



REALM ENT COLORS?

Any acadèmic: 2016-17

Àmbit : Científic

Un optimista és una persona que veu una llum verda a tot arreu, mentre que un pessimista només veu el semàfor vermell...la persona veritablement sàvia és el daltònic.

Albert Schweitzer

AGRAÏMENTS

Volem agrair a totes les persones que han col·laborat en el nostre projecte.

Primerament a tots els nois de l'escola que han fet possible l'elaboració d'un estudi de la presència de daltonisme dins del centre.

Seguidament volem donar les gràcies als òptics Fabio Delgado, Daniel Caballé i Quim Muñoz per haver-nos aclarit alguns dubtes que romanien després de la nostra recerca bibliogràfica i haver-nos ratificat la informació cercada.

També agraiïm a la Isabel Domènech , veterinària oftalmòloga, per ajudar-nos en l'apartat dedicat a altres espècies.

Moltes gràcies al Jordi Pradas i la Iolanda Gordillo per fer-nos de daltònic i daltònica virtual a la fase realitat vs tecnologia, respectivament.

Agrair també la col·laboració de la Neus Reguant en la part més biològica.

Finalment, gràcies a la persona que ens ha portat el treball

ÍNDIX

1	SINOPSI.....	6
2	INTRODUCCIÓ	7
3	OBJECTIUS.....	9
4	METODOLOGIA	10
5	COS DEL TREBALL.....	11
5.1	Què són els colors?	11
5.2	Com funciona la visió del color	12
5.3	Classificació dels diferents defectes o alteracions de la visió cromàtica	13
5.4	Alteracions congènites de la visió cromàtica	14
5.4.1	Tricromatisme anòmal	14
5.4.2	Dicromatòpsia.....	16
5.4.3	Acromatopsia (Monocromatisme)	18
5.4.4	Tetracromatisme	18
5.5	Protan, deutan i tritan.....	19
5.6	Prevalença i herència de les alteracions congènites	20
5.7	Alteracions adquirides de la visió cromàtica.....	22
5.8	Evaluació clínica de la visió del color.....	23
5.8.1	Proves de detecció o Screening:	23
5.8.2	Proves de discriminació cromàtica	25
5.8.3	Proves de visió cromàtica	27
5.9	Solucions als defectes de la visió cromàtica.....	29
5.9.1	Lents de contacte	29
5.9.2	Teràpia gènica.....	29
5.9.3	Sistema de Codificació	32
5.9.4	Seekey.....	33
5.10	Visió cromàtica en animals	34
5.10.1	Gossos i gats.....	34
5.10.2	Aus	34
5.10.3	Bovins, ovins i caprins	35
5.10.4	Abelles.....	35
5.10.5	Peixos	36
5.10.6	Rèptils i amfibis	36
5.10.7	Gambeta mantis.....	37
5.11	Famosos i figures cèlebres amb alteracions en la visió cromàtica.....	37
5.11.1	Neil Harbisson.....	39
5.12	Alteracions a la visió cromàtica dels alumnes de la Salle Manresa.....	40
5.12.1	Triatge- làmines.....	40
5.12.2	Aprofundiment	43
5.13	Dificultats que comporta el daltonisme.....	46
5.14	Entrevistes a òptics , optometristes, oculistes i veterinaris oftalmòlegs	50
5.15	Realitat vs tecnologia	51

5.15.1	Proves realitat vs tecnologia.....	52
6	CONCLUSIONS.....	55
7	GLOSSARI.....	57
8	WEBGRAFIA.....	60
9	BIBLIOGRAFIA.....	62

1 SINOPSI

Quan vam iniciar aquest projecte, no ens imaginàvem la complexitat de la percepció dels colors. Després de fer recerca bibliogràfica i webgràfica vam adonar-nos de que una cosa tan simple com dir si un tomàquet està madur pot convertir-se en un malson per a més d'una persona.

És per aquest motiu que hem decidit realitzar tot el nostre treball de recerca en blanc i negre, i escrit amb colorAdd (un codi per a la distinció dels colors dissenyat per a daltònics) en la majoria de les seves imatges, per tal de sentir-nos com si tinguéssim acromatòpsia, el grau més elevat de daltonisme i tanmateix garantir que tots els humans percebrem les fotografies de la mateixa manera.

Malgrat no hem pogut realitzar el nostre propi simulador de les diferents alteracions de la visió cromàtica, hem contrastat la informació obtinguda mitjançant l'experimentació amb d'altres ja creats, amb entrevistes a òptics-optometristes, oculistes i veterinaris oftalmòlegs i, a més a més, hem realitzat un estudi, aplicant les noves tecnologies, sobre com és de present el daltonisme dins la nostra escola.

2 INTRODUCCIÓ

El que vam voler des d'un principi en aquest projecte va ser unir biologia i tecnologia, encara que ,quan vam anar avançant ,vam tenir l' oportunitat d'endinsar-nos en altres mons com el de l'estadística, la física i d'altres àmbits més socials.

Un dels motius que ens han portat a enfocar-lo cap al daltonisme és que ambdues tenim familiars que presenten aquesta anomalia i ,tot i així ,no sabíem gairebé res sobre aquest problema que afecta a milers de persones.

La part biològica ha estat la primera que hem realitzat. Ha consistit en la recerca del que eren les deficiències i les alteracions de la visió cromàtica (col·loquialment daltonisme), com s'hereten, com funcionen en si la visió cromàtica (espectre de la llum + fotoreceptors), mètodes de detecció , etc.

Pel que fa a l'àmbit tecnològic, ens vam plantejar de realitzar el nostre propi simulador de daltonisme per a Android, per a posteriorment utilitzar-lo en les Google Cardboard. Després de llegir articles, mirar vídeos i demanar ajuda a persones amb experiència en el sector, ens vam adonar de que no estava al nostre abast. Va ser en aquell instant, quan vam decidir fer servir aplicacions ja creades per a poder comparar si s'ajustaven a la realitat, mitjançant la comparació dels resultats obtinguts en un test entre daltònics reals i "daltònics tecnològics" .

Llavors van sorgir les hipòtesis:

hipòtesi a : "Potser el simulador creat per a les Google Cardboard es correspon a la realitat de les alteracions de tipus protan"

hipòtesi b : "Potser el simulador creat per a les Google Cardboard exagera la realitat de les alteracions de tipus protan"

hipòtesi c : "Potser el simulador creat per a les Google Cardboard atenua la realitat de les alteracions de tipus protan."

Suposadament, el simulador havia d'ajustar-se a la seva realitat tot i que els resultats no van ser així.

Per últim ,la part social ha consistit en l'elaboració d'un estudi de la incidència del daltonisme a partir d'un mostreig de la població masculina de l'escola. Hem agafat tot els alumnes de sexe masculí compresos entre segon de primària i primer de Batxillerat per a comparar el percentatge de daltònics presents , respecte el 8% de la població general i després hem utilitzat les noves tecnologies per a determinar-ne el tipus.

3 OBJECTIUS

Els objectius que ens hem plantejat dins el nostre projecte són:

- Comprovar si la presència de daltonisme a l'escola durant el curs escolar 2015-16 equival a la de la població mundial.
- Crear el nostre propi simulador de daltonisme.
- Aproximar-nos més a la realitat dels daltònics.
- Aprendre com funciona la percepció dels colors.
- Divulgar a la gent com de vegades tenir daltonisme pot ser un gran obstacle.
- Conèixer les alteracions i deficiències de la visió cromàtica (col·loquialment daltonisme), que les produeix i com es fa la seva detecció.
- Unir biologia i tecnologia.

4 METODOLOGIA

Al tractar-se d'un projecte interdisciplinari, per a assolir els nostres objectius hem fet servir diferents tècniques i recursos.

El nostre projecte l'hem iniciat amb una recerca webgràfica i bibliogràfica.

Un cop recopilada la informació bàsica(què és el daltonisme, tipus, solucions, dificultats que comporta etc.), ens hem endinsat cap al món de la investigació.

Mitjançant l'ús del test d'Ishihara (triatge general) i posteriorment el de Farnsworth-Munsell i d'altres proves complementàries (fase d'aprofundiment) hem determinat la presència de daltonisme dins la nostra escola, respecte el 8% de la població mundial i la tipologia dels que presenten la anomalia.

Aquest treball ens a permès apropar-nos tant a la feina que realitzen òptics-optometristes, com a la utilització de recursos digitals. Això ho hem fet mitjançant una versió reduïda del test d'Ishihara, apps (Farnsworth-Munsell i proves de la fase d'aprofundiment) ,simuladors (dalton eye) i les Google Cardboard .

Però no hem aconseguit crear el nostre propi simulador tal i com ens havíem plantejat a l'inici del projecte, ja que no disposem dels coneixements necessaris.

Finalment hem contrastat la informació obtinguda amb experts de l'àmbit mitjançant entrevistes. Aquesta fase ens ha estat clau a l'hora de modificar algun apartat i fer-lo més intel·ligible.

Una vegada realitzat tot això, hem decidit que era l'hora de fer veure a la gent la dificultat que realment presentava l'absència de la visió cromàtica o la seva alteració, per aquest motiu hem elaborat un apartat anomenat "Dificultats que comporta el Daltonisme" que ens mostra com l'absència o l'alteració de la visió cromàtica pot ser una dificultat dins la nostra societat, ja sigui en l'àmbit acadèmic o en altres entorns. A més a més, hem elaborat uns mapes de línies de transport de Metros i autobusos que garanteixen que tothom els pot utilitzar sense complicacions.

Per concloure, com que el nostre projecte està dedicat a les persones amb daltonisme, hem volgut que tot giri al seu voltant i per assolir aquesta fita hem decidit que el treball estigui fet íntegrament en blanc i negre.

5 COS DEL TREBALL

5.1 Què són els colors?

L'ull humà pot percebre vora 8000 colors i matisos en un cert nivell d'il·luminació, però si ens trobem en el nivell d'il·luminació òptima els nostres ulls poden arribar a percebre d'uns 8 a uns 10 milions de matisos.

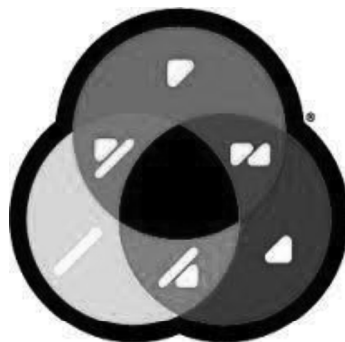
S'ha introduït en el nostre llenguatge el color com una cosa quotidiana, i ningú dubta de que el cel és blau, la sang és vermella i la neu és blanca.

Parlar de definició de color és complicat, ja que, el color no és una matèria, ni una fracció de llum, sinó una sensació.

La **CIM** (Comissió Internacional de l'Eclairage) va definir el color com *"l'espectre de la percepció visual mitjançant el qual un observador pot distingir entre dos camps de la mateixa forma, grandària i textura a partir de les diferències de la composició espectral de la radiació emesa o reflectida per aquests camps"*.

Per tant per parlar del color serà necessària la presència d'una font de llum i un observador.

Paradoxalment tots els milions de matisos que l'ull és capaç de distingir poden explicar-se amb el mètode de visió tricromàtica. Simplificant, es tracta d'un sistema amb tres variables cromàtiques: blau, verd, i vermell, que combinades adequadament permeten obtenir els altres colors. Aquests tres tipus de colors es troben en tres tipus de **cons** presents a la retina central que en funció del color que detecten poden ser subclassificats en protacons (vermells), deutacons (verds) i tritacons (grocs i blaus). Aquestes tres variables cromàtiques es coneixen com a colors primaris, perquè no poden ser obtingudes a través de la barreja dels altres colors primaris, a diferència del que succeeix amb la resta de colors.



Imatge 1

5.2 Com funciona la visió del color

Per a la visió cromàtica es necessària la presència de fotoreceptors.

D'aquests n'hi ha de dos tipus: cons i bastons

Tots dos estan situats a la retina, i tenen com a finalitat transferir la informació de la llum cap al nostre cervell. Hi ha al voltant de 120 milions de bastons, molt sensibles a la llum, però no determinen el color.

D'altra banda, els cons són els fotoreceptors que són responsables de la visió dels colors i es troben situats al centre de la retina.

Distingim 3 tipus de cons:

- **S-cons o tritacons:** sensibles a la llum de longitud d'ona curta amb un pic a 420 nm (blau).
- **M-cons o deutacons:** sensibles a la llum de longitud d'ona mitjana, pic a 530 nm (verd).
- **L-cons o protacons:** sensibles a la llum de longitud d'ona llarga, pic a 560 nm (vermell).

Barrejant entre si la informació d'aquests tres tipus diferents de cons, obtenim la nostra visió dels colors. Aquesta és també la raó per la qual només es necessiten tres colors principals per obtenir tots els colors visibles. Només tenim tres fonts d'informació per a la barreja del nostre espectre de color sencer.

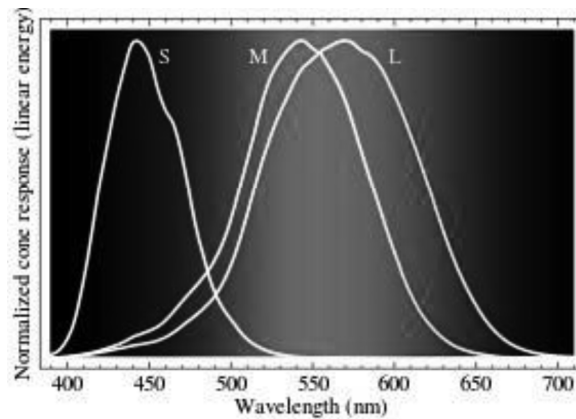
Però malgrat la majoria de nosaltres som tricromats, hi ha persones que presenten variacions en el sistema com:

- **Tetracromatisme** (present rarament en dones)
- **Tricromatisme anòmal**
- **Dicromatisme**
- **Monocromatisme**

No és d'estranyar doncs, que dins la nostra societat hi hagi alteracions de la visió dels colors. Una teoria que sosté com la majoria de nosaltres ha arribat a percebre els colors a través de tres tipus de cons diferents és l'evolució.

Científics conclouen que sembla que la longitud d'ona curta (S-cons) pigments són els més antics, ja que es troben en gairebé tots els vertebrats.

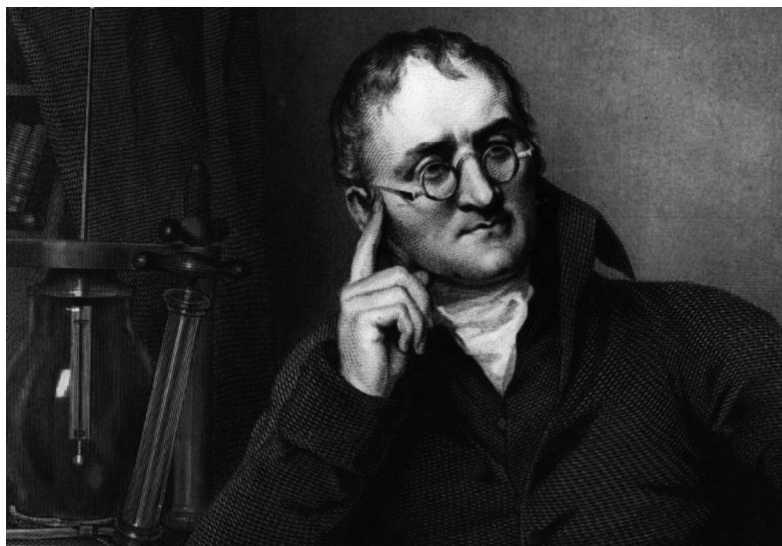
Més endavant si van adherir, de forma excloent, o bé els M-cons o bé els L-cons, però això de que hi siguin presents ambdós es quelcom recent ja que només són alguns primats els qui ho posseeixen. Estudis ho atribueixen a una mutació autosòmica que va experimentar una femella primat, però no hi ha proves.



Imatge 2

5.3 Classificació dels diferents defectes o alteracions de la visió cromàtica

Els defectes o alteracions de la visió cromàtica han estat classificats durant el segle XX. No obstant, les primeres referències són del segle XVIII amb diverses teories, sobre les que destaca la proposta de John Dalton (1766-1844). Per aquest motiu, el seu nom ha quedat unit a la classificació de les alteracions cromàtiques, identificant-se a un subjecte daltònic com aquell que no veu bé els colors.



5.4 Alteracions congènites de la visió cromàtica

Les deficiències o alteracions congènites del color solen ser causades per l'absència o un defecte en els cons. Un subjecte conegut col·loquialment com a daltònic pot tenir un dels cons alterat i tenir els altres dos normals (subjecte tricromat anòmal) , la presència de només dos tipus de cons(subjecte dicromat) o només un o cap d'ells (subjecte monocromat).

Els termes assignats als diferents tipus de deficiències o alteracions en la percepció dels colors es basen en el número de cons presents, i per tant , en el número de variables possibles a l'hora de realitzar les igualacions del color. Així, els termes protan, deutan i tritan són utilitzats per a distingir quin dels tres fotopigments és l'afectat. El prefix protan indica que el color vermell es l'afectat, el deutan el verd i el tritan el blau. D'altra banda, el sufix "omalia" indica la presència de tricromatisme o tricromàcia anòmala i el sufix "opia" de dicromatòpsia. Els defectes protan i deutan són descrits juntament com a deficiència vermell-verd. Els defectes vermell-verd formen part d'un model comú de defecte congènit on poden trobar-se similars confusions al color.

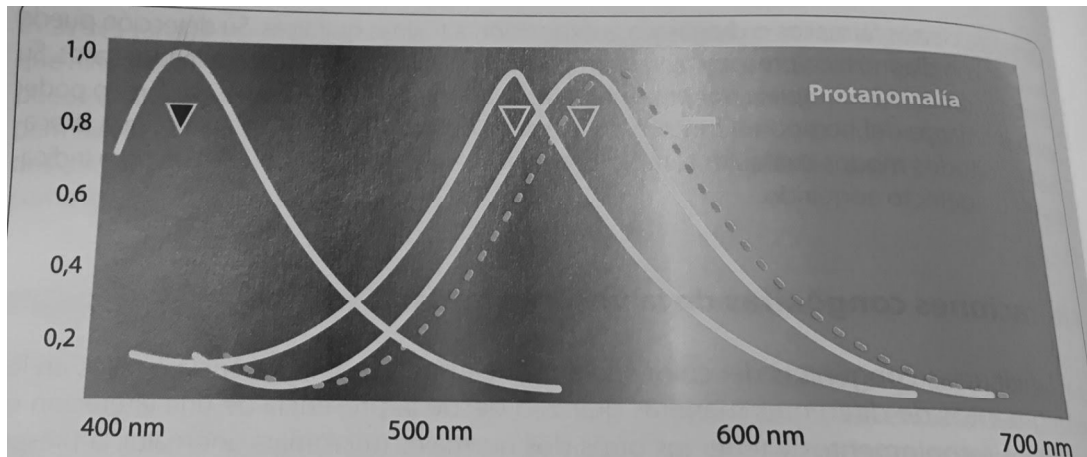
Com que existeixen diferències en la visió dels colors entre un subjecte tricromat anòmal i un dicromat , tot i que el color de confusió sigui el mateix, és necessari classificar correctament cada tipus d'alteració en funció del número de cons afectats i del color confós.

D'altra banda, també hi ha dones que presenten tetracromatisme, és a dir que tenen els tres cons iguals que la majoria de nosaltres, però presenten un quart tipus de con.

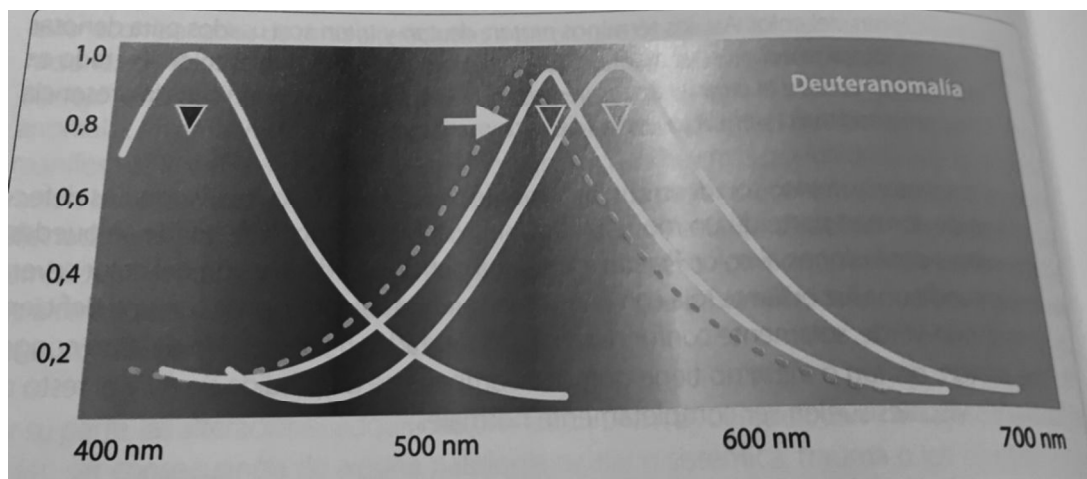
5.4.1 Tricromatisme anòmal

Els subjectes tricromats anòmals poden classificar-se, en funció del color confós, en protanòmals, deuteranòmals i tritanòmals:

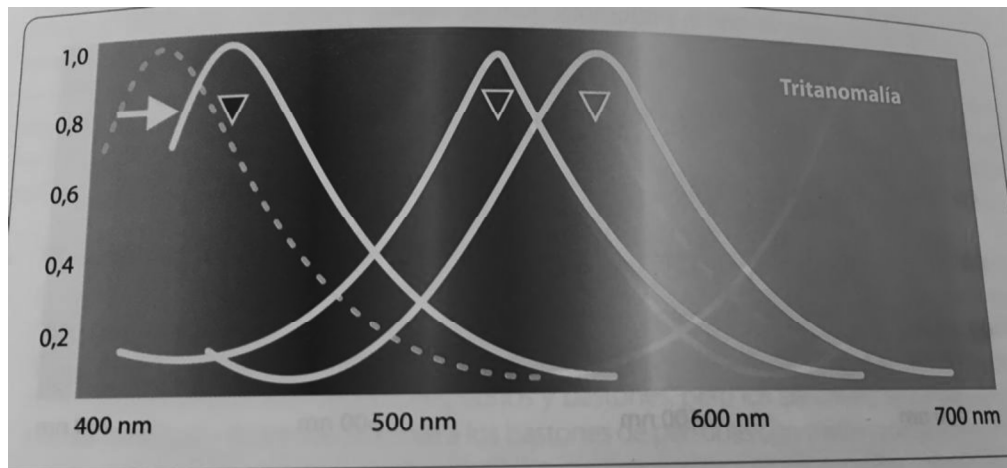
- **Protanomalia:** Els pacients amb aquest tipus de ticromatisme anòmal , en comparació amb un subjecte normal ,requereixen més quantitat de llum de color vermell per a obtenir el color groc estàndard. També presenten una sensibilitat fotòpica per a les longituds d'ona del vermell disminuïdes.



- **Deuteranomia:** Els afectats d'aquest tipus de tricromàcia anòmala presenten una sensibilitat fotòpica normal i ,al comparar-la amb un altre subjecte normal, necessiten una major quantitat de llum verda per a obtenir el color grog estàndard.



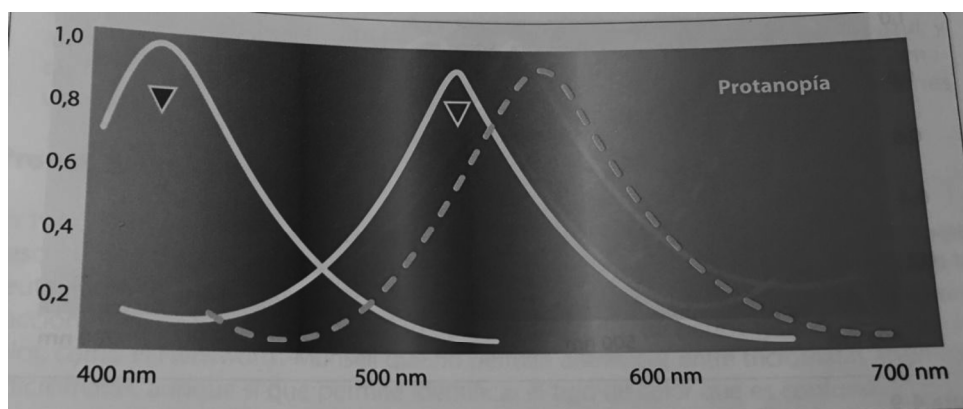
- **Tritanomalia:** Els que ho pateixen presenten una sensibilitat fotòpica normal i al comparar-los amb un subjecte normal, necessiten major quantitat de llum blava per a percebre el color cian estàndard al barrejar blau i verd.



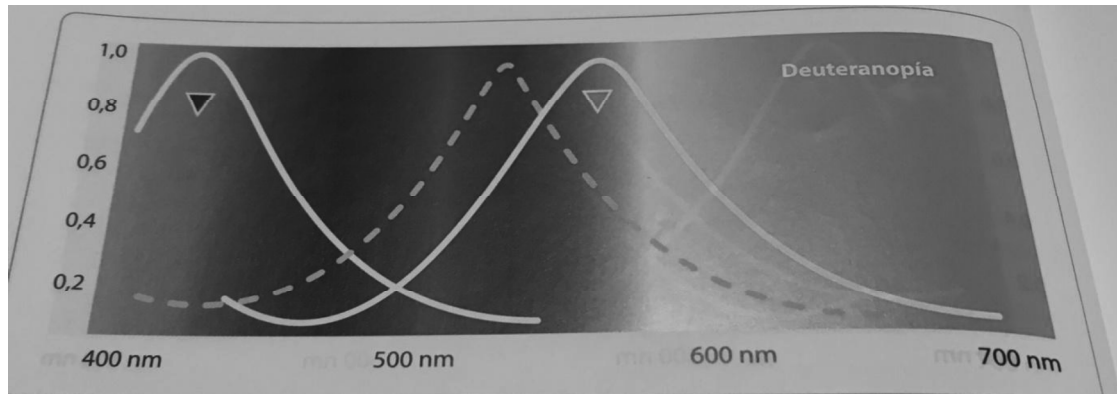
5.4.2 Dicromatòpsia

Els afectats de dicromatòpsia són aquells en el que un dels cons és absent i, per tant, només poden utilitzar dos cons per a realitzar les igualacions de color. Es subdivideixen en tres: la protanopia, la deuteranopia i la tritanopia. Aquests sufixes venen del grec (signifiquen literalment "primer", "segon" i "tercer"). Van ser introduïts per J.Von Kries l'any 1897, per a substituir el que fins aleshores havia estat conegut com a "ceguera al vermell", "ceguera al verd" i "ceguera al blau", respectivament. Aquestes persones no precisen del color primari indicat per a realitzar les igualacions del color.

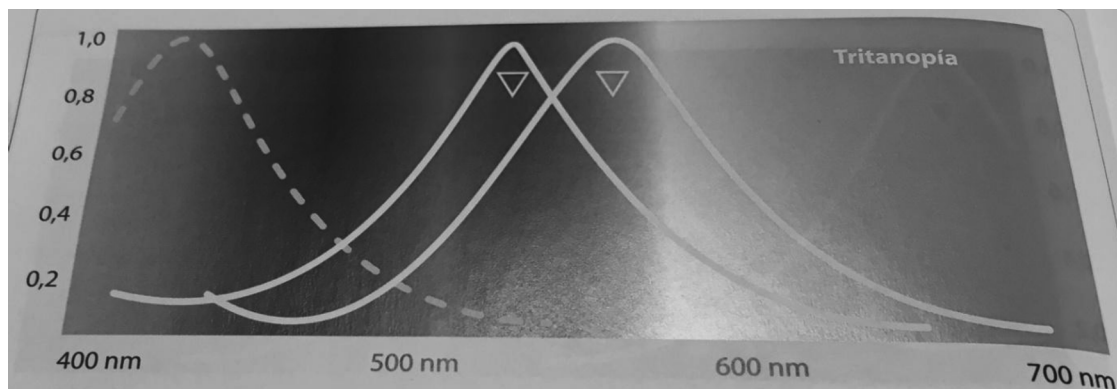
- **Protanopia:** defecte cromàtic que posseeix una sensibilitat fotòpica per les longituds d'ona llargues (vermell) disminuïdes. Els vermells, taronges, grocs i verds són freqüentment confosos.



- **Deuteranopia:** defecte cromàtic que presenta una sensibilitat fotòpica parcialment normal amb una desviació en la posició del mínim de discriminació a la part groga de l'espectre que es situa a 610 nm quan els tricromats normals es troba a 590 nm. Els colors vermells, taronges, grocs i verds són freqüentment confosos.



- **Tritanopia:** anomalia que presenta l'espectre de sensibilitat fotòpica normal (555nm) i que suposa una reducció de la sensibilitat de longituds d'ona curtes al final de l'espectre.



Els protanops i deuteranops posseeixen similar discriminació cromàtica i poden confondre els mateixos colors. Això pot ser cert en la majoria de casos, ja que colors com ara el verd o el vermell els resulten idèntics. Però la diferència entre protanops i deuteranops té la seva base en la igualació de colors, ja que un protanop realitzarà una igualació més vermellosa i un deuteranop una de més verdosa.

També s'ha definit un quart tipus de dicromatòpsia que tindria el seu pic de lluminositat a 560nm i s'anomenaria tetranopia (del grec "quatre" o "quart"). Tot i així, l'existència d'aquesta ha estat molt discutida des que va ser proposada seguint la teoria de Hering, que suposava que també hi ha anomalies en la percepció del color groc.

5.4.3 Acromatopsia (Monocromatisme)

Aquest terme s'utilitza per a descriure els subjectes que presenten només un o fins i tot cap dels tres cons.

Les igualacions dels colors es realitzen amb només un feix de llum de qualsevol color en les proporcions adients. Aquestes persones perceben els colors com a diferències de claror, com si es tractés d'una visió en blanc i negre (escala de grisos). Hi ha dos tipus de monocromats, els monocromats de bastons, quan els receptors dels bastons no funcionen bé, i el monocromats de cons. Ambdós tipus són a més a més classificats completament com a monocromats. Hi ha dos tipus :

- **Monocromatisme de bastons:** és la situació més típica de monocromatisme. Presenta com a signes més característics una disminució de l'agudesesa visual, fotofòbia, nistagmes pendular que sol desaparèixer durant l'adolescència, escotoma central i absència de l'efecte Purkinje. Estudis anatòmics han demostrat que els monocromats de bastons tenen ambdós fotoreceptors, cons i bastons, però els bastons els presenten en menor quantitat i de forma diferent als bastons de les persones amb visió cromàtica normal.
- **Monocromatisme de cons:** l'afectat conserva l'efecte Purkinje i la seva agudesesa visual és normal. El defecte de la visió de color pot ser degut a una alteració dels fotoreceptors en alguns individus i en altres a una alteració postreceptoral. Dintre d'aquest tipus de monocromatisme es poden distingir dues categories, els monocromatismes lligats al cromosoma X incomplet (també anomenats mono-con blau), sensibles únicament a la llum blava, i aquells amb monocromatisme recessiu incomplet. Alguns monocromàtics incomplets tenen capacitats de discriminar colors per sota de condicions visuals i de nivells de llum.

5.4.4 Tetracromatisme

Partint de que les dones tenen dos cromosomes X diferents en les seves cèl·lules, es possible que algunes siguin portadores d'un quart tipus de cèl·lula con i per tant, neixin com tetracromates en tenir simultàniament quatre tipus funcionals de cèl·lules cons, on cada tipus segueix un patró de resposta a llums de diferents longituds d'ones en l'espectre visible.

Un estudi suggereix que entre 2-3% de les dones del món podrien tenir el quart tipus de con, amb espectre de sensibilitat a mig camí entre el del con de color vermell i el de color verd, el que dóna, teòricament, un increment significatiu en la diferenciació de colors. Per verificar el tetracromatisme en humans es necessitaran estudis addicionals. S'han identificat dos possibles tetracròmats: la "Senyora M", una treballadora social anglesa que va ser localitzada en un estudi realitzat el 1993, i una altra dona metgessa a prop de Newcastle, Anglaterra, que es va identificar en un estudi reportat el 2006. La variació en els gens que determinen els cons estan molt difoses en la majoria de les poblacions humanes, però el tetracromatisme més prevalent i pronunciat deriva de dones portadores de protanomalia o deuteranomalia.

5.5 Protan, deutan i tritan

L'any 1947, Farnsworth va introduir les contraccions protan, deutan i tritan, utilitzant protan, per a descriure de manera genèrica als individus amb protanomalia i protanopia, deutan per la deuteranomalia i deuteranopia i tritan per a la tritanomia i tritanopia. L'ús de aquestes contraccions és necessari per a poder agrupar els resultats de certs tests de la visió del color, com el Farnsworth-Munsell que no permet diferenciar entre tetròmats anòmals i dicròmats, malgrat si que permet identificar el tipus de color que confon l'individu.

5.6 Prevalença i herència de les alteracions congènites

La incidència de deficiència de la visió cromàtica d'origen congènita es situa vora el 8% en els homes i el 0'5% en les dones.

El tricromatisme anòmal és el més comú entre la població.

Un 1% de la població masculina i un 0,02% de la femenina presenten protanomalia, la qual està lligada a una **herència de la cromosoma X recessiva**.

La major part de les **alteracions congènites** de la visió cromàtica són deuteranomalies. La presenten un 5% de la població masculina i un 0'38% de la femenina. També es causada per una **herència genètica de cromosoma X recessiva**.

Pel que fa a la tritanomia, encara no hi ha dades sobre la seva prevalença dins la societat, però si que se sap que està lligada al cromosoma 7 i al tractar-se d'una **mutació autosòmica** és dóna en la mateixa proporció tant en homes com en dones.

El segon tipus d'anomalia en la visió cromàtica és el dicromatisme.

La protanopia es presenta en els mateixos percentatges que la protanomalia i també és produïda per la mateixa causa.

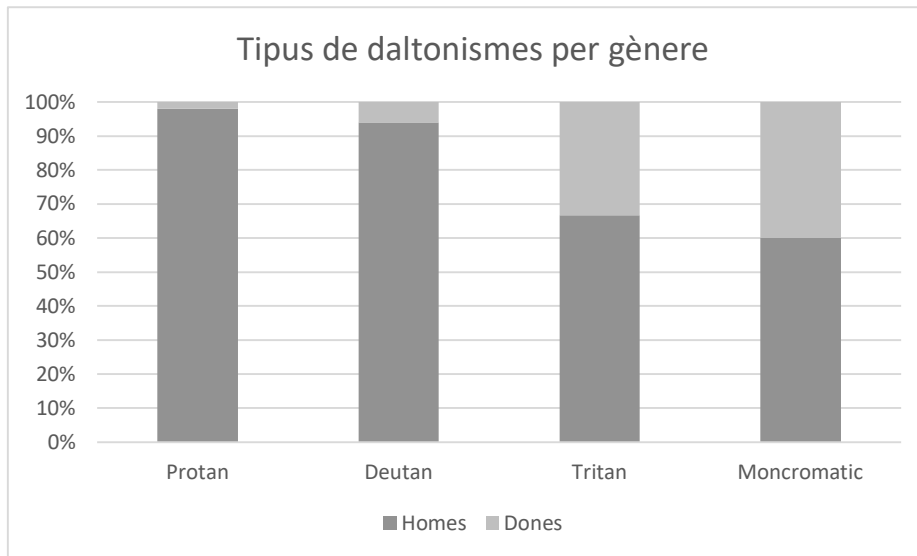
La deuteranopia és presenta en major proporció a la població masculina (1,1%) però en menor a la femenina (0,01%). La seva herència també està lligada a una cromosoma X recessiva.

En menor proporció està la tritanopia. La presenta un de cada cinc-cents homes (0,002%) i una de cada mil dones(0,001%). La seva herència és autosòmica dominant.

Per últim, hi ha el monocromatisme de bastons i cons.

El monocromatisme de bastons es produeix en tres de cada mil homes (0,003%) i en una de cada cinc-cents dones (0,002 %). La seva herència genètica està lligada a un autosoma recessiu.

En canvi, el monocromatisme de cons no té dades sobre la seva prevalença dins la població. No obstant, hi ha diverses teories de per què succeeix, entre les que destaquen una herència lligada a una cromosoma X recessiva (com en la majoria de alteracions congènites de la visió cromàtica) o bé una herència autosòmica recessiva (com en el cas del seu homòleg, el monocromatisme de bastons).



5.7 Alteracions adquirides de la visió cromàtica

La pèrdua de la discriminació del color és un símptoma que pot aparèixer de manera precoç en algunes patologies i amb l'ús d'alguns medicaments. És important detectar aquestes anomalies per a , bé trobar una patologia amagada o bé controlar el tractament o simplement assessorar a la persona per a que conegui la seva visió cromàtica. Segons Verriest (1963), les alteracions adquirides poden classificar-se en tres categories:

- **Deficiències vermell-verd tipus I:** Es caracteritza per una alteració progressiva de l'eix vermell-verd, dèficit d'agudeses visual, un canvi en la lluminositat fotòpica que finalment afecta a la lluminositat escotòpica (bastons). Aquestes es poden trobar a distròfies de la retina central.
- **Deficiències vermell-verd tipus II :** Es caracteritza per no presentar canvi en la lluminositat amb una alteració moderada o severa de l'eix vermell-verd amb una pèrdua lleu en el blau-groc. Es pot associar amb lesions del nervi òptic com neuritis òptica o atròfia òptica.
- **Deficiències blau-groc tipus III:** Es caracteritza per una alteració progressiva de l'eix groc-blau acompanyada de dèficit d'agudeses visual. Es pot relacionar amb canvis en els medis oculars relacionats amb l'edat, lesions a la via òptica per sobre del quiasma i glaucoma entre d'altres.

Els defectes adquirits de la visió cromàtica poden progressar en diferents etapes, inicialment hi ha un estat anormal de tricromatopsia, després una forma de dicromatopsia i finalment una acromatopsia.

5.8 *Evaluació clínica de la visió del color*

L'objectiu de l'avaluació de la visió cromàtica es centra en detectar possibles patologies que puguin provocar anormalitats en la percepció dels colors i o bé en la seva discriminació. Les proves o tests definits per a l'estudi de la visió cromàtica es poden classificar en tres categories:

- Proves de detecció o screening, útils per a una identificació ràpida
- Proves o tests de discriminació
- Proves o tests de la visió cromàtica

5.8.1 Proves de detecció o Screening:

Per a considerar un test com d'screening ha de permetre la seva realització de manera ràpida (2-3 minuts), ser fàcil per a l'individu observat i que pugui ser utilitzat en nens. Els més comuns són els tests basats en làmines pseudoisocromàtiques. Existeixen altres tests basats en la comparació de dos colors, per exemple, entre fils i botons, que poden permetre detectar lesions congènites, però no tenen bons resultats en lesions adquirides.

5.8.1.1 Làmines pseudoisocromàtiques

Les làmines pseudoisocromàtiques són les proves més utilitzades per a la detecció de les anomalies de la visió del color en la pràctica clínica. La majoria estan dissenyades per a detectar anomalies congènites vermell-verd i només algunes inclouen dissenys per a detectar alteracions de la visió del blau-groc.

Generalment representen una imatge composta per petits cercles de diferents colors sobre un fons que formaran una figura, un dibuix o un nombre. Normalment els colors que formen la imatge es definiran de manera que la persona amb deficiència de la visió cromàtica no podrà distingir la figura, el dibuix o el nombre, o bé n'identificarà un altre.

En aquesta categoria existeixen varis tests, però el més reconegut i validat és el test d'Ishihara (test que hem decidit utilitzar en el nostre projecte). Altres proves serien l'American Optical Company Plates, el Dvorine, el Tritan Plate F3 o el Pease-Allen Color Test.

Les làmines pseudoisocromàtiques permeten la detecció de una deficiència congènita amb una seguretat d'entre el 90 i el 95%.

5.8.1.2 Test de làmines de Ishihara

El test d'Ishihara és útil per a la detecció d'alteracions congènites vermell-verd. Per contra, aquesta prova no detecta alteracions del tipus blau-groc. En la seva versió completa, consta de 38 làmines, les 25 primeres representen números i les 13 restants representen camins o trajectòries, per a poder-se utilitzar en persones analfabetes o en infants. Existeixen versions abreviades de 24 o 14 làmines, de menor eficàcia i/o sensibilitat, que es poden utilitzar com a prova d'un Screening o detecció ràpida.

Les principals característiques de les làmines són les següents:

- La primera làmina pot ser vista per tothom i s'utilitza com a demostració per a explicar-li el funcionament de la prova a la persona.
- Les làmines de la 2 a la 9 presenten números visibles per un observador sense alteració de la visió cromàtica i per observadors amb diferents deficiències en la visió del color.
- Les làmines de la 10 a la 17 poden ser vistes per observadors normals però no per gent amb alteracions de la visió cromàtica. Aquests darrers veuran un disseny difuminat o fins i tot no ho distingiran.
- Les làmines de la 18 a la 21 no poden ser vistes per persones amb la visió cromàtica normal i sí que poden ser vistes per observadors amb deficiències en la visió cromàtica.
- Les làmines de la 22 a la 25 permeten distingir entre una deficiència de tipus protan (vermell) i deutan (verd). Cada làmina conté dos nombres el de la part dreta (blau-porpra), que només pot ser vist per subjectes protan, i el de la esquerra (vermell-porpra), que és visible per els deutan. En el cas de veure els dos números, el que es vegi menys clar indicarà el tipus de deficiència.
- Les làmines de la 26 a la 38 contenen camins o trajectòries. L'exploració es començarà al final del llibre. La làmina 38 és la demostració, les làmines de la 37 a la 34 poden ser vistes per tothom, les làmines de la 33 a la 30 no poden ser vistes per subjectes amb alteracions a la visió cromàtica, les làmines 28 i 29

només poden ser distingides per a subjectes amb alteracions en la visió cromàtica i finalment les làmines 26 i 27 diferencien entre protan i deutan.

Aquest test no permet diferenciar entre dicromats i tricromats anòmals ja que ambdós fallen la majoria de les làmines i no es poden distingir pel número d'errors que obtenen. Només aquells que tenen defectes lleus protan i deutan són capaços de llegir algunes làmines correctament. Un signe de deficiència lleu és l'excessiva indecisió a l'hora d'identificar les làmines.



Imatge 3

5.8.2 Proves de discriminació cromàtica

Aquests tests es basen en presentar a l'individu una sèrie de peces de diversos colors per a que les explori i les ordeni en funció de la seva similitud cromàtica. Excel·leix el test de Farnsworth-Munsell que pot presentar diferent número de peces, malgrat existeixen altres tests com ara: el Lanthony New Color Test, el Verriest's Lightness Test, l'Sahlgren Saturation Test i el City University Test.

El seu principal inconvenient és que requereixen de molt temps al ser proves complicades per a l'individu examinat, per aquest motiu s'han creat versions reduïdes amb un nombre menor de peces per a reduir el temps d'exploració.

5.8.2.1 Test de Farnsworth-Munsell-100HUE

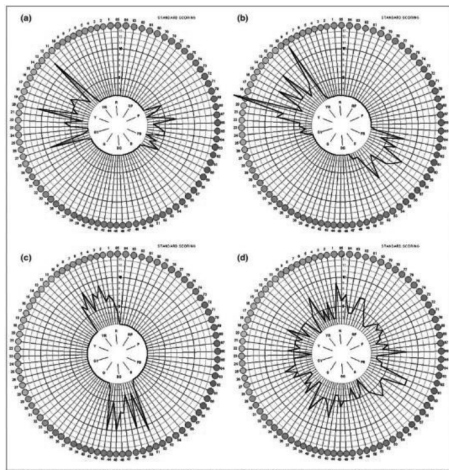
Aquest test va ser creat l'any 1943 i examina l'habilitat per a discriminar matisos cromàtics. Aquest test permet identificar les deficiències de color moderades o severes. La habilitat per a discriminar matisos es calcula a través de la representació gràfica dels resultats obtinguts. Està compostat per 84 peces en les que varia el color mantenint constant la il·luminació i saturació.

El subjecte explorat ha de col·locar les peces en ordre segons el seu color.

Els errors en la classificació poden posar en manifest les alteracions cromàtiques al representar-se en un gràfic de coordenades polar. Aquest test presenta també altres versions reduïdes com per exemple : el test de Farnsworth-Munsell D-15.



Imatge 4



Imatge 5

5.8.3 Proves de visió cromàtica

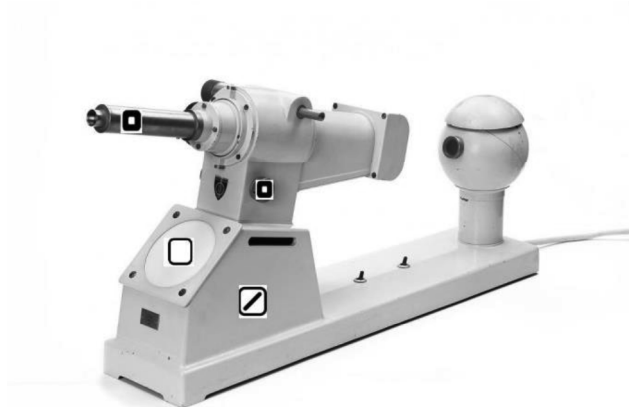
Aquestes proves requereixen d'un equipament més aviat complex i se solen utilitzar de manera experimental en treballs de recerca a laboratoris o per a realitzar el diagnòstic definitiu del tipus d'alteració cromàtica. Com a nom genèric s'anomenen anomaloscopis i els resultats es representen en forma d'equacions. La seva utilització clínica no està gaire difosa per la seva complexitat i dificultat de realització.

Un anomaloscopi es pot definir com un instrument útil per a distingir una visió tricromàtica normal d'una deficient vermell-verd. L'anomaloscopi més utilitzat és el de Nagel.

5.8.3.1 Anomaloscopi de Nagel

L'anomaloscopi de Nagel permet una avaluació quantitativa dels defectes de la visió cromàtica. El disc de prova està compost per un semicercle inferior groc, la lluminositat del qual pot ser modificada, en el que els pacients han de barrejar la llum vermella i verda fins que vegin el mateix to que a la meitat inferior.

El coeficient d'anomalia es calcula a partir de l'ajustament final. Els pacients deutan (tant si son de tipus dicromàtic com tricromàtic anòmal) requeriran de més llum verda i els protan de més llum vermella .



Imatge 6

5.8.3.2 Futur de la detecció dels defectes de la visió cromàtica

Tot i que podríem pensar que el futur de la detecció de les alteracions i les deficiències de la visió cromàtica està en la tecnologia, això no és tan simple com sembla. Hi ha dos problemes principals:

- Els ordinadors només fan ús de tres colors principals vermell, verd i blau (RGB). Tots els altres colors són la barreja d'aquests tres colors. A més a més, les proves d'anomaloscopi utilitzen diferents fonts de llum que no poden ser simulades per una pantalla.
- Cada monitor d'ordinador té una gamma de colors diferents que pot provocar petites diferències en les fonts de llum, la lluminositat i el contrast. Això provoca diferents resultats de la prova. Només els equips calibrats poden ser utilitzats per dur a terme aquestes proves basades en l'ordinador.

A l'entorn computacional, el City University de Londres ha desenvolupat una prova de visió del color, anomenada Test CAD (Colour Avaluation & Diagnostic) basada en el mateix principi que les plaques pseudoisocromàtiques i proves de tipus Farnsworth-Munsell.

Recentment s'ha aplicat la prova per comprovar la visió del color en candidats pilot. Els bons resultats fan pensar que podria convertir-se en un instrument d'avaluació estàndard per a les proves de la visió del color generals o almenys per a certes professions, on la visió del color és crític.

També hi ha algunes projeccions genètiques disponibles. Però fins i tot un deteriorament tan simple com el daltonisme no és fàcil de detectar en els gens. Així que cada prova genètica sempre necessita algunes proves físiques en paral·lel per obtenir un resultat correcte i concís.

5.9 Solucions als defectes de la visió cromàtica

A l'any 1837 un científic alemany anomenat Seebeck estava escrivint sobre la possibilitat de corregir la deficiència de la visió del color amb algun tipus de lents. Però fins al segle XX no s'ha continuat amb la investigació i desenvolupament de diferents tipus de lents i ulleres fosques que ajudarien a les persones daltòniques per millorar la seva visió.

5.9.1 Lents de contacte

Les lents de contacte no corregeixen la visió dels colors, però sí que la milloren, ja que ajuden en la seva determinació i distinció. Una de les proves més evidents es manifesta quan en la realització dels tests d'Ishihara, persones deficientes en la percepció dels colors són capaces de fer-lo sense cap mena d'error. No obstant, en el cas del test de Farnsworth-Munsell la seva precisió a l'hora d'ordenar els colors no millora.

Els principals venedors són: ColorMax, ColorView, ChromaGen i Chromalite.



Imatge 7

5.9.2 Teràpia gènica

La teràpia gènica per a la resolució del daltonisme és una teràpia experimental amb l'objectiu de convertir els individus congènitament daltònics tricromats en tricromats normals mitjançant la introducció d'un gen per a modificar-los el con afectat.

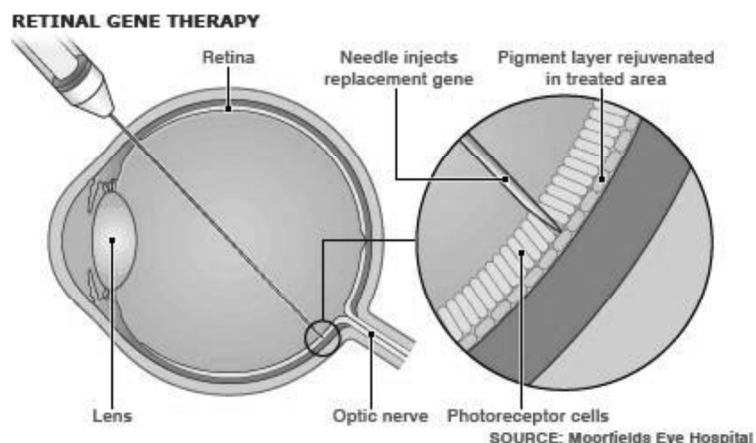
Encara que mai s'ha demostrat en els éssers humans, els estudis en animals han demostrat que és possible conferir la visió del color mitjançant la injecció d'un gen del

fotopigment que falta utilitzant teràpia gènica. Malgrat, seria meravellosa l'aplicació del tractament ,no hi ha una entitat mèdica que ofereixi aquest tractament, i no hi ha assaigs clínics disponibles per a voluntaris.

Els experiments aplicats a una varietat de mamífers (incloent primats) van demostrar que és possible conferir la visió del color als animals mitjançant la introducció d'un gen que l'ésser no tenia prèviament. Els resultats positius suggereixen que la teràpia ha de ser factible per als éssers humans. La mutació de tricromàtics a tetracromàtics també semblaria viable.

La solució a com lliurar el vector viral a la retina és probablement el principal obstacle per fer teràpia gènica. A causa de que el gen ha de ser injectat directament mitjançant l'ús d'una agulla per penetrar en l'escleròtica de l'ull, el tractament pot ser molt desagradable i és un risc d'infecció ocular. Sense una manera de lliurar el gen de forma no invasiva, el tractament és bastant arriscat per al benefici obtingut.

Un altre problema , és que no se sap encara amb quina freqüència ha de ser injectat per mantenir tricromàcia entre els individus congènitament daltonians. Per exemple, els micos esquiroil tractats per a la correcció del defecte, han mantingut durant 2 anys la visió del color després del tractament. Si es necessiten injeccions repetides, també hi ha la possibilitat de que el cos desenvolupi una reacció immune al gen , fet que produiria el mal funcionament del tractament .



Imatge 8

5.9.2.1 Notícies i experiment amb primats

Segons un estudi de la Universitat de Washington a Seattle (Estats Units), publicat a l'edició digital de la revista Nature, una teràpia gènica ha proporcionat visió de color a micos que no veuen el vermell i el verd. El treball demostra, segons els seus autors, el potencial de la teràpia gènica per curar els trastorns de la visió humana.

Els experiments han estat desenvolupats pels investigadors en micos esquirol mascles, que per naturalesa no veuen els colors vermell i verd.

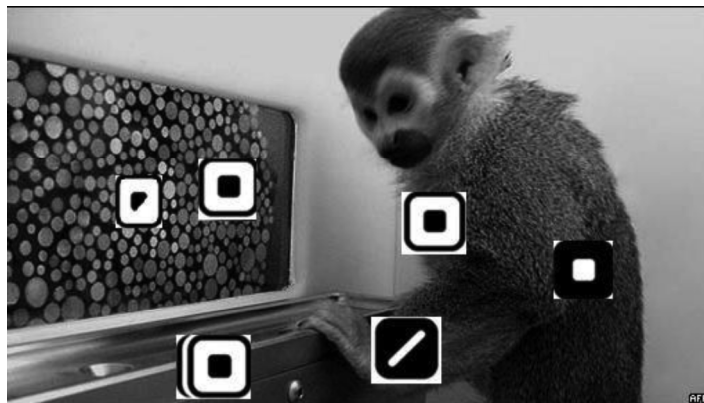
"El mico es un animal que és un model perfecte per a representar les condicions humanes", assenyala Jay Neitz, membre del grup d'investigadors.

Els científics van introduir en les cèl·lules fotoreceptores de la retina de dos micos, anomenats Dalton i Sam, gens dels ftopigments presents en algunes femelles de la mateixa espècie que sí poden distingir el vermell i el verd.

Després d'això, els micos van ser sotmesos a diverses proves per mesurar la seva capacitat de veure els colors.

En 20 setmanes, la capacitat de Dalton i Sam per distingir els colors va millorar notablement i han conservat aquestes habilitats al llarg de dos anys d'experiments i proves.

Així, la teràpia gènica ha estat suficient per donar als micos la visió en color, malgrat que no la tenien de naixement. No obstant això, Neitz assenyala que abans d'aplicar la teràpia en humans han de comprovar que és totalment segura.



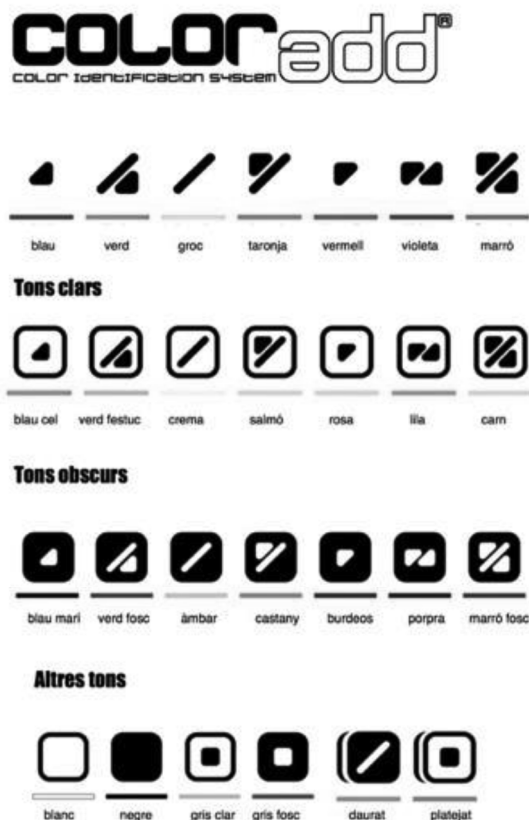
Imatge 9

5.9.3 Sistema de Codificació

El dissenyador Miguel Neiva ha desenvolupat un sistema de codificació de color anomenat **ColorAdd** que ajuda a les persones daltòniques a tot el món.

El sistema es basa en tres formes bàsiques de color que representen els colors primaris blau, groc, vermell i dues formes de blanc i negre. Per tal d'obtenir d'altres tons es barregen els gràfics de la mateixa manera que un pintor ho faria alhora d'obtenir nous tons i matisos amb la seva paleta (groc+vermell=taronja) .Això es tradueix en un llistat de 21 colors bàsics.

El dissenyador afirma que en realitat no ha de memoritzar totes aquestes formes, ja que funciona com barrejar colors reals. Si coneixes les formes bàsiques ja està tot a punt. Però de fet, als daltònics també els resulta difícil el procés de barrejar colors. Aquest és el codi que hem aplicat dins del nostre treball per garantir que tothom veurà de la mateixa manera i reconeixerà els mateixos colors en llegir-lo.

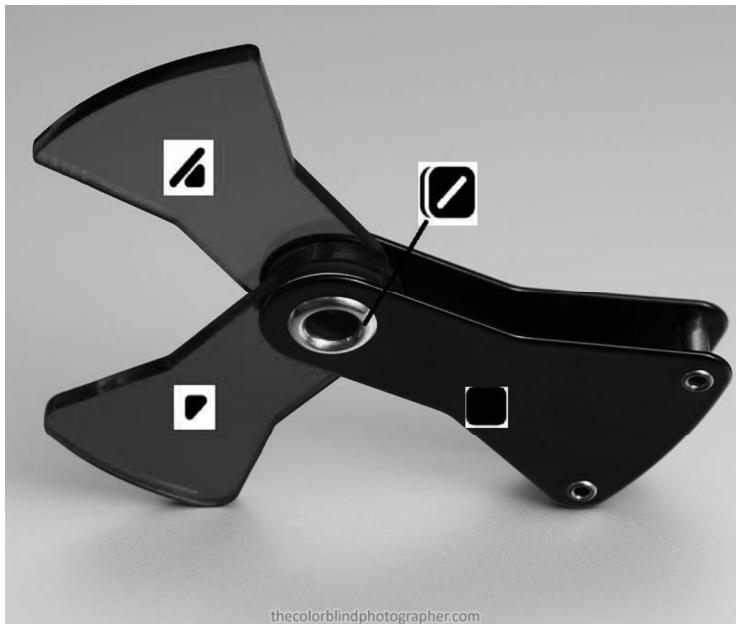


5.9.4 Seekey

Seekey és una petita eina que consta de dos filtres de llum diferents: un vermell i un verd. Mirant a través d'ells canviem la forma en què percebem el color dels objectes que tenim al davant.

Kenneth Allblom és l'inventor de Seekey. El seu invent pot ser comprat a través de la seva pàgina web, centres òptics i en certes botigues d'equipament de navegació marina. Ho trobem a països com la Gran Bretanya, França, Suècia, Finlàndia, Alemanya, Nova Zelanda i Japó.

Un estudi de l'Institut Karolinska a Estocolm, Suècia, ha demostrat que l'eina Seekey ajuda a les persones amb deficiència de color vermell-verd a aconseguir una millora del 86% en el test d'Ishihara.

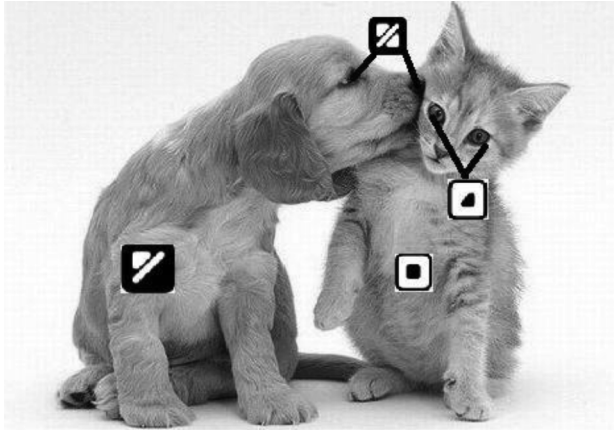


Imatge 10

5.10 Visió cromàtica en animals

5.10.1 Gossos i gats

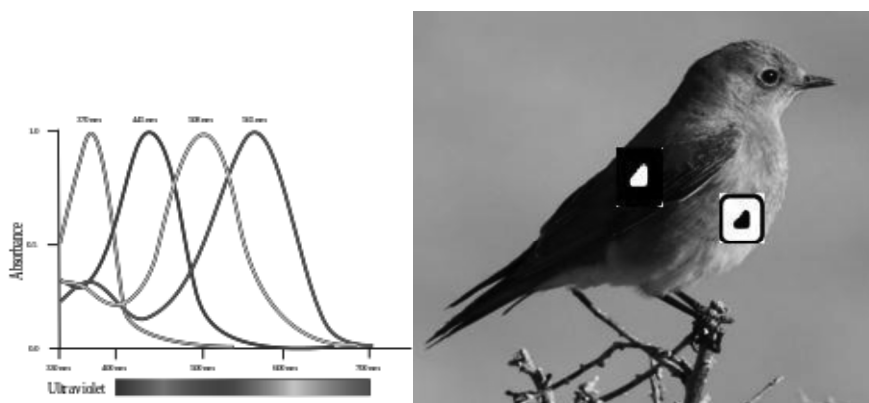
Els gats i gossos tenen un sistema de percepció dicromàtic. El que sembla vermell per a nosaltres és absolutament fosc tant per als gossos com per als gats, i una part de l'espectre verd és indistingible del blanc.



Imatge 11

5.10.2 Aus

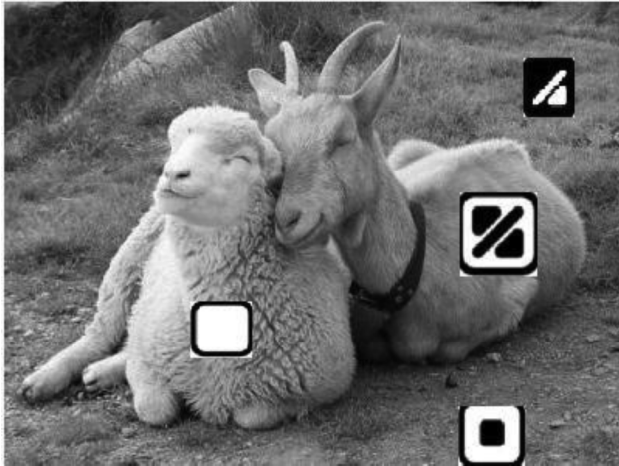
La visió de les aus diürnes és de tetracònica, aquest fet els permet veure alguns colors que no són visibles per a altres espècies, transitant la capacitat de veure colors des del vermell, taronja, groc, verd, blau i els seus tons fins a incloure finalment els colors reflectits per la llum ultraviolada radiada pel sol.



Imatge 12 i 13

5.10.3 Bovins, ovins i caprins

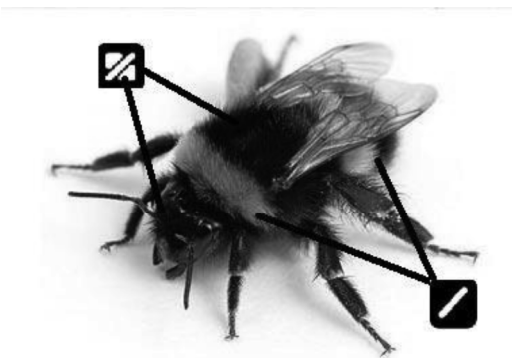
Els bovins, ovins i caprins tenen la visió dicromàtica, amb cons de màxima sensibilitat a la llum verda i blau. La majoria d'aquestes espècies veuen una gamma completa de dos colors, en general tota la gamma que va del verd al blau. La idea general que per el toro s'enfureix amb el vermell del capot és incerta; el que li crida l'atenció és el moviment del mateix.



Imatge 14

5.10.4 Abelles

En les abelles s'ha pogut comprovar el seu alt sentit de percepció dels colors. Les productores de mel són capaces de diferenciar el groc, el verd-blau i el blau. No poden veure el vermell i fàcilment el confonen amb el negre; en canvi poden veure l'ultraviolat.



Imatge 15

5.10.5 Peixos

En els peixos la visió cromàtica depèn de la profunditat i la turbulència de les aigües. Podem distingir espècies monocromàtiques, dicromàtiques, com els peixos d'aigües tèrboles, tricromàtiques com els peixos d'esculls coral·lins o bé tetracromàtiques com peixos d'aigua cristal·lina que capten l'ultraviolat. No obstant, els animals que viuen a les profunditats oceàniques, no tenen visió en colors, havent-hi només bastons a nivell de la retina.



Imatge 16

5.10.6 Rèptils i amfibis

Les granotes i gripaus poden veure en color i tenen una bona visió. Algunes espècies de llangardaixos no poden distingir els colors, encara que veuen bé durant el dia.

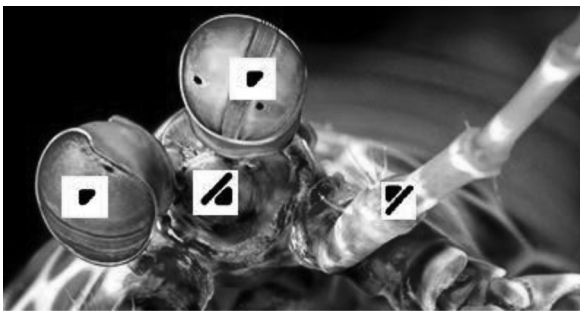


Imatge 17

5.10.7 Gambeta mantis

La gamba mantis té una capacitat per detectar els colors molt per sobre de la resta d'animals. Això es deu al fet que la majoria d'espècies contenen en els seus ulls entre dos i quatre receptors, mentre que aquest crustaci posseeix dotze.

D'aquesta manera, no veuen més colors que la resta, però sí els distingeixen d'una manera més eficient, que els suposa una sèrie d'avantatges tant per aparellar-se com per reaccionar davant les situacions perilloses.



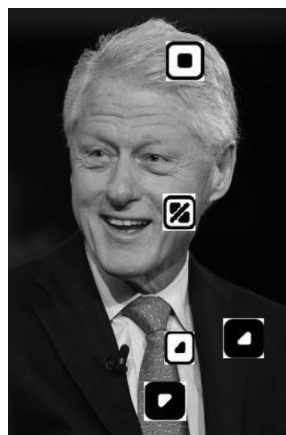
Imatge 18

5.11 Famosos i figures cèlebres amb alteracions en la visió cromàtica

El daltonisme sempre ha estat present dins la nostra societat. No és d'estranyar, doncs, que hi hagi famosos i figures cèlebres que són daltònics.

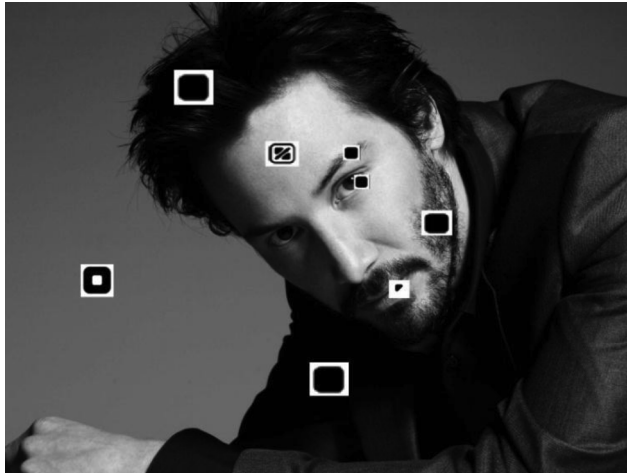
Pintors, escriptors, científics...

Per exemple, l'expresident dels estats units, Bill Clinton, confon tons de verd i vermell.



Imatge 19

L'estrella de cinema Keanu Reeves va revelar en una entrevista el 1991 que confon un munt de colors a causa del seu daltonisme.



Imatge 20

Tot i que podríem pensar que el color blau és el color predominant de Facebook per atzar, això no és així ja que el seu creador , Mark Zuckerberg, confon tons de verd i vermell.



Imatge 21

Fins i tot ,encara que pot semblar-nos irònic, el propi John Dalton, descobridor d'aquesta anomalia, patia daltonisme.

5.11.1 Neil Harbisson

Neil Harbisson és un artista contemporani i activista cibernètic britànic i irlandès amb residència a Nova York. És la primera persona del món reconeguda com a cibernètic per un govern i la primera persona amb una antena implantada al cap. L'antena, cocreada per ell mateix, li permet percebre colors visibles i invisibles com els infrarojos i els ultraviolats, així com rebre imatges, vídeos, música o trucades telefòniques des d'aparells externs com ara mòbils o satèl·lits directament al seu cap.

Fill de pare irlandès i de mare catalano-alemanya, va créixer i viure a Mataró, on va estudiar piano i Belles Arts. Als 16 anys, tot i ser daltònic acromàtic, va decidir estudiar batxillerat artístic a l'Institut Alexandre Satorras on se li va concedir el permís per utilitzar exclusivament els colors blanc, negre i gris per als seus treballs.



imatge 22

5.12 Alteracions a la visió cromàtica dels alumnes de la Salle Manresa

5.12.1 Triatge- làmines

En la primera fase, seguint el Manual d'Optometria, vàrem buscar les làmines necessàries per realitzar un breu test de les anomalies de la visió cromàtica. Les imatges que en aquest moment ens feien falta eren les 2,3,5,9,12 i 16 de les quals 4 eren de disseny transformat i 2 d'esfumat. Apart d'això, vam cercar com fer correctament el test i vam trobar les següents indicacions:

- 1) Situar a la persona en qüestió còmodament il·luminar adientment les làmines del test de manera en la que s'evitin els reflexes i brillantors que la llum pugui causar en aquestes.
- 2) Tapar un dels ulls.
- 3) Presentar les làmines a una distància d'entre 70-75cm aproximadament.
- 4) El subjecte utilitzarà la refracció adient per a la distància de presentació.
- 5) No permetre que les làmines s'observin de forma inclinada (angle d'observació recomanat de 45°).
- 6) Mostrar cada làmina entre 4-15 segons, passat aquest temps la persona ha de ser capaç de reconèixer el numero o el símbol corresponent.
- 7) Per avaluar els resultats, comparar les respostes de la persona amb les que un individu sense deficiència a la visió hauria de veure.
- 8) En cas de detectar una deficiència en un dels ulls, repetir la prova amb l'altre ull.

Seguidament hem realitzat un primer triatge molt general entre els nois de l'escola, únicament per saber qui presentava una deficiència o una alteració en la percepció del

color, per poder després continuar aprofundint en el tema però des d'un punt de vista més detallat.

Durant la realització d'aquesta primera experimentació, hem decidit descartar la mostra obtinguda a primer de primària degut a que els nens mostraven dificultats a l'hora d'identificar determinats nombres sense haver de ser estrictament daltònics.

Com a pas següent, hem decidit comprovar si l'estadística del 8% de daltònics a la població masculina és present entre els estudiants de la Salle Manresa que cursaven entre segon de primària i primer de Batxillerat durant el curs escolar 2015-2016. (per a veure els resultats de tots els individus podeu consultar el document excel als annexos)

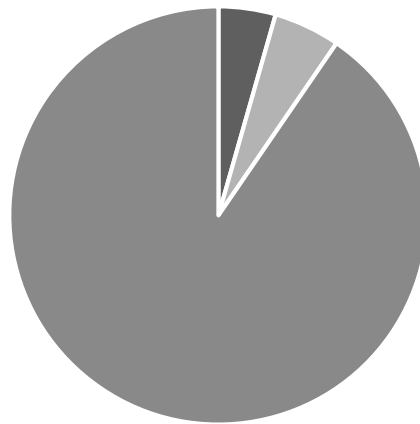
A primària vam trobar tres casos clars de daltonisme i sis nens que no van realitzar tot el test correctament, ja sigui o bé per manca d'il·luminació o bé per manca d'atenció. En aquesta secció vam enquestar seixanta-cinc nens.

A la ESO, dels cent setanta-vuit enquestats, només vuit presentaven daltonisme però sis més no van fer el test del tot bé.

Finalment, a primer de batxillerat van fer el test vint-i-nou nois, dels quals un va resultar ser daltònic i dos no van fer el test a la perfecció.

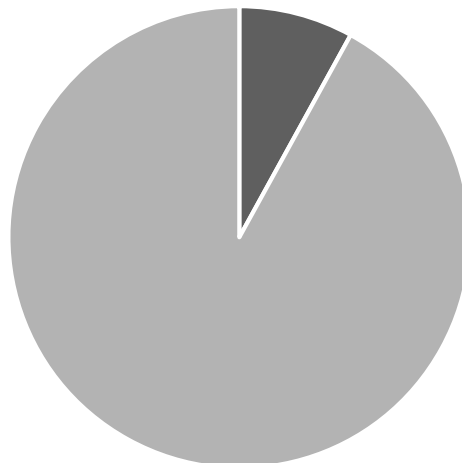
Per tant, després de la realització del nostre primer estudi, hem arribat a la conclusió de que hi ha una presència d'un 4,42% de nois daltònics, que tenint en compte que l'estudi s'ha fet en una població reduïda formada per individus que són familiars entre sí, no s'allunya tant de la realitat de la població mundial que representa el 8%. Després, hem decidit prosseguir la investigació mitjançant un altre test d'Ishihara i el test de Farnsworth-Munsell D-15.

Daltonisme als alumnes masculins de la Salle Manresa (Curs 2015-16)



■ Daltònics ■ Falsos positius ■ No daltònics

Daltonisme a la població masculina mundial



■ Daltònics ■ No daltònics

5.12.2 Aprofundiment

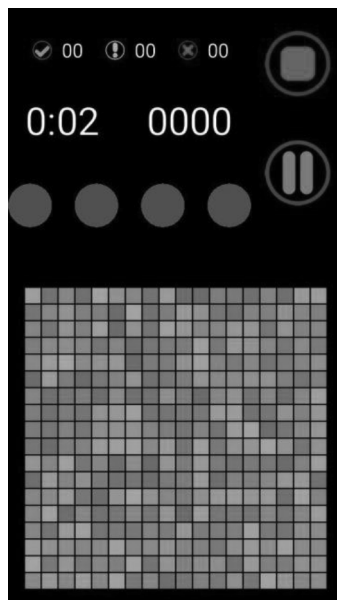
El següent pas que hem pres en el nostre estudi, ha estat determinar el tipus de deficiència o alteració de la visió del color patien aquests 12 nois. Hem decidit fer el test de Farnsworth-Munsell. Aquestes proves les hem realitzat al Juny de 2016.

El primer obstacle amb que ens hem trobat a l'hora de continuar endavant ha estat el preu d'un Test de Farnsworth-Munsell.

Cercant a la xarxa, hem trobat una app que ens permet no només la realització del test de Farnsworth-Munsell, sinó que també de tests addicionals i de una versió més acurada del d'Ishihara.

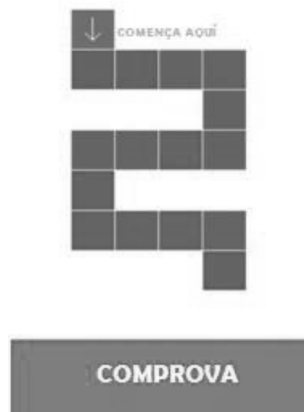
L'app consta de :

- **"colorblind check"** : l'objectiu és distingir dins d'una mateixa gamma cromàtica diferents tons.



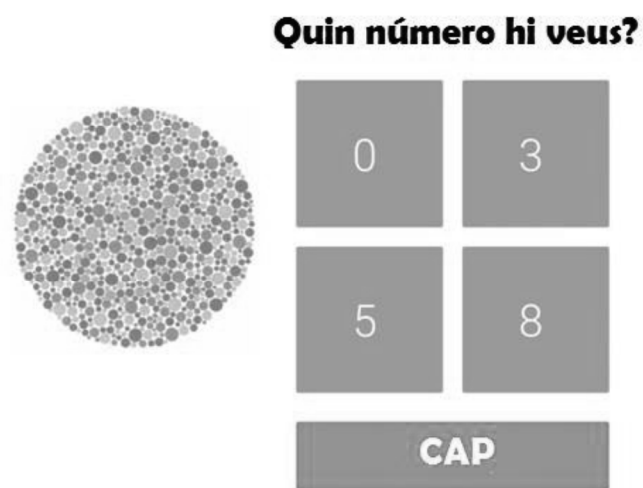
Imatge 23

- **Farnsworth-Munsell D-15** : l'objectiu és ordenar cromàticament els colors de més a menys semblant a l'original. Aquesta prova és una versió reduïda de l'anomenat test de Farnsworth-Munsell-100 utilitzat per òptics i optometristes amb l'objectiu de diferenciar entre els diferents subtipus de defectes de la visió cromàtica (deutan ,propan i tritan)



Imatge 24

- **"Ishihara multiple choize"**: test d'ishihara, ara en una versió més completa, i amb les plaques idònies per a diferenciar la gent que té una deficiència de tipus deutan o propan malgrat no serveix per les de tipus tritan.

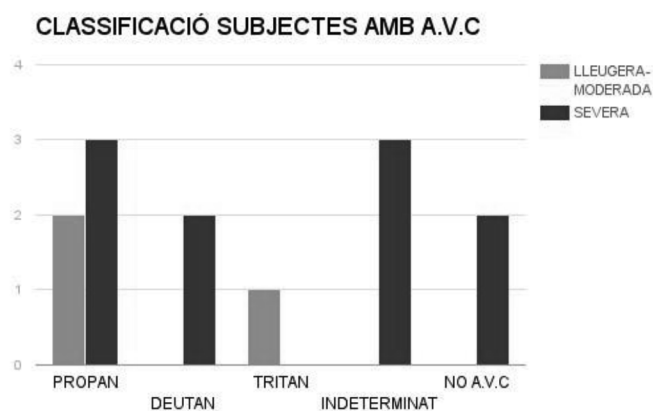


Imatge 25

5.12.2.1 Resultats fase aprofundiment

- El subjectes número 1,6 i 7 són protanops o protanòmals en un grau elevat.
- El número 2 presenta deuteranopia o deuteranomalia en un grau elevat. El 4 té una deficiència en la percepció del vermell lleugera.
- El 3, 5 i 12 tenen algun tipus de deficiència en la visió del verd-vermell, però les aplicacions no han coincidit dient una que presentaven un defecte de tipus propan i l'altra de tipus deutan.
- Els subjectes 8 i 10, després de fer la fase d'aprofundiment, han resolt els tests a la perfecció i per tant no eren daltònics.
- El subjecte número 9 és un cas ben estrany. Primerament ha fet el test d'Ishihara amb els valors que es corresponien per a un daltònic, però després ha realitzar el test de Farnsworth-Munsell a la perfecció. Com que ha trigat una mica més del temps estipulat hem decidir fer-li el "colorblind-check" . En efecte, el subjecte presenta una deficiència en la percepció dels colors, una moderada del tipus deutan i una molt lleugera del tipus tritan, sent així el nostre primer tritanòmal o tritanop trobat.
- El subjecte número 11 presenta una deficiència del tipus protan moderada.

Per tant, després de fer la fase d'aprofundiment hem conclòs que a la nostra escola hi ha un 3,9% de daltònics que segueix aproximant-se bastant al que seria la quantitat normal de daltònics (8%). I que tenint en compte el fet de que el nostre estudi s'ha realitzat dins d'una població petita i en certa forma, poc uniforme (alguns individus són germans i per tant tenen les mateixes probabilitats de presentar algun tipus de daltonisme) s'acosta bastant a la realitat.



5.13 Dificultats que comporta el daltonisme

Vivim en una societat visual, on ens sentim atrets pels colors i ens guiem pels mateixos. De vegades, quan un daltònic viatja pot tenir problemes a l'hora de combinar línies de metro, bus; un daltonisme pot fer-te pensar que alguns aliments que estan madurs per a la consumició;...

Altres persones, presenten un grau ínfim de daltonisme, diagnosticat en la seva etapa adulta, si bé no els afecta en el seu dia a dia.

Les **companyies aèries** es neguen a contractar daltònics com a pilot per motius de seguretat, molts restaurants no volen cuines daltònics, les companyies d'instal·lacions elèctriques també mostren les seves reticències, el dissenyadors gràfics tenen en compte aquest factor abans de la contractació,...

En general el col·lectiu de daltònics, en ocasions, pot tenir dificultats per accedir a certes professions on els colors són presents.

Possiblement, un daltònic preferiria que els seus inconvenients el limitessin dubtes en com combinar la roba o confondre la fruita verda i madura.

Hi ha diversos estudis que mostren que les deficiències de la visió del color són un greu factor de risc en la **conducció**. Particularment les deficiències en la percepció dels colors lligades al grup propan. Aquestes afecten considerablement la capacitat de veure les llums vermelles, independentment de la gravetat del defecte. Proves han mostrat que els protanops són molt representats en accidents relacionats amb qualsevol de les senyals lluminosos o llums de fre. Alguns científics estimen que el ser un protan va associat un nivell de risc d'accident de trànsit que és equivalent a tenir un nivell d'alcohol en sang d'entre 0,05 i 0,08 per cent. A causa d'aquesta divulgació científica, a Austràlia no pot obtenir-se una llicència de conduir comercial des de 1994, si algú presenta protanopia o protanomalia .

Però aquí no s'acaben els seus obstacles si fem referència a la seva conducció.

Les persones que pateixen de daltonisme presenten dificultats en la distinció dels colors en el semàfor.



Tutte le foto a cura di Stefano De Pietro

imatge 26

L'**ensenyament** pot esdevenir un gran repte per als daltònics, si més no, en determinades assignatures.

Els llibres de ciències del medi (a primària) i de ciències de la naturalesa poden ser més feixucs del que haurien de ser pels daltònics.

Per a demostrar com l'ensenyament pot ser més difícil pels daltònics, hem transformat mitjançant un simulador que hi ha a la web de colblindor, les imatges que se'ns mostren en un llibre de medi de sisè de l'editorial Vicens Vives (any 2010).

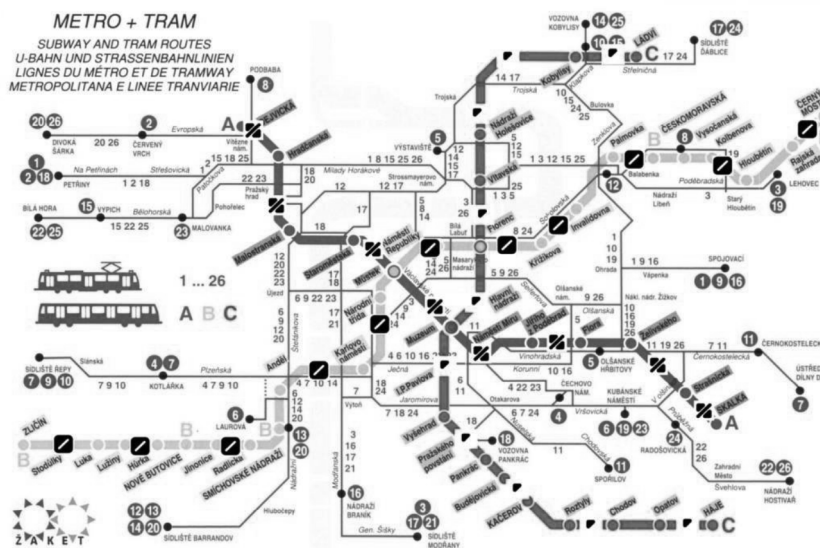
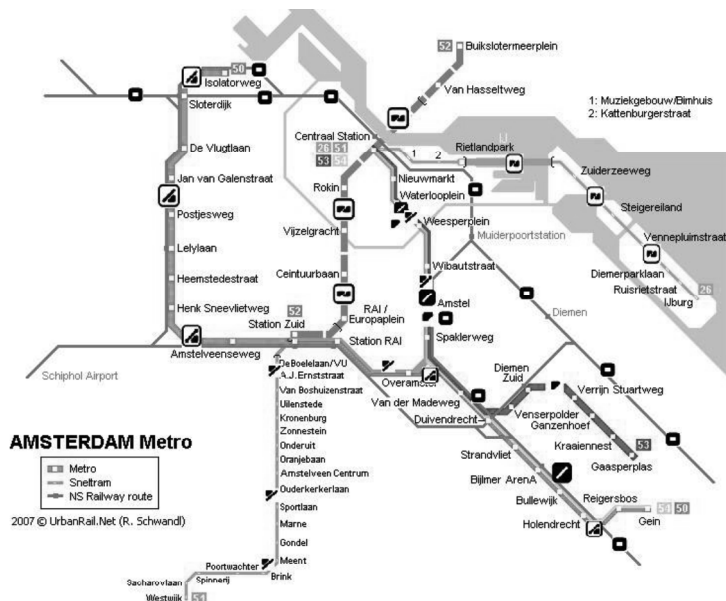
Imatges que adjuntem als nostres annexos:

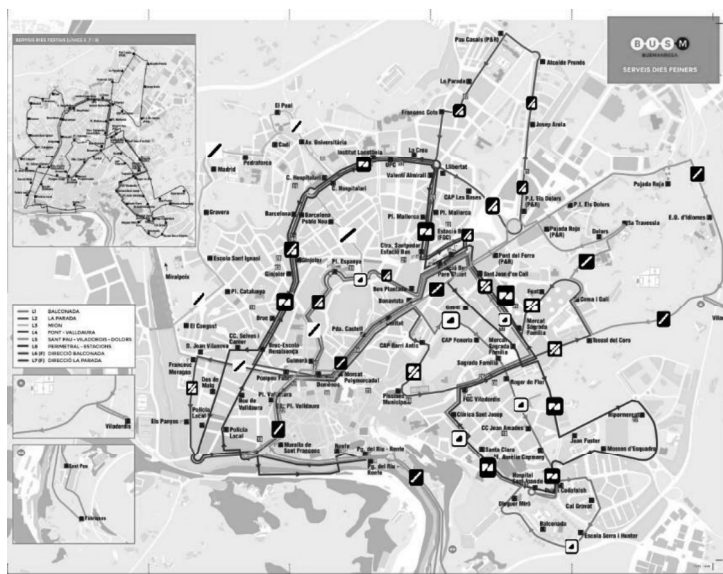
- Imatge 27: una persona amb tritanopia.
- Imatge 28: una persona amb acromatopsia.
- Imatge 29: una persona amb protanopia.
- Imatge 30: una persona amb deuteranopia.

Els **mapes** de metro, tren i bus poden esdevenir un obstacle gegant. És per això que hem decidit crear-ne uns d'alternatius de manera que tothom els pugui utilitzar amb la mateixa eficàcia, fins i tot els acromats.

Per a fer-ho, ens hem inspirat novament en el ColorAdd ja que d'aquesta manera la resta de la població pot seguir utilitzant els mapes de forma convencional.

Hem "redissenyat" el mapa de metro de la ciutat de Praga, Amsterdam, Roma i Manresa





5.14 Entrevistes a òptics , optometristes, oculistes i veterinaris oftalmòlegs

El principal objectiu a l'hora de fer les nostres entrevistes, ha estat corroborar la informació recopilada durant el nostre procés de recerca bibliogràfica i webgràfica. Primerament, hem subdividit els experts en els que estan especialitzats en l'ésser humà i els que ho estan en altres espècies.

A l'hora de contactar amb òptics , oculistes i optometristes hem tingut dificultats. Finalment, però, a través de l'ús de la xarxa hem aconseguit contactar amb algun expert i ratificar la nostra informació. Hem contactat amb l'òptic Fabio Delgado (Cottet Òptica) amb en Daniel Caballé (Òptica Caballé) i en Quim Muñoz (Òptica Andorrana) Per a tractar si la informació recopilada envers els animals és o no era correcta , hem enviat varis correus al zoo de Barcelona, dels qual no hem obtingut resposta, i posteriorment hem contactat amb Isabel Domènech, veterinària oftalmòloga.

5.15 Realitat vs tecnologia

Un dels objectius que vam plantejar a l'inici del treball era la simulació de les alteracions de la visió cromàtica.

Després de fer recerca, ens hem adonat de que no tenim els coneixements necessaris per a la realització d'aquest i que en efecte, ens queda per sobre de les nostres possibilitats.

Com alternativa, hem decidit comparar diferents simuladors ja creats. El que més s'ajusta al que estem cercant és un creat per al sistema operatiu Android amb la finalitat de ser usat amb Google Cardboard (unes ulleres de realitat virtual).

Per a fer l'experimentació de realitat vs tecnologia, hem agafat un subjecte amb el tipus de daltonisme protan i subjectes sense cap mena d'alteració a la visió cromàtic.

El subjecte daltònic ha de resoldre una sèrie de proves sense les ulleres de realitat virtual, i de forma simultània, el subjecte amb visió normal les realitza amb les ulleres mentre s'executa l'aplicació en el mode protan.

Per tal de garantir que no hi ha hagut variacions en funció de les diferents il·luminacions de pantalla o externes les proves s'han fet dins d'una mateixa franja horària, en un mateix lloc i amb el mateix model de Google cardboard i telèfon (un nexus google 5, pel qual les ulleres estan optimitzades).

Les hipòtesis que ens hem plantejat han sigut les següents:

hipòtesi a : "Potser el simulador creat per a les Google Cardboard es correspon a la realitat de les alteracions de tipus protan"

hipòtesi b : "Potser el simulador creat per a les Google Cardboard exagera la realitat de les alteracions de tipus protan"

hipòtesi c : "Potser el simulador creat per a les Google Cardboard atenua la realitat de les alteracions de tipus protan."

5.15.1 Proves realitat vs tecnologia

- La primera prova consisteix en un petit test d'**Ishihara** ,pensat per a la realització d'una prova de tipus Screening, del qual els resultats us mostrem en la següent taula de valors:

	Subjecte Daltònic	Daltònic virtual 1	Daltònic virtual 2	Daltònic virtual 3
Placa 1 (8)	8	8	8	8
Placa 2 (57)	-	71	71	21
Placa 3 (74)	-	-/82	-	-
Placa 4 (97)	-	-	-	-
Placa 5 (16)	-	16	16	16
Placa 6 (6)	6	6	6	6

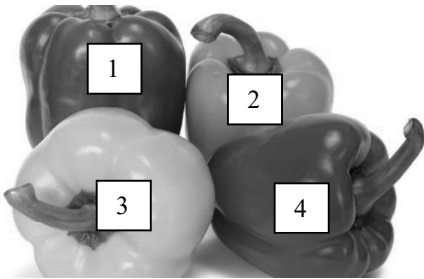
- El segon exercici és el **Farnsworth-Munsell**

A partir d'aquesta fase hem pres la decisió de fer servir només 2 subjectes per tal de poder centrar més l'atenció en les proves realitzades, ja que requereixen un major grau de concentració. Sorprenentment el subjecte daltònic ha estat capaç de concloure la prova amb èxit mentre que el subjecte virtual no ha aconseguit resoldre la prova malgrat haver disposat de més temps.



Imatge 27 i 28

- Per últim vam fer **comentar unes imatges** seguint el mateix procediment que en la segona prova.



Imatge 29

	Subjecte daltònic	Subjecte daltònic virtual
1	Verd	Vermell
2	Taronja	Groc
3	Groc	Groc
4	Vermell	Verd



Imatge 30

Cases d'esquerra a dreta	Subjecte daltònic	Subjecte daltònic virtual
1	Verd/blanc	Gris/blau/blanc
2	Groc/verd/blanc	Groc/blanc
3	Groc/blanc/verd	Groc/blanc
4	Blanc/rosa/vermell	Blau/blanc/ocre/groc

No hem pogut continuar la prova degut a que el subjecte que utilitzava les ulleres de realitat virtual es marejava quan les portava posades molta estona.

Finalitzades les proves, i observant les diferents taules realitzades en l'estudi de realitat vs tecnologia, és evident que els resultats del simulador no concorden amb el que hauria de veure un daltònic real. Per tant se'ns confirma la hipòtesi b, que ens descriu un simulador que exagera la realitat de les alteracions de tipus protan.

6 CONCLUSIONS

Pel que fa al nostre primer objectiu, comprovar si la presència de daltonisme a l'escola durant el curs escolar equival a la de la població mundial, mitjançant tests d'Ishihara, Farnsworth-Munsell i altres proves complementàries, hem arribat a la conclusió de que el daltonisme és present en un 3,9% a la nostra escola, inferior respecte al 8% de la població mundial. No obstant, el nostre resultat no dista gaire de l'estimat per a la població mundial, tenint en compte que l'estudi s'ha dut a terme en una població de menys de 300 persones i que, en algun casos, presentava vincles de fraternitat, fet que produïa una mateixa predisposició genètica entre individus. Altrament dit, això significa que si la mare no era portadora del daltonisme, cap dels seus fills homes podia patir-lo.

Si fem referència al nostre segon objectiu, crear el nostre propi simulador de daltonisme, no l'hem pogut assolir. Després de cercar informació a llibres, consultar la pròpia web de Google Cardboard, demanar a gent amb experiència en el sector... ens hem adonat de que la creació d'una app està per sobre de les nostres possibilitats ja que no disposem ni del temps ni dels coneixements necessaris.

Fins al final d'aquest projecte, no hem sigut gens conscients del les dificultats que pateixen en el seu dia a dia aquest 8% de la població humana. Ha estat mitjançant les anècdotes i històries que ens han explicat els òptics i la narració en primera persona d'un daltònic a través del seu blog, que ens en hem adonat de la problemàtica. Ha estat llavors quan hem decidit fer una crítica d'alguns aspectes de la societat poc sensibles als daltònics en sectors com l'ensenyament, el món laboral, i el retolat de fulls informatius que fan us de colors.

Com a complement a aquest darrer punt, hem volgut mostrar que existeixen alternatives i hem decidit elaborar uns mapes de metro i autobusos aptes per daltònics mitjançant el ColorAdd, codi creat pel dissenyador portuguès Neiva.

L'aprenentatge de com funciona la percepció dels colors i els tipus d'alteracions i deficiències de la visió cromàtica ha sigut novament una recerca bibliogràfica. La complexitat de la percepció de l'espectre de la llum i els mecanismes que hi intervenen ens ha sorprès.

Per aconseguir divulgar com el daltonisme pot ser un gran obstacle, hem elaborat tot el nostre treball en blanc i negre aplicant-hi el ColorAdd, de manera que mitjançant el codi es pugui desxifrar el color de les imatges.

El mateix hem fet a la nostra presentació oral, on hem donat a l'audiència el codi ColorAdd perquè puguin desxifrar els colors i sentir-se com a acròmates tot i utilitzant la "solució" per a la seva deficiència en la percepció dels colors.

Finalment, hem aconseguit la fita que ens vam marcar des del principi del nostre treball: unir biologia i tecnologia. Això ho hem aconseguit mitjançant la investigació teòrica, proves pràctiques i l'experimentació amb dispositius i Apps dissenyades per a Android i les Google Cardboard.

Hem aconseguit relacionar assignatures com la física (espectre de la llum), la biologia (herència genètica, anatomia,...) , l'estadística (comparació de població masculina la Salle vs població masculina mundial) i tot immers en els principis tecnològics tan presents en la nostra societat contemporània.

7 GLOSSARI

Alteració congènita: modificació en el codi genètic que es passa de antecessors a descendents.

Alteració de la visió cromàtica: anomalia en la percepció dels colors.

Anomaloscopi de Nagel: instrument utilitzat per a distingir un dicromatisme d'un tricromatisme anòmal.

Bastons: cèl·lules fotoreceptores de la retina responsables de la visió en condicions de baixa lluminositat.

CIM : institució reconeguda internacionalment per l'estudi de la llum, la il·luminació, i el color.

Color : propietat perceptiva causada per la llum quan aquesta interacciona amb l'ull, el cervell i la nostra experiència.

ColorAdd: sistema de codificació dels colors creat per a ajudar als daltònics en la seva distinció.

Cons: cèl·lules sensibles a la llum que estan situades a la retina i que s'encarreguen de la percepció dels colors.

Deutacons : tipus de cons que s'encarreguen de la percepció del color verd.

Deuteranomia: alteració de la visió del color en la qual els fotoreceptors de la retina verds han presentat una mutació genètica recessiva.

Deuteranopia : deficiència de la visió del color en la qual els fotoreceptors de la retina verds estan absents.

Dicromatisme : tipus de daltonisme on la retina presenta dos cons funcionals i l'altre és absent.

Espectre visible: regió de l'espectre electromagnètic que l'ull humà és capaç de percebre.

fotoreceptor: cèl·lula o mecanisme que gràcies al procés de fototransducció permet captar llum

John Dalton: naturalista, químic, matemàtic i meteoròleg anglès que va ser el primer en teoritzar sobre la possibilitat de l'existència d'alteracions en la visió cromàtica (daltonisme)

Llum: porció de l'espectre electromagnètic visible per a l'ull humà.

Monocromatisme: tipus de daltonisme on l'individu presenta un sol tipus de cons o cap.

Mutació autosòmica: canvi permanent en l'ADN que es produeix als cromosomes.

Protacons: tipus de con que s'encarrega de la percepció del color vermell.

Protanomalia: tipus de alteració de la visió del color causada per una mutació recessiva als protacons de la retina.

Protanopia: tipus de deficiència de la visió del color causada per l'absència total de protacons a la retina.

Test de Farnsworth-Munsell: examen de visió que consisteix en ordenar una gama de colors cromàticament per a saber si un subjecte presenta daltonisme i en cas afirmatiu el subtipus.

Test d'Ishihara: conjunt de làmines creades pel Doctor Shinobu Ishihara que constitueixen el mètode més reconegut pel que fa al diagnòstic del daltonisme.

Tetracromatisme: tipus de mutació que permet als seus portadors veure més variacions de color que un individu amb visió normal. Tenen 4 canals independents per la percepció del color

Tricromatisme: qualitat que es dóna en individus que posseeixen tres canals independents per la recepció de colors.

Tricromatisme anòmal : tipus de daltonisme on l'individu posseeix els tres tipus de cons, però el problema que té és que confon els colors degut a que aquests cons tenen defectes funcionals

Tritacons: tipus de con que s'encarrega de la percepció del blau-groc.

Tritanomalia tipus d'alteració en la percepció dels colors causada per una mutació autosòmica (cromosoma 7)

Tritanopia: tipus de deficiència en la percepció dels colors causada per l'absència total de tritacons.

Ull: òrgan del sentit de vista del sistema sensorial.

8 WEBGRAFIA

A.D.A.M. (2015) *Daltonismo*, 26-02-2016

<https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001002.htm>

American academy of ophthalmology (2013) *Causas del daltonismo* 27-02-2016

<http://www.aao.org/eye-health/tips-prevention/daltonismo-causas>

Dr Julio José González López (2003) El daltonismo 27-02-2016

https://www.uam.es/personal_pdi/medicina/algvilla/fundamentos/nervioso/Daltonismo/daltonismo.htm

ChromaGen Spain (?) *Daltonismo* 27-02-2016

<http://www.chromagen-spain.com/web/component/content/article/12-daltonismo.html>

Dr Avilio Méndez Flores (2012) Daltonismo 27-02-2016

<http://blog.cienciasmedicas.com/archives/1869>

Wikipedia (2016) *Cartas Ishihara* 27-02-2016

https://es.wikipedia.org/wiki/Cartas_de_Ishihara

ABC (2015) La emocionante reacción de los daltónicos al ver los colores por primera vez 30-03-2016

<http://www.abc.es/tecnologia/redes/20150331/abci-daltonicos-201503311536.html>

EnChroma, Inc. (2012) *What is enchroma?* 30-03-2016

<http://enchroma.com/>

JuanjoJ.(2013) ¿Como ven el mundo los animales? 30-03-2016

<http://sciencuriosities.blogspot.com.es/2014/03/como-ven-el-mundo-los-animales.html?m=1>

Improve eyesight HQ (2012) *Twenty famous color blind people: they rock despite having the color handicap*

<http://www.improveeyesighthq.com/famous-color-blind->

Sylvia Stanley (2016) Gene therapy for color blindness 30-03-

16 https://en.m.wikipedia.org/wiki/Gene_therapy_for_color_blindness

Neitz Lab. (2009) *Gene therapy cures color-blind monkeys* 01-04-

2016

<http://www.wired.com/2009/09/colorthrapy/>

Colorblindor (2006-14) Learn here all about color blindness 30-03-16

<http://www.color-blindness.com>

Wikipedia (2015) *Tricromatismo* 30-07-2016

<https://es.wikipedia.org/wiki/Tricromatismo>

Francesc Subirats. (2010) *La visión cromática en los animales* 30-07-2016

<http://sobrecolor.es/2010/03/la-vision-cromatica-en-los-animales.html>

Wikipedia (2016) *La visión de las aves* 02-08-2016

https://es.wikipedia.org/wiki/Visi%C3%B3n_de_las_aves

9 BIBLIOGRAFIA

MARTÍN HERRANZ ,R.VECILLA ANTOLÍNEZ ,G. Manual de optometría.Editorial pa- namérica.2010.

K.LANG, Gerhard.Oftalmología, texto y atlas en color.Editorial Elseiver-Masson. 2010.

ZITTLAU, Jörg. De Focas daltónicas y alces borrachos.Editorial Planeta. 2010.

HUGUES,G. NAVAROLI ,F . TORRES,M. SOTO,CJ. La visión cromática en animales, *Redvet* , vol XIX, número 11, 1-5

ANNEXOS

LINK DIRECTE A L'ARXIU

<https://www.dropbox.com/s/gzx39ehm1nyukz3/Annexos.zip?dl=0>

<https://drive.google.com/file/d/0BzYgYadCJW8hajM0eV9GT3poN2s/view?usp=sharing>