

Els sentits de les aus (I)

La vista

Per **Lluís Parpal**
Dibuixos de Gemma Carrasco

Amb la publicació d'aquesta nova entrega de *El busqueret* ja hauran arribat els falcons marins (*Falco eleonorae*) a les nostres costes en el seu període migratori anual, que els du des de Madagascar fins a l'àrea mediterrània per a treure endavant la seva prole. Us recomanem que un horabaixa de setembre us apropieu als miradors dels penya-segats on nien els falcons marins i, des de la prudent observació que requereix la temporada de cria d'aquesta espècie protegida, observeu amb els binocles o, millor, amb un telescopi, com una i altra vegada els individus adults es llencen en un ràpid vol cap a la mar oberta. Un es queda pensant que punyetes cerquen per allà, fins que finalment, a centenars de metres, quan moltes vegades ja quasi hem perdut la visual amb les nostres potents òptiques, encertem a esbrinar a l'horitzó un petit ocellet migrant que serà l'àpat d'aquell falcó o de les petites i minúscules bolletes blanques de plomissol que ara mateix l'estan esperant al niu. Aquest és un dels esdeveniments naturals que ens demostren l'excel·lent capacitat visual de les aus i com poden detectar aquests ocellets a llarga distància amb una definició i nitidesa que als humans ens costa amb prou feines afinar amb les òptiques.

Introducció

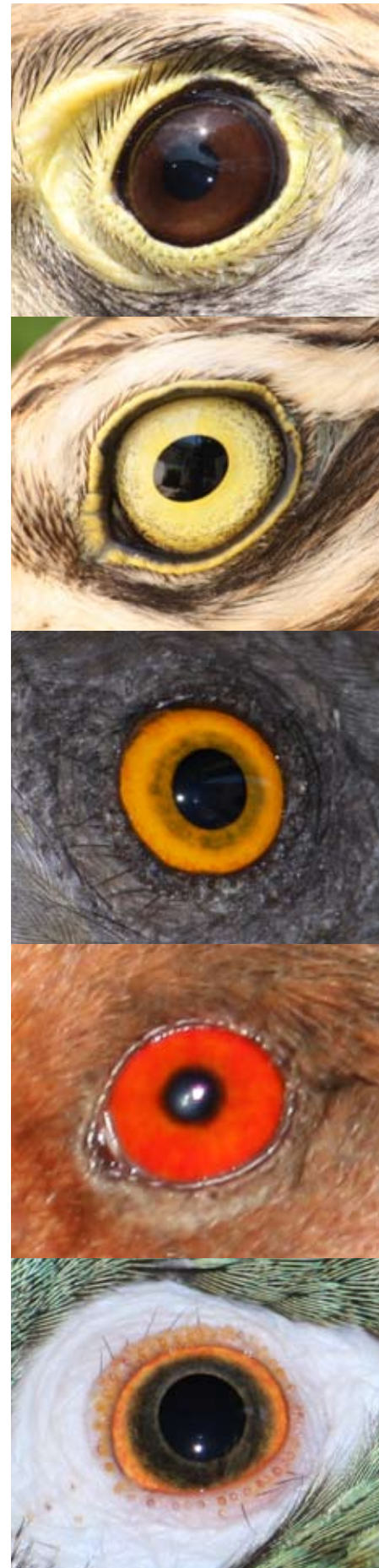
Com hem vist fins ara, el vol i les estructures que el fan possible són les característiques que més bé defineixen una au. Així, si preguntem a un nin: que és una au? probablement ens dirà que és un animal que vola i que té plomes. Però

si aprofundim una mica més en la seva organització i vida diària descobrirem que hi ha un sentit en què destaquen per sobre de la resta de vertebrats: aquest sentit és la vista. Vista per comunicar-se, per detectar els depredadors, l'aliment, la parella, per localitzar el territori, el niu, vista per orientar-se. No podíem esperar un altre capítol d'aquesta sèrie sense fer menció d'aquest sentit tan ben desenvolupat en les aus; de fet, hi ha autors que defineixen les aus com dues ales amb ulls. Parlem, així, de la vista.

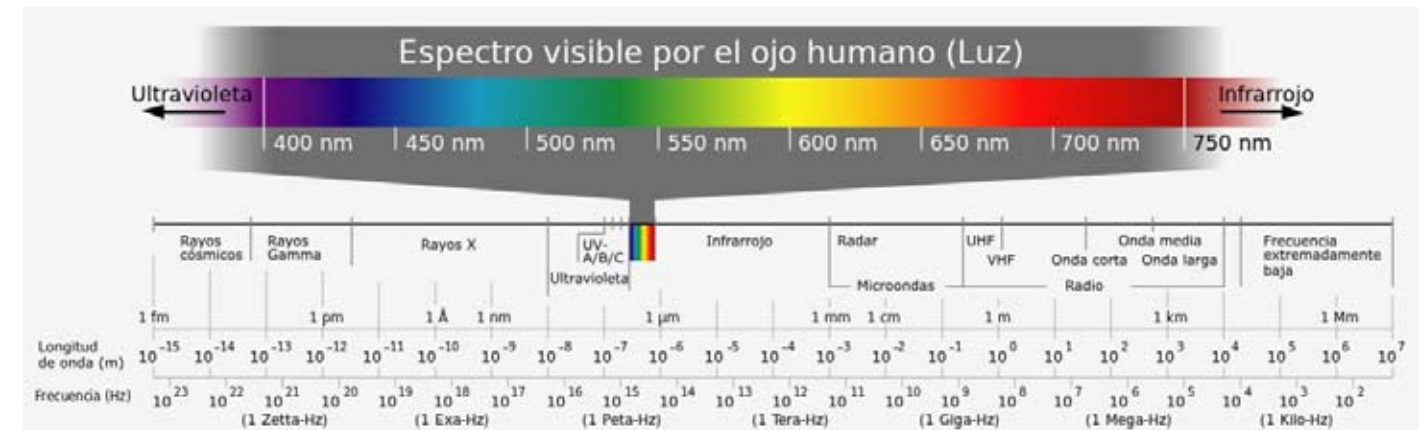
Anatomia ocular de les aus

Els ulls de les aus representen de mitjana el 15% del pes del cap, mentre que l'ull humà només en representa un 2%. Així, una gran àguila daurada de només 3-4 kg i una persona poden tenir els ulls de la mateixa mida. De fet, si observem el crani d'una au, veurem les grans conques orbitals que alberguen els ulls. Està prou clar que l'evolució ha volgut donar una gran importància al sistema visual de les aus, dotant-les d'una vista excepcional si la comparem amb la resta de vertebrats.

Per entendre com funciona un ull i explicar les estructures anatòmiques que el formen és necessari fer una breu explicació de com es forma la **imatge visual**. Per a la formació d'aquesta imatge és necessària la **llum**, llum que ens envolta i que es presenta en un espectre de longitud d'ona determinat i que captem de manera molt diferent cada espècie. A la imatge 2 podeu apreciar l'es-



Imatge 1. T'atreviries a esbrinar a quina espècie d'au pertanyen aquests ulls?



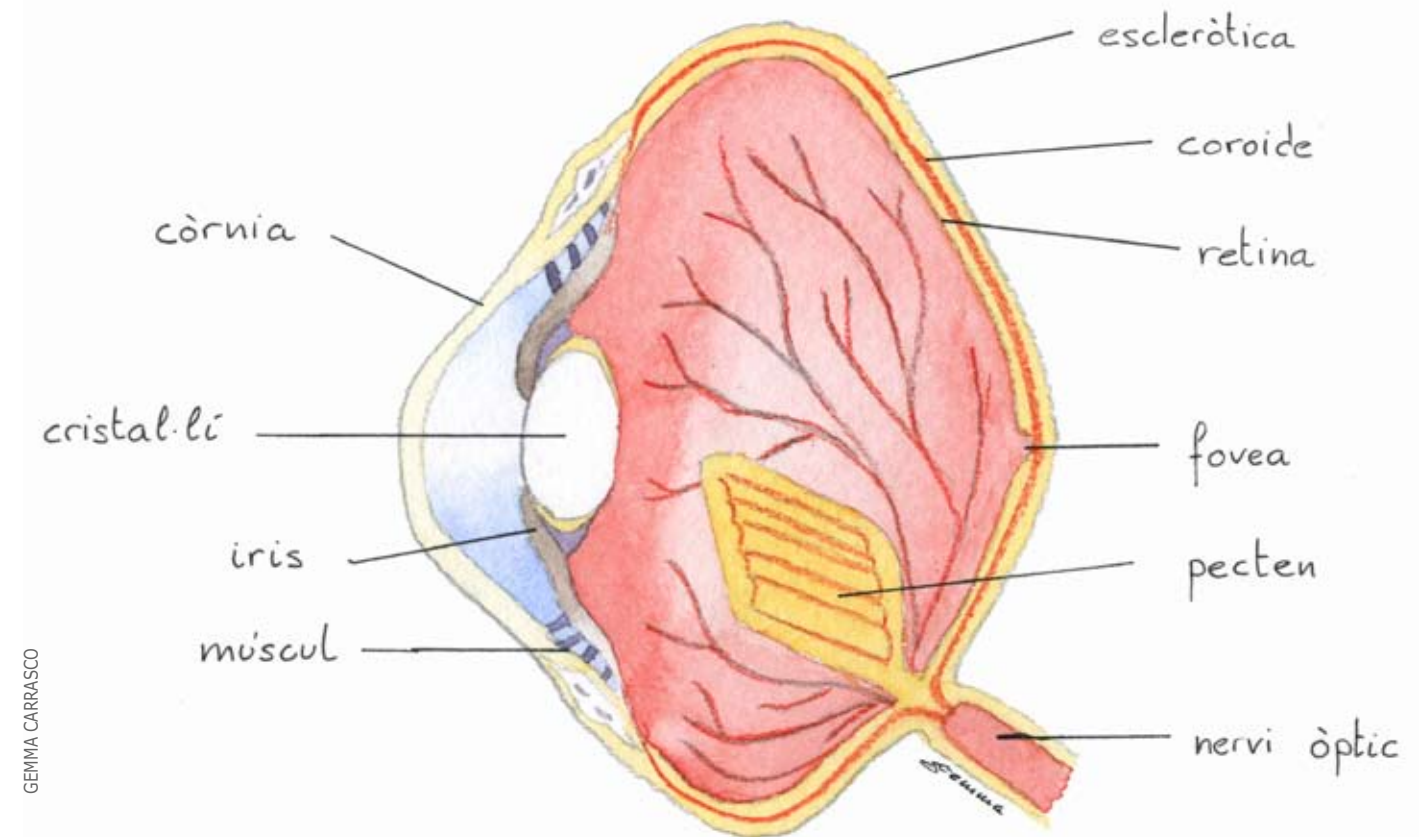
Imatge 2.- Espectre electromagnètic, percepció visible per a l'ull humà. Wikimedia Commons.

pectre de llum visible que capta l'ull humà. Ja en aquest punt avançarem que els ulls de les aus poden captar llum de la banda ultraviolada - que podeu apreciar a l'esquerra - i fins i tot algunes espècies, com el colom, de la banda infraroja a la dreta. Per tant, ara ja sabem que les aus detecten bandes de llum que són invisibles per a l'ull humà.

Però com es forma la imatge?, aquesta llum de la qual parlem incideix sobre els objectes que ens envolten, que l'absorbeixen o reflecteixen en funció dels colors. La llum reflectida és la que travessa la **còrnia** per a entrar dins el globus

ocular (imatge 3). L'**iris**, membrana pigmentada que pot variar de color en funció de les espècies, la edat i el sexe dels individus (imatge 1), és un diafragma semblant als que tenen les màquines de fotografiar i que regula l'entrada de llum. A continuació, la llum es troba amb un nou **obstacle**, el **crystal·lí**, una lent que es deforma de manera que la imatge es projecta exactament sobre la **retina**, ja que en cas contrari crearíem una imatge desenfocada. Ja tenim la llum on volíem, a la retina, que és el lloc on estan ubicades les cèl·lules fotosensibles que rebran la imatge i la convertiran en impulsos elèctrics que, via el nervi òptic, arribaran al

cervell. Per efecte de les lents que traspasa la llum, la imatge que es projecta a la retina està invertida, fet que és corregit i interpretat correctament quan es processen els estímuls visuals al cervell. Tot aquest procés el compartim en general la majoria de vertebrats, tot i que, com veurem a continuació, amb diferents resultats en funció de les capacitats visuals de les espècies. La resta de components anatòmics comuns a la majoria de vertebrats són la **coroi-de** i la **escleròtica**, que junt amb la còrnia formen les parets externes del globus ocular. De la **fòvea** us en parlarem més endavant.



Imatge 3.- Estructures anatòmiques principals de l'ull d'una au.



Imatge 4.- Esquerra ull normal, dreta ull amb membrana nictitant.

Hi ha dues estructures que no podem deixar d'anomenar quan parlem dels ulls aviaris. La primera és la **membrana nictitant** (imatge 4), que és com una tercera parpella que les aus tenen amb diferents funcions: en primer lloc, manté la neteja i lubrica amb les llàgrimes la capa externa de l'ull, la còrnia. A diferència dels humans, que parpellegem, les aus disposen d'aquesta membrana i,

per tant, no tenen la necessitat de tancar les parpelles contínuament. En segon lloc, aquesta estructura, pràcticament transparent en la majoria d'aus, permet protegir l'ull durant els vols picats, condicions climàtiques extremes o immersions a la mar, sense deixar de tenir capacitat visual, el que suposa, com us podeu imaginar, un gran avantatge. Així les aus aquàtiques/marines po-

den mantenir els ulls oberts mentre es capbussen/pesquen i al mateix temps tenir-los protegits per aquesta membrana.

L'altra estructura de la qual us volem parlar és el **pecten** (veure imatge 3). Es tracta d'una estructura molt vascularitzada en forma de pinta o radiador que s'origina a la zona del nervi òptic i que està en suspensió dins la càmera posterior de l'ull. Se li atribueixen les funcions d'aportació de nutrients - cal tenir en compte que la retina aviar és avascular, a diferència de la humana que està molt vascularitzada- regulació osmòtica, eliminació de residus i, fins i tot, regulació de la temperatura i pressió intraocular.

És necessari explicar que l'estructura de l'ull no sol ser esfèrica. Així, de manera general podríem dir que tenim globus oculars aplanats a les aus diürnes de crani estret com el colom, globus oculars cònics a les aus diürnes de crani ample com els falconiformes o psitaciformes i globus oculars tubulars a les aus crepusculars i nocturnes (estrígiformes).



Imatge 5.- Els depredadors, com aquest falcó torter, tenen els ulls situats cap al davant per augmentar la visió binocular i controlar millor les seves preses.

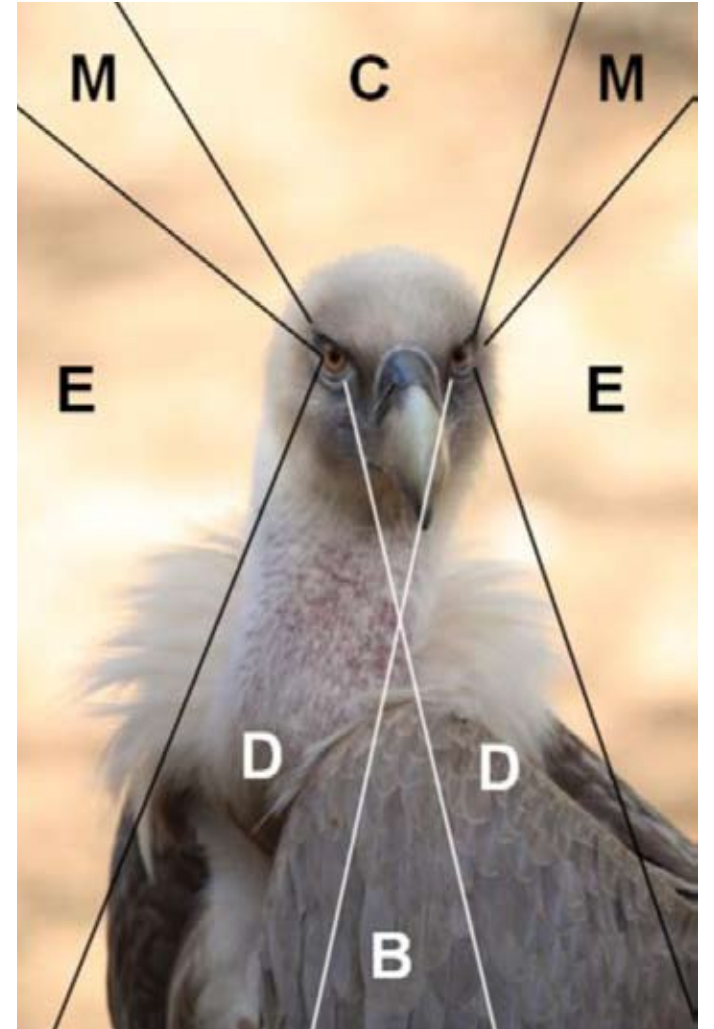
Característiques de la vista en les aus. Percepció visual

Fins ara hem parlat d'anatomia, però com veuen realment les aus?, començarem parlant del **camp visual**. Una de les limitacions de l'ull aviar respecte a l'humà és la limitació de moviments dins la cavitat òptica, ja que l'ull de les aus ocupa pràcticament tota la cavitat i està bastant impedit de moviments. Aquesta manca de mobilitat està compensada amb una gran flexibilitat de la zona cervical que els permet dirigir el cap pràcticament en qualsevol direcció sense moure la posició del cos.

En aquest sentit, les diferents adaptacions de les aus han determinat una orientació especial dels ulls al cap. Així, els depredadors, com la gran majoria de rapinyaires, han disposat els ulls a la part frontal per aconseguir una major àrea de visió binocular que els permeti detectar amb la màxima definició i profunditat tridimensional les seves preses (veure imatge 5 i 6). Aquesta posició dels ulls crea una zona cega al camp visual que se situa a la part posterior del cap. És evident que, a l'altra banda, les espècies presa com moltes petites aus, limícoles, perdius, etc. no poden tenir una gran zona cega al seu camp visual i, per tant, han situat els ulls un a cada costat del cap, el que els permet tenir un camp visual de pràcticament 360 graus; això sí, en detriment d'una visió binocular que han de compensar amb petits moviments del cap per focalitzar l'ull sobre un determinat objecte, fet que els permetrà calcular la distància exacta on es troba. Us haureu fixat que quan una espècie com la perdiu observa un rapinyaire que passa volant al cel l'enfoca amb un sol ull. A la imatge 6 teniu representats els camps visuals d'un vòltor lleonat (*Gyps fulvus*). Proveu de dibuixar el cap d'una presa com el colom i els camps visuals resultants. Compareu-los amb els del vòltor. Ara, representeu el cap d'una persona i decidiu si està dissenyat com un depredador o una presa.

Els receptors fotosensibles: cons i bastons, la importància de la llum i els colors

La fòvea és una àrea de la retina on la concentració de **cons** (cèl·lules receptores dels colors) és especialment elevada, el que permet crear una imatge amb una definició òptima. És per això que la fòvea central està alineada en la direcció d'entrada de la llum (veure imatge 3).



Imatge 6.- Zones visuals de les aus. (B: binocular, D:detall, E: exploració, M:moviment, C:cega)

Hi ha espècies que tenen dues fòvees (temporal i central) com alguns falconiformes o les falzies, les quals els permeten tenir enfocada la zona frontal i la zona lateral del camp visual al mateix temps.

A diferència de la majoria de mamífers, les aus tenen bona visió dels colors. Es considera que les aus tenen una visió tetracromàtica per la seva capacitat de distingir la llum ultraviolada (UV) i, fins i tot, en algunes espècies com els coloms, pentacromàtica, ja que distingeixen part dels infrarojos. Els humans i alguns primats tenim una

Així les zones del camp visuals de les aus son les següents:

Binocular: zona d'enfocament i definició perfecta gràcies al solapament de la imatge de detall dels dos ulls. Permet calcular amb exactitud la distància a l'objecte observat. Apreciació tridimensional.

Detall: zona visual que incideix directament sobre la **fòvea temporal** de la retina, àrea de màxima densitat de cèl·lules receptores i per tant de màxima nitidesa visual, però sense permetre l'exactitud en el càlcul de la distància a l'objecte.

Exploració: seria la zona que, tot i no incidir sobre la fòvea temporal de la retina, els permet una observació bastant acurada de l'entorn que els envolta a través de les cèl·lules receptores a la retina. Capacitat d'observació amb la **fòvea central**, visió panoràmica.

Moviment: no permet apreciar objectes o imatges definides, tan sols la captació de moviments que es produeixen a aquesta àrea.

Cega: ona invisible per a l'ull.



Imatge 7.- Les espècies nocturnes tenen ulls tubulars amb elevada densitat de bastons per a captar la llum. Esquerra mussol reial (*Asio otus*), dreta òliba (*Tyto alba*).

visió tricromàtica amb receptors de llum per a tres pics de longitud d'ona diferents. Aquesta característica de la visió de les aus determina que puguin distingir marques, senyals i rastres totalment imperceptibles per a l'ull humà. Així, els xoriguers poden discernir els rastres biològics tipus orí que un ratolí ha deixat sobre el rostoll, els individus de coloracions brunes poc diferenciats a l'ull humà poden distingir-se i comunicar-se per determinades bandes UV visibles als seus plomatges i els ocells frugívors poden detectar els fruits madurs que reflecteixen la llum UV als frondosos boscos tropicals, per citar alguns dels exemples més esmentats en parlar de la percepció visual de les aus.

La propera vegada que us com-preu roba mimètica per anar a observar ocells penseu que potser hi ha determinats teixits que reflecteixen aquest tipus de llum i seran observats amb molta facilitat per les aus. Ja es comercialitzen als mercats especialitzats determinats productes com impermeabilitzants i sabons que certifiquen la no reflexió de llum UV.

També hi ha adhesius per als vidres que reflecteixen aquest tipus de llum i eviten les col·lisions tan freqüents als finestrals exteriors dels edificis.

Una altra característica de la visió en color de les aus es determina per unes petites gotes d'oli que se situen a l'extrem dels cons i que permeten filtrar determinades longituds d'ona, característica que els dóna un major contrast amb l'objecte que estan observant.

A les hores crepusculars els cons perden capacitat, ja que no són capaços de funcionar en condicions de baixa lluminositat i és quan juguen un paper molt important les altres cèl·lules receptores de la retina, els **bastons** (cèl·lules especialitzades en la captació de llum a baixes intensitats, però no dels colors). Les aus nocturnes com els estrigiformes, els mussols i òlibes (imatge 7), tenen una elevada quantitat de bastons a les seves retines, fet pel qual són capaces de detectar, amb l'ajut de la seva oïda, els més mínims moviments que produeixen a les fosques

nits els insectes i ratolins. A la taula 1 teniu una comparativa de la quantitat de cons i bastons per mm² en comparació amb l'ull humà. Tot i que són valors mitjans per a determinades espècies, ens permeten fer-nos una idea de la definició visual si parlem de cons i de la captació de llum en situacions crepusculars si parlem de bastons. Aquesta agudesia visual és la que fa possible a alguns rapinyaires detectar volant a 2000 metres d'alçada preses de la mida d'un ratolí.

Tot i que en general no és una estructura present a l'ull de les aus, algunes espècies com els enganyapastors (*Caprimulgus sp.*) presenten **tapetum lucidum**. Es tracta d'una membrana reflectora de la llum que es troba a la coroides. Aquesta estructura està present als ulls dels remugants i carnívors i crea un reflex particular quan són il·luminats per un focus durant el vespre. Els enganyapastors, que tenen el costum molt habitual d'estar-se parats enmig de carreteres i camins, els vespres d'estiu són fàcilment localitzats amb els

Característica	% pes ulls/cap	Fòvees	Cons/mm2	Bastons/mm2	Retina	Forma globus ocular	Colors	Acomodació enfocament (diòptries)	Discriminació visual Imatges/segon
Humans	2	1	10.000	200.000	Vascular	Esfèric	Tricromàtic	10-12	20-25
Aus	15	0-3	120.000	1.000.000	No vascular (Pecten)	Pla Cònic Tubular	Tetracromàtic	2 estrigiformes 80 aus aquàtiques	130-150

Taula 1.- Característiques diferencials de les estructures anatòmiques i de la capacitat visual de l'ull humà i el de les aus.

focus dels vehicles per la lluentor dels ulls.

Velocitat i captació de moviment

Hi ha una altra característica de la funcionalitat visual de les aus difícilment apreciable pels nostres ulls mediocres: ens referim a la capacitat de discriminació (imatges captades per segon). L'ull humà amb prou feines pot discriminar 25 imatges per segon, i així el cinema/TV s'apropen a aquest ritme d'imatges i veiem el que anomenem una pel·lícula o un seguit d'imatges que generen moviment. Però això no és així a totes les espècies. De fet, algunes aus com el falconet (*Falco subbuteo*) poden discriminar fins a 150 imatges per segon, fet pel qual el nostre cinema es converteix en una lenta projecció de diapositives per a aquestes espècies. Per tant, la resolució amb què les aus detecten el moviment és clarament superior a la nostra, i detecten així el més mínim canvi en l'entorn que les envolta i reaccionen als estímuls de moviments a una velocitat extremadament alta amb una excel·lent coordinació neuromuscular.

Penseu ara, per exemple, en un falcó (*Falco peregrinus*) que pot picar a una velocitat de 250 km/hora i apliqueu el càlcul amb la capacitat visual humana (25 imatges /segon). Si feu una regla de tres veureu que només captaria una imatge aproximadament cada 3 metres. Us imagineu tot el que pot passar en aquests tres metres sense capacitat visual? (perdre una presa, col·lidir amb objectes) O bé d'altres espècies que poden perdre un ull en baralles amb altres aus, deixar-se atrapar per un depredador, etc. per una lenta resposta visual? Amb la discriminació de les aus, en el primer cas, aquesta distància es pot reduir a una imatge cada 40 cm, el que millora molt la capacitat de reacció davant els imprevistos/obstacles que puguin sorgir durant el vol i evitar així accidents fatals o atacs fallits. Aquesta capacitat visual es deu, entre d'altres factors, a l'elevada quantitat de cèl·lules ganglionars que transmeten la informació visual cap al nervi òptic, aproximadament en una proporció d'una cèl·lula ganglionar per receptor. A l'ull humà li correspon una cèl·lula ganglionar per a un grup determinat de receptors.



Imatge 8.- El corb marí (*Phalacrocorax aristotelis*) té una capacitat d'acomodació del cristal·lí, enfocament, de fins a 80 diòptries.

Enfocament o acomodació del cristal·lí

Hem vist que el cristal·lí es deforma per a enfocar la imatge a sobre dels receptors de la retina. Els diferents medis aeri/aquàtic tenen refraccions per a la llum molt diferents, el que fa que les aus que depenen de tenir una bona visió tant al medi aeri com el aquàtic requereixin d'una important capacitat d'adaptació i acomodació del cristal·lí. Els corbs marins (*P. aristotelis*) com el de la imatge, tenen una capacitat d'acomodació de fins a 80 diòptries, a diferència de l'acomodació de l'ull humà, que se situa al voltant de les 12 diòptries. L'ull dels rapinyaires nocturns té molt poca acomodació, de l'ordre de 2-4 diòptries.

Per si no és suficient el que hem comentat fins ara...

Els resultats d'un experiment difícil d'explicar que foren publicats l'any 2007 en una coneguda revista científica donen suport a la hipòtesi que les aus migratòries *veuen* la direcció que proporcionen els camps geomagnètics terrestres, fet que ajudaria a aclarir un dels temes que han creat més controvèrsia en l'explicació de com són capaces d'orientar-se les aus en els seus llargs viatges. Sembla que existeix una molècula situada a la retina que proporcionaria la informació via connexió neuronal

a través del tàlem visual. Si això és realment cert, és impossible per a l'espècie humana intentar fer-se una idea de que és el que realment veuen els ocells i com ho fan. Està clar que encara ens queden moltes coses per conèixer de la complexitat dels sistemes dels organismes vius que ens envolten.

Conclusions

És habitual sentir l'expressió a vista d'auell per donar a entendre la perspectiva que tenen les aus des del cel, una imatge que no deixa mai de sorprendre l'ull humà, acostumat a observar sempre des d'una posició baixa a prop del terra. Però el que està clar, amb tot el que coneixem ara, és que quan parlem de la vista d'un auell estem parlant de molt més que de simple perspectiva, parlem d'una percepció del món inimaginable per a l'ull humà en colors, definició, velocitat i fins i tot orientació magnètica. Un sentit que va molt més enllà de la realitat que coneixem i que és imprescindible per a les seves activitats diàries.

Esper que us hàgiu fet una idea del que comporta el món visual de les aus, i que la propera vegada que mireu els ulls d'una d'aquestes criatures amb plomes considereu que potser ja s'havia adonat que l'estàveu observant. •