Com t'ho vas prendre?
4. Qui et va confirmar que tenies daltonisme? Amb quines proves?
5. Havies sentit a parlar del daltonisme?
6. Hi ha diferents tipus de daltonismes. Saps quin tipus pateixes?
7. Quins colors et són més difícils de diferenciar?
8. Tens parents daltònics? Quins?
9. Creus que el daltonisme afecta la teva vida quotidiana? De quina manera?
10. Et molesta veure't obligat a preguntar el color d'un objecte?

11. Utilitzes algun recurs que t'ajudi a diferenciar els colors?
12. Si hi hagués algun mètode, tant quirúrgic com de lents correctores, per millorar la teva visió dels colors l'utilitzaries?
13. A més a més del daltonisme tens algun altre defecte de la vista? Quin?
14. Quin és el teu color preferit?

Vaig passar-la individualment, en moments de classes que no fossin imprescindibles.

Podreu trobar les enquestes als annexos del treball.

Resultats

Els resultats de les enquestes van ser bastant iguals a la majoria de les preguntes encara que algunes les respostes em van sorprendre:

-Només tres daltonians van saber que tenien daltonisme abans dels 10 anys. Un daltonià no va saber-ho fins als 18 anys. Fins i tot n'hi va haver alguns que vaig ser jo qui els ho va dir. D'altres intuïen que ho eren però mai els ho havien confirmat.

És cert que hi ha diferents graus de daltonismes però sembla estrany que es trigui tant a trobar aquesta anomalia. A més a més, a la revisió que es fa a l'oftalmòleg a la infantesa, normalment es passa un test d'Ishihara reduït i et confirmen si s'és daltonià i només a tres alumnes els ho havien confirmat d'aquesta manera.

-Més de la meitat dels daltonians no havia sentit a parlar del daltonisme fins que no els l'havien diagnosticat, i només dos d'ells coneixien el tipus de daltonisme que patien i no amb exactitud.

-Els colors que costen més de diferenciar a persones que tenen defectes del tipus deutà són els blaus amb els liles, els verds amb alguns marrons i alguns grocs i certs tipus de rosa.

-A cap dels daltonians els afecta gaire el fet de tenir una visió dels colors diferent. Tots creuen que ser daltonià no comporta cap problema greu a la manera de viure. Tot i això tenen algunes dificultats puntuals com per exemple jugar a jocs d'ordinador que es basen en colors, conjuntar la roba, problemes al pintar i dibuixar i diferenciar llegendes de mapes basades en colors no molt diferents.

Això m'ha sorprès bastant. Jo soc daltonià i tampoc m'afecta molt el daltonisme a la meva vida diària però em pensava que era perquè tenia un grau lleuger de daltonisme. Com he comprovat, els daltonismes del tipus deutà no dificulten gaire la vida en les persones afectades, al menys en el marge d'edat dels 12 als 19 anys.

Tot i que no els importa ser daltonians, la meitat faria servir lents de contacte o s'operaria per tal de veure-hi normal. Jo crec que això és degut a la curiositat per entendre com hi veu la gent normal, però suposo que seria temporal.

3. Conclusions

Amb aquest treball he après molt més del que m'esperava quan vaig començar. Pensava que seria com qualsevol altre treball però més extens, però he pogut comprovar de llarg que no és així. Tant per l'esforç i les hores dedicades com pel seu caràcter de treball de camp, el treball de recerca m'ha ajudat a descobrir noves àrees d'estudi que fins ara desconeixia.

A nivell personal aquest treball m'ha resultat molt enriquidor i interessant. Per començar he de dir que he quedat molt satisfet del treball aconseguit i crec que això és molt important. Si pogués tirar enrere en el temps segurament canviaria moltes coses, sobretot en l'aspecte d'organització i d'aprofitament del temps, però ja se sap que dels errors s'aprèn.

I és que a nivell organitzatiu aquest treball m'ha ensenyat que s'han de fer les coses amb temps i amb un cert grau de preparació. Això ho he notat a la part pràctica, on molts cops he hagut d'anar modificant i millorant el que feia sobre la marxa.

A nivell acadèmic, aquest treball m'ha permès entrar en un camp que desconeixia totalment: la visió i la visió dels colors. Gràcies al tema escollit he entès com funciona l'ull, totes les seves parts i característiques i fins i tot he pogut veure-ho en directe i treballar-ho amb les meves pròpies mans en la dissecció que vaig fer juntament amb la Carlota. A més a més he entès com hi veiem i quins són els processos de la visió des que la llum arriba a l'ull fins que el cervell interpreta la imatge.

He entès també en quin punt d'aquest procés hi ha l'alteració que produeix el daltonisme, i que hi ha diferents tipus de daltonisme i de visió cromàtica així com discromatòpsies. També he après que el daltonisme no es pot curar, però que la visió cromàtica es pot modificar mitjançant unes lents correctores amb determinats filtres de color evitant així confondre colors que abans es veien com iguals.

També he après el funcionament dels diferents tests de daltonisme i en la part pràctica n'he utilitzat un, el d'Ishihara que és el més comú.

Només una de les hipòtesis que havia proposat a la part pràctica s'ha complert: Jo havia previst que un 8% dels nois i un 0,42% de les noies havien de patir daltonisme i els resultats han estat ben a prop. No hi ha hagut ni un 1% de diferència en cap dels dos casos i per tant aquests percentatges tant acceptats segueixen vigents – al menys a l'IES Joan Brossa.

El què més m'ha sorprès és que la majoria de daltonians de l'institut no tenen cap dificultat en la seva vida quotidiana i fins i tot n'hi ha que desconeixien que patien aquesta anomalia. Realment els daltonians no tenim problemes greus, almenys els del tipus deutà, simplement algunes dificultats puntuals com dibuixar i pintar, jugar a cert tipus de videojoc relacionat amb colors i a l'hora d'interpretar llegendes de mapes. Tot i això, m'estranya que no es diagnostiqui abans. A moltes revisions oftalmològiques es passa el test d'Ishihara i crec que hauria de ser obligatori per tal d'evitar problemes escolars.

En l'únic àmbit on el daltonisme pot afectar de manera greu a la vida d'un daltonià és en el laboral, però els alumnes entrevistats no s'hi poden haver trobat ja que tots estan estudiant.

Vull destacar que m'ha encantat l'experiència ja que he après molt sobre un tema que em toca molt de prop i que realment no coneixia gens. A més a més he pogut comparar la meva situació amb la d'altre gent que també pateix aquesta anomalia i té més o menys la meva edat.

Finalment vull destacar que el què ens fa diferents als daltonians és la nomenclatura dels colors. També podríem dir que la gent amb una visió normal és la rara si anomenéssim "blau" als colors que nosaltres veiem com a blaus i liles. De fet els colors són subjectius per a tots: vivim en un món en què tot ha d'estar ordenat per paraules, i en part són aquestes les que creen la diferència dels daltonians.

4. Bibliografía

-Libres

Optica Fisiológica Psicofísica de la Visión , J.M. Artigas, P. Capilla, A. Felipe, J. Pujol.

Anatomía e histología del ojo, H. Saraux, C. Lemasson, H. Offret, G. Renard

Sobotta. Atlas de anatomía humana. Tomo 1. Cabeza, cuello y miembro superior, R. Putz, R. Pabst.

Invitación a la Biología (quinta edición), Helena Curtis, N. Sue Barnes.

La isla de los Ciegos al color, Oliver Sacks

-Webs

www.colblindor.com

<http://asdna.org/>

<http://www.allpsych.uni-giessen.de/karl/colbook/sharpe.pdf>

www.daltoniens.fr

<http://webvision.med.utah.edu/>

<http://www.ultimahora.com/notas/149988-Asunci%C3%B3n-pone-a-prueba-los-sem%C3%A1foros-para-dalt%C3%B3nicos>

http://www.nodo50.org/tortuga/article.php3?id_article=2866

www.vischeck.com

www.termcat.cat