
2. LA PERCEPCIÓ DEL COLOR

Carme Junqué i Plaja* i Pere Vendrell i Gómez*

2.1. VEURE EL MÓN «EN COLOR»

A qualsevol de nosaltres no ens estranya que el món sigui ple de colors. La visió acolorida de les coses que ens envolten sovint apareix com a sinònim d'optimisme i de ganes de viure. Enfront d'aquesta visió «en color», la visió «en gris», mancada de color, va associada simbòlicament al pessimisme i a la desgràcia. Veure-ho tot negre és evidentment una manera de dir que no tenim res clar i també de reconèixer que aquest estat de manca de coneixement és sinònim de la foscor. Sembla, doncs, que el nostre llenguatge atorga al color la qualitat d'esdevenir una font important de coneixement i també que per a la nostra vida fruit de la visió dels colors reforça la confiança en nosaltres mateixos i genera una visió més alegre i confiada de tot el que ens envolta.

2.2. ON COMENÇA LA VISIÓ DELS COLORS?

El sentit de la vista rau, com tots sabem, en aquest òrgan especialitzat que és l'ull. La part de l'ull capaç de captar la informació que porta la llum, base de la visió, és la retina. Efectivament, la retina, en el fons del globus ocular, està formada per un conjunt altament especialitzat de cèl·lules nervioses que codifiquen els primers estadis de la percepció del color. Les cèl·lules de la retina que reaccionen amb l'energia lumínica són els fotoreceptors i n'hi ha de

* Departament de Psiquiatria i Psicobiologia Clínica. Universitat de Barcelona.

Llum i color

dues classes: els cons i els bastonets. Els primers estan implicats en la visió del color i els segons, en la visió sense color. Els cons s'activen durant la visió diürna, perquè necessiten una intensitat lumínica alta per funcionar, i els bastonets, durant la visió nocturna, ja que posseeixen una sensibilitat major.

2.3. DE NIT TOTS ELS GATS SÓN GRISOS

El que acabem de dir comporta que la visió policromàtica, de colors, només és possible durant el dia, quan la intensitat de la llum és suficient per activar els cons; en canvi, de nit la nostra visió es monocromàtica. Els cons i els bastonets no es troben repartits a la retina de manera uniforme, sinó que els primers ocupen la part central, anomenada *fòvea*, on la visió és més precisa, mentre que els bastonets se situen més a la perifèria.

Veiem, doncs, que la visió policromàtica va associada a una major capacitat discriminativa, a una major precisió visual, i que és la visió típica de la llum diürna, quan la intensitat lluminosa és més alta. La visió monocromàtica es dona durant la nit, quan la llum és escassa i només els bastonets tenen la sensibilitat suficient per reaccionar a baixos nivells d'il·luminació.

De fet, capacitat de discriminació i sensibilitat a nivells baixos d'intensitat de llum són dos fenòmens dissociats a causa de la particular disposició dels cons i els bastonets a la superfície de la retina, com hem comentat abans. Si de nit mirem el cel estelat sense fixar la vista en cap estel concret, en veurem desenes de milers, però si provem de fixar-hi la mirada en un, veurem com tot seguit desapareix. En efecte, la visió general del cel estelat utilitza l'alta sensibilitat dels bastonets situats a la perifèria de la retina, però quan intentem fixar-nos en un de concret amb la intenció de discriminar-lo millor, fem que la seva llum incideixi sobre la fòvea, i en aquesta zona només hi ha cons que són incapaços de reaccionar amb un estímul lluminós d'escassa intensitat. La conseqüència és que l'estel s'esvaeix de la nostra visió.

2.4. EL SISTEMA BLAU-VERD-ROIG

La llum visible no és res més que una part de l'espectre de radiacions electromagnètiques, en concret, la que posseeix una longitud

d'ona entre 380 i 760 nanòmetres (un nanòmetre és la milmilionèsima part del metre). Més avall d'aquest interval trobem els raigs ultraviolats i els raig X, i més amunt, els raigs infrarojos i les ones de ràdio. Hi ha animals que són capaços de veure radiacions que nosaltres no podem percebre, com per exemple les abelles, que poden captar els raigs ultraviolats. Dintre de l'espectre visible, la llum blava correspon a la part més baixa i la vermella, a la més alta, mentre que la verda ocupa un lloc intermedi.

Si analitzem la resposta dels fotoreceptors a la llum, veurem que hi ha tres classes diferents de cons: els que tenen la seva màxima resposta a longituds d'ona curta (els cons del blau), els que la tenen a longituds mitjanes (els cons del verd) i a l'últim els que responen a longituds d'ona llarga (els cons del roig). Els bastonets responen a longituds d'ona intermèdies entre els cons del blau i els cons del verd. Els fotoreceptors, cons i bastonets, es reparteixen, per tant, les diverses longituds d'ona de l'espectre visible. Des d'aquesta primera etapa del processament de la llum fins a la visió acolorida del món de què parlàvem al començament cal la intervenció de molts altres mecanismes nerviosos.

Com poden sorgir tots els colors que podem percebre amb les múltiples seves tonalitats a partir de la informació sobre els tres colors bàsics que els fotoreceptors ens proporcionen? Molt abans de conèixer amb precisió el funcionament de les cèl·lules nervioses que processen la percepció del color s'havien proposat diverses teories explicatives.

El 1802, Thomas Young, físic i metge britànic, va proposar la denominada *teoria tricromàtica de la percepció del color*. Es fonamenta en l'experiència que qualsevol color pot ser reproduït amb la mescla de determinades quantitats de tres colors primaris. Cal advertir, però, que el resultat és distint si el que realment mesquem són pigments (pintures) o fonts de llum. Així, si mesquem pigments grocs i blaus la mescla resultant és verda. En canvi, si projectem un raig de llum roja i un altre de llum verda sobre una pantalla blanca, el que veurem serà llum groga. Si mesquem llum groga i blava, obtindrem llum blanca.

El fisiòleg alemany Ewald Hering (1905-1965) va suggerir un altre factor important en la percepció del color: els colors estarien representats en el sistema visual en forma de colors oposats; hi hauria dos parells de colors oposats que serien el verd i el roig, d'una banda, i el blau i el groc, d'una altra.

Com hem vist, els fotoreceptors que constitueixen el primer nivell de processament del color, operen d'acord amb la teoria de Young. La sensació produïda per qualsevol color es deu a l'activació en les proporcions adequades dels tres tipus de cons. Els cons, igual que els bastonets, posseeixen una substància química, els fotopigments, compostos de dos components, una proteïna denominada *opsina* i un aldehyd derivat de la vitamina A, el *retinal*. Hi ha diversos tipus d'opsines: la del blau, la del verd, la del roig i també la dels bastonets, cada una reactiva a la seva longitud d'ona específica. Ja que el retinal se sintetitza a partir de la vitamina A, es diu que les pastanagues, riques en aquesta vitamina, són bones per a la vista. La llum de la longitud d'ona adequada pot trencar una quantitat determinada de molècules dels fotopigments específics, separant l'opsina del retinal. Hi ha milions de molècules de fotopigments dins de cada fotoreceptor. El trencament de la molècula del fotopigment genera un canvi elèctric en la membrana del fotoreceptor que influeix sobre un segon tipus de cèl·lules de la retina, unes cèl·lules nervioses o neurones anomenades *cèl·lules bipolars*, les quals connecten amb un altre tipus de neurones, les *cèl·lules ganglionars*, que constitueixen el tercer graó del processament de la llum i que mitjançant els seus axons transporten la informació visual fora de la retina.

2.5. EL SISTEMA BLAU-VERD-ROIG-GROC

A les cèl·lules ganglionars de la retina, el codi de tres colors canvia al sistema d'oposició de colors de manera semblant a la suggerida per Hering. Així, unes cèl·lules ganglionars s'exciten amb el vermell i s'inhibeixen amb el verd, mentre que la resta s'excita amb el groc i s'inhibeix amb el blau. Aquest comportament de les cèl·lules ganglionars es produeix de forma oposada en el centre que en la perifèria del camp perceptiu que capta cada cèl·lula. Les cèl·lules que responen oposadament al groc-blau, per exemple, si s'exciten amb el groc i s'inhibeixen amb el blau en el centre, en la perifèria es comportarien de forma contrària, és a dir, s'excitarien amb el blau i s'inhibirien amb el groc.

Aquesta manera de codificar el color de la retina explica fàcilment l'existència de moltíssimes tonalitats d'un determinat color. Així, per exemple, el groc pot tenir un to verdós o rogenic i el blau pot ser també verdós o rogenic. En canvi, hi ha determinades tona-

litats que no són possibles, perquè el sistema d'oposicions de contraris no ho permet. No podem aconseguir un verd rogenc, ni tampoc un blau groguenc.

La creença general que els colors bàsics són blau, verd, roig i groc queda plenament justificada pels mecanismes fisiològics de la visió. També són colors bàsics el blanc i el negre, encara que els percebem com a incolors. Hi ha cèl·lules ganglionars que no responen diferencialment a la informació dels tres tipus de cons i es limiten a codificar lluminositats relatives en el centre i la perifèria. Aquestes cèl·lules serveixen de detectors del blanc i el negre.

2.6. ELS SISTEMES MAGNOCEL·LULAR I PARVOCEL·LULAR

Com hem dit, les cèl·lules fotoreceptores influeixen elèctricament sobre les neurones bipolars i aquestes, sobre les ganglionars. Els axons de les cèl·lules ganglionars porten la informació visual a la resta del cervell. La primera estació fora de l'ull són els nuclis geniculats laterals, que formen part d'un conjunt compacte de nombrosos nuclis que constitueixen una massa de cèl·lules nervioses de l'interior del cervell que s'anomena *tàlem*. El *tàlem* rep en primera instància la majoria de les entrades sensorials que arriben al cervell, i també rep la informació visual. Els nuclis geniculats estan formats per sis capes cel·lulars; les dues internes estan formades per neurones de mida més gran que les quatre externes, i per aquesta raó s'anomenen *magnocel·lulars*, mentre que les de neurones més petites són les *parvocel·lulars*. La informació de les cèl·lules ganglionars sensibles al color arriba a les capes parvocel·lulars del nucli geniculat lateral. Des d'aquí aquestes neurones prenen el relleu per portar la informació fins a l'escorça cerebral occipital. L'àrea visual primària, la part de l'escorça cerebral occipital que rep la informació procedent dels nuclis geniculats, està situada al voltant de la cissura calcarina, una cissura horitzontal localitzada en la part posterior medial del lòbul occipital. En aquesta part de l'escorça visual, anomenada també *escorça estriada*, la informació es traspassa a uns conjunts especials de cèl·lules anomenats *blobs*. Els *blobs* estan formats per conjunts de neurones que formen columnes de forma oval, perpendiculars a la superfície cortical, un diàmetre de 150×200 micròmetres i espaiades a intervals de 0,5 mil·límetres.

Llum i color

El sistema magnocel·lular es troba en tots els mamífers, mentre que el sistema parvocel·lular es troba únicament en els primats. Aquests dos sistemes reben informació de diferents tipus de cèl·lules ganglionars, les quals estan connectades a diferents tipus de cèl·lules bipolars i fotoreceptores. Només les cèl·lules del sistema parvocel·lular reben informació sobre la longitud d'ona de la llum a partir dels cons i per això poden analitzar informació relativa al color. Les cèl·lules d'aquest sistema mostren també una alta resolució espacial i una baixa resolució temporal. Són capaces de detectar els detalls molt fins, però la seva resposta és lenta i duradora. Per contra, les neurones del sistema magnocel·lular són cegues al color, no són capaces de detectar detalls fins i responen molt breument als estímuls visuals. Malgrat això, aquestes neurones són capaces de detectar contrastos de llum i foscó molt petits i són especialment sensibles al moviment. Així, la percepció del color i del moviment es troben separats en dos sistemes independents i paral·lels. El sistema que pot captar el color (parvocel·lular) és cec al moviment, mentre que el sistema que pot captar el moviment (magnocel·lular) és cec al color.

Si fem desplaçar un punt verd sobre un fons vermell de la mateixa luminància, perquè no puguin ser distingits pel contrast de llum, no podem percebre la seva trajectòria de manera continua, sinó que sembla que el punt es troba en un lloc distint de l'anterior, però sense sensació de desplaçament. Naturalment aquesta situació no es dona a la natura i per això el sistema de processament en paral·lel resulta immensament eficaç.

Les neurones de l'escorça estriada envien els seus axons a l'escorça preestriada, la regió de l'escorça visual que envolta l'escorça estriada i que manté segregats grups de neurones que responen al color o a altres característiques de la visió.

2.7. LA CONSTÀNCIA DEL COLOR

En l'escorça estriada dels primats, inclòs l'home, els *blobs* envien informació sobre el color a una àrea específica de l'escorça preestriada denominada V4. Les neurones d'aquesta àrea responen també selectivament als colors, però les característiques de les seves respostes són molt més complexes. Podem dir que aquestes neurones responen específicament als colors, però no necessàriament a la

seva longitud d'ona. Aquest fenomen, aparentment contradictori, és el que permet que puguem veure els objectes d'un mateix color independentment de l'escena circumdant. Així l'aparença del color dels objectes roman igual tant si els veiem amb llum artificial, un dia núvol o a ple sol. És més, si il·luminem un objecte d'un determinat color amb una potent font de llum d'un altre color, nosaltres seguirem veient l'objecte del seu color real encara que la longitud d'ona de la llum reflectida per l'objecte sigui una altra. Així, les neurones de V4 no responen a les longituds d'ona com ho fan els fotoreceptors, les cèl·lules bipolars o les ganglionars, sinó que són capaces d'extraure les longituds d'ona de la llum procedent de l'escena en què és troba l'objecte de la que és pròpia d'aquest.

2.8. QUI VEU MÉS COLORS?

La capacitat per veure els colors depèn tal com hem vist en primera instància dels fotopigments dels fotoreceptors de la retina. Els fotoreceptors estan compostos, com hem dit, d'unes proteïnes, les opsines, i d'un aldehyd, el retinal. Les opsines, com totes les proteïnes, estan compostes per una cadena d'aminoàcids. La informació de la seqüència exacta d'aquests, imprescindible perquè les proteïnes siguin funcionals, es troba en l'ADN (àcid desoxiribonucleic) en un segment específic que anomenem *gen*. Perquè una espècie animal tingui la possibilitat de codificar els colors de forma tricromàtica cal que tingui els gens necessaris per codificar les opsines dels cons. En aquest sentit només els primats, entre els mamífers, som capaços de percebre els colors derivats de les tres opsines. La resta de mamífers, incloent-hi els braus, els gossos o els gats, són dicromats, que no és equivalent a no ser capaços de percebre els colors. Posseeixen l'opsina del blau i una segona opsina en l'interval de longitud d'ona entre el verd i el roig, aproximadament amb una absorció mitjana de 555 nanòmetres, la qual cosa els pot permetre veure l'espectre de colors que resulta de la combinació d'aquests dos colors fonamentals. Fora dels mamífers hi ha aus amb notables capacitats perceptives dels colors i també hi ha casos entre els invertebrats: alguns insectes perceben un ampli espectre de colors, alguns fins i tot imperceptibles per als ulls dels primats.

2.9. LA VISIÓ DEL COLOR, UNA CAPACITAT FEMENINA?

Com és sabut, els gens es troben agrupats en els 23 parells de cromosomes, en el cas de l'espècie humana. D'aquest total de 23 parelles, 22 són autosomes i una parella correspon als denominats *cromosomes sexuals* designats amb una X i una Y. Els mascles tenen en el seu codi genètic el parell XY, mentre que les femelles tenen el parell XX. Els gens que codifiquen les opsines del verd i el vermell es troben precisament en el cromosoma X, la qual cosa fa que els defectes de la percepció del color s'heretin lligats a aquest cromosoma sexual. Com és conegut, de cada parell de cromosomes que heretem un correspon a la mare i un altre al pare. En el cas dels mascles el cromosoma Y correspon necessàriament al pare i, per tant, un defecte en la visió del color l'heretarà de la seva mare. En el cas de les dones, teòricament, poden heretar el defecte perceptiu tant del cromosoma matern com patern, però a la pràctica les dones tenen una probabilitat de patir un defecte d'aquests moltíssim menor (0,5 % de les dones per un 8 % dels homes). Això és perquè encara que tinguin el gen d'un cromosoma X defectuós, l'altre cromosoma compensa el defectuós. Perquè una dona patís el defecte caldria que heretés els dos cromosomes X anòmals. Això fa que els defectes de la percepció del color siguin molt més freqüents entre els homes, perquè, en tenir un sol cromosoma X, heretat de la mare, si és defectuós, no en tenen un altre per compensar-lo. Així, la situació més corrent en els defectes perceptius del color és que la mare sigui portadora del gen anòmal, encara que no patirà el trastorn, i que aquest passi al fill, que manifestarà el fenotip defectuós.

En el cromosoma X es troben només els gens que codifiquen les opsines del verd i el vermell, per la qual cosa els defectes que originen produeixen la confusió d'aquests dos colors. L'anomalia perceptiva que porta a la confusió del verd i el vermell es coneix habitualment amb el nom de *daltonisme* i pot estar originada per un defecte en les opsines del verd o del vermell. El nom de *daltonisme* ve del químic i físic anglès John Dalton (1766-1884), que patia aquesta anomalia i en va fer la descripció.

L'opsina del blau és codificada per un gen que es troba en un autosoma, concretament en el cromosoma 7, per això el defecte de la percepció del blau, que és molt més rar, es dona amb la mateixa incidència en homes que en dones. L'opsina dels bastonets, ano-

menada *rodopsina*, és codificada també per un autosoma, el cromosoma 3.

Des d'un punt de vista evolutiu, sembla que les opsines de longitud d'ona curta (blau) i dels bastonets són les més arcaïques, mentre que les opsines del verd i el roig són més modernes, especialment les d'aquest darrer. En aquest sentit és interessant veure les diferències que es donen entre els primats del Vell Món (catarins), entre els quals es troba l'home, i els primats del Nou Món (platirins), que s'han desenvolupat separatament en els darrers trenta-cinc milions d'anys. Els primats catarins, inclòs l'home, tenen el mateix sistema de visió del color basat en la tricromàcia. La similitud entre els aminoàcids de les opsines dels cons i l'opsina dels bastonets és del 40 %, i l'opsina del verd i la del roig són idèntiques en un 97 % de la seqüència dels seus aminoàcids; però, en canvi, l'opsina del blau i les del verd i roig només comparteixen un 40 % de la seva seqüència.

En contrast amb la tricromàcia constant que presenten els catarins, totes les espècies de platirins manifesten una important variabilitat en la seva visió del color. Els pigments dels bastonets i el del blau presenten la mateixa herència autosòmica; però, en canvi, només tenen un únic *locus* en el seu cromosoma X per a tres variants (al·lels) dels gens de les altres opsines, el del verd, el del verd-roig i el del roig. Això fa que tots els mascles siguin dicromàtics, encara que poden presentar tres possibles varietats (blau i verd, blau i verd-roig, blau i roig) i que, en canvi, algunes femelles puguin presentar tricromàcia (blau, verd, roig o blau, verd, verd-roig o blau, verd-roig, roig) amb un gen de longitud mitjana o alta diferent en cada cromosoma X. En una mateixa cèl·lula només s'expressa un únic gen del parell de cromosomes (patern i matern) que hi són presents, mentre que l'altre està inactiu. Aquest fenomen, que es coneix amb el nom de *lyonització*, es produeix a l'atzar, de manera que la meitat de les cèl·lules expressarà un del dos gens, mentre que l'altra meitat n'expressarà l'altra. Per tant, és possible que les femelles portadores de cromosomes X amb al·lels diferents n'expressin un en uns cons i un de diferent en els altres, comportant-se a tots els efectes com a tricromats.

Sembla que evolutivament la percepció del color sobre la base de tres fotopigments distints es més fàcil que es produeixi en les femelles dels primats. Si bé entre els catarins, inclòs l'home, ha aparegut un segon *locus* en el cromosoma X que permet que també els

mascles posseeixin una visió tricromàtica, ens podem preguntar si encara així les femelles no gaudiran d'una capacitat perceptiva més desenvolupada. Existeixen femelles tetracromates? L'existència d'un cert polimorfisme (diverses variants al·lèliques d'un mateix gen) dels gens de les opsines del verd i del roig sembla estar present en els humans, la qual cosa podria produir en les dones una capacitat perceptiva dels colors superior a la dels homes. Encara que probablement moltes de les capacitats perceptives dels colors que exhibeixen les dones poden obeir a raons culturals no podem descartar una base genètica específica per a aquesta superioritat.

2.10. DE L'ULL AL CERVELL

Com hem vist abans, les cèl·lules ganglionars de la retina abandonen l'ull i es dirigeixen cap als nuclis geniculats en el tàlem. Surten de l'ull formant un gruixut paquet de fibres que constitueix el nervi òptic. El lloc de la retina per on emergeix el nervi òptic està impossibilitat de tenir cap cèl·lula fotoreceptora i per aquest motiu en aquest punt, anomenat *punt cec*, no hi tenim visió, som cecs. Estem acostumats (el nostre cervell ho està) a suplir aquesta informació amb la visió circumdant i per això normalment no ens n'adonem. Si volem posar en evidència l'existència del punt cec, simplement hem de dibuixar una creu i un punt, per exemple, en un full de paper amb una separació d'uns deu centímetres. A continuació, tanquem un ull i amb l'altre mirem un dels dos signes que hem dibuixat. Allunyant i acostant el paper, trobarem un punt on el signe que no tenim enfocat, però que tanmateix veiem, desapareix. En aquest moment el signe que no veiem es reflecteix sobre el punt cec de la retina.

Els dos nervis òptics de cada ull es creuen en un punt anomenat *quiasme òptic* abans d'arribar als nuclis geniculats laterals del tàlem. Aquest creuament no és complet; però es fa de tal forma que al costat dret del cervell arriba la informació visual de la meitat esquerra de l'escena que estem contemplant (el que s'anomena *hemicamp visual esquerra*), mentre que a la banda esquerra del cervell arriba l'altra meitat de l'escena, és a dir, la que es troba en l'*hemicamp visual dret*. D'aquesta manera la part esquerra i la part dreta del cervell tenen informació dels dos ulls, però d'un sol hemicamp visual. Com es fa aquest creuament dels nervis òptics perquè succeeixi això? Molt simple. La retina, en el fons del globus ocular, evidentment, no és

plana, sinó que presenta una superfície còncaua. Quan mirem frontalment, les parts de la retina que estan més a prop del nas (hemiretines nasals) capten l'escena del mateix costat que l'ull. L'hemiretina nasal dreta rep imatges de l'hemicamp visual dret i l'hemiretina nasal esquerra, de l'hemicamp visual esquerre. En canvi, l'altra meitat de la retina (hemiretina temporal) es troba situada a la banda més externa de l'ull i a causa de la seva curvatura no enfoca el mateix hemicamp visual, sinó el de l'altre costat. Així, tenim que, en sortir de l'ull, algunes fibres del nervi òptic porten informació de l'hemicamp visual del mateix costat que l'ull i unes de l'altres, de l'altre hemicamp. En el quiasme, les fibres que porten informació de l'hemicamp visual contrari (hemiretina temporal) no es creuen i segueixen el seu camí cap al nucli geniculat extern; en canvi, les fibres que porten informació visual del mateix hemicamp visual que l'ull (hemiretina nasal) es creuen a l'altre costat. D'aquesta manera es reuneix en el mateix costat la informació complementària de les dues hemiretines dels dos ulls que capten un mateix camp visual.

Aquesta divisió de la informació visual es manté de la mateixa manera en el trajecte dels nuclis geniculats fins a l'escorça cerebral occipital. Això fa que l'escena visual de cada hemicamp sigui vista per l'occipital contrari i, per tant, només una meitat del cervell, un hemisferi cerebral, té la informació que procedeix de cada banda de l'escena. L'existència d'una important connexió entre tots dos hemisferis cerebrals, que s'anomena *cos callós*, permet en darrera instància comunicar la informació a l'altre hemisferi cerebral. Com és lògic, si es lesionen les fibres òptiques després del quiasme, el nucli geniculat o la mateixa escorça visual primària, es produirà un defecte visual, una ceguesa, que afectarà les escenes de l'hemicamp visual contrari a la lesió.

2.11. VEURE SENSE VEURE: L'AGNÒSIA VISUAL

El terme *agnòsia* deriva del grec i significa 'absència de coneixement'. Va ser proposat pel pare de la psicoanàlisi, Sigmund Freud, el 1891, per designar l'afectació del reconeixement d'un estímul, tot diferenciant-lo del desconeixement del seu nom o *anòmia* (manca del nom) o de la manca de la seva visió o *ceguesa*.

L'agnòsia és una afectació específica de la capacitat de reconèixer estímuls prèviament apresos que ocorre en absència de trastorns de

la percepció, del llenguatge o de la intel·ligència i que és el resultat d'una lesió cerebral adquirida. L'agnòsia és un malfuncionament del reconeixement que es limita a uns determinats estímuls presentats per un canal sensorial i no pels altres. Així, algú que pateix aquesta alteració, pot no ser capaç, per exemple, de reconèixer visualment que l'objecte percebut és una clau; però, en canvi, sí d'identificar-lo pel tacte, talment com ho faria un cec. La diferència rau en el fet que el pacient que pateix agnòsia visual veu l'objecte, però no el pot identificar. Podem pensar que la seva visió, allò que percep, no aconsegueix suscitar cap altra experiència que l'acosti al coneixement de l'objecte. L'agnòsia, a més d'afectar el reconeixement dels estímuls prèviament apresos, altera la capacitat d'aprendre'n de nous de la modalitat sensorial que hi està implicada. Aquest fet fa que, a més de no poder rescatar la informació de què disposava anteriorment sobre l'objecte a través de la visió, per exemple, tampoc pugui en el futur adquirir-ne de nova per tornar-lo a identificar com a tal.

L'agnòsia pot afectar estímuls aïllats dins d'una categoria o, per contra, pot afectar tota la categoria (uns animals concrets o bé tota mena d'animals, per exemple). La percepció de l'estímul pot alterar-se de forma diferencial, afectant de forma específica els objectes reals o representats, o bé els estàtics o els que estan en moviment. També diferents categories de reconeixement poden deteriorar-se de forma específica per lesions cerebrals concretes. Així, l'afectació pot implicar de forma específica les cares humanes (*prosopagnòsia*), els objectes, els colors, les paraules o els números.

Quan l'agnòsia afecta de forma específica la percepció del color, es denomina *agnòsia cromàtica*, i pot comportar diversos nivells de complexitat segons la localització de la lesió cerebral.

2.12. MECANISMES NEURONALS DEL PROCESSAMENT VISUAL

La presència d'òrgans específics per captar la llum ens informa que els animals que en posseeixen hi veuen. Algunes de les característiques d'aquest òrgans sensorials ens aporten dades sobre la seva capacitat discriminativa de l'espectre lumínic. Però la percepció del món és bastant més que veure-hi, perquè la nostra capacitat de percebre, visual i no visual, està relacionada amb la totalitat de la nostra interacció, amb tot allò que ens envolta. Des de la subsistència

alimentària fins a la superació dels enemics o la conducta reproductiva, o fins i tot el refinament cultural, se sustenten en la capacitat per captar, processar i produir respostes adaptatives als estímuls que arriben fins al nostre cervell a través de sistemes més o menys sofisticats de processar-los.

La percepció visual és la més coneguda a causa de l'enorme volum d'investigació animal bàsica que s'ha produït en els laboratoris dels premis Nobel D. H. Hubel i T. N. Wiesel, investigadors que han treballat essencialment amb gats, i de M. Mishkin i els seus col·laboradors, que han treballat amb mones.

Sintetitzaren, breument, les troballes bàsiques més significatives sobre el sistema visual, que permeten comprendre la simptomatologia humana, quan es produeixen lesions cerebrals focals que ocasionen efectes tan paradoxals com la incapacitat de reconèixer la pròpia dona, mentre que es conserva la capacitat de reconèixer les seves ulleres o arrecades.

Considerem, per exemple, la percepció d'una copa de cava. En l'àmbit dels fotoreceptors, les cèl·lules codifiquen només la presència de llum sobre l'objecte determinat. La copa de cava causarà un patró complex d'activació, que dependrà de la seva posició, orientació, forma, mida i il·luminació. Existeixen altres cèl·lules, en un nivell més alt, que en codificaran la textura, el volum i la curvatura. Finalment, altres neurones tindran al seu càrrec la transformació de la informació que permetrà passar de les característiques concretes de l'objecte que s'està percebent a una abstracció més general, que possibilita identificar l'objecte percebut com una copa de cava, al marge de les seves particularitats d'il·luminació, posició, mida, etc.

En el sistema visual, existeixen poblacions cel·lulars que actuen com a filtres. Per exemple, dintre de les tres classes de cons, la sortida de la informació que processen està en funció de la intensitat de l'estímul i de la longitud d'ona. Les tres classes de cons, com ja hem explicat anteriorment, tenen diferents sensibilitats espectrals, que només se solapen de forma parcial. Un estímul espectral determinat pot causar una única tríada de respostes de cada població de cons i el sistema visual pot extreure diversos centenars de diferents matisos de colors i brillantor. Els cons són influenciats només per dues variables de l'estímul, la intensitat i la longitud d'ona. Per contra, les cèl·lules de l'escorça estriada, en els lòbuls occipitals, són sensibles a molts més tipus d'estímuls, com l'orientació, el color, el contrast, la disparitat, la mida i la freqüència espacial.

Les cèl·lules de la retina i les del nucli geniculat lateral tenen propietats de resposta similars. Representen el primer estadi de transformació dels valors directes d'intensitat codificats pels fotoreceptors a representacions basades en les característiques de l'objecte. Malgrat que la representació del color i de la forma en el nucli geniculat lateral és una mica diferent del que es produeix a la retina, la major transformació ocorre en l'escorça estriada. L'escorça estriada conté aproximadament 250 milions de cèl·lules en comparació a les 1-1,5 milions del nucli geniculat lateral. Les cèl·lules de l'escorça estriada es poden classificar en simples i complexes. Les cèl·lules simples actuen com a detectors de línies i d'eixos d'orientació particular i de localització, les cèl·lules complexes generalitzen la detecció de línies i eixos per a la percepció de l'objecte.

Com hem dit anteriorment, algunes àrees de l'escorça estriada estan especialitzades en la percepció del color, però d'altres ho estan en la percepció de l'orientació i la forma. Existeixen també neurones que responen selectivament a patrons facials. L'especificitat neuronal pot ser molt elevada. Així, per exemple, els registres unicel·lulars en mones han demostrat que una determinada neurona descarrega davant la visió del perfil d'una mona, però no davant l'esquema global d'aquest perfil sense les seves característiques particulars, ni davant la visió de la cara de la mateixa mona de cara, ni davant de parts del mateix perfil.

2.13. COMPONENTS DE LA PERCEPCIÓ VISUAL: VIES SEPARADES PEL COLOR, LA FORMA, EL MOVIMENT I LA PROFUNDITAT

La introspecció ja suggereix que la percepció visual pot ser subdividida en diversos subprocessos. Si es demana a algú que llisti els components de percepció visual, fàcilment referirà la forma, el color, la profunditat, el moviment i la textura. Aquests diferents aspectes de la percepció, o vies per a la visió, poden ser processats en paral·lel. Efectivament, cada ull projecta a una capa magnocel·lular i a una o dues capes parvocel·lulars. Aquests dos conjunts de capes geniculades projecten a dues subdivisions de la capa IVc de l'escorça cerebral i les dues vies estan separades en l'àrea 17 de Brodmann (àrea visual primària) i mantenen la seva segregació en zones més complexes de l'escorça preestriada. Una és l'àrea V4, que, com

ja hem dit, està implicada en la percepció de característiques complexes del color, i l'altra és la zona MT, implicada en la percepció del moviment i la profunditat.

Les observacions anatòmiques i fisiològiques en mones indiquen que el sistema visual del primat consisteix en diverses subdivisions separades i independents que analitzen diferents aspectes de la mateixa imatge retinal. Les cèl·lules en les àrees visuals corticals 1 i 2 (V₁, V₂) i les àrees visuals superiors estan segregades en tres subdivisions interdigitades que difereixen en la seva selectivitat pel color, la profunditat, el moviment i l'orientació.

2.14. ESTUDIS LESIONALS EN HUMANS

L'estudi de les conseqüències de les lesions cerebrals focals en el cervell humà havia documentat, prèviament a l'experimentació animal, la presència de la separació dels sistemes visuals. Així, en neuropsicologia humana és corrent observar la pèrdua de la percepció del color, que contrasta amb la conservació de la percepció de la forma. Els estudis neuropsicològics i neurofisiològics conclouen en l'existència d'un «centre del color» situat en la circumvolució fusiforme en l'home, que és l'homòleg de l'àrea V₄ en la mona macaca. S'ha descrit el cas d'un pacient que tenia lesionada de forma selectiva la via parvocel·lular. El pacient era incapaç de detectar ni un sol color, en canvi, tenia conservada la visió de la profunditat, brillantor, textura, forma, localització i moviment. Respecte a la forma, en les mones, les cèl·lules de V₁ són sensibles als angles i a les línies i, en canvi, les de V₂ ho són a la percepció dels contorns. En l'home, les lesions provocades per intoxicació deguda a la inhalació de monòxid de carboni poden produir importants dèficits en la percepció de les formes. Un pacient, després de quaranta anys de patir una lesió per aquesta causa, segueix presentant els mateixos dèficits. La seva percepció de formes està tan greuement afectada que fins i tot no reconeix figures simples com un hexàgon. No obstant això, pot reconèixer objectes reals fonamentant-se en la informació referent al color i a la mida. Tampoc no té afectat el reconeixement de cares, lletres o paraules i no té alterada la imaginació visual, ni tampoc es desorienta en l'espai.

2.15. SELECTIVITAT NEURONAL I ORGANITZACIÓ COLUMNAR EN ÀREES PRIMÀRIES I ASSOCIATIVES

Les neurones amb selectivitat similar, encara que lleugerament diferent, es reuneixen en columnes verticals perpendiculars a la superfície cortical. Tant la regió occipital (primària) com la temporal (secundària o associativa), estan organitzades en mòduls columnars. Aquesta organització columnar suggereix que una característica de l'objecte no està representada per l'activitat d'una sola cèl·lula, sinó per l'activitat de diverses cèl·lules en un mateix mòdul columnar, en el qual la selectivitat varia cèl·lula a cèl·lula. El conjunt de cèl·lules amb selectivitat solapada, però lleument diferent, treballa per absorbir els canvis en la il·luminació, angle de visió, etc., procedents de la retina.

2.16. SISTEMES VISUOESPACIAL I VISUOPERCEPTIU

El 1982, L. G. Ungerleider i M. Mishkin van proposar un model que postulava l'existència de dos sistemes corticals complexos d'anàlisi visual. Ambdós sistemes o vies s'originen en l'escorça estriada occipital. La via inferior es dirigeix ventralment al lòbul temporal i és essencial per al reconeixement dels objectes. La via superior es dirigeix dorsolateralment al lòbul parietal i és crucial per a la percepció espacial i l'execució visuomotora. Respectivament, s'han denominat *la via del què* (identificació d'objectes i persones) i *la via de l'on* (identificació espacial o posicional).

L'evidència de la separació d'aquests dos sistemes procedeix de la conseqüència de les lesions focals parietals i temporals en mones i les observacions sindròmiques en humans (*agnòsia visual* i *síndrome de Balint*). Les lesions de l'escorça inferior temporal causen dèficits en múltiples tasques de discriminació d'objectes, però no alteren les visuoespacials. Per contra, les lesions parietals posteriors no afecten les tasques de discriminació visual, però ocasionen una execució defectuosa de les que impliquen la posició de l'objecte, és a dir, tasques de tipus visuoespacial. La percepció del color pertany a *la via del què* o *via visuoperceptiva*.

2.17. ACROMATÒPSIA I AGNÒSIA CROMÀTICA

L'*acromatòpsia*, o alteració cortical de la percepció del color, va ser descrita per Verrei el 1888. Les lesions que l'ocasionen s'observen en les circumvolucions lingual i fusiforme en l'escorça prees-triada d'ambdós hemisferis, i és la darrera la regió més crítica. Si les lesions són unilaterals es produeix una hemiacromatòpsia, o pèrdua de la visió del color, en un sol hemicamp visual. Evidentment, si la lesió, a més de la circumvolució fusiforme, implica també la cissura calcarina, on hem dit que hi ha l'àrea visual primària, es produeix una ceguesa de l'hemicamp contralateral que no permet delimitar o comprovar l'acromatòpsia. En l'acromatòpsia es perd la visió del color i el pacient veu els objectes en tons grisos, encara que pot aparellar colors guiat per la seva lluïssor.

El terme *agnòsia cromàtica* es refereix a la incapacitat de denominar i designar colors, encara que el pacient pugui resoldre proves de percepció del color, com el test d'Ishihara, de forma normal. Existeixen dos tipus d'agnòsia cromàtica. Una va associada a l'alèxia pura (un tipus de pèrdua de la capacitat de llegir) i a l'hemianòpsia (pèrdua de la visió d'un hemicamp visual), i és deguda a la desconexió de l'escorça visual dreta dels centres del llenguatge, situats a l'hemisferi esquerre. En aquesta modalitat, el pacient respon bé en tasques verboverbals del tipus «de quin color és un plàtan?» i en tasques visuovisuals consistents a acolorir amb llapis de colors objectes concrets que acostumen a tenir un color propi. L'altra varietat va associada a lesions parietals esquerres i s'acompanya d'afàsia (pèrdua de la capacitat del llenguatge). En aquests casos, els pacients fan malament les tasques de pintar objectes amb el color corresponent i tampoc resolen bé les qüestions verbals sobre el color dels objectes, és a dir, fallen en tasques visuovisuals i verboverbals.

Les àrees visuals de l'escorça occipital s'activen també en resposta a qüestions que requereixen imaginació del color. Per exemple, davant d'una pregunta com aquesta: «quin color verd és més fosc, el de la gespa o el de les fulles de pi?» En general, les lesions que afecten la percepció del color afecten també la capacitat d'imaginar-lo. Aquest fet fa que alguns pacients puguin resoldre normalment tasques que comportin saber de quin color són les coses, però no si per dir el color se l'han d'imaginar. Així, poden dir, per exemple, que la sang és vermella, però no ser capaços de dir de quin color són les cireres.

Al començament diem que el món que ens envolta està ple de colors extraordinàriament variats i que la visió de les coses plenes de color era sinònim d'optimisme i de seguretat. Sembla que l'evolució ha dotat els primats d'un sistema perceptiu del color que efectivament ens ha fet ser més capaços de moure'ns en el nostre ambient, de reconèixer els perills i d'identificar els fruits saborosos. Tot sembla més real quan hi ha llum i podem veure les coses com són, amb el color que la llum, els nostres ulls i el nostre cervell els ha donat.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTÀRIA

- DAMASIO, A. R.; DAMASIO, H. (1983). «Localization of lesions in achromatopsia and prosopagnosia». A: KERTESZ, A. *Localization in Neuropsychology*. New York: Academic Press, p. 417-428.
- HUBEL, D. H. (1988). *Eye, Brain and Vision*. New York: Scientific American Library.
- LIVINGSTONE, M.; HUBEL, D. (1988) «Segregation of form, color, movement, and depth: Anatomy, physiology, and perception». *Science*, 240, p. 740-749.
- TANAKA, K. (1993). «Neuronal mechanisms of object recognition». *Science*, 262, p. 685-688.
- TOVEE, M. J. (1994). «The molecular genetics and evolution of primate colour vision». *Trends Neurosci*, 17, p. 30-37.
- UNGERLEIDER, L. G.; MISHKIN, M. (1989). «Two cortical visual systems». A: BOLLER, F.; GRAFMAN, J. [ed.]. *Handbook of Neuropsychology*. Vol. 2. Amsterdam: Elsevier, p. 549-586.
- ZEKI, S. (1995). *Una visió del cerebro*. Barcelona: Ariel Psicologia.