

# BEGIA BEHATUZ

- Sarrera
- Historia pixka bat
- Begiaren anatomia
- Begiaren zenbait gaixotasun
- Begiaren ezaugarri optikoak
- Makilen bidezko ikusmena
- Konoen bidezko ikusmena
- Ikusmenaren prozesua
- Beste begi batzuk
- Bukaera
- Bibliografia
- Hiztegitxo

*Jose Miguel Campillo Robles*  
*UEUko Udako Ikastaroak, Fisika Saila*  
*Iruñan, 1998. uztailearen 30ean*

Eskuetan daukazu lan honetan ikusmenaren Fisikari buruzko nolabaiteko sarrera aurkezten da. Gizakiaren begia munduari irekita dagoen leihoa da. Bertatik gizakiak mundutik hartzen duen informazioaren % 70ra sartzen da. Beraz, gure eguneroko bizitzarako begia organo oso garrantzitsua da.

Lanaren helburua gizakiaren begia aztertzea da. Begiaren azterketa eremu askotan egin daitekeenez, bildutako materiala puntu desberdinetan banatuta dago. Lehenengo puntuan, ikusmenarekin lotutako zenbait gertakizunen kokapen kronologikoa egiten da. Bigarrenean, begiaren azterketa anatomikoa aurkezten da. Jarraian, hirugarren puntuan, begiaren zenbait gaixotasunen azalpena ematen da. Laugarrenean, begiaren ezaugarri optiko batzuk ematen dira. Bosgarren, seigarren eta zazpigarren puntuetan, ikusmenaren azterketa egiten da. Eta bukatzeko beste motatako begien azterketa egiten da. Lagungarriak izango direlakoan, bibliografia eta hiztegitxo bat ere jarri dira.

## **HISTORIA PIXKA BAT**

Ikusmenaren azterketan sartu aurretik, Historian zehar begiaren funtzionamendua azaltzeko teoriak nola aldatu diren ikustea komenigarria da. Horrez gain, ondoko kronologian zenbait data garrantzitsuak ere aipatuko dira.

Ikusmena azaltzeko landu zen lehenengo teoria Pitagoras-en (K. a. ~570--~480) aitzindariak **K. a. VI. mendean** garatu zuten. Teoria horren arabera, gizakiak ikustean bere begitik fluxu ikusezin bat ateratzen da. Fluxu honek behatzen ari den objektua ukitu egiten duela, eta horrela sortzen da ikusmenaren prozesua.

Teoria honekin jarraituz, **K. a. V. mendean**, Agrigento-ko Enpedokles-ek, filosofo grekoak, aldaketa bat ezarri zion. Bere lanetan, aurretik azaldutako begiaren fluxuarekin batera, objektuaren fluxua ere aipatzen zuen. Beraz, ikusmenaren prozesuan bi fluxu egotea beharrezkoa da.

Beste teoria berri bat Abdera-ko Demokrito-k (**K. a. ~460--~370**), filosofo grekoak, garatu zuen. Jakina denez, Demokrito-k bere atomoen teoriagatik ezaguna da. Bere ustez, aurreko

teorietan aipatzen ziren bi fluxuak ez dira existitzen. Demokrito-k, objektu distiratsuek igorritako atomoek begian nolabaiteko efektua sortzen dutela uste zuen. Beraz, ikusmena objektuetatik igorritako atomoek sortzen dutela pentsatzen zuen.

Bestalde, aurreko bi teoriekin harreman zuzena ez badu ere, Platon-en eskolakoek **K. a. IV. mendean** argiaren jokaerari buruz zenbait gauza ezagutzen zituzten. Adibidez, argia lerro zuzen batetik hedatzen dela bazekiten. Horrez gain, islapenaren prozesuan argi-izpiaren intzidentzia eta islapen angeluak berdinak direla ere bazekiten.

Euklides, matematikari grekoa, **K. a. 300 urtearen inguruan** bizi izan zen. Bere ikerketa lanen artean optikako batzuk topa daitezke. Horietan, ondoko baieztapena aurkitzen da: *Begiek igorritako izpiak zuzen batetik hedatu egiten dira.* Beraz, baieztapen honek lehenengo teoriara bueltatzea, eta Demokrito-ren teoria berria alboratzea suposatzen du.

Klaudio Galeno, (**K. o. ~131-~201**), mediku grekoa zen. Anatomian egin zituen ikerketak oso garrantzitsuak izan ziren. Horien artean, gizakiaren begiaren egituraren lehenengo deskripzioa aurkezten da. Deskripzioa ez da oso zehatza, baina jadanik atal nagusiak aipatu egiten ditu, hala nola, nerbio optikoa, erretina eta kristalinoak. Medikuko honen ustez, burmuinak sorturiko *begien argitasuna* nerbio optikotik garraiatu egiten da, eta gero, humore beirakaratik dispersatu egiten da. Azkenik, kristalinoan batu egiten da, hau baitzen berarentzat ikusmenaren organoa. Gaur egun, sentore-lana erretinak betetzen duela, eta ez kristalinoak badakigu. Argi dagoenez, Galeno-k fluxu teoria okerrarekin jarraitu egin zuen.

Alhazen zientzialariak Galeno-ren lanak berreskuratu zituen **XI. mendean**. Hala ere, Galeno-ren begien argitasuna baztertu egin zuen. Bere hitzetan: *Ikusmenaren irudia objektuek igortzen dituzten izpiak begira heltzean sortzen da.* Beraz, Alhazen-ek fluxuen teoria baztertu egin zuen, eta hortik aurrera ez zen berriro agertu. Hala ere, hori ez da bere teorian dagoen gauza interesgarri bakarra. Bere iritziz, objektuko puntu bakoitza bere irudia dauka begian. Horregatik, begian objektuaren irudia sortzen denean, ez da gertatzen prozesu bakar baten moduan. Objektuaren puntu desberdinen prozesua gertatzen da, eta irudia horien konbinazioa izango da. Baina, bere teorian akatsak ere bazeudela esan beharra dago. Adibidez, irudiak erretinan hartuak izan beharrean, kristalinoaren aurreko aldean hartuak direla uste zuen, Galeno-k esandakoari jarraituz.

**XIII. mendean**, betaurrekoen asmakizuna gertatu zen. Ez dago oso garbi nork asmatu zituen, hala ere, beirak leuntzen zituen artisauren bat izan zela pentsatzen da.

Leonardo da Vinci (**1452-1519**), zientzialari eta artista italiarra, bere lanengatik oso ezaguna da. Haietariko batzuetan, gizakiaren anatomia ikertu egin zuen. Alhazen-en lanak hobetu zituen,

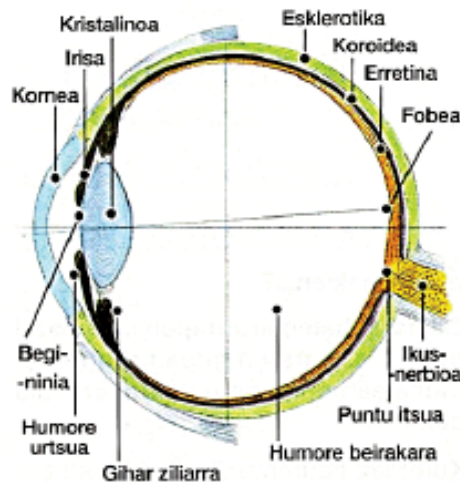
eta begiaren pertzepzio puntuak kristalinoetik erretinara eramane zituen. Gainera, begian gertatzen dena eta kamera ilunean gertatzen dena berdina dela uste zuen.

**XVII. mendearan hasieran**, Johannes Kepler-ek (1571-1630), matematikari alemaniarra, aurkikuntza interesgarriak egin zituen. Haietariko bat erretinan sortzen den irudia errealitateko objektuarekiko alderantziz agertzen dela baieztatzea zen. Gainera, begiaren egokitze prozesuan kristalinoa funtsezkoa dela aurkitu zuen. Hala ere, ez zion azalpen egokirik eman. Kepler-ek egokitze prozesuan kristalino eta erretinaren arteko distantzia aldatzen dela uste zuen.

**XIX. mendean**, Thomas Young-ek (1773-1829), ikerlari britainiarra, begiaren egokitzearen prozesua berriro aztertu zuen. Hala ere, Hermann von Helmholtz (1821-1894) fisikari eta fisiologo alemaniarra izan zen azalpen egokia eman ziona. Helmholtz-ek egokitze prozesua kristalinoaren kurbaduraren aldaketak sortzen duela aurkitu zuen.

## BEGIAREN ANATOMIA

Begiaren funtzionamendua era egokian ulertzeko, alde aurretik bere egitura anatomikoa aztertzea komenigarria da. Gizakiaren begiaren anatomia ez da oso konplikatu, baina oraindik ere bere funtzionamendua ez da ezagutzen oso ondo.

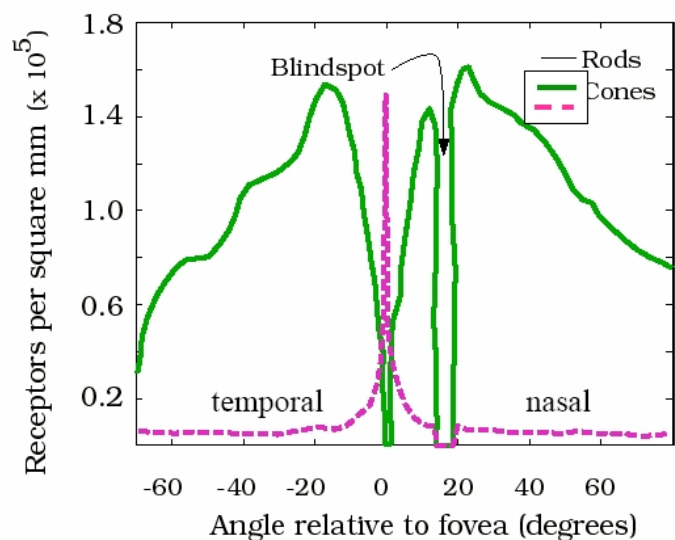
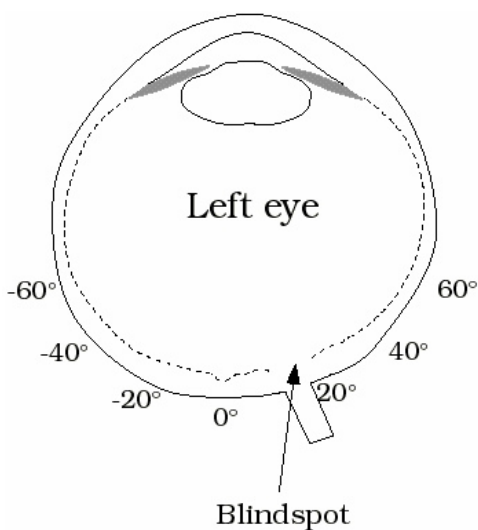


**1. Irudia.** Begiaren egitura anatomikoa era eskematikoan adierazita.

Gizakiaren begia gorputz ia esferiko bat da, eta aurpegiaren *betzuloan* kokatzen da. Betzuloa begia sartuta dagoen hezurrezko arroa da, eta *orbita* izena ere hartzen du. Begiaren ohizko erradioa 12 mm-koa da. Begian atal gehienek nagusiki higadura, babesa eta jatekoa emateko funtzioak betetzen dituzte. Horietariko batzuk ez ditugu kontutan hartuko, nahiz eta bere zeregina garrantzitsua izan, hala nola, betazala, bekaina, malko-guruinak,...

Begiak bere egituran geruza desberdinak dauzka, kipula baten moduan. Horiatariko kanpoko geruzak *esklerotika* izena hartzen du. Oso gogorra da, eta zuri kolorekoa. Aurreko aldean gardena egiten da, honi *kornea* deritzo. Kornea da begiaren lehenengo "leihoa", hortik sartzen baitira argi-izpiak begira. Esklerotikaren barruan beste geruza bat dago, *koroidea* alegia. Koroidearen zeregina batez ere baskularra da. Hau da, odol-garraio oso garrantzitsua igarotzen da bertatik. Horrela, inguruko organoei jatekoa eta beroa ematen die. Barrurago hirugarren geruza bat aurki daiteke. Azken geruza honek *erretina* izena hartzen du, eta begiaren barruko aldearen bi heren estaltzen ditu. Erretinan irudiak hartzen dira, argi-estimulua bulkada nerbiosoa bihurtzeko gai baita. Behin irudiak bulkada nerbioso bihurtuak, burmuinera bidaliak izaten dira *nerbio optikoaren* bitartez.

Erretinak zeregin garrantzitsua betetzen du begian, eta horregatik, sakonago aztertzea komeni da. Erretinak hiru eskualde bereziak dauzka. Haiatariko bat *makula luteoa* da. Hau pigmentazio horia duen eremu obala da, eta bere diametroa normalean 2 - 4 mm-koa izaten da. Makularen barruan *fobea* aurkitzen da. Hau bigarren eskualde berezia da. Erretinaren depresio bat da, eta bere diametroa gutxi gorabehera 1,5 mm-koa da. Hirugarren eskualdea, *gune itsua* da. Eskualde honetan erretinaren nerbio guztiak begitik ateratzen dira, nerbio optikoa sortuz.

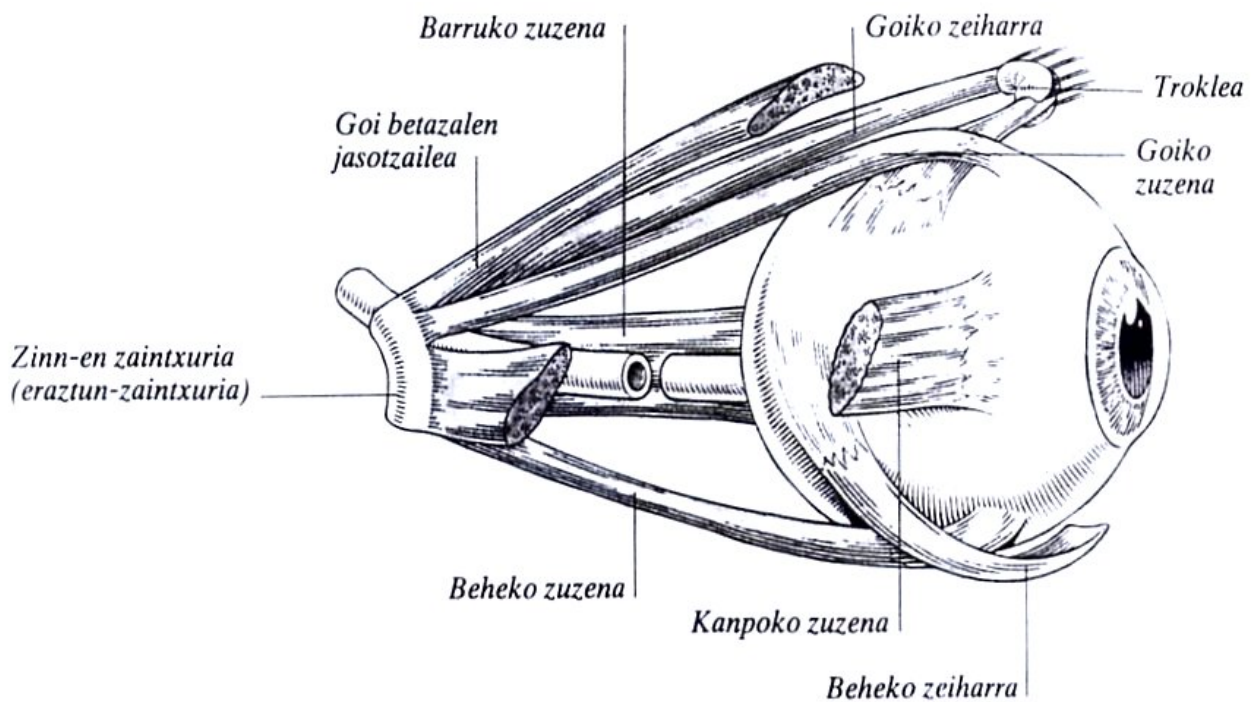


## 2. Irudia. Kono eta makilen dentsitatearen banaketa erretinan.

Aurretik esan dugunez, erretinak argi-estimulua bulkada nerbiosoa bihurtzen du. Hori egiteko, erretinan bi motatako sentsoareak daude, bakoitzak zeregin berezia duelarik. Alde batetik, *konoak* daude. Hauek erretina guztian aurki daitezke, baina beraien banaketa ez da homogenea. Adibidez, fobean konoen dentsitatea beste lekuetan baino handiagoa da (fobearen zentroan konoen dentsitatea 150000 mm<sup>-2</sup> da). Beste aldetik, erretinan *makilak* ere topa daitezke. Makilen dentsitatea erretinan ere aldatu egiten da. Adibidez, fobean ez daude. Baina fobeatik urruntzen garen heinean, beraien kopurua handitzen da. Fobeatik sei milimetroetara makilen dentsitatea

maximoa da ( $160000 \text{ mm}^2$ ), eta erretinaren mugan makilen dentsitatea txikiagotu egiten da ( $50000 \text{ mm}^2$ ). Erretinan gutxi gorabehera sei edo zazpi milioi kono eta ehun eta hogeit hamar milioi makila daude. Hala ere, burmuinarekin konektaturiko milioi nerbio baino ez daude. Beraz, erretinan nerbio-zelula bakoitzeko batzuk beste 6 - 120 sentzore daude.

Bestalde, begia ez da geldirik dagoen organo bat. Begiaren higiduraz sei gihar arduratzen dira. Haietariko lau *zuzenak* deituak dira, eta beste biak *zeiharrek*. Beraiei esker, begia puntu baten inguruan bira daiteke. Puntu hori kornearen atzetik 15 mm-tara kokatzen da. Gihar hauen kontrolaz hiru nerbio-bikoteak arduratzen dira.



**3. Irudia.** Eskuin begia eta bere higidura sortzen duten sei giharrek.

Bestalde, begiak barruan bi ganbera garrantzitsuak dauzka. Hauek ez daukate inolako loturarik beraien artean. Bi kamaren banatzaile lana *hialoideak* eta *kristalinoak* betetzen dute. Hialoidea mintz fin bat da, eta kristalinoa lente bat. Kristalinoak eta korneak begian sartzen diren argi-izpiak erretinan fokatu egiten dituzte. Zuntz multzo batek kristalino *gihar ziliarra* lotzen du. Zuntz multzo honi *zonula* deritzen. Zonularen eraginez kristalinoaren forma aldatu egiten da, argi-izpiak hobeto fokatzeko. Kamerei dagokionez, lehenengo ganbera kristalino eta kornearen artean topa daiteke. Hau likido batez beterik dago, *humore urtsua* alegia. Bigarren ganbera kristalinoa eta erretinaren artean kokatzen da. Ganbera hau ere likido batez beteta dago. Kasu honetan likidoaren izena *humore beirakara* da.

Kornea eta kristalinoaren artean dagoen ganberan elementu interesgarri bat topa dezakegu, hain zuzen, *irisa*. Irisa diafragma bat da, eta *begi-niniaren* diametroa zehazten du. Horren bitartez, begian sartzen den argiaren intentsitatea kontrolatu ahal du. Gainera, irisaren aldaketa ez da ekintza gurazkoa, argiaren intentsitatearekiko erreflexu bat baizik. Begi-niniaren diametroa normalean 2 - 8 mm-koaren artekoa izaten da. Argi distiratsuarekin 2 mm-ko diametroa izaten dugu, 8 mm-koarena, berriz, iluntasunean. Hala ere, datu hauek pertsonaren adinarekin aldatu egiten dira. 50 urtetik aurrera, normalean zabalpenik handiena ez da 5 mm-ko diametrokoa baino handiagoa.

Begiaren barneko presioa eguratsarena baino 20 - 30 mm Hg handiagoa da. Horrela, presioak globo okularra tentsoa mantentzen du, eta gainera erretina koroidearen kontra itsatsita eusten du. Begiaren kamaren hormak apurtzen badira, barneko presioa jaitsiko da. Barne-presioaren galera honek erretinaren askatzea sor dezake, begian arazo oso larriak ekarriz.

## **BEGIAREN ZENBAIT GAIXOTASUN**

Begiaren anatomia aztertu ondoren, atal desberdinen akatsek edo funtzionamendu okerrekin sortzen dituzten gaixotasun arruntenak aipatzea komenigarria da. Horien artean hauek topa daitezke: *daltonismoa*, *glaukoma*, *kataratak*, *ametropiak*,...

### **Daltonismoa**

Gaixotasun honen ondorioz, gaixoak kolore batzuen artean ez ditu bereizten. Normalean gaixoak nahastaten dituen koloreak gorria eta berdea badira ere, pertsona batzuek horia eta urdina nahastatu egiten dituzte. Datu modura esan behar da, ezen hogeita hamar pertsonetatik batek ez dituela gorria eta berdea bereizten. Daltonismoa erretinaren gaixotasuna da, eta konkretuki, erretinaren konoena. Genetikoa izan daiteke, edo erretinaren beste gaixotasun baten ondorioz sortua.

### **Glaukoma**

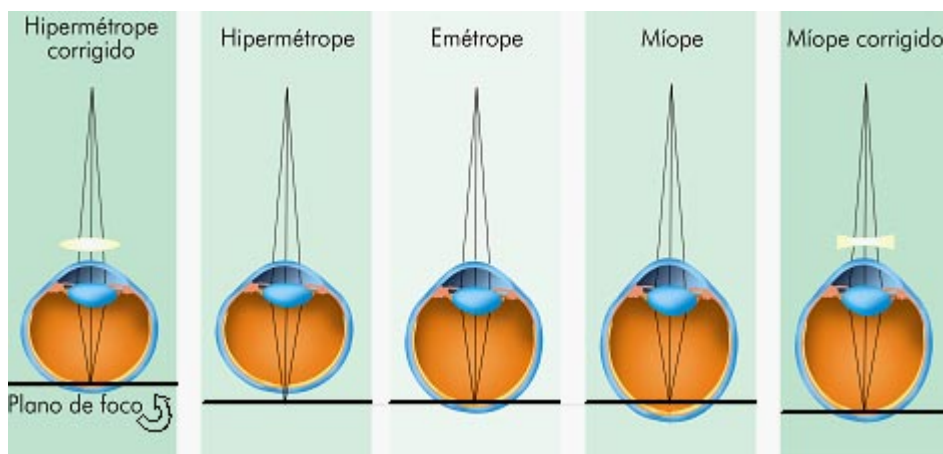
Aurretik aipatu dugunez, begiaren barruan presioa eguratsarena baino handiagoa da. Begiaren barneko presio hau handitzen bada, glaukoma sortzen da. Glaukoma ere erretinaren gaixotasuna da. Presio-handitzearen ondorioz, erretinaren ikusmen-zelulak hiltzen joaten dira. Eta azkenean, ikusmen-zelulak soilik erretinaren erdiko eskualde batean geratzen dira. Honengatik, gaixoak hodi batetik begiratzen duela sentitzen du. Azken ezaugarri honengatik, gaixotasun honek beste izen bat hartzen du, *tunel ikusmena* alegia.

## Kataratak

Kataratak kristalinoarekin lotutako gaixotasun bat da. Kristalinoa bere gardentasuna galduz doa, eta guztiz opako izatera ailega daiteke. Kataratak aguretasunean gertatzen ohi den prozesua da. Gaixotasun hau sortzetiko edo beste gaixotasun baten ondorioa (diabetea) izan daiteke. Batzutan, ebakuntzaren bidez konpondu egiten dira. Ebakuntzan gaixoari kristalinoa kendu egiten zaio.

## Ametropiak

Ametropiak izenaren atzetik gaixotasun multzo bat dago. Gaixotasun hauetan, begia sistema optiko modura txarto funtzionatzen du. Hau da, begiak ez du ondo fokatzen erretinan. Ametropiak ondoko hauek izan daitezke: *miopia*, *hipermetropia*, *astigmatismo* eta *presbizia*.



**4. Irudia.** Erdian begi emetropea. Ametropiak: hipermetropia (ezkerrean) eta miopia (eskuinean).

### a) Miopia

Miopia duen pertsona baten kasuan, begian sartzen diren argi-izpiak erretinaren aurrean fokatu egiten dira. Hau bi arrazoiengatik gerta daiteke: begiaren atzetik-aurrerako luzera handiegia delako, edo begiaren konbergentzia handia delako. Miopian urrutiko ikusmena ez da oso ona. Bestalde, miopia zuzentzeko bi aukera daude, lente dibergenteak erabiltzea edo ebakuntza bat egitea.

### b) Hipermetropia

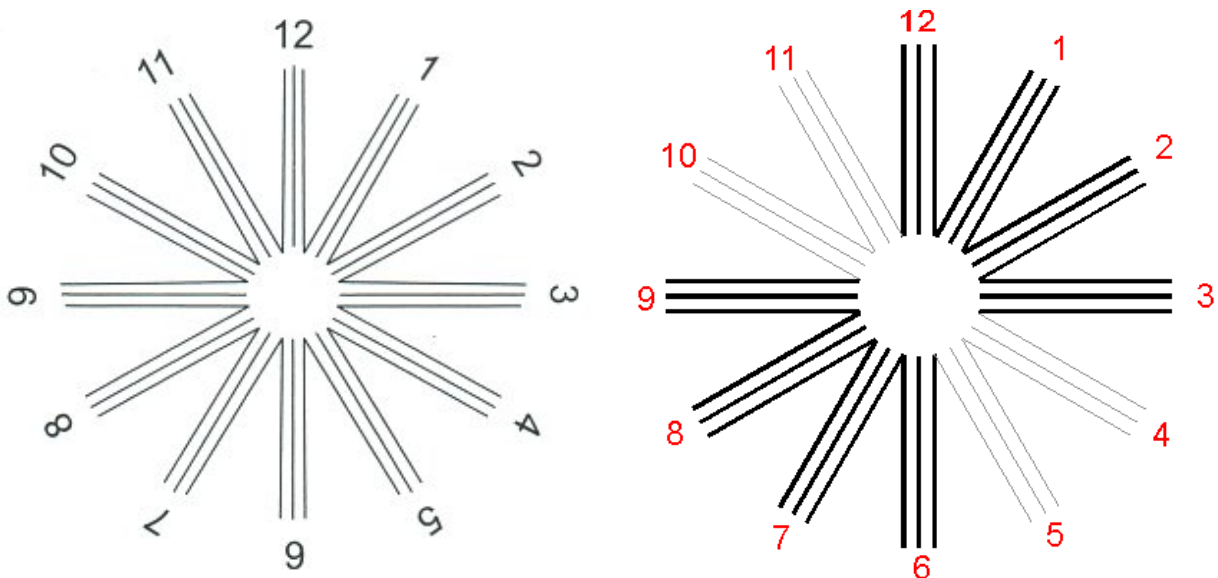
Hipermetropian begian sartzen diren argi-izpiak erretinaren atzean fokatu egiten dira. Hau gertatzeko, bi arrazoi egon daitezke: begiaren atzetik-aurrerako luzera txikiegia izatea, edo



begiaren konbergentzia egokia baino txikiagoa izatea. Hipermetropia duen pertsona batek ondo ikusteko, lente konbergenteak erabili behar ditu. Bestalde, jaio berrien kasua aipatzea interesgarria da. Umeak, jaiotzen direnean, hipermetropeak dira, beraien begien luzera txikiegia delako. Hala ere, denbora pasatzean, zuzendu egiten da.

### c) Astigmatismo

Astigmatismoa dagoenean, objektu puntualek ez dituzte irudi puntualak sortzen erretinan. Hau da, argi-izpiek ez dute fokatzen puntu bakar batean. Ondorioz, erretinan irudi lausoa eta desitxuratua sortzen da. Kornea edo kristalinoaren akatsa izaten da. Astigmatismoan korneak kurbadura desberdinak izaten ditu norabide desberdinetan, hau da, kurbadura asimetrikoa izaten du. Kristalinoaren akatsa bada, honen homogenotasun faltaren ondorioa izaten da. Astigmatismoa oso akats egonkorra da, eta bizitzan zehar oso gutxi aldatzen da. Astigmatismoa zuzentzeko lente zilindrikoak erabiltzen dira.



**5. Irudia.** Ezkerrean, astigmatismoa detektatzeko erabiltzen den irudia. Eskuinean, astigmatismoa duen pertsona batek ikusitakoa.

### d) Presbizia

Presbizian begiaren egokitzeko gaitasuna murriztu egiten da. Horren ondorioz, hurbileko objektuak ezin dira ondo fokatu. Presbiziaren azalpena kristalinoan topa dezakegu. Gizakia zahartzean, kristalinoak elastikotasuna galtzen du, eta gihar ziliarrak indarra ere bai. Beraz, zahartzaroarekin lotzen den gaixotasuna da. Begiak ondo dituen edozein pertsonarentzat (begi emetropeak), prozesu hau berrogei urtetik aurrera gertatzen da. Hipermetropia duen

pertsonarentzat hau lehenago gertatzen da, eta miopia duenarentzat beranduago. Bestalde, presbizia zuzentzeko lente konbergenteak erabiltzen dira.

## BEGIAREN EZAUGARRI OPTIKOAK

Atal honetan, gizakiaren begia sistema optiko modura aztertuko da. Horrela, bere ezaugarri optiko batzuk ezagutu ahal izango ditugu. Esan beharra dago ezen gizakiaren begiari buruz ageri diren datuak batez besteko estatistikoak direla. Beraz, gizakien artean datu hauek aldaketak izatea normala da.

Begiak argazki makina baten moduan lan egiten du. Korneak, kristalinoak eta beraien artean dagoen humore urtsuak begiaren objektiboa osatzen dute. Bestalde, begian film sentikorraren papera erretinak betetzen du. Irisa begiaren irekiera-diafragma da. Begiaren ardatz optikoa kornearen eta kristalinoaren erdiko puntuen artean doan lerroa da, eta fobea zentrala eta nerbio optikoaren diskoaren artean pasatzen da.

Orain arte, erretinan irudia nola agertzen den ez dugu aipatu. Begiaren ezaugarriak kontutan hartuta, erretinan agertzen den irudia errealtateko objektuaren kopia txikia da. Baina erretinan irudia hankaz gora dago. Gainera, objektuaren ezkerreko puntuak erretinan eskuinean azaltzen dira, eta alderantziz, eskuinekoak ezkerrean. Irudi hau burmuinean prozesatu egiten da, behar den moduan jarri ahal izateko. Zientzialari batzuen ustez, erretinan bertan jadanik nolabaiteko prozesamendua gertatzen da.

**Taula 1.** Begiaren elementu desberdinen errefrakzio-indizeak.

<b>Begiaren atala</b>	<b><i>n</i></b>
Kornea	1,377
Humore urtsua	1,336
Kristalinoa (barruan)	1,41
Kristalinoa (kanpoan)	1,37
<b>Humore beirakara</b>	<b>1,337</b>

## Espektroa

Eguzkitik edo beste argi-iturritik begira heltzen den erradiazioa ez da soilik tarte ikuskorrean kokatzen, uhin luzerako tarte zabalago batean kokatzen baita. Eta gainera, erretinak

ultramorean ikusteko gaitasuna badauka. Orduan, zergatik ez dugu ikusten espektroko tarte zabalago batean?

Erantzuna begian bertan aurkitzen da. Alde batetik, korneak  $3,0 \cdot 10^{-7}$  m-ko uhin-luzera baino txikiagoko argi gehiena xurgatu egiten du. Baina xurgapen honek kornean kalteak sortzen ditu. Horregatik, eguzkitan eta orokorrean argi ultramoreen eraginpean gaudenean, erradiazio ultramoreea xurgatzen duten betaurreko ilunak eramatea komeni da. Gainera, kristalinoak ere  $3,8 \cdot 10^{-7}$  m-ko uhin-luzera baino txikiagoko argia xurgatu egiten du. Beraz, erretinak jasotzen duen argia  $3,8 \cdot 10^{-7}$  m-ko uhin-luzera baino handiagokoa izaten da. Beste aldetik, uhin-luzera handietan kornean eta humore urtsuan dauden ur-molekulek  $12 \cdot 10^{-7}$  m-ko uhin-luzera baino handiagokoaren energi gehiena xurgatu egiten dute. Hala ere, erretinaren pigmentuek  $8,0 \cdot 10^{-7}$  m-ko uhin-luzera baino handiagoko argiarekin ez daukate erantzunik. Eta gainera, pigmentuen sentsibilitatea ez da oso handia  $7,0 \cdot 10^{-7}$  m-ko uhin-luzera baino handiagoko argiarekin. Beraz, begiaren erantzuna  $3,8 \cdot 10^{-7} - 7,0 \cdot 10^{-7}$  m-ko uhin-luzeraren tartean kokatzen da. Hala ere, begiaren sentikortasuna ez da berdina kolore guztietan. Baina hau beste puntu batean jorratuko dugu.

## **Egokitze prozesua**

Begiak kristalinoaren konbergentzia moldatzeko duen gaitasunari deritzo. Gihar ziliarrek indarrak egiten ez ba dute, kristalinoa lasaitua aurkitzen da. Horrela, kristalinoak infinitutik datozen argi-izpiak erretinan fokatzeko (begiarentzat 6 metrotik aurrera infinitua da). Hurbileko objektuak ikusteko, gihar ziliarrek indarra egiten dute, eta kristalinoa gehiago kurbatu egiten da. Hau eginez, begiaren distantzia fokala txikitu egiten da, eta begiak hurbileko distantzietan fokatzeko ahalmena lortzen du. Baina gizakiak begiaren distantzia fokala ezin du txikitu nahi duen beste. Gazte baten kasuan, distantzia fokala 25 cm-koa baino txikiagoa ezin da izan. Beraz, begiak 25 cm-ko distantzia baino txikiagoetan dauden gauzak ez ditu ondo ikusten.

## **Bereizmen angeluarra**

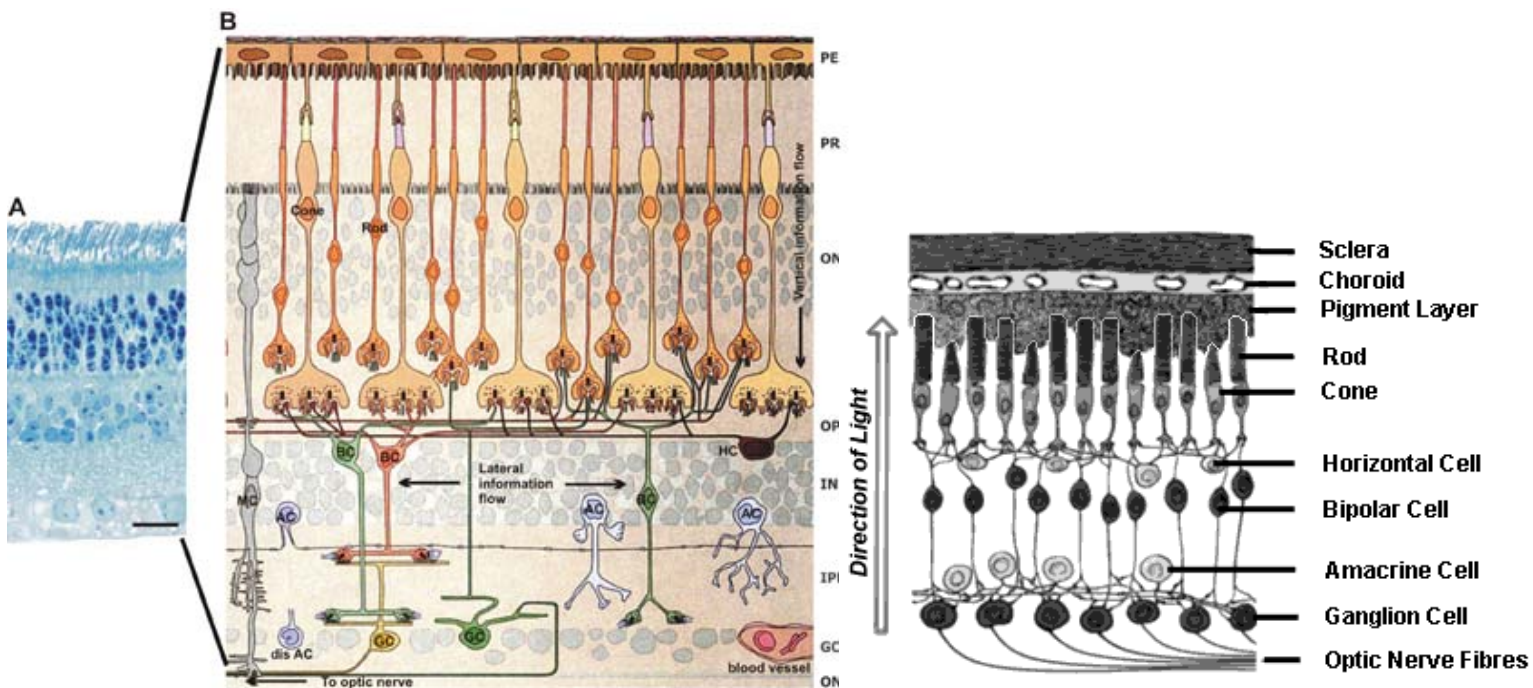
Lehenengo definitu behar dugu zer den bereizmen angeluarra. Bereizmen angeluarra, bi gorputzen artean dagoen arkuko distantziarik txikiena da, baina soilik desberdin modura ikusten direnean. Arkuko distantzia hau, bereizmen angeluarra alegia, distira eta kontrastearen arabera da. Konoen bidez ikusten dugunean, bi milimetroko begi-niniaren kasuan difrakzioaren muga fobean arkuko minutu baten ingurukoa da. Makilekin ikustean, zehaztasuna jaisten da, eta neurtzeko zaila. Hala ere, makilen ikusmenean bereizmen angeluarra arkuko segundo baten zatiki bat dela pentsatzen da.

Begiaren bereizmen angeluarra arkuko minutu batekoa murriztua izateak, ez du esan nahi gorputz oso txikiak eta distiratsuak ezin ditugula ikusi. Azken finean kontraste kontua ere bada.

Adibidez, izarrak ikusten ditugu, haietariko handienak arkuko segundo batera ailegatzeko ez badira ere.

## Denborazko konstanteak

Begiaren erantzun denborazko argiaren intentsitatearen menpekotasuna dauka. Konoen bidez ikusten dugunean, begiaren erantzuna 20 ms-tatik 0,1 s-tara doan tartean kokatzen da. Makilen ikusmenean, berriz, begiaren erantzuna segundo batetik aurrera izaten da. Bestalde, inguruko argiaren intentsitatea aldatzen denean, irisak bere diametroa aldatzen du. Horrela, begiaren sartzen den argi-fluxua kontrolatu ahal izaten da. Hau egokitze prozesu bat da, eta segundo batzuk behar ditu.



**6. Irudia.** Erretinaren egitura. Konoak eta makilak goiko aldean daude, eta argia behetik dator.

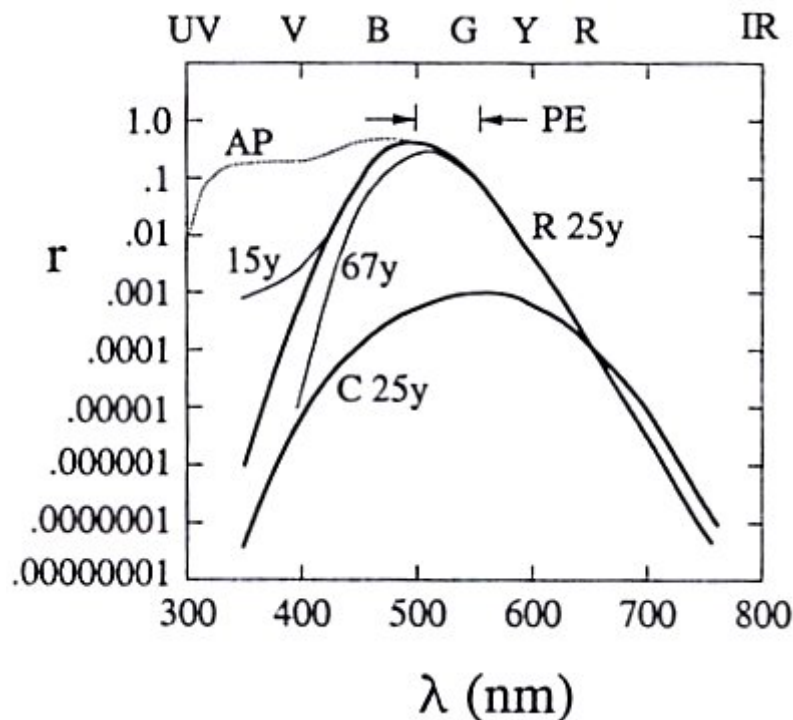
## MAKILEN BIDEZKO IKUSMENA

Makilak argitasun txikia dagoenean ikusteko erabiltzen dira. Honela ikusten dugunean, *ikusmen eskotopikoa* erabiltzen dugula esaten ohi da. Beraz, argitasunetik bat-batean gela ilun batean sartzean, makilak lanean hasten dira. Begia hogeita minututik ordu batetara pasatu behar da iluntasunean makilek sentzibilitate guztia har dezaten. Denbora tarte honetan, makiletan *rhodopsin* izeneko substantzia kimikoa aktibatua izaten da. Honek ematen baitie makilei gainerako sentzibilitatea. Rhodopsin proteina oso konplexua da, eta bere pisu molekularra 40.000 da.

Rhodopsin-ek argia 500 nm-tan hobeto xurgatu egiten du. Beraz, makilen bidez ikustean banaketaren pikua uhin-luzera hau izango da.

Rhodopsin molekula argia xurgatzean, hidrokarburo talde bat galtzen du, *retinina* izenekoa alegia. Retinina honek A bitaminarekin erlazio estua dauka. Horregatik, A bitaminaren gabezia dutenek arazoak izaten dituzte rhodopsin molekula apurtu eta gero berriro sintetizatzen.

Bestalde, 500 nm-tan 70 fotoi beharrezkoak dira begiaren erantzun bat jasotzeko. Hala ere, hauetatik soilik 1 eta 4 fotoien artean xurgatuak izaten dira ikusmena sortzen duten prozesu kuantikoen bidez.



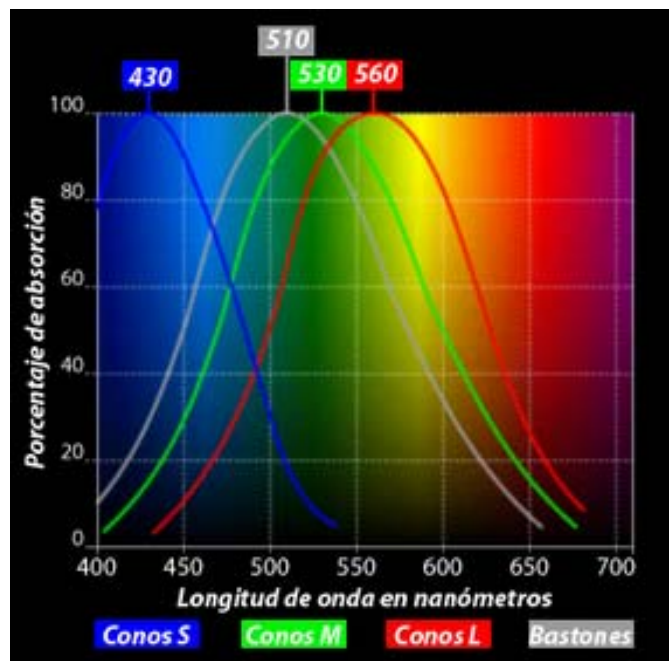
**7. Irudia.** Kono eta makilen erantzun erlatiboa uhin-luzerarekiko. R daukaten kurbak makilei dagozkienak dira, C daukana, berriz, konoena da. Kurbetan ageri diren zenbakiak adinak dira, urteetan emanda. UV: ultramore; V: morea; B: urdina; G: berdea; Y: horia; R: gorria eta IR: infragorria.

## KONOEN BIDEZKO IKUSMENA

Konoak argitasun handiko ikusmena egiteko erabiltzen dira, eta honi *ikusmen fotopikoa* deritzo. Ikusi dugunez, konoek ikusmenaren bereizmen angeluarrik handiena ematen digute, eta gainera kolorez ikusteko ahalmena ematen digute. Batez ere fobean kontzentratu egiten dira, nahiz eta erretina guztian egon.

Konoen erantzun espektralak 560 nanometrotan (hori-berdea) piku bat dauka. Hala ere, konoek 400 - 760 nm-en tartean erantzuteko gaitasuna daukate. Datu hauek oso interesgarriak dira, eta bere azalpen logikoa daukate. Eguzkitik jasotzen dugun argiaren energi banaketaren (distribuzioa) pikua ere 560 nm-tan kokatzen da. Beraz, gizakiaren begia bere garapenean egunaren argiaren ezaugarrietaz baliatu da etekin handiago ateratzeko. Bestalde, konoentzat aipatu ditugun uhin-luzera hauek begiaren sentsibilitatearen lerrakuntza bat suposatzen dute makilen bidezko ikusmenarekiko. Makilen pikua 500 nm-tan zegoela gogoratu behar da. Lerrakuntza honi *Purkinje efektua* deritzo.

Begia hiru kolorezko errezeptorea da. Erretinaren kolore sentsoreek, konoek alegia, hiru motatako pigmentuak daukate. Pigmentu bakoitzak argia era selektiboan xurgatzen dute. Hemen ere, gertatzen diren prozesuak ez dira oso ondo ulertzen.



8. Irudia. Konoek eta makilek argiaren uhin-luzerarekiko erakusten duten xurgapena.

## IKUSMENAREN PROZESUA

Ikusmenaren prozesua ez da prozesu fisiko-kimiko soila, kate bat da. Eta horretan, burmuinaren papera oso garrantzitsua da. Burmuinean martxan jartzen diren mekanismoak konplexuak dira, eta ez dira ondo ulertzen. Ondoko eskeman adierazten da nolako prozesua den:



Ikusmenaren prozesuan burmuinaren paperaren garrantzia ohartarazteko adibide bat jarriko dugu. Aurretik esan dugunez, begi bakoitzetik nerbio optiko bat ateratzen da. Bi nerbio optiko hauek *kiasma optikoan* batu egiten dira, eta hortik, lobulu okzipitaletara joaten dira. Hala ere, kiasma optikoan gauza bitxi bat gertatzen da. Begi bakoitzaren nerbio optikoa bi zatitan banatzen da. Ezkerreko begiaren nerbio optikoan, erretinako ezkerreko eskualdearen nerbioak burmuinaren eskuineko hemisferiora joaten dira, eta besteak ezkerreko hemisferiora. Eskuineko begiaren nerbio optikoarekin berdina gertatzen da. Bere erretinaren ezkerreko eskualdearen nerbioak burmuinaren eskuineko hemisferiora joaten dira, eta eskuineko eskualdekoak ezkerreko hemisferiora. Beraz, nerbio optikoen banaketa bat gertatzen da. Bitxikeria honengatik, burmuinaren hemisferio batean nolabaiteko kalteak izatekotan, ez genuke inoiz begi baten ikusmena galduko. Bi begietan ikusmena kaltetua izango litzateke, baina bi begiekin ikusi ahal izango genuke.

Baina kiasma optikoan gertatzen denak beste ondorio batzuk ere badauzka. Demagun pantaila baten puntu batetara begira gaudela. Puntu horren eskuinean gauza bat proiektatu dezakegu, eta bere ezkerrean beste bat. Burmuineko bi hemisferioen arteko komunikazioa gertatzeko 0,2 s-ko denbora-tartea igaro behar da. Beraz, denbora-tarte hori pasatu baino lehenago proiektatutako bi gauzak aldatzen baditugu, hemisferio bakoitza independenteki jokatu du, eta bakoitzak gauza desberdin bat prozesatu du. Zientzialariek honen inguruan ikerketak egin ondoren, ondorio batzuetara ailegatu dira. Irudi bat ezkerreko aldean agertzen bada, burmuinak eskuinekoan baino azkarrago ezagutzen du. Berriz, hitz bat eskuineko aldean agertzen bada, burmuinak ezkerrekoan baino azkarrago erantzuten du. Bitxikeria honengatik, zientzialariek burmuinaren eskuineko hemisferioa irudien prozesamenduan espezializatuta dagoela pentsatzen dute. Ezkerreko hemisferioa, berriz, hitzen prozesamenduarekin lotzen dute.

## BESTE BEGI BATZUK

Animalia askok eta askok kolorea ikusi egiten dute, adibidez, erleak, arrainak, tximeletak, txoriak, narrastiak, primateak,... Hala ere, ugaztun gehienek kolorea ezin dutela ikusi pentsatzen da. Zenbait animalientzat kolorea ikusi ahal izatea oso garrantzitsua izaten da. Horientzat, koloreak zeregin desberdinak izan ditzake: erakartasun sexuala (adibidez, txoriak), arriskuaren

adierazgarri (adibidez, zenbait sugedorri),... Honek azaltzen baitu animalia askoren kolore zoragarriak. Horregatik, batzuetan kolorea ezin ikusteak arazo larri bat suposatzen du.

Jakina denez, animaliak bi multzotan sailka daitezke: ornodunak eta ornogabeak. Animalia ornodunen kasuan, begia gizakiaren antzekoa izaten da. Animalia ornogabeen begiak ez daude oso garatuak, eta mota askotakoak izan daitezke. Hala ere, animalia hauetan gehien garatu diren begiak *begi konposatuak* dira. Begi konposatuetan elementu okular asko daude.

Begi konposatuen adibide modura, intsektuen begi konposatuen kasua daukagu. Hauek nahiko konplikatuak dira, hexaedro multzo handi batez osatuta baitaude. Hexaedro bakoitzari *fazeta* deritzo. Adibide modura, inurrien begiek 100 hexaedro edo fazeta dituztela badakigu. Txitxiburduntzien (mariorrazak ere deituak) kasuan, fazeten kopurua 20.000koa da. Fazeta bakoitzak kristalinoaren lana betetzen du, hau da, lentearen papera jokutzen dute. Fazeta bakoitzak elementu fotosentikor bat dauka, *omatidio* deritzona. Horrela, fazeta bakoitzean dagokion omatidioak informazioa prozesatzen du. Honelako begi batek sortzen duen irudia mosaiko baten modukoa da. Begi hauek duten egiturak higidurarekiko oso sentikorrak izatea egiten ditu. Begiaren aurretik objektu bat higitzen bada, bere irudiak omatidioetatik ibilbide bat egingo du.

Animalien begietan bitxikeriak aurki daitezke. Jarraian, topatutako batzuk ageri dira:

- Aurretik, animalia ornogabeen begiak oso garatuak ez direla esan dugu. Baina olagarroaren begia, nahiz eta ornogabea izan, kasu berezi bat da. Olagarroak duen begia animalia ornodunen moduko begia da. Hau harritzekoa da, Eboluzioak bide desberdinak erabili baititu ornodun eta ornogabeen kasuetan. Beraz, Eboluzioak bide desberdinak erabili arren, soluzio berdina topatu du ikusmenaren arazoarentzat.

- Erleen begiek argi-izpi ultramoreak ikusteko gaitasuna dute. Ultramorean ikus dezaketen uhin-luzerarik txikiena  $3 \cdot 10^{-7}$  m ingurukoa da. Erleek tarte guzti honetan diskriminatzeke ahalmena dutela pentsatzen da. Gainera, beste norabide batean begira egon arren, erleek eguzkia non dagoen badakite. Honen azalpena erleen argiaren polarizazioarekiko duten sentikortasunean oinarritzen da.

- Munduko begirik handienak kalamar erraldoiarenak dira. Animalia honen 40 cm-ko diametrodun begiak topatu dira!!

## **BUKAERA**

Jorratu ditugun puntu hauetan ikusi dugunez, ikusmenean jakintza-arlo asko batu egiten dira, hala nola, Optika, Kimika, Elekrika, Biologia, Medikuntza. Horrela, Naturaren



ulermenerako guk gizakiok sortutako jakintza arloak, artifizialki sortuak direla erakusten da. Naturak ez ditu guk sorturiko bereizketarik "errespetatzen".

Bestalde, ez dago gizakiak eraikitako inolako sistemarik begiak dituen ezaugarriak betetzen dituenik. Beraz, honek begiaren perfekzioa oso garbi adierazten du.

## BIBLIOGRAFIA

Begiaren Fisikaren gaian sakontzeko asmoa duen edonork ondoko erreferentzietan abiapuntua eduki dezake.

- [1].- D. M. Burns, S. G. G. Mac Donald, *Physics for Biology and pre-medical students*, Addison-Wesley Publishers limited, London, 1975.
- [2].- J. Casas, *Optica*, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 1994.
- [3].- R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, *Física, vol. I*, Addison-Wesley Iberoamericana, México D. F., 1987.
- [4].- H. Feneis, W. Damber, itzul. J. Agirre Lasarte, *Giza Anatomiako poltsiko-atlasa (Nazioarteko nomenklaturan oinarritua)*, \_Elhuyar kultur elkarte, Usurbil, 1997.
- [5].- J. Gonzalez-Ibeas, *Introducción a la Física y Biofísica*, Alhambra, 1974.
- [6].- D. Jou et al., *Física para ciencias de la vida*, McGraw Hill, 1994.
- [7].- J. W. Kane, M. M. Sternheim, *Física*, Reverté, 1994.
- [8].- D. K. Lynch, W. Livingston, *Color and light in Nature*, Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- [9].- M. G. J. Minnaert, *Light and color in the outdoors*, Springer-Verlag, New York, 1993.
- [10].- J. Rodríguez, *Fundamentos de Optica geométrica*, Universidad de Oviedo, serv. de publicaciones, Oviedo, 1997.
- [11].- F. G. Smith, J. H. Thomson, *Optics*, John Wiley & Sons Ltd., 1988.
- [12].- L. Tarásov, A. Tarásova, *Charlas sobre la refracción de la luz*, MIR, Mosku, 1985.

## HIZTEGITXOA

Hiztegitxo honetan, gaiarekin nolabaiteko lotura duten kontzeptuen zerrenda antolatu da. Kontzeptu bakoitzarentzat definizio labur bat jarri da. Hiztegitxo honen helburua ez da azterketa sakon bat burutzea, baizik eta gaiarekiko hurbilpen xume bat egitea. Kontzeptuak alfabetikoki sailkatuta daude.

- **Astigmatismoa:** Ikusmenaren edo sistema optiko baten akatsa da. Objektu baten puntu batetik datozen argi-izpiak puntu bakarrera biltzen uzten ez duena, eta horrenbestez irudi desitxuratu eta lausoa sortzen duena da. Begiari dagokionean, kornearen kurbadura asimetrikoak edota kristalinoaren homogenotasunik ezak sortzen dute. Lente zilindrikoen bidez zuzen daiteke.

- **Begi emetropea:** Begi emetropea ikuspegi optikotik ondo dagoen begia da. Hau da, argi-izpiak erretinan ondo fokatzen dituen da.

- **Begi-ninia:** *Betseina* ere deitua izaten da. Irisaren erdialdeko irekiune biribila da. Zabalgari eta uzkurgarria da, eta diametroa aldatuz, erretinara sartzen diren argi-izpiak erregulatzen ditu. Beraz, begi-niniak begian diafragma lana egiten du. (Ikus *Irisa*).

- **Betzuloa:** *Orbita* ere deitua izaten da. Hau begia sartuta dagoen hezurrezko arroa da.

- **Distantzia fokala:** Sistema optiko baten foku nagusia eta sistemaren plano zentralaren artean dagoen distantzia da.

- **Egokitzea:** Begiak kristalinoaren konbergentzia moldatzeko duen gaitasunari deritzo. Egokitzeari esker, begiak distantzia desberdinetan dauden objektuak ondo fokatzen ditu erretinan.

- **Erretina:** *Betsarea* ere deitua. Begiaren barneko geruza argiarekiko sentikorra dena. Erretina nerbio optikoaren zabalgunek bat da, eta hainbat geruzaz osatuta dago. Erretinak argiarekiko sentikorrak diren bi zelula mota dauzka: konoak eta makilak. Nerbio optikoa begitik irteten den gunea itsua da.

- **Esklerotika:** Begi-globoaren kanpoko mintza, zuria, gogorra, zuntzezkoa, forma gutxi-asko esferikoa duena. Aurrean kornea kokatuta dagoen irekidura handi bat du, eta atzean beste bat txikiagoa nerbio optikoa begian sartzeko.

- **Fobea zentrala:** Begiko makula luteoaren zati zentral eta meheena da. Fobeak ez dauka makilatxorik, eta kono estu eta luzez hornituta dago. Erretinak lodiera galtzen duen puntutik bertatik beste aldeko puntu bereraino doan diametroa, gutxi gorabehera, 1-2 mm-koa da.

- **Fokua:** Lente edo sistema optiko batean, infinituan kokaturiko objektu baten irudi puntuala da. Fokua lentea edo sistema optikoaren ardatz optikoan kokatzen da.

- **Gihar ziliarra:** Koroideari eta zuntz zonularrei lotuta dagoen giharra da. Kristalinoaren egokitze prozesuan oso garrantzitsua da. Egokitze prozesuan, gihar ziliarrak koroidea aurrera eramaten du, eta horrela, zuntz zonularrak lasaitu egiten dira. Horren ondorioz, kristalinoak forma sabelduagoa hartzeko modua izango du, hurbileko ikusmena erraztuz.

- **Gune itsua:** Kono eta makularik gabeko erretina-zatia da. Bertatik nerbio optikoa begian sartzen da. Makula luteotik gutxi gorabehera 2-3 mm-ra dago. Bere diametroa 1,6 mm-koa da.

- **Hialoidea:** Begia bi ganberatan banatzen duen mintz fina da. Alde batetik, kristalinoa ukitzen ari da, eta bestetik, humore beirakara.

- **Hipermetropia:** Ikusmenaren gaixotasun bat da. Ikusten ari den objektuaren irudia erretina baino atzerago fokatzen da. Lente konbergenteak jarriz zuzentzen da.

- **Humore beirakara:** *Gorputz beirakara* ere deitua da. Begiaren ganbera beirakara betetzen du, eta gai argi eta jelatinakara da. Bere osagaiak hauek dira: % 98 ura, albumina eta NaCl-aren aztarnak, eta zuntz fin-finena nahaste bat. Bere sendotasun berezia, gelatinakara baita, azido hialuronikoaren edukiagatik izaten du. Gel proteinikoa oso hauskorra da, eta galduz gero, oso zaila birsortzeko. Humore beirakarak begiaren bolumenaren % 80a betetzen du.

- **Humore urtsua:** Begiko kristalinoaren eta kornearen arteko ganberan dagoen fluido gardena da. Bere kopurua, guztira, 0,2-0,3 ml-koa izaten da. Ur gatzatuan dispartaturiko albuminaz osatutako likidoa da. Bere osagaiak honako proportzioetan aurkitzen dira: % 98 ura, % 1,4 NaCl, albumina eta glukosako aztarna batzuk. Edozein traumatismoagatik pixka bat galtzen bada, ez dago inolako arazorik berreskuratzeko, gorputzak era errazean birsortu egiten baitu.

- **Irisa:** Kornearen atzetik eta kristalinoaren aurretik kokatutako mintz zirkular, pigmentatu, uzkurgarri eta baskularra. Begi-niniaren inguruko koloredun eraztuna da, eta diafragma-funtzioa betetzen du. Argitasun handiekin itxi egiten da, 2 mm-tako diametroa hartu arte. Iluntasunean ireki egiten da, eta 50 urtera arte 8 mm-tako diametroa har dezake. Koroidearen luzapen moduko bat da.

- **Kiasma optikoa:** Bi nerbio optikoak batzen diren lekua da. Hor, nerbio optiko bakoitza bi zatitan banandu egiten da, eta burmuinaren lobulu okzipitaletara joaten dira.

- **Konjuntiba:** Betazalen barne-azala estaltzen duen begiko muki-mintza da. Begi-globoaren aurrealdean hedatzen da, esklerotikaren zati bat estaliz. Gainera, konjuntibak kornearen epitelioa eratzen du.

- **Konoa:** Erretinako ikusmen-zelula da. Koloreekiko sentikorra da.

- **Kornea:** *Betzuringoa* eta *zuringoa* ere deitua izaten da. Begi-globoaren aurrealdeko azalaren estalki gardena da, esklerotikaren aurrealdean kokatuta dagoena. Kornearen zeregin nagusiak bi dira; bata, optikoa, eta bestea, barruko organoen babesa.

- **Koroidea:** Begi-globoaren estalkiko mintz pigmentatua, esklerotika eta erretinaren artean kokatuta dago. Erretinaren geruza baskularra da. Nahiz eta begiaren beste atalek bere zaingorriak eta zainak izan, koroideak odol jario oso handia dauka, eta ondorioz, beste organoei ere elikadura eta beroa ematen die.

- **Kristalinoa:** Ornodunen eta zefalopodoen begiko organo gardena, begi-niniaren atzean eta gorputz beirakararen aurrean kokatuta dagoena. Bere diametroa 9-10 mm-koa da, eta bere lodiera gutxi gorabehera 4 mm-koa. Kristalinoak ez dauka nerbiorik, eta bere zeregina, erretinan argi-izpiak fokatzeko da.

- **Lentea:** Gainazal esferiko batez edo biz mugatutako disko-formako pieza da. Normalean, beiraz edo bestelako material garden errefringente batez eginda dago. Argia era kontrolatuan desbideratzea ahalbidetzen dute. Bi motakoak izaten ohi dira, konbergenteak edo dibergenteak. Lente konbergenteek paraleloki datozten argi-izpiak lentearen atzetik puntu batean fokatu egiten dituzte, hain zuzen argi-izpiak datozten kontrako aldean. Lente dibergenteek paraleloki datozten argi-izpiak dibergitzea eragiten dute. Horrela, azken lente hauetan puntu fokala lentearen aurrean kokatzen da; hau da, argi-izpiak datozten aldean.

- **Makila:** Erretinako makila-formako ikusmen-zelula, argiaren intentsitatearekiko sentikorra dena. Ez du kolorerik bereizten.

- **Makula luteoa:** *Orban horia* ere deitua izaten da. Pigmentazio horia duen eremu obala da, eta begiaren atzeko poloan kokatuta dago. Bere diametroa 2-4 mm-koa da. Bere erdian fobea zentrala kokatzen da.

- **Miopia:** Ikusmenaren akatsa, begietatik urrun dagoena argi ikusteko zailtasuna sortzen duena. Kristalinoak konbergentzia handiegia duenez, irudia erretina baino aurrerago fokatzen da. Betaurreko dibergenteak jarriz zuzentzen da.

- **Nerbio optikoa:** Erretinaren zelula ganglionarren axoiek sortzen dute, eta kiasma optikoraino hedatzen den zuntz-bala da. Entzefaloaren luzapena dela esaten da.

- **Zonula ziliarra:** Zuntz elastikoak dira, eta kristalinoari eta gihar ziliarrari lotuta daude. Hauen zeregina kristalinoa bere oreka puntuan mantentzea da, eta gihar ziliarrak indarra egiten duenean, indar hau kristalinora pasatzea.