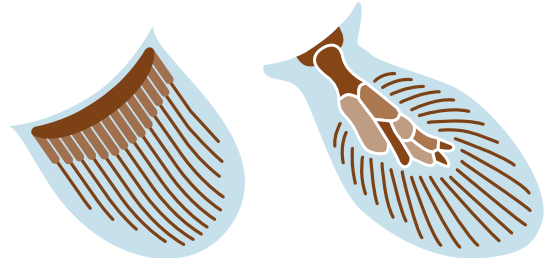
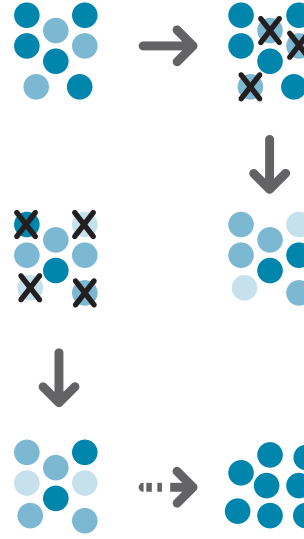
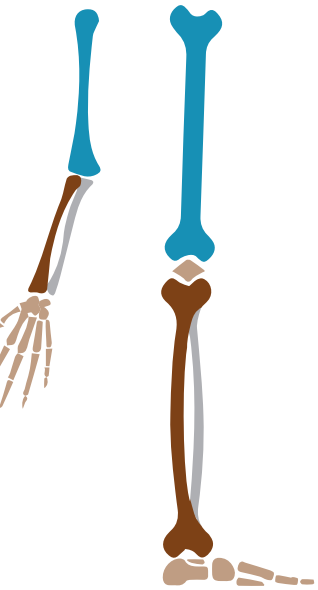




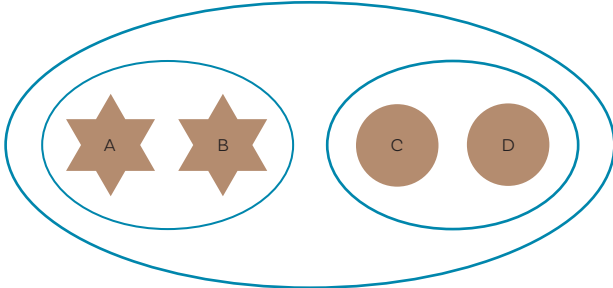
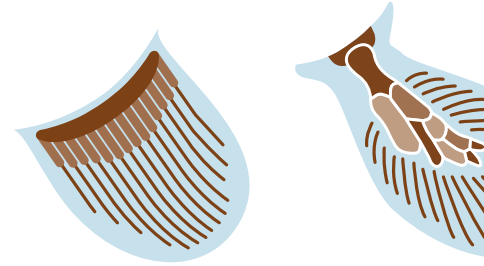
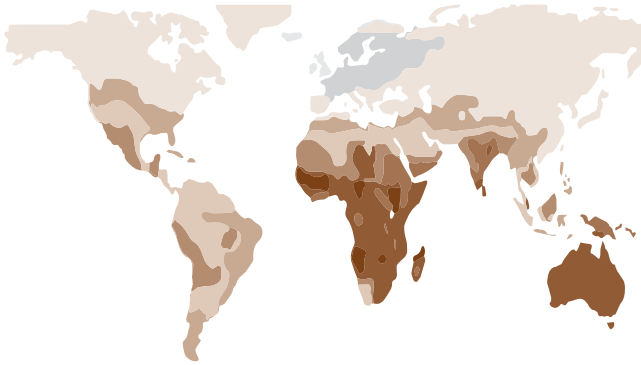
Investiguem l'evolució dels éssers vius

Jordi Martí, Isabel Jiménez, Laura Martín i David Segarra



Investiguem l'evolució dels éssers vius

Jordi Martí, Isabel Jiménez, Laura Martín i David Segarra



oca



cocodril



sargantana



serp



ratpena



Presentació

Petits Talents Científics és un programa d'actualització científica i didàctica que vol fomentar la investigació a l'aula com a enfocament metodològic per a l'aprenentatge de les ciències a infantil i primària.

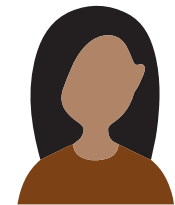
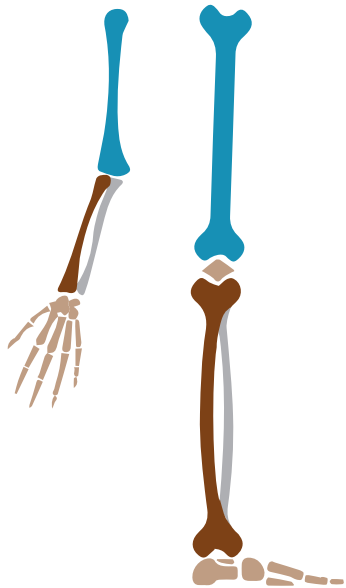
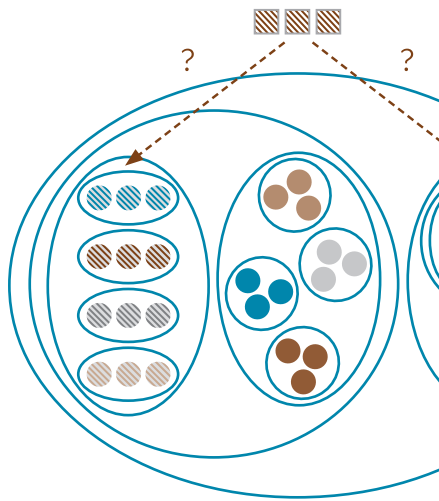
L'objectiu és proporcionar als centres educatius un seguit de recursos i orientacions que permetin als i a les mestres aplicar metodologies més participatives i creatives a l'aula i que facilitin a l'alumnat implicar-se en processos d'investigació autèntics que els ajudin a construir idees científiques clau.

El programa Petits Talents Científics es va iniciar el curs 2013-2014. A partir del curs 2015-2016 els continguts s'han anat focalitzant cada any en una àrea temàtica concreta: en primer lloc van ser la matèria, el cos humà, els fenòmens astronòmics, les relacions entre els éssers vius, els fenòmens geològics i el paisatge, la llum, la calor i el so, les plantes i ara l'evolució dels éssers vius.

En aquest llibre s'apleguen continguts i propostes de treball pràctic per investigar amb els alumnes sobre l'evolució dels éssers vius. El llibre s'ha organitzat al voltant de tres tipus diferents de fenòmens als quals la teoria de l'evolució dona resposta: l'adaptació dels organismes al medi, les relacions filogenètiques entre els grans grups d'organismes vius i l'aparició de grans novetats evolutives. En els apartats dedicats a cadascun d'aquests tres àmbits, els mestres i les mestres hi trobaran els coneixements científics bàsics necessaris per introduir aquests temes a l'alumnat de primària, les idees intuïtives que els infants solen expressar sobre cadascun d'aquests temes, i una seqüència d'activitats per investigar-los a l'aula, acompanyada de les orientacions didàctiques que han de permetre de treure'n el màxim profit pedagògic.

Petits Talents Científics està organitzat conjuntament per l'Institut de Cultura de l'Ajuntament de Barcelona, la Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació (FCRI) i Fundació "la Caixa".

Esperem que aquest material sigui d'utilitat per a la comunitat educativa.



Investigar a l'aula per ajudar a adquirir cultura científica

El nou currículum, que actualment s'està implementant a les escoles d'educació primària a Catalunya indica, en relació a l'àrea de Coneixement del medi natural, social i cultural, que «la relació dels diferents sabers i destreses d'aquesta àrea afavoreixen el desenvolupament d'una cultura científica basada en la indagació i el pensament crític». A més, identifica la cultura científica com un dels blocs de sabers de l'àrea, descriuint-lo de la manera següent: «El bloc Cultura Científica pretén que l'alumnat desenvolupi destreses i estratègies pròpies del pensament científic, tot fent recerques sobre una àmplia varietat de temes. D'aquesta manera, s'inicia en els principis bàsics del mètode científic que propicia la indagació i el descobriment del món que els envolta» (Departament d'Educació i Formació Professional, 2022).

Així doncs, el nou currículum s'alinea clarament amb una tendència general a la majoria de països, i que ja ve d'antic, que planteja que una de les finalitats del sistema educatiu per a l'educació bàsica és contribuir a l'alfabetització científica de la ciutadania. Aquest plantejament el podríem resumir amb el lema: *aprendre a investigar i investigar per comprendre* (Martí, 2012).

Aprendre a investigar perquè tot i que els nens i les nenes de 6 a 12 anys són, per naturalesa, bons exploradors de la realitat i tenen les capacitats cognitives necessàries per interpretar i donar sentit a la multitud de fenòmens naturals que es produeixen al seu entorn, no ho fan espontàniament a la manera de la ciència. Ho fan posant en marxa les estratègies de què disposem tots els humans per interpretar la realitat i que condueixen al que els psicòlegs anomenen coneixement intuïtiu (Pozo, 2014). Malgrat la seva utilitat en la vida quotidiana, el coneixement intuïtiu té moltes limitacions, igual com en té la nostra capacitat perceptiva. És per

això que la ciència, sovint, ens ha obligat a canviar la nostra visió del món: només cal pensar en l'heliocentrisme, la teoria de l'evolució o la tectònica de plaques. La ciència, doncs, ha esdevingut un patrimoni cultural de primer ordre, al qual han de tenir accés les noves generacions. En resum, els nens i les nenes són molt bons explorant el món, però cal ensenyar-los de manera explícita a investigar-lo a la manera de la ciència, per tal que puguin aprendre com aquesta genera nous coneixements.

La segona part del lema, **investigar per comprendre**, fa referència al fet que el producte de la investigació científica és el coneixement. Per tant, aprendre ciències vol dir aprendre noves maneres de mirar la realitat i aprendre noves maneres de construir coneixements, perquè ambdues coses ens ajudin a donar sentit als fenòmens naturals d'una manera diferent a com quotidianament els comprem des de les nostres teories intuïtives. A l'aula, això suposa partir de les idees intuïtives inicials dels infants sobre els fenòmens naturals i usar-les per construir coneixements nous, en forma de noves idees, noves formes de raonar i nous models teòrics que els ajudin a explicar la realitat d'una forma cada cop més sofisticada i propera a com ho fa la ciència.

Adquirir aquests nous coneixements no es pot fer des d'un model simple de transmissió-recepció (via mestre, llibres, internet o experts), ni tampoc des d'un model de descobriment lliure. Cal treballar *des de, amb i sobre* les idees de l'alumnat: és a dir, sobre els coneixements i experiències que els infants aporten a l'aula i sobre com els usen per interpretar la realitat. Això suposa dissenyar les intervencions a l'aula pensant en la necessitat d'afavorir l'evolució conceptual de les idees de l'alumnat, i no pas la simple substitució de les seves idees intuïtives per les idees "correctes" de la ciència.

La recerca en didàctica de les ciències d'aquests darrers trenta anys ha posat de manifest que assolir les dues facetes del lema anterior és molt difícil sense implicar directament els infants en les pràctiques i les formes de raonar pròpies de la ciència. Actualment, més que no pas de mètode científic, es parla de pràctiques científiques, perquè les formes d'investigar i adquirir coneixement sobre la realitat de la ciència són molt diverses i no segueixen un únic mètode, tot i compartir un mateix conjunt de pràctiques. Per tant, cal fer ciència a l'aula, una ciència que, com afirma Izquierdo (2005): «no pot ser com la ciència dels científics, però ha de ser ciència».

Actualment, a les aules d'educació primària conviuen molts enfocaments didàctics diferents per abordar els continguts científics que corresponen a l'àrea de Coneixement del medi natural: espais de ciència, ambients, caixes d'aprenentatge, projectes, models tradicionals, etc. Si bé aquesta diversitat no és negativa per si mateixa, sí que és important que, més aviat que tard, els mestres i els claudres ens plantejem alguns interrogants: realment tot el que fem a l'aula és ciència?, la ciència que es fa a l'aula la fan sobretot els infants amb la guia indispensable dels i de les mestres?, i, sobretot, la ciència que fem ajuda realment a construir noves idees clau que puguin competir amb les idees intuïtives que tots els nens i nenes ja tenien? Si, en analitzar els enfocaments metodològics de la nostra escola, la resposta a alguna d'aquestes preguntes és no, aleshores caldrà revisar l'enfocament que s'estigui utilitzant.

En el marc del programa de formació de mestres de Petits Talents Científics, es proposa un model de ciència escolar basat en la idea d'*itineraris d'investigació*. Els itineraris d'investigació els entenem com a recorreguts que van des d'un fenomen natural inicial sobre el qual

ens interroguem fins a l'explicació final del fenomen. Així doncs, els itineraris d'investigació s'alineen clarament amb un dels tipus de situacions d'aprenentatge que apareixen al nou currículum: l'explicació de fenòmens naturals de l'entorn a través de la investigació científica. Es pot trobar més informació sobre els itineraris d'investigació, així com exemples d'itineraris amb les seves orientacions didàctiques al blog del projecte Fem Ciència (mon.uvic.cat/fem-ciencia).

Les propostes d'activitats que trobareu en aquest llibre són una mostra de les activitats que es poden incloure en un itinerari d'investigació, tot i que, per la limitació d'espai d'una publicació com aquesta, no sempre representen un itinerari d'investigació complet.

El llibre s'estructura en dos apartats. En el primer, es justifica la importància d'investigar a les aules d'educació primària sobre l'evolució dels éssers vius, i s'identifiquen alguns dels reptes i dificultats d'aprenentatge que haurem d'afrontar. En el segon, es presenten dotze activitats, organitzades en tres problemes d'investigació, relacionades amb algunes de les activitats que van ser presentades i portades a terme al llarg del curs 2023-2024. El primer conjunt d'activitats fa referència a com investigar sobre l'adaptació dels organismes al medi, prenent com a exemple la pigmentació de la pell humana. El segon tracta de com investigar sobre les relacions filogenètiques entre els grans grups d'organismes vius, prenent com a exemple el cas dels animals. El tercer se centra a investigar sobre com han aparegut algunes novetats morfològiques al llarg de la història evolutiva dels animals, prenent com a exemple el cas de l'aparició de les quatre extremitats pròpies dels tetràpodes -és a dir, el conjunt d'animals format per amfibis, rèptils, aus i mamífers- a partir de les aletes d'un grup de peixos anomenats peixos lobulats.

Cadascun d'aquests tres blocs d'activitats s'ha organitzat de la mateixa manera. En primer lloc s'introdueix la informació científica necessària perquè el mestre o la mestra adquireixin més confiança o amplii el seu coneixement sobre els continguts científics proposats. En segon lloc, es descriuen les idees i les formes de raonament més habituals entre els infants quan estan aprenent en aquell àmbit de problemes. En tercer lloc, es presenten les idees científiques clau que, des del punt de vista dels autors, cal treballar amb l'alumnat. Finalment, es descriuen detalladament quatre activitats dirigides a infants de cicle mitjà o superior. La descripció de cada activitat inclou els materials necessaris per portar-la a terme, la identificació de les idees clau que s'hi treballen i l'exposició d'un conjunt d'orientacions per ajudar els i les mestres a gestionar les idees i raonaments de l'alumnat durant l'activitat a l'aula.

Investigar sobre l'evolució dels éssers vius

Per què aprendre sobre evolució a primària?

Hi ha quatre raons fonamentals que justifiquen la importància d'aprendre sobre l'evolució dels éssers vius a l'escolaritat obligatòria. En primer lloc, perquè és la teoria científica amb més impacte cultural i la que més ha transformat la manera com els humans ens concebem a nosaltres mateixos. Darwin afirmava: «Hi ha grandesa en aquesta concepció que la vida, amb els seus poders diversos, fou insuflada originàriament en unes poques formes de vida o en una sola; i que, mentre aquest planeta ha anat girant d'acord amb la llei fixa de la gravetat, hi evolucionaren i hi evolucionen, a partir d'un començament tan simple, infinitat de formes de vida de les més belles i meravelloses» (Darwin, 1859/2009, p. 464).

En segon lloc, perquè és l'eix que dona sentit a tot el coneixement biològic. Tal com va assenyalar el biòleg Theodosius Dobzhansky: «en biologia, res no té sentit si no és a la llum de l'evolució» (1973). En la mateixa línia, el també biòleg Sean B. Carroll afirmava: «la biologia sense evolució és com la física sense gravetat. Igual com no es pot explicar l'estructura de l'Univers, les òrbites dels planetes i la lluna, o les mareas a partir de simples mesures, no es pot explicar la biologia humana o la biodiversitat d'organismes que habiten la Terra a través d'un compendi de milers de petits fets. Tots els cursos de formació general [en biologia] han de tenir l'evolució com el seu eix central» (Carroll, 2011, p. 294). Així doncs, l'evolució no hauria de ser un tema més, sinó el fil conductor de la ciència escolar, una idea que el currículum actual, tant a primària com a l'ESO, encara no reflecteix prou.

En tercer lloc, perquè ens ajuda a formar una ciutadania crítica i responsable. Comprendre mecanismes com ara la mutació i la selecció natural permet entendre per què cal desenvolupar noves vacunes per a malal-

ties víriques, o per què cada vegada hi ha més bacteris resistents a certs antibiòtics o insectes resistents a determinats insecticides. Davant l'augment del negacionisme científic, aquest coneixement és essencial.

Finalment, perquè les dificultats d'aprenentatge associades a la teoria de l'evolució es poden superar millor si s'introdueix des de primària. Com qualsevol altra teoria científica, la teoria de l'evolució és complexa i sovint entra en conflicte amb les nostres intuïcions més comunes. Per això, introduir-la com a contingut clau des de les primeres etapes de l'escolaritat i treballar-la de manera continuada contribuiria a superar aquestes dificultats molt més que no pas la seva inclusió tardana i esporàdica, com passa ara, quan només s'aborda (si és que s'aborda) al final de l'ESO.

Les dificultats per comprendre la teoria de l'evolució tenen dos grans orígens. El primer prové d'una herència cultural que ha arrelat idees com ara associar evolució amb progrés, recuperant el concepte d'escala natural que ordena els organismes vius dels “inferiors” als “superiors”, amb els humans al capdamunt. També hi trobem la idea que l'evolució es basa en “la llei del més fort”, difosa pel darwinisme social, una corrent de pensament de finals del segle XIX i principis del segle XX, avui completament desacreditada des del punt de vista científic, però que ha deixat un pòsit cultural que encara perviu i dificulta una comprensió adequada de l'evolució.

El segon origen té a veure amb dos biaixos cognitius: el raonament teleològic i l'essencialisme (Kampourakis, 2014), que veurem més endavant amb més detall.

En resum, tot el que hem exposat fins ara mostra la gran importància social, filosòfica i cultural de la teoria de l'evolució, més enllà del seu valor estrictament cien-

tífic. Els recursos que presentem en aquest llibre volen ajudar el professorat a introduir els infants en algunes de les idees fonamentals de la teoria de l'evolució biològica. Com passa en molts altres àmbits, l'aprenentatge sobre l'evolució implica un procés de canvi conceptual: cal guiar les idees intuïtives dels nens i les nenes perquè evolucionin cap a explicacions més properes al pensament científic. Per això, com més aviat comencem a treballar aquests conceptes, millor.

Què aprendre sobre evolució?

La biologia evolutiva és una disciplina molt àmplia tant pels fenòmens que vol explicar com per les metodologies que usa per investigar-los. A més, integra coneixements de camps diversos: paleontologia, classificació biològica, genètica, anatomia comparada, biologia del desenvolupament, zoologia, botànica, ecologia, entre d'altres.

El seu objectiu general és poder donar resposta a preguntes com ara: com és que hi ha tants organismes vius diferents?, com s'ha originat aquesta diversitat?, quines relacions hi ha entre els diversos grups d'organismes vius?, com és que els organismes estan tan ben adaptats a l'entorn on viuen? Al llarg de la història, totes les cultures han elaborat respostes a aquestes qüestions a través de mites, creences religioses o bé relats de ficció. Un exemple interessant són els contes breus de Rudyard Kipling recollits a *Precisament així* (1998), i que poden servir com a recurs didàctic per contrastar amb els nens i les nenes com la ficció i la ciència poden abordar uns mateixos fets de manera diferent.

Per organitzar aquest camp tan ampli, filòsofs i historiadors de la biologia, distingeixen entre microevolució i macroevolució. Tot i ser complementaris, es diferencien pels fenòmens que estudien, l'escala temporal, els

conceptes i mètodes d'investigació que utilitzen, i els mecanismes i models explicatius que proposen. Des d'un punt de vista educatiu, és important tenir-ho present: comprendre l'evolució vol dir comprendre alguns fets i conceptes clau tan de microevolució com de macroevolució. Per això, les propostes d'aquest llibre s'estructuren al voltant de problemàtiques vinculades a cadascun d'aquests dos àmbits.

La **microevolució** estudia com alguns individus d'una població poden adaptar-se als canvis de l'entorn gràcies a: (i) la variabilitat i heretabilitat de caràcters morfològics, fisiològics o de comportament " presents en individus diferents d'una mateixa població, i (ii) al procés de selecció natural sobre aquesta variabilitat, que fa que les característiques col·lectives canviïn amb el temps per ajustar-se a les condicions de l'entorn. L'objectiu central d'aquest àmbit és entendre les adaptacions al medi. En aquest llibre, aquest vessant s'aborda a través de l'exemple de la pigmentació de la pell.

La **macroevolució** estudia l'origen i conservació de diferents patrons corporals (*body plans*), les grans transicions evolutives -com ara l'origen dels tetràpodes a partir d'un grup de peixos-, els patrons d'extincions i radiacions evolutives -com ara l'explosió de grups d'animals al Cambrià, o l'extinció dels dinosaures a final del Cretaci-. També analitza l'origen dels principals grups d'organismes vius i les relacions evolutives entre ells, que es representen amb arbres evolutius, també anomenats arbres filogenètics o cladogrames. En aquest llibre, aquest àmbit s'aborda en els apartats dedicats a la classificació biològica dels animals i a l'aparició de les extremitats dels tetràpodes.

Una altra manera d'analitzar els problemes de la biologia evolutiva és distingir entre la recerca descriptiva,

orientada a identificar patrons, i la recerca explicativa, que busca els mecanismes causals que expliquen els fenòmens evolutius. Així, no és el mateix identificar adaptacions al medi que explicar per què es produeixen. Les propostes d'aquest llibre combinen ambdues aproximacions, especialment en l'apartat dedicat a la pigmentació a la pell.

Com qualsevol disciplina científica, la biologia evolutiva té com a objectiu explicar els fenòmens del món que ens envolta, i el concepte de selecció natural n'és un element clau que l'alumnat ha de comprendre bé. A diferència d'altres camps de la ciència, les explicacions científiques en l'àmbit de la biologia evolutiva sovint s'assemblen més a una narrativa històrica que no pas a una explicació purament mecànica, ja que fan referència a esdeveniments únics produïts a llarg de períodes immensos de temps.

A més, molts fenòmens evolutius sovint no són observables directament, sobretot quan impliquen organismes complexos i escales temporals molt àmplies. Per això, tant en la ciència experta com en la ciència escolar, cal usar models i simulacions que simplifiquin la realitat i permetin analitzar-la. La seva complexitat fa que la comprensió profunda exigeixi integrar dades i conceptes de disciplines molts diverses. En aquest sentit, el personal científic consulta constantment dades d'altres investigacions (a llibres, articles o bases de dades d'internet) perquè sap que aquesta informació li permet construir explicacions més sòlides i coherents.

En aquest llibre, l'ús de models i simulacions, així com la consulta de dades externes i la construcció d'explicacions basades en narratives històriques, es combinen amb activitats d'observació o d'experimentació més

directa, sempre que ha estat possible recollir dades de primera mà. A més, totes les propostes se centren en els animals, ja que són els organismes amb què els infants tenen més familiaritat i un coneixement previ.

Què fa difícil l'aprenentatge sobre l'evolució dels organismes?

En aquest apartat descriurem breument la importància dels biaixos culturals i cognitius que la recerca en didàctica de les ciències ha identificat i que expliquen per què tant infants com adults tenen dificultats per comprendre la teoria de l'evolució.

Un dels trets fonamentals dels processos evolutius és que es produeixen a l'atzar. L'evolució no té cap direcció ni propòsit, encara que sovint ens ho pugui semblar. Ens resulten fascinants i properes a la "perfecció" espècies com els humans, els tigres de bengala o les àligues daurades, però totes elles són tan producte de l'evolució com ho són les paparres, els cucs intestinals, les sangoñeres i molts altres paràsits. Tot plegat és resultat de la combinació de l'atzar i les circumstàncies.

Malgrat això, és habitual interpretar l'evolució biològica com si perseguís una finalitat: assolir formes cada vegada més perfectes. El mateix mot *evolució*, al diccionari, és sinònim de progrés, avenç o superació, però des del punt de vista científic no és correcte. A més, aquest progrés s'acostuma a imaginar de manera lineal i unidireccional, una idea molt reforçada per representacions gràfiques populars com ara el conegut esquema del mico que es transforma en humà a través de figures intermèdies.

Cal tenir això molt present, ja que els infants assimilen aquest biaix cultural de manera conscient o inconsci-

ent, i és responsabilitat nostra evitar transmetre'l, encara que sigui de forma involuntària.

Més enllà d'aquest biaix cultural, també cal fer esment a dos biaixos cognitius clarament vinculats a la comprensió de l'evolució: el raonament teleològic intencional i l'essencialisme.

El raonament teleològic és la tendència a pensar que els organismes són fets d'una certa manera per acomplir un objectiu o una necessitat, i que les seves característiques són fruit d'una voluntat o intenció expressa per assolir aquest objectiu. Segons aquesta idea els organismes evolucionarien com a resposta a una necessitat. Per exemple, molts infants expliquen que «els búfals tenen banyes perquè s'han de defensar dels lleons», com si els búfals s'haguessin empescat fer alguna cosa per aconseguir-les. Aquesta idea, pròpia del coneixement intuïtiu, apareix de manera espontània, però és contradictòria amb l'explicació científica de la presència de banyes en els búfals. Científicament, els búfals no fan res per obtenir banyes: simplement han heretat una informació genètica a l'atzar que els permet desenvolupar-les. Com que aquestes banyes els resulten útils per defensar-se dels predadors o per lluitar amb altres búfals, els individus que les tenen sobreviuen més temps i es reproduïxen amb més èxit, de manera que la proporció de búfals amb banyes augmenta a cada generació fins a esdevenir un tret dominant.

Així doncs si les banyes, o qualsevol altre caràcter, són favorables per a la supervivència, es poden estendre al conjunt de la població al llarg de generacions. En canvi, els caràcters desfavorables tendeixen a desaparèixer. Afavorir o eliminar un caràcter és el resultat de l'acció de la selecció natural, i no pas de la voluntat dels organismes. Els organismes sobreviuen no per-

què ho vulguin expressament, sinó perquè la selecció natural els ha dotat d'unes característiques útils per viure en un determinat medi. I com que aquestes característiques són variables, a causa de mutacions genètiques, els organismes poden adaptar-se a condicions ambientals diverses. Aquest joc de variació i selecció és el nucli bàsic de l'evolució, i és el que ha permès originar la immensa diversitat d'organismes vius que coneixem.

El segon biaix és l'essencialisme. Comprendre que els individus d'una mateixa espècie comparteixen unes característiques generals però que alhora són diferents en les manifestacions manera com les manifesten, és fonamental per entendre l'evolució. Sense variació no hi ha evolució possible. La variabilitat entre individus és el que permet que una espècie evolucioni i s'adapti a unes condicions ambientals canviants. Malgrat això, aquesta apreciació de la variabilitat interindividual és difícil a causa de l'existència d'un segon biaix cognitiu, conegut com a essencialisme. Aquest fa que infants, i també adults, tendeixin a fixar-se més en el que ens fa iguals que en el que ens diferencia. Això pot ser útil per crear categories generals —per exemple, diem “taula” malgrat n'hi hagi de moltes menes, o “ximpanzé” tot i que cada individu sigui diferent—, però és un obstacle per comprendre la selecció natural, ja que aquesta es basa precisament en la identificació de les variacions concretes entre individus d'una mateixa categoria.

Hi ha nombrosos estudis que mostren la presència d'aquests biaixos en els infants i que els vinculen a la dificultat de comprendre el mecanisme de selecció natural. També sabem que els adults, inclosos els i les docents, no n'estan exempts. Per tant, cal conèixer aquests biaixos i tenir-los molt en compte, especialment en la manera com ens expressem ja que el rao-

nament teleològic i intencional impregna fortament el llenguatge quotidià.

En definitiva, tot allò que plantejem a l'aula al voltant de la teoria de l'evolució hauria de servir per afavorir un procés de canvi conceptual: passar d'explicar l'evolució com un procés de canvi dels individus d'una població -o d'una espècie- com a resposta a una necessitat imposada pel medi on viuen, a entendre-la com un procés guiat per la interacció entre la variabilitat interindividual (produïda a l'atzar i heretada dels progenitors) i la selecció natural derivada de les condicions ambientals específiques d'un lloc.

A aquests biaixos s'hi ha d'afegir la complexitat inherent a l'estudi de l'evolució, que implica moure's amb certa facilitat entre els diferents nivells d'organització que conformen els individus: dels gens i les molècules, passant per la morfologia i el comportament, fins a les interaccions entre espècies o amb el medi. A l'educació primària s'inicien aquests aprenentatges, i per això cal actuar amb paciència i cautela, però sense simplificar en excés. Cal integrar coneixements de diferents àmbits per entendre bé l'evolució, i fer-ho des de l'inici, afrontant i resolent didàcticament allò que és tan complex científicament.

Quan el problema és comprendre la diversitat dels colors de la pell de les persones

Una de les característiques morfològiques externes que ens diferencia als humans de la resta de primats és que la nostra pell és molt nua, és a dir, està recoberta de molt poc pèl. No sabem des de quan existeix aquesta nuesa, perquè la pell no fossilitza fàcilment, però sembla que podria ser una característica compartida amb altres espècies del gènere *Homo* com ara els *Homo erectus*, o els neandertals (*Homo neanderthalensis*). En canvi, no hi seria present en els australopitecins, ni tampoc entre els grans simis actuals o altres primats.

Aquesta manca d'un pelatge abundant fa que sigui la pell la que actuï directament de barrera davant les amenaces externes, ja siguin d'origen físic (radiació solar), mecànic (abradió), químic (contacte amb substàncies diverses) o biològic (contacte amb organismes potencialment patògens). Molts estudiosos de l'evolució humana consideren que la pèrdua de pèl va ser una adaptació a la vida en zones obertes, amb climes àrids i calorosos (Pérez Iglesias, 2023). La pell humana té moltes glàndules sudorípares que, a través de la suor, permeten evitar el sobreescalfament corporal durant una exposició prolongada al sol. A diferència d'altres mamífers, la termoregulació a través de la suor és molt eficient i permet mantenir un cert grau d'activitat física fins i tot en les hores més caloroses. Potser això és el que va permetre als nostres avantpassats d'evitar competir amb altres grans depredadors -lleons, hienes, lleopards, etc.-, que mai no cacen a les hores centrals del dia per evitar un excés d'escalfament.

Aquesta exposició tan intensa de la pell, la converteix en un òrgan complex i essencial per a la supervivència humana, tot i que sovint li prestem poca atenció. En la nostra espècie, la pell mostra una gran varietat de colors, des de tons molt foscos fins a tons molt clars. Malgrat que aquesta diversitat de colors ha estat utilit-

zada, i encara ho és, per segregar els humans en grups racials, avui sabem que les diferències en el color de la pell són una meravellosa adaptació dels humans seleccionada al llarg de milers d'anys per respondre a condicions ambientals diverses.

Més concretament, podem parlar de dues adaptacions segons el to de pell (Jablonski, 2012). D'una banda, els tons foscos de pell són propis de poblacions de zones tropicals, situades entre el tròpic de Càncer i el tròpic de Capricorn. La pigmentació fosca protegeix la pell de l'excés de radiació solar ultraviolada (radiació UV), que pot provocar càncer de pell i també destruir una molècula anomenada folat, essencial en el desenvolupament normal d'embrions i fetus humans, i en la producció d'espermatozous. El dèficit de folat redueix l'èxit reproductiu, de manera que si una pigmentació fosca de la pell n'evita la destrucció, la selecció natural afavoreix la presència i manteniment d'aquest caràcter en les poblacions que viuen en totes aquelles zones on la radiació UV és molt alta durant tot l'any.

D'altra banda, els tons de pell més clars són una adaptació de les poblacions que viuen a latituds altes -per sobre dels dos tròpics, tant al nord com al sud-, on arriba menys radiació UV i de manera molt variable al llarg de l'any. El nostre cos obté la major part de la vitamina D a partir de la pell gràcies a aquesta radiació. Aquesta vitamina és imprescindible per a un creixement esquelètic correcte, ja que afavoreix l'absorció del calci, entre moltes altres funcions. Per tant, en latituds altes, la pell clara facilita una síntesi suficient de vitamina D. En canvi, els individus de pell fosca que viuen fora de les zones tropicals poden patir-ne dèficit.

La recerca científica confirma que les diferències en la pigmentació de la pell tenen funcions adaptatives, i

que no té cap mena de sentit usar aquest caràcter per establir races, com es feia antigament. El concepte de raça és avui àmpliament reconegut com un constructe social i no pas una realitat biològica (Lalueza-Fox, 2001).

Com es va originar aquesta paleta de colors de la pell tan bella i variada? Els científics que investiguen sobre aquests aspectes estan d'acord a relacionar l'origen de la diversitat de colors de la pell en la nostra espècie (*Homo sapiens*), amb la progressiva ocupació de nous territoris després d'una de les sortides dels humans d'Àfrica, fa entre 70.000 i 60.000 anys (1000 anys = Ka). Les dades arqueològiques, paleoantropològiques, genòmiques i lingüístiques han permès conèixer aquest procés d'expansió geogràfica cada vegada amb més detall.

Els primers humans que van sortir d'Àfrica vivien a la zona tropical i tenien la pell fosca. Es van desplaçar cap al Pròxim orient i cap al sud de la península d'Aràbia, a través de l'estret de Bab el-Màndeb. Algunes poblacions es van instal·lar aquí i d'altres van continuar cap a l'est, pel litoral de l'oceà Índic fins al sud-est asiàtic i Austràlia, fa entre 40 Ka i 50 Ka. Aquestes poblacions probablement van mantenir la pell fosca, perquè tot el recorregut se situava en zones amb alts nivells de radiació UV.

Una part dels pobladors del Pròxim Orient van avançar cap a l'oest i van arribar a Europa a través d'Anatòlia i els Balcans, o bé travessant la serralada del Caucas, i entrant per les estepes de l'oest de Rússia i Ucraïna, fins a arribar a la península Ibèrica i a les illes Britàniques, fa entre 40 Ka i 30 Ka anys, on es van trobar i creuar amb neandertals, habitants autòctons d'aquests territoris. Igualment, des del Pròxim Orient, es van pro-

duir migracions cap a l'Àsia central i oriental, on segurament es van trobar i creuar amb els denisovans (Rosas, 2022).

Els estudis genètics mostren que en les poblacions que van migrar cap a l'oest (Europa) i cap a l'est (Àsia central i oriental) es van produir mutacions genètiques independents que afectaven gens implicats en la fabricació de melanines, el pigment principal responsable dels tons foscos de pell (Rocha, 2020). Qualsevol canvi en aquests gens pot reduir la producció de melanina i generar una pell més clara. Aquestes variants genètiques de les poblacions, que van migrar cap a Europa o cap a l'Àsia central i oriental, van ser afavorides per la selecció natural en les zones de baixa radiació UV i encara ho són avui. No passa el mateix en les poblacions que viuen al tròpic, on és més adaptatiu mantenir la pell fosca, tal com ja s'ha explicat.

Amèrica va ser l'últim continent a ser ocupat. Sembla ser que les primeres poblacions hi van arribar fa entre uns 20 Ka i uns 15 Ka, procedents del nord-est d'Àsia. Després d'instal·lar-se a la regió de Beringia (entre Alaska i Rússia), quan en aquell moment el nivell del mar era més baix, van començar a desplaçar-se cap al sud fa uns 16 Ka. A mesura que es desplaçaven cap al sud, en poblacions que molt probablement tenien la pell clara per la seva procedència inicial, van tornar a ser adaptatives les variants genètiques que contribuïen a una major producció de melanina i, per tant, a l'adquisició d'un to de pell més fosc.

La xarxa és plena de mapes que mostren les migracions d'*Homo sapiens* des d'Àfrica. Pot ser útil usar els termes "*out of Africa map – Homo sapiens*", per a la cerca i pot ser un bon recurs per a les activitats a l'aula que es descriuen en aquest apartat.

En resum, a mesura que les poblacions humanes de pell fosca van expandir-se per nous territoris, es van anar adaptant a hàbitats molt diferents: deserts molt càlids i secs; zones extremadament fredes de l'Àrtic; estepes i praderies, boscos; territoris situats a nivell del mar, altes muntanyes de l'Himàlaia o els Andes, illes remotes o interiors continentals. Aquesta capacitat adaptativa ha tingut components biològics (pigmentació de la pell, tolerància a concentracions baixes d'oxigen a les zones de més altitud, resistència a nous patògens i a les malalties que provoquen, etc.), i cultural (dieta, estratègies de cacera, fabricació d'utensilis, roba i refugis, etc.). La diversitat de colors de la pell és un d'aquestes adaptacions, probablement la més visible, però només una més entre moltes adaptacions que han permès la supervivència humana a tot el planeta.

Les adaptacions biològiques, a diferència de les culturals, no són buscades de manera conscient. Són el resultat de mutacions genètiques aleatòries que proporcionen beneficis de supervivència i reproducció i que, amb el temps, esdevenen majoritàries. Aquest és el mecanisme d'adaptació per selecció natural que Darwin va plantejar fa més de 150 anys, i encara plenament vigent avui.

Les idees dels nens i nenes sobre l'adaptació i la selecció natural

S'han fet molts estudis sobre la comprensió de l'alumnat de diferents edats en relació al concepte d'adaptació i, sobretot, sobre el mecanisme de selecció natural (Kampourakis, 2014). Tots els estudis coincideixen a assenyalar que no es tracta de conceptes fàcils de comprendre, a causa de diversos biaixos cognitius propis del nostre coneixement intuïtiu, que es manifesten especialment entre els infants: l'essencialisme, el raona-

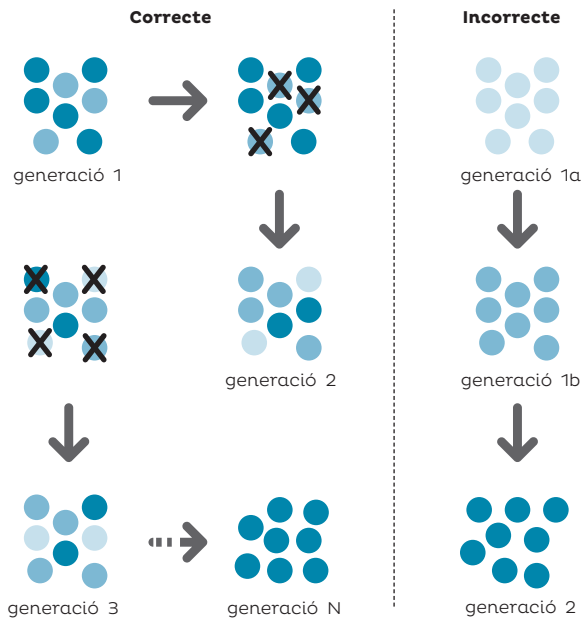
ment teleològic i la intencionalitat.

Com ja hem comentat en apartats anteriors, l'essencialisme fa que es menystingui la variabilitat i que es tendeixi a fixar l'atenció sobretot en les categories generals. Això provoca que, quan els nens i nenes raonen sobre l'origen d'una determinada característica en un animal o planta –per exemple, el coll llarg de les girafes, el pèl blanc dels ossos polars, els colors de camuflatge de molts animals, la presència de punxes als cactus, etc.–, tendeixin a pensar que són tots els individus de l'espècie que es transformen a la vegada. A més, consideren que aquesta transformació no és fruit de l'atzar, sinó de la necessitat d'assolir l'objectiu de sobreviure en un determinat entorn. Aquest tipus de pensament s'anomena raonament teleològic intencional, és a dir, la idea que l'existència d'una determinada característica respon a un propòsit o a una finalitat que, a més, es considera resultat de la voluntat o de la intencionalitat de l'individu.

Tot plegat condueix a una visió del canvi evolutiu que alguns autors han denominat transformisme, en què la selecció natural no hi té cabuda (Shtulman, 2017) (figura 1).

En aquest cas, promoure el canvi conceptual suposa ajudar l'alumnat a passar d'una visió transformista del canvi evolutiu a una visió centrada en el mecanisme de selecció natural que implica (a) prendre consciència de la diversitat de manifestacions que pot presentar un mateix caràcter entre els individus d'una població o d'una espècie; (b) valorar el caràcter adaptatiu de cada manifestació i la capacitat de reproducció d'un individu en unes determinades condicions ambientals; i (c) comprendre la selecció natural com un procés de selecció de les manifestacions dels caràcters més adap-

Figura 1. Explicacions del canvi evolutiu basades en la selecció natural (esquerra) o en el transformisme (dreta) (adaptat de Gregory, 2009)



tatives en un entorn concret.

Idees que cal treballar sobre l'adaptació dels éssers vius al medi

En la investigació sobre l'evolució de les adaptacions al medi a través de la selecció natural que es planteja en el conjunt d'activitats del breu itinerari d'investigació que es presenta a continuació, es pretén ajudar els nens i les nenes a construir les següents idees clau:

Idea 1. Els individus que formen part d'una població sempre mostren un cert grau de variabilitat en la majoria de les seves característiques morfològiques.

Idea 2. Les característiques morfològiques que presenta un individu s'hereten.

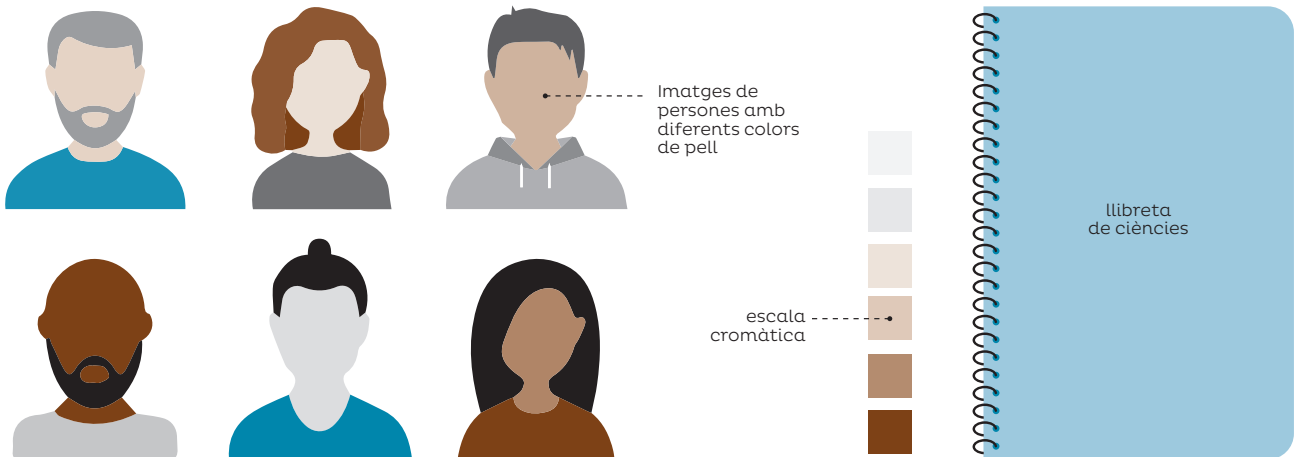
Idea 3. Algunes característiques morfològiques poden ser més útils que d'altres per sobreviure i reproduir-se en un determinat ambient, i d'aquestes característiques en diem adaptacions.

Idea 4. La selecció natural permet una major supervivència i reproducció dels individus portadors dels caràcters més adaptatius per a un determinat ambient.

	Activitat 1. Explorem les idees dels infants sobre la diversitat dels colors de la pell	Activitat 2. Com es distribueixen els colors de la pell al món?	Activitat 3. Què explica la distribució mundial dels colors de la pell?	Activitat 4. Com s'ha originat la diversitat dels colors de la pell?
Idea 1. Els individus que formen part d'una població sempre mostren un cert grau de variabilitat en la majoria de les seues característiques morfològiques				
Idea 2. Les característiques morfològiques que presenta un individu s'hereten				
Idea 3. Algunes característiques morfològiques poden ser més útils que d'altres per sobreviure i reproduir-se en un determinat ambient, i d'aquestes característiques en diem adaptacions				
Idea 4. La selecció natural permet una major supervivència i reproducció dels individus portadors dels caràcters més adaptatius per a un determinat ambient				

Activitat 1

EXPLOREM LES IDEES DELS INFANTS SOBRE LA DIVERSITAT DELS COLORES DE LA PELL



Material per a un grup de quatre persones

Imatges de persones amb diferents colors de pell, escala cromàtica de von Luschan (vegeu text), folis o llibreta de ciències.

Idees clau treballades amb aquesta activitat

Idea 1. Els individus que formen part d'una població sempre mostren un cert grau de variabilitat en la majoria de les seves característiques morfològiques.

Idea 2. Les característiques morfològiques que presenta un individu s'hereten.

Descripció de l'activitat i orientacions didàctiques

Iniciarem la investigació presentant una situació que provoqui que els nens i les nenes hagin d'usar i expressar les seves idees i models mentals sobre com és que les persones tenim diferents colors de pell. Per introduir el fenomen, mostrarem algunes fotografies de persones amb colors de pell diversos. Evitarem imatges de

persones albinas, ja que aquesta manca de pigmentació afecta individus que viuen en poblacions amb qualsevol to de pell.

Si a la nostra aula hi ha una àmplia diversitat de colors de la pell, farem que els nens i les nenes observin aquesta diversitat i s'ordenin des dels qui tenen la pell més fosca fins als qui la tenen més clara. Per fer-ho, podem mesurar qualitativament el color de la pell dels infants. Actualment, els científics mesuren el color de la pell segons la quantitat de llum reflectida quan s'il·lumina la part interna de la part superior de l'avantbraç amb llum de diferents longitud d'ona. Aquesta zona s'escull perquè rep poca exposició al Sol i així s'eviten els possibles efectes del bronzejat. A l'escola no disposem de les eines necessàries per fer aquest tipus de mesura, però podem utilitzar un altre mètode que també van usar els investigadors fa un temps. Es tracta de comparar el to de pell de l'individu -altre cop a la part interna de l'avantbraç superior-, amb l'escala cromàtica de von Luschan que distingeix 36 tons.

Un cop constatada la diversitat de colors de la pell, demanarem: *com és que les persones tenim colors de pell tan diferents?* Organitzarem els nens i nenes en petits grups i aplicarem l'estratègia cooperativa 1-2-4, de manera que primer proposarem que els nens i nenes responguin la pregunta individualment, després en parelles i finalment amb tots els membres del grup. Recordarem que, en aquest moment, només interessa recollir totes les idees possibles, sense necessitat que el grup arribi a un acord. El o la docent passarà pels diferents grups, observant les raons que plantegen els infants.

Deixarem el temps suficient perquè debatin en el seu grup i, després, iniciarem una conversa en gran grup

perquè tots els equips cooperatius comparteixin les seves idees. Anotarem les aportacions diferents a la pissarra o en un mural. És molt probable que, en les seves respostes, els infants esmentin, sobretot, el lloc d'origen familiar: *perquè som de diferents llocs, perquè cadascú ve d'un país diferent i és d'un color diferent, perquè al meu país tots tenen el color de pell fosc; o bé a l'herència: perquè depèn del color del teu pare i de la teua mare, perquè hem nascut en una panxa diferent, perquè les mares i les àvies són d'aquell color.* També poden fer referència al costum de prendre el sol o a la quantitat de radiació solar: *jo crec que depèn de quanta estona li toqui el sol, jo crec que és perquè els hi ha afectat el sol, jo crec que és de la platja i el sol, de quanta estona li toca el sol.* Amb menys freqüència poden aparèixer explicacions més generals com ara *tots som diferents o relacionades amb l'alimentació: jo crec que si menges moltes pastanagues et tornes de color taronja.*

Si els infants se centren sobretot en el lloc d'origen, podem preguntar: *si jo que tinc la pell clara hagués nascut al Senegal, tindria la pell fosca? De què més depèn que tingui la pell blanca o fosca?* Durant la conversa, reforçarem la idea que el color de la pell s'hereta dels pares, com molts dels nens i nenes ja saben, i intentarem identificar i registrar les variables que segons ells afecten els canvis de color: àrea geogràfica, exposició al Sol, alimentació, etc.

Acollirem totes les idees dels infants i subratllarem que, si volem resoldre el problema com fan els científics, caldrà identificar el que encara no sabem o el que no sabem amb seguretat i investigar-ho més. Com que molts nens i nenes de la classe coincideixen que el lloc d'origen familiar influeix en el color de la pell, comentarem que aquest serà el nostre problema per a investigar en la propera activitat.

Activitat 2

COM ES DISTRIBUEIXEN ELS COLORS DE LA PELL AL MÓN?



Material per a un grup de quatre persones

Un mapamundi geogràfic o polític, fotos individuals dels nens i nenes, un joc d'imatges d'individus de diferents poblacions (vegeu el text), mapa amb la distribució dels colors de la pell (vegeu text).

Idees clau treballades amb aquesta activitat

Idea 1. Els individus que formen part d'una població sempre mostren un cert grau de variabilitat en la majoria de les seves característiques morfològiques.

Idea 2. Les característiques morfològiques que presenta un individu s'hereten.

Descripció de l'activitat i orientacions didàctiques

Demaneu als nens i les nenes que portin una fotografia seva. També els direm que busquin a internet imatges dels futbolistes de la següent llista i que n'annotin el país d'origen familiar: Aminata Diallo (Guinea), Erlin Haaland (Noruega), N'Golo Kanté (Mali), Gnégneri Yaya Touré (Costa d'Ivori), Riyad Mahrez (Algèria), Mohammed Salah (Egipte), Achraf Hakimi (Marroc), Pedri (Canàries, Espanya), Phil Foden (Regne Unit), Fridolina Rolfö (Suècia), Tabitha Chawinga (Malawi), Frenkie de Jong (Països Baixos), Takefusa Kubo (Take Kubo) (Japó), Caroline Graham Hansen (Noruega), Sadio Mané (Senegal), Asisat Oshoala (Nigèria), Victor Osimhen (Nigèria), Aitana Bonmatí (Catalunya), Onema Grace Geyoro

(Congo), Alèxia Putellas (Catalunya), Emilia Szymczak (Polònia), Kadidiatou Diani (Mali).

Finalment, repartirem imatges d'individus originaris de diferents lloc del món que el o la docent haurà seleccionat prèviament, per controlar-ne bé la procedència. Es recomana cercar imatges d'individus de les següents poblacions: sami de Lapònia, finesos, massai, nuer, hadza, pigmeus mbuti, tàmil del sud de l'Índia o Sri Lanka, aborígens australians, habitants de Papua Nova Guinea, andamanesos, indis onge, indis semang, indis yanomami, dinka, inuits, khoisan, indis navaho, indis korubo, indis kawahiva, indis nukak, habitants de l'illa de Bouganville, indis sioux, indis atabascans d'Alaska. El o la docent també indicarà l'àrea geogràfica on viuen aquestes poblacions.

Amb totes les imatges disponibles, demanarem que, per grups, les col·loquin sobre d'un mapa del món -que haurem fotocopiats a una mida gran perquè hi càpiguen bé-, segons el lloc de procedència familiar de cada individu de la imatge. Ens interessarà que l'alumnat treballi en petit grup per tal que pugui analitzar les dades amb calma i amb la participació de tots els membres. Un cop situades les imatges al mapa (que representen les nostres dades), demanarem que les analitzin. Per fer-ho, els preguntarem si observen algun patró o tendència en la distribució dels colors de la pell segons diferents zones geogràfiques. Deixarem una estona perquè ho comentin entre els seus companys i companyes de grup.

Després, iniciarem un conversa per compartir les idees dels grups. Els deixarem expressar lliurement les seves observacions i arguments, però podem guiar la conversa amb preguntes com ara: *podem observar algun patró o tendència en la distribució al món del color de pell de les persones? S'agrupen d'alguna manera les perso-*

nes de pell més fosca? En quines zones? I les persones de pell més clara, on es situen? Hi ha barreges de colors?

A partir d'aquestes observacions, arribarem a la conclusió que sí que es pot detectar un patró en la distribució dels colors de la pell segons les àrees geogràfiques. En general, les poblacions de pell fosca es concentren a la zona tropical, entre l'Equador i cadascun dels dos tròpics. A mesura que augmentem de latitud, cap al nord o cap al sud, el color de la pell tendeix a aclarir-se, de manera que les poblacions de pell més clara es troben al nord d'Europa. Aquest patró és especialment visible a Àfrica i Euràsia. A Amèrica s'observa una distribució semblant, tot i que les poblacions de la zona tropical no són mai tan fosques com les africanes o asiàtiques que viuen a la mateixa latitud.

En aquest punt no explicarem encara les causes del patró, però convé que el o la docent sàpiga que aquesta diferència entre els continents es deu al fet que les poblacions americanes hi viuen des de fa molt menys temps que les africanes o asiàtiques i, que, a més, les poblacions tropicals americanes habiten sobretot les selves molt denses on arriba molt poca radiació solar.

Dins del patró general, hi ha algunes excepcions, com ara la pell relativament fosca dels inuit que viuen molt a prop del Cercle Polar Àrtic. Això pot ser degut al fet que la majoria d'imatges mostren individus vestits i que, en aquesta zona, la neu i el gel reflecteixen molta radiació solar, fet que provoca el bronzejat de les parts exposades com ara la cara o les mans. També serà interessant reflexionar amb els infants sobre per què avui hi ha moltes persones que no segueixen aquest patró inicial, per exemple, persones de pell fosca que viuen a Amèrica o persones de pell molt clara que viuen a Austràlia o a l'est d'Àfrica. Caldrà remarcar que això és

fruit de migracions recents, algunes voluntàries i d'altres forçades per l'esclavitud o altres circumstàncies. Els científics calculen que les persones de pell blanca només representen entre un 7% i un 16% de la població mundial, de manera que el més habitual entre els humans és tenir la pell de tons foscos.

Repartirem als nens i les nenes un mapa amb la distribució dels colors de la pell, elaborat per científics que investiguen aquest tema, perquè el desin a la seva llibreta de ciències i el puguin consultar en la propera activitat. El comentarem breument per assegurar-nos que n'entenen la informació. El mapa el pots trobar al web del Departament d'Antropologia de la PennState University: <https://anth.la.psu.edu/research/research-labs/jablonski-lab/evolution-of-human-skin-and-skin-pigmentation/>. Es poden trobar altres exemples d'aquest mapa fent una cerca a Google amb els termes "*skin pigmentation distribution*".

Acabarem aquesta activitat plantejant als nens i nenes un nou repte: *què pot explicar l'existència d'aquest patró tan clar en la distribució geogràfica del color de la pell? Com és que les persones de pell fosca viuen (o provenen) de zones tropicals i les de pell clara viuen (o provenen) de latituds més altes?* Indicarem que, per donar-hi resposta, caldrà investigar si hi ha algun factor que pugui influir en el color de la pell i que variï de la mateixa manera. Proposarem que facin hipòtesis sobre possibles factors com ara la calor, la pluja o el tipus de paisatge. En cas que no apareguin, serà la mestra la que introduirà aquests factors.

Activitat 3

QUÈ EXPLICA LA DISTRIBUCIÓ MUNDIAL DELS COLORS DE LA PELL?



Material per a un grup de quatre persones

Gloбус terraquíu, llanterna, mapes mundi amb la distribució de diferents variables (vegeu text), mapamundi amb la distribució dels colors de la pell (vegeu activitat anterior), 2 ampolles de plàstic petites, pintura de color blanc i de color negre, plastilina, aigua, 2 termòmetres amb sensor digital tipus forn, folis o llibreta de ciències.

Idees clau treballades amb aquesta activitat

Idea 1. Els individus que formen part d'un població sempre mostren un cert grau de variabilitat en la majoria de les seves característiques morfològiques.

Idea 3. Algunes característiques morfològiques poden ser més útils que d'altres per sobreviure i reproduir-se en un determinat ambient, i d'aquestes característiques en diem adaptacions.

Descripció de l'activitat i orientacions didàctiques

Recordarem als nens i les nenes que en l'activitat anterior hem observat que els colors de la pell dels individus de poblacions autòctones d'arreu del món no es distribueixen de manera aleatòria, sinó que segueixen una gradació clara. Així, a les zones situades entre ambdós tròpics, els pobladors autòctons tenen la pell fosca, mentre que, a mesura que ens movem cap al nord o cap al sud, el color de la pell cada cop és més clar. També recordarem que aquest patró es repeteix a Amèrica, tot i que en aquest cas les poblacions properes a l'Equador, malgrat tenir la pell fosca, no la tenen tan fosca com les que viuen a les mateixes latituds a Àfrica o a Àsia.

Així mateix, recordarem que al final de l'activitat anterior vam proposar possibles factors relacionats amb la distribució observada dels colors de la pell. Explicarem que en aquesta activitat intentarem trobar arguments a favor o en contra d'aquests factors.

El o la docent iniciarà l'activitat plantejant la hipòtesi que el color de la pell podria tenir relació amb la refrigeració, ja que els objectes negres i els blancs no s'escalfen igual quan estan al Sol. Per comprovar-ho, recollirem dades sobre com el color afecta l'absorció de calor, per veure si més endavant podem relacionar els resultats amb la distribució dels colors de la pell.

Per fer la comprovació, donarem als nens i les nenes dues ampolles petites de plàstic i els demanarem que en pintin una de color blanc i l'altra de color negre. Un cop pintades, les ompliran d'aigua i les col·locaran a l'exterior, en un lloc on sabem que hi toca el sol tot el dia. Substituirem els taps de les ampolles per plastilina i hi introduïrem un termòmetre digital de manera que

el sensor metàl·lic toqui l'aigua sense tocar les parets de l'ampolla. Prepararem una taula per recollir les dades i decidirem uns intervals d'observació. Els nens i les nenes mesuraran la temperatura de les dues ampolles alhora en cada interval de temps acordat.

Amb les dades obtingudes, elaboraran una gràfica per comparar com varia la temperatura a cada ampolla. Després, compararem les gràfiques dels diferents grups, i en reproduïrem una a la pissarra per fer-ne una anàlisi conjunta. Orientarem la conversa amb preguntes com ara: *com ha variat la temperatura a l'ampolla pintada de color negre? I a la pintada de color blanc? Quina s'ha escalfat més/menys? Els diferents grups heu obtingut resultats similars?*

De l'anàlisi de les dades conclourem que si el color de la pell servís per mantenir la pell més freda o més calenta, aleshores la distribució de colors hauria de ser l'oposada a la real. És a dir, el color fosc seria més adequat als llocs on fa més fred i el clar als llocs on fa més calor. Per comprovar aquesta conclusió, repartirem a cada grup un mapamundi amb la distribució de temperatures mitjanes (es pot obtenir a: <https://worldinmaps.com/world/weather-and-climate/rainfall/>), i el compararem amb el mapa de distribució de la pell treballat al final de l'activitat anterior i amb el mural dels colors de pell que cada grup té, o el que tinguem en un mural a l'aula. Demanarem als nens i les nenes que observin aquests mapes i els comparin: *us sembla que el patró de distribució de les temperatures és igual que el dels colors de la pell? S'hi assembla molt/poc? En què penseu que s'assemblen i en què no s'assemblen tant?*

En general veurem que aquests dos mapes encaixen força, tot i que hi ha diferències. Per exemple, al continent africà la temperatura mitjana és molt alta a gai-

rebé tot el territori, però el color de la pell s'aclareix cap al sud. Això mostra que la coincidència entre tots dos mapes no és completa.

Subratllarem que comparar mapes ens ajuda a identificar factors que varien de manera similar a la pell. Per això proposarem comparar el mapa de colors de la pell, amb un mapamundi de distribució de precipitacions (<https://worldinmaps.com/world/weather-and-climate/rainfall/>), i amb un mapamundi dels grans paisatges o biomes del món (es pot obtenir fàcilment a internet amb les paraules clau “distribució mundial dels biomes” o *earth biomes*). En el primer cas, la preguntarà serà: *hi ha alguna relació entre la distribució dels colors de la pell de les persones i la distribució de les pluges?*; en el segon: *hi ha alguna relació entre la distribució dels colors de la pell de les persones i la distribució al món dels diferents paisatges (boscos, deserts, estepes, etc.)?*

Deixarem un temps prudencial perquè els grups comparin els mapes i elaborin conclusions, i després les posarem en comú.

En comparar amb el mapamundi de distribució de les precipitacions, observarem que les pluges són molt abundants a la zona tropical i disminueixen dràsticament abans de tornar a augmentar amb la latitud. A més, no sembla que hi hagi una relació directa entre la quantitat de pluja i el color de la pell.

A diferència del cas anterior, pel que fa als biomes, podrem suggerir que potser hi ha una possible relació entre el bioma i el camuflatge: un color fosc pot ajudar a passar més desapercebut en zones forestals, on el fons sol ser fosc perquè hi ha poca llum -com passa amb les panteres negres a les selves-, i un color clar podria aju-

dar a passar més desapercebut en un ambient obert, com passa amb els lleons a la sabana. Tanmateix, la comparació del mapa de distribució dels colors de la pell amb el mapa de la distribució dels paisatges del món (biomes) no mostra una correspondència clara, ja que en continents com ara Amèrica o Euràsia, els biomes es distribueixen en franges verticals, mentre que el color de la pell varia segons la latitud, formant franges horitzontals.

Per acabar, analitzarem el factor radiació solar. Subratllarem que sí que sabem que hi ha relació entre la radiació solar i el color de la pell, com ho demostra el bronzejat.

Si els infants no han treballat prèviament les causes de l'estacionalitat, els podem fer adonar que, a causa de la inclinació de l'eix de rotació de la Terra, els raigs solars –i la resta de radiacions associades– arriben amb més intensitat a les zones properes a l'Equador. En aquestes regions, la incidència dels raigs és més perpendicular i, per tant, un mateix feix de radiació es reparteix sobre una superfície més petita, fet que provoca més energia per unitat de superfície. En canvi, a les zones de latitud més alta, la inclinació de l'eix terrestre fa que la radiació incideixi de manera més obliqua i es reparteixi sobre una superfície més gran, de manera que la intensitat per unitat de superfície és menor. Podeu consultar i ampliar aquesta activitat al llibre *Investiguem els fenòmens astronòmics* d'aquesta mateixa col·lecció (Grau, Amat, Martí, 2019).

Després repartirem un mapamundi amb la distribució de la radiació ultraviolada (radiació UV), que es pot trobar als enllaços <https://www.grida.no/resources/7130> o https://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet_index, o bé fent una cerca a Google amb els termes

global UV radiation map. En comparar aquest mapa amb l'anterior, observarem que hi ha una correspondència entre tots dos. En aquest punt és important que el o la docent destaquí que, en ciència, trobar una relació entre dos factors no implica necessàriament que un sigui la causa de l'altre. Per això caldrà buscar quina relació pot existir entre la radiació UV i el color de la pell. Pot ser que alguns infants recordin que la crema solar que fan servir a l'estiu els protegeix dels raigs UV; si no és així, el o la docent pot fer aquest recordatori.

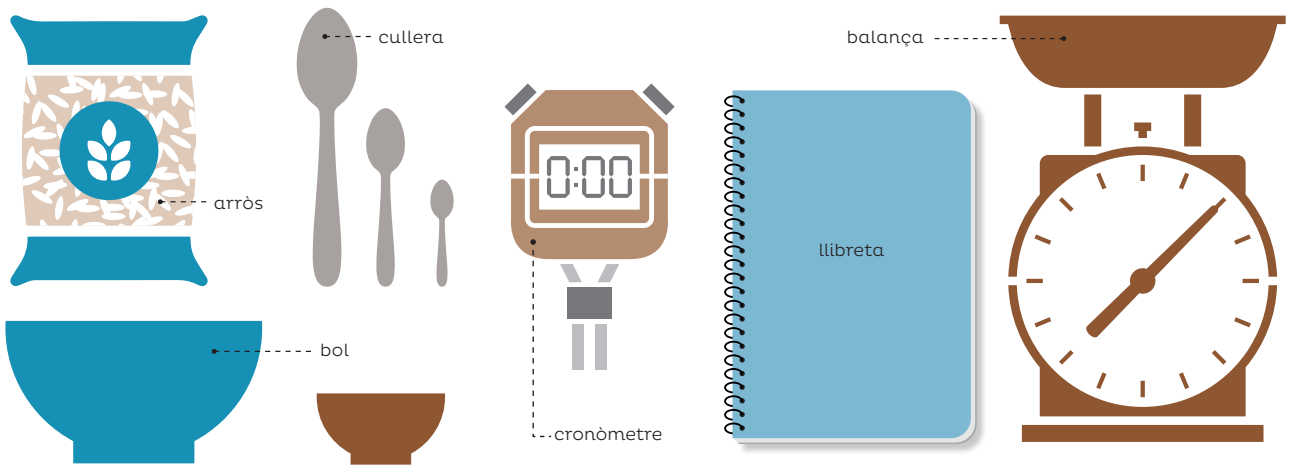
A continuació, visualitzarem algun vídeo que expliqui la relació entre el color de la pell i els raigs UV, o bé amb una explicació directa a càrrec del o de la docent. Cal remarcar que una pell de color fosc protegeix d'un excés de radiació UV, fet que explica per què les persones que viuen a prop de l'Equador solen tenir aquest color de pell. També explicarem que el nostre cos necessita vitamina D i que, a les latituds més altes, on arriba molta menys radiació UV que a les zones tropicals, tenir la pell fosca no seria avantatjós. En aquests indrets, una pell clara facilita la producció suficient de vitamina D. A les parts introductòries del llibre hem explicat amb més detall aquesta relació, de manera que el mestre o la mestra puguin adaptar el nivell de complexitat de l'explicació segons l'edat o coneixements de l'alumnat. En aquest moment es pot aprofitar per introduir aspectes de salut, com ara la necessitat de protegir-se amb crema solar adequada en hores de màxima radiació solar o el risc que les persones de pell fosca que viuen a latituds elevades puguin presentar deficiències de vitamina D.

Finalitzarem l'activitat recordant que ara ja sabem que el color de la pell té un valor clarament adaptatiu. Tot i així, encara ens podem preguntar: *com s'ha*

originat la diversitat dels colors de la pell? Sempre hi ha hagut colors de la pell diferents? Aquestes seran les qüestions que ens proposem investigar en la següent activitat.

Activitat 4

COM S'HA ORIGINAT LA DIVERSITAT DE COLORS DE LA PELL?



Material per a un grup de quatre persones

En aquest cas el material necessari és per a cadascun dels dos grups de 12 nens i nenes: 1 Kg d'arròs, 1 bol gran o una safata, 4 bols petits, 8 culleres petites de cafè, 8 culleres mitjanes de postres, 8 culleres grans de sopa, balança, cronòmetre (el del mòbil ja servirà), folis o llibreta de ciències.

Idees clau treballades amb aquesta activitat

Idea 1. Els individus que formen part d'un població sempre mostren un cert grau de variabilitat en la majoria de les seves característiques morfològiques.

Idea 2. Les característiques morfològiques que presenta un individu s'hereten.

Idea 3. Algunes característiques morfològiques poden ser més útils que d'altres per sobreviure i reproduir-se en un determinat ambient, i d'aquestes característiques en diem adaptacions.

Idea 4. La selecció natural permet una major supervivència i reproducció dels individus portadors dels caràcters més adaptatius per a un determinat ambient.

Descripció de l'activitat i orientacions didàctiques

Proposarem als infants un joc de simulació en què una població d'ocells arriba a una illa nova i experimenta canvis en un caràcter morfològic concret: la mida del bec. Explicarem que, un cop finalitzat el joc, les conclusions que n'obtinguem ens ajudaran a comprendre millor l'origen de la diversitat de colors de pell en les poblacions humanes. També indicarem que el que s'aprengui durant el joc permetrà entendre com s'originen altres caràcters que presenten els organismes vius i que contribueixen a la seva adaptació i supervivència en un entorn determinat.

Per començar, exposarem la dinàmica del joc. Els infants sabran que una petita població d'ocells ha arribat a una illa, on han quedat aïllats dels altres ocells de la mateixa espècie que viuen al continent. Un cop a l'illa, s'alimenten de llavors i es reproduïxen com han fet sempre. En el nostre joc, l'arròs representarà aquestes llavors i el caràcter “mida del bec” s'assimilarà a culleres de diferents mides. Per jugar, farem grups de 12 nens i nenes, cadascun dels quals jugarà de manera independent.

Cada partida començarà amb 4 alumnes que simbolitzaran els primers ocells que han arribat a l'illa. S'asseuran al voltant d'una taula, al mig de la qual hi ha un bol gran ple d'arròs (1 kg), que representarà els recursos alimentaris disponibles a l'illa. Cada alumne rebrà una cullereta de postres de mida mitjana, que serà el seu “bec normal”, i un bol petit per guardar-hi el menjar aconseguit. Indicarem que el “bec-cullera de postres” és el bec normal que tenen els ocells d'aquella espècie.

Quan es doni l'ordre de començar, tindran 15 segons, per agafar arròs amb el seu “bec-cullera de postres” i

dipositar-lo al seu bol personal. Passat aquest temps, pesarem l'arròs obtingut per cada jugador i anotarem els resultats. L'arròs caigut fora del bol no es recuperarà (representarà aliment perdut que no estarà disponible per a la propera generació), mentre que l'arròs dels bols individuals es tornarà al bol gran per simular la continuïtat dels recursos.

Després del primer torn, els dos ocells que hagin recollit menys arròs seran eliminats: no han aconseguit alimentar-se prou. En canvi, els altres dos jugadors han menjat prou, sobreviuran i podran reproduir-se, incorporant dos jugadors nous al joc que actuaran com els seus “fills”, un per a cadascun dels dos ocells supervivents. En total, continuarem tenint quatre jugadors. El o la docent remarcarà que, com que els fills hereten els trets dels pares, i així els nous jugadors rebran un “bec-cullera de postres” idèntic al del seu progenitor. El lliurament del bec-cullera a cada “fill” -el nou jugador- el farà el “pare” (jugador o jugadora que ha sobreviscut).

Un cop fet això, iniciarem el nou torn amb la mateixa dinàmica descrita. El joc continuarà durant uns cinc torns, o fins que tot l'alumnat hagin pogut participar-hi i fer d'ocell almenys una vegada.

Abans de l'últim torn aturarem el joc un moment i explicarem als nens i nenes que ara simularem què pot passar si es produeix una mutació. Explicarem que una mutació és un canvi aleatori en la informació genètica transmesa a través dels gàmetes (òvuls i espermatozous). En el nostre cas, simularem que en els gàmetes d'un dels dos ocells supervivents, s'ha produït una mutació a l'atzar.

Per decidir quin jugador hereta la mutació, llençarem una moneda. Si la mutació provoca en els ocells-fills

un bec més gran que el dels ocells-pares, el jugador rebrà un “bec-cullera de sopa”, enlloc del “bec-cullera de postres” que tenia el seu pare. Recordarem que, tot i que en el joc el canvi és exagerat, en la natura petites variacions són possibles i reals i poden tenir efectes ben visibles en la capacitat d’alimentar-se, sobreviure i reproduir-se.

La mutació que fa el bec més gran la introduïrem en un dels dos subgrups de jugadors. L’altre subgrup de jugadors de la classe seguirà una mateixa dinàmica, però en aquest cas la mutació afectarà la construcció del bec en direcció contrària, donant lloc a un bec més petit (cullereta de cafè).

Subratllarem que la mida del bec (normal, gran o petit) és un caràcter que s’hereta: els fills de pares amb bec gran també tindran el bec gran, els fills dels pares amb bec petit tindran el bec petit, i els fills dels pares amb bec normal que no han patit cap mutació heretaran el bec normal.

Així doncs, el nou “jugador-fill,” que ha heretat del seu pare la mutació (ja sigui “bec gran”, o “bec petit”) tindrà aquest tipus de bec, mentre que el seu pare continuarà amb el bec de la mateixa mida que ja tenia. Això és perquè les mutacions heretables són les que apareixen en els gàmetes que produeixen els pares. Com que les mutacions s’hereten, quan els jugadors amb “bec gran” o amb “bec petit” es reproduïen, els seus fills també heretaran aquests nous tipus de bec.

Un cop passat aquest torn en què apareix la mutació, deixarem que el joc continuï uns quants torns més (5-6). Ara, a més de pesar l’arròs per determinar quins ocells sobreviuen i es reproduïen, anotarem el nombre d’ocells amb cada tipus de bec dels quatre que estan

jugant. Això ens permetrà observar com la mutació es va estenent, o no, al llarg de les generacions.

Quan donem el joc per finalitzat, partirem de les dades sobre els tipus de bec a les diferents generacions d’ocells i les analitzarem. Farem preguntes com ara: *què passava amb els becs dels ocells abans de l’aparició de les mutacions? Quants ocells tenien el “bec normal”? Què ha passat amb el bec dels ocells quan ha aparegut la mutació “bec gran”? Què ha passat amb el bec dels ocells quan ha aparegut la mutació “bec petit”? Hauria canviat el bec si no hagués aparegut una mutació? Totes les mutacions fan canviar de la mateixa manera el tipus de bec majoritari en la població d’ocells? A la llarga, què ha passat amb el caràcter “bec gran”? I amb el caràcter “bec petit” ha passat el mateix?*

Amb aquesta simulació podrem constatar que, en una població homogènia, com ara la població de “becs normals” de l’inici del joc, no hi ha canvis evolutius possibles. En canvi, en una població diversa (“becs grans” i “becs normals”, o bé “becs petits” i becs normals”), sí que poden aparèixer canvis evolutius. Si una mutació contribueix a generar un caràcter favorable per a la supervivència de l’organisme i augmenta la probabilitat de reproduir-se, aquest caràcter s’expandirà ràpidament entre la població, i fins i tot pot arribar a substituir del tot el caràcter original. En el nostre cas tenir el caràcter “bec gran”, haurà substituït del tot el caràcter “bec normal”. En canvi, si la mutació no afavoreix tant la supervivència, es mantindrà en nombres molt baixos o desapareixerà després d’unes quantes generacions. És el que esperem que passi amb el caràcter “bec petit”.

La velocitat amb què una mutació s’expandeix depèn de molts factors, especialment de la mida de la població. Per analitzar-ho, podem repetir el joc anterior però

sense dividir la classe en dos grups i fent que el nombre de jugadors inicials sigui vuit enlloc de quatre. Com abans, en aquest nou supòsit eliminarem només els dos jugadors que han obtingut menys menjar, però farem que la mutació aparegui després del segon torn.

Analitzar els resultats en aquest cas ens permetrà veure que, quan una població pateix un coll d'ampolla, és a dir, una davallada demogràfica important, com pot passar en colonitzar un nou territori i mantenir-se aïllada de la població original, és més probable que les mutacions favorables facin canviar l'aspecte de la població en molts caràcters (com ara la mida del bec o el color de les plomes). En canvi, en poblacions grans amb molt flux gènic, l'expansió de mutacions és molt més lenta, llevat que l'avantatge del nou caràcter sigui molt gran.

El joc també ens pot servir per reflexionar sobre altres possibilitats, com ara què passaria si, enlloc de canviar la forma del bec, es modifiqués el color del plomatge o el tipus de cant. Podem simular-ho fent que la mutació canviï el color del bec. Per indicar-ho, col·locarem un gomet de color groc a l'ocell fill que ha heretat la mutació i a tots els seus descendents, tot mantenint la mateixa mida de bec. Si analitzem els canvis en el color del bec al llarg dels torns, pot passar que els ocells de "bec groc" esdevinguin majoritaris, desapareguin ràpidament o que convisin amb els de "bec normal" en una certa proporció. El resultat dependrà de l'habilitat de cada ocell però no del color del seu bec. En aquest cas, el canvi no tindria efectes directes en la supervivència ni la reproducció del seu portador, llevat que, per exemple, tenir el bec groc ajudés més a trobar parella.

Com es pot veure, segons el coneixement i l'interès del o de la docent que porti a terme l'activitat, es poden

inventar nous supòsits, comprovar què passa i relacionar-ho amb casos reals.

En tots els casos anteriors, hem fet que els individus siguin diferents entre ells (per la mida o el color del bec) però continuen pertanyent a la mateixa espècie. Ara bé, si amb el temps acumulen mutacions que afecten la manifestació de diversos caràcters, podria arribar un moment en què que la població aïllada hagi canviat tant que ja no es pugui reproduir amb la població original que viu al continent. Així és com podria aparèixer una espècie nova, sobretot si les mutacions afecten d'alguna manera les possibilitats d'aparellament entre individus.

Per tancar del tot el joc, remarcarem que les mutacions són aleatòries i no tenen cap direcció ni finalitat. No és que l'ocell "hagi volgut" tenir un bec gran, petit o groc, sinó que l'atzar ha fet que alguns individus presentin aquest nou caràcter. També recordarem que les mutacions amb poder de canvi evolutiu afecten els fills, i no pas els pares, ja que són mutacions que es produeixen a les cèl·lules sexuals i no pas a la resta de cèl·lules del cos.

Finalment introduïrem el concepte de selecció natural, explicant que és el procés pel qual els individus amb caràcters més favorables que d'altres per viure en un determinat ambient, tendeixen a sobreviure i reproduir-se més, de manera que aquells caràcters es van expandint pels individus que formen la població.

Quan tinguem clar que els nens i les nenes han entès bé la idea de selecció natural, tornarem al cas que estàvem investigant: els canvis en el color de la pell.

Visualitzarem un vídeo sobre les migracions dels humans (per exemple, <https://www.youtube.com/watch?>

[u=p2WBoCNSr14](#)) i destacarem que els estudis científics han permès reconstruir els moviments de la nostra espècie (*Homo sapiens*) en la seva expansió cap a tots els continents, excepte a l'Antàrtida. Remarcarem que, des de la nostra sortida d'Àfrica, ràpidament vam ocupar tots els hàbitats del món i amb el temps els hem transformat moltíssim gràcies a la nostra gran capacitat d'adaptació, tant biològica com cultural. Som una de les poques espècies d'animals clarament cosmopolites.

Repassarem la informació del vídeo i, amb l'ajut d'un mapamundi geogràfic de mida gran, reconstruirem de nou l'expansió dels primers *sapiens*, mentre anirem plantejant preguntes per relacionar el concepte de selecció natural, amb el cas que estem estudiant (vegeu figura 1): *com us sembla que devien tenir la pell els individus de les poblacions africanes que van iniciar la colonització cap al Pròxim Orient i la península d'Aràbia?* [negra]. Si en la població que es va desplaçar a través de la península d'Aràbia, pel litoral costaner de l'oceà Índic fins al sud-est d'Àsia i Austràlia, va aparèixer una variant genètica (una mutació) que feia que el color de la pell fos més clar, *creieu que aquesta mutació seria favorable o desfavorable?* [desfavorable perquè es troben bàsicament a la zona tropical]. Per tant, *el color de la pell devia mantenir-se fosc o va canviar?* [es devia mantenir fosc, i aquest és el color que han anat herentant les poblacions que des de fa més temps viuen en aquestes zones].

Els fòssils humans i les restes arqueològiques indiquen que alguns d'aquests pobladors que van sortir de l'Àfrica van anar cap a latituds més altes, uns al nord-oest fins arribar a Europa, i d'altres cap al nord-est, fins arribar a l'Àsia oriental. Si en aquestes dues poblacions va aparèixer una variant genètica (una mutació) que feia que el color de la pell fos més clar, *creieu que aquesta*

mutació seria favorable o desfavorable? [favorable, ja que a latituds més altes hi ha menys radiació UV, i amb la pell massa fosca no es podria produir prou vitamina D; tot i això a les èpoques de l'any amb més radiació, la pell encara es bronzeja i el bronzejat contribueix a protegir-nos]. Arribats aquí preguntarem: *a les poblacions que van arribar més al nord, tant a Europa com a Àsia, els era favorable mantenir la capacitat de bronzejar-se?* [segurament no, perquè la radiació UV és molt baixa tot l'any, per això és millor tenir la pell blanca permanentment; per això els turistes que venen del nord es cremen fàcilment a la platja si no prenen precaucions].

A més de la informació que sobre aquests aspectes hem donat als apartats introductoris, és molt recomanable que els i les docents consultin els apartats dedicats a les grans migracions dels *Homo sapiens* als llibres de Rosas (2022), o bé de Quintana-Murci (2022).

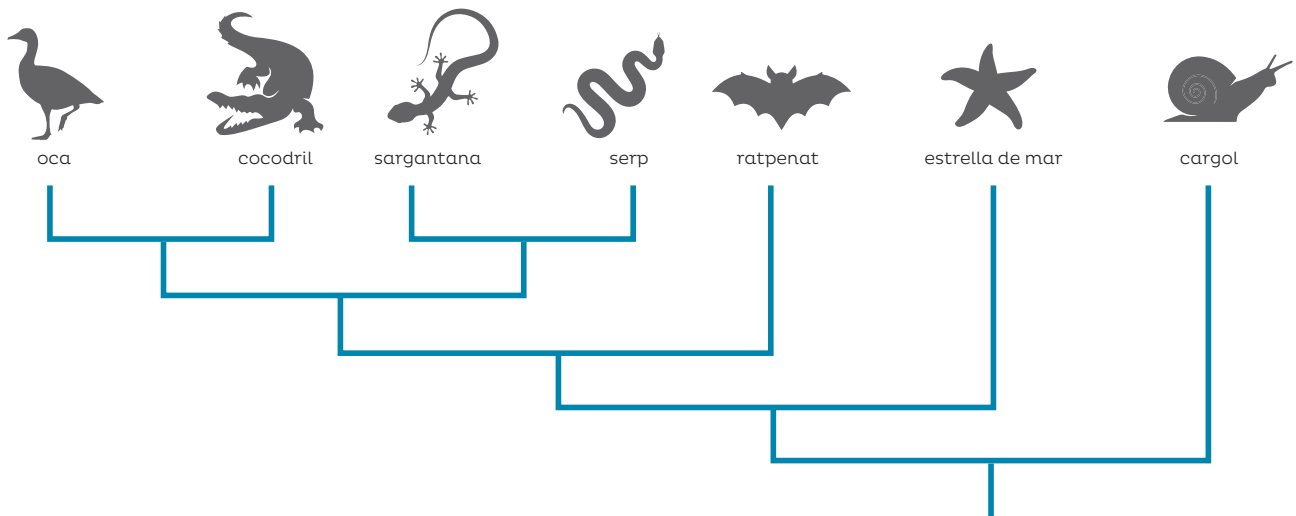
Quan el problema és comprendre el parentiu entre els grans grups d'animals

Darwin va fer dues grans aportacions sobre les quals encara avui es fonamenta la teoria de l'evolució. En primer lloc, el mecanisme de selecció natural, que hem introduït en el bloc d'activitats anterior i, en segon lloc, la idea d'ancestre comú, que fa referència al fet que les espècies o grups d'organismes vius comparteixen un ancestre comú en algun moment de la seva història evolutiva. Per exemple, els científics consideren que l'ancestre comú dels humans (*Homo sapiens*) i dels ximpanzés (*Pan troglodytes*) va viure fa uns 6 milions d'anys, tot i que no sabem quin aspecte tenia. També sabem que el grup d'animals que coneixem amb el nom de tetràpodes -que inclou tots els amfibis, rèptils, ocells i mamífers-, comparteixen un ancestre comú

amb un grup de peixos que són els peixos d'aletes lobulades (o sarcopterigis), i que ambdós grups es van separar a partir d'aquest ancestre comú fa entre 370 i 360 milions d'anys.

El fet que totes les espècies o grups d'organismes vius comparteixen en algun moment un ancestre comú implica que la història evolutiva dels éssers vius es pot representar en forma d'arbre. Els científics usen unes representacions esquemàtiques anomenades arbres filogenètics o cladogrames (figura 2). Aquests són semblants als arbres genealògics, però, a diferència d'aquests, mostren el parentiu entre diverses espècies o grups d'éssers vius, i no pas entre individus d'una mateixa família.

Figura 2. Exemple de cladograma



La representació en forma d'arbre de les relacions entre diversos grups d'organismes vius és la que la ciència accepta com a vàlida. Per tant, és la que ha de substituir la idea d'escala lineal que s'ha fet més popular gràcies a imatges com la del ximpanzé que de mica en mica es va posant dret fins a convertir-se en humana, o la del peix que surt de l'aigua i es transforma en amfibi i després en un mamífer. Aquestes imatges d'escala lineal són completament incorrectes des del punt de vista científic, i és important tenir-ho en compte perquè les dues representacions condueixen a conclusions diferents. Per exemple, la imatge popular del ximpanzé que es posa dret s'acompanya sovint del comentari: "l'home ve del mico (ximpanzé)", quan en realitat el que hauríem de dir és que "l'home i el ximpanzé són espècies germanes perquè comparteixen un ancestre comú"».

L'establiment del grau de parentiu en un cladograma s'assembla al que fem quan analitzem un arbre genealògic: diem que dos germans tenen un grau de parentiu més gran entre ells perquè comparteixen un ancestre comú més pròxim -els seus pares-, mentre que dos cosins comparteixen els avis com a primer ancestre comú. Així doncs, els arbres filogenètics o cladogrames mostren quines espècies o grups d'organismes tenen un parentiu més pròxim entre si.

Si l'analitzem amb calma, del cladograma de la figura 2 en podem obtenir molta informació sobre les relacions de parentiu entre els diversos grups. Per exemple, podem observar que ocells i cocodrils comparteixen un ancestre comú més proper que no pas els cocodrils amb la resta de rèptils. Per als científics, els cladogrames són hipòtesis de treball que poden anar canviant a mesura que s'incorporen noves dades i noves descobertes.

La classificació biològica té un objectiu molt específic: determinar el grau de parentiu dels organismes. Això va molt més enllà de simplement posar ordre a una diversitat d'entitats. Cal tenir-ho present, perquè no sempre a l'aula es distingeix entre ordenar, o agrupar, amb la finalitat de posar ordre, amb la veritable funció de la classificació biològica. En la proposta d'activitats que es presenta a continuació dediquem un espai específic a fer conscients els nens i les nenes d'aquest fet.

Com es construeixen aquests arbres filogenètics o cladogrames? Aquests esquemes, que representen el parentiu evolutiu entre espècies o grups d'organismes vius, deriven de la nostra habilitat per agrupar-los en grups dins de grups. La classificació biològica permet fer aquests agrupaments perquè tot un conjunt d'espècies comparteix algunes característiques morfològiques pròpies i exclusives del grup. Per exemple, el grup dels insectes inclou totes les espècies d'animals amb potes articulades i esquelet extern que tenen sis parells de potes; o bé el grup dels mamífers inclou a tots els animals amb columna vertebral, esquelet ossi i quatre extremitats que tenen pèl i glàndules mamàries. Tots els insectes comparteixen el fet de tenir sis potes, i per això es considera que provenen d'un mateix ancestre; igualment, tots els mamífers, pel fet de compartir, pèl i glàndules mamàries, es considera que deriven d'un mateix ancestre comú. Aquests caràcters compartits per un determinat grup d'organismes vius i que deriven del seu ancestre comú són considerats caràcters homòlegs, i en la terminologia actual s'anomenen sinapomorfies, és a dir, caràcters comuns -compartits per diferents espècies- i derivats -originats en un ancestre comú a totes les espècies que comparteixen aquell caràcter.

Actualment, els científics que es dediquen a aquestes

tasques usen caràcters molt diversos, tant morfològics com genètics o moleculars. Òbviament, a primària, no més podem treballar amb caràcters morfològics, que són els que proposem en les activitats que es descriuran a continuació. Determinar quins caràcters són o no homòlegs no és una tasca fàcil, ni tampoc és una qüestió que calgui abordar a l'escola primària. Una de les dificultats que presenta aquesta tasca és el fenomen de la convergència evolutiva, que es dona quan dos o més organismes presenten caràcters similars tot i no estar emparentats de manera pròxima. És el cas, per exemple, d'ales en els ocells i les papallones, o de la forma hidrodinàmica d'una tonyina i d'un dofí. Per aquest motiu, en la proposta d'activitats que presentem a continuació, ja suggerim d'entrada quins són els caràcters que el mestre o la mestra hauria de proposar als infants perquè els observin en els diferents animals que volem classificar, evitant errors i aconseguint agrupaments d'organismes coherents amb el coneixement científic actual.

El fet que un caràcter sigui compartit per un gran nombre d'espècies o grups d'organismes indica la seva antiguitat, perquè un cop va aparèixer es va mantenir en el temps, encara que hagi pogut patir variacions menors. Així, animals tan diferents externament com els peixos, els ocells o els mamífers comparteixen el fet de tenir una columna vertebral i un esquelet intern ossi. Això fa pensar que aquests caràcters són més antics que no pas el fet de tenir quatre extremitats, que només és propi d'ocells i mamífers. En el cas dels artròpodes, el fet de tenir un esquelet extern i les potes articulades, segurament és més antic que no pas el fet de tenir sis potes -en els insectes-, o vuit potes -en les aranyes, àcars i escorpins.

Com ja hem dit més amunt, les classificacions biològiques no són estàtiques sinó que canvien amb el temps a mesura que s'incorporen nous coneixements. Per

exemple, la categoria "rèptils" ha desaparegut de les classificacions modernes dels vertebrats, ja que s'ha comprovat que el grup dels cocodrils comparteix més característiques en comú amb els ocells que no pas amb els llangardaixos i les serps. Així els antics rèptils s'han reclassificat en tres grups: les tortugues, els lepidosaures (serps i llangardaixos) i els arcsosaures (ocells, cocodrils i dinosaures).

En resum, la classificació biològica no pretén simplement ordenar o agrupar segons un criteri qualsevol, sinó establir agrupaments segons el grau de parentiu evolutiu, formant grups a dins de grups. La manera més habitual de representar aquestes classificacions són els arbres filogenètics o cladogrames, que es fan servir tant entre els experts, com en els llibres de text o en llibres de divulgació, museus o internet. És per això que resulta tan interessant i necessari que els infants tinguin una noció bàsica de com es construeixen, llegeixen i interpreten. Saber llegir bé un cladograma permet extreure molta informació: grups germans, ances tres comuns, caràcters més antics o més moderns des del punt de vista evolutiu, etc.

Les idees dels nens i nenes sobre les relacions de parentiu entre els organismes vius

A diferència del que passa amb el concepte de selecció natural, encara no disposem de gaires estudis que analitzin les idees dels nens i nenes sobre el parentiu entre diferents grups d'organismes vius. Amb tot, els estudis disponibles en l'àmbit de l'etnobiologia mostren que els nens i les nenes adquireixen ràpidament els termes que culturalment s'utilitzen per referir-se a diferents grups d'animals, com ara papallona, escarabat, gasela, cocodrill, serp, mosca, etc.

Curiosament, aquests termes coincideixen, si més no a grans trets, amb grups taxonòmics reals, que tenen el seu terme científic corresponent (Coley i Muratore, 2012) i que, des del punt de vista taxonòmic, solen equivaldre a gèneres, famílies, ordres o classes. Per exemple, les papallones correspondrien a l'ordre dels lepidòpters i els escarabats a l'ordre dels coleòpters. Els investigadors han observat que això passa en totes les cultures i societats, i que segurament respon al fet que aquests termes no són ni massa generals -i, per tant, massa poc informatius-, ni massa específics, sinó que resulten els més útils per comunicar-se d'una manera ràpida i clara.

Ara bé, una cosa és disposar de termes que facin referència a grups més o menys amplis d'animals, i una altra de diferent és reflexionar sobre les seves possibles relacions de parentiu. En aquest cas, els nens i les nenes responen més fàcilment a preguntes com ara *qui s'assembla més a qui?*, que no pas a la pregunta *“quins grups estan emparentats amb quins altres?”*. Això és així, perquè respondre a la primera pregunta tot determinant semblances i diferències permet categoritzar i ordenar la diversitat d'organismes que observem al nostre voltant, i això ho fem espontàniament des de petits. En canvi, respondre a la segona pregunta pressuposa disposar d'un pensament evolutiu que és un producte cultural recent i que, per tant, no és una pregunta que els nens i les nenes es formulin, ni molts menys resolguin, si no és amb la intervenció dels adults que els introdueixen al coneixement científic.

Així doncs, cal que els docents tinguem clar que la classificació biològica, tal com l'hem descrita en l'apartat anterior és un producte cultural recent al qual cal introduir els infants de manera específica. Tanmateix, des de molt petits, ja disposen de les habilitats cognitives per agrupar animals -o altres organismes- segons

les seves similituds morfològiques, i també disposen dels termes per referir-s'hi que els han estat transmesos pel seu entorn social i cultural.

Adonar-se que quan classifiquem animals, apareixen grups a dins de grups més amplis, és a dir, una jerarquia de grups, és un dels aspectes als quals cal prestar més atenció. Això pot ajudar més els infants a contemplar la diversitat d'organismes d'una altra manera, passant de veure'ls com a categories aïllades -les papallones són papallones, i els escarabats són escarabats, però no tenen cap relació entre ells, i molt menys amb les aranyes!-, a considerar la possibilitat que hi hagi alguna relació entre ells, i a aprendre a fixar-se en les característiques que comparteixen grups que, a primer cop d'ull, semblen tant diferents. Aquesta visió de grups a dins de grups és molt important en el procés d'aprenentatge sobre la classificació biològica; per això en el conjunt d'activitats d'aquest bloc hi prestarem molta atenció. També es posa el focus en el pas dels conjunts als arbres filogenètics o cladogrames, i s'introdueix els nens i les nenes en les claus més bàsiques per a interpretar-los correctament i poder-ne extreure el màxim d'informació possible.

Des de la didàctica de les ciències, hi ha hagut molt d'interès per investigar les dificultats de l'alumnat per comprendre i interpretar la informació que es representa en un arbre filogenètic o cladograma (Catley, Novick i Shade, 2010). És interessant remarcar que molts d'aquests estudis mostren que els nens i les nenes de 6 a 12 anys són capaços de copsar la informació dels cladogrames quan se'ls ensenya a fer-ho, de manera que no és gens agosarat introduir aquest coneixement a primària.

Idees que cal treballar sobre les relacions de parentiu entre els organismes vius

En l'estudi sobre la classificació biològica i les relacions de parentiu entre els organismes vius que es planteja en el conjunt d'activitats del breu itinerari d'investigació que es presenta a continuació, es pretén ajudar els nens i nenes a construir les següents idees clau:

Idea 1. Classificar permet parlar, estudiar i fer hipòtesis sobre la gran varietat d'éssers vius que hi ha a la terra.

Idea 2. Per poder classificar els éssers vius cal observar-ne els trets característics.

Idea 3. Els éssers vius que comparteixen característiques comuns poden agrupar-se en grups a dins de grups.

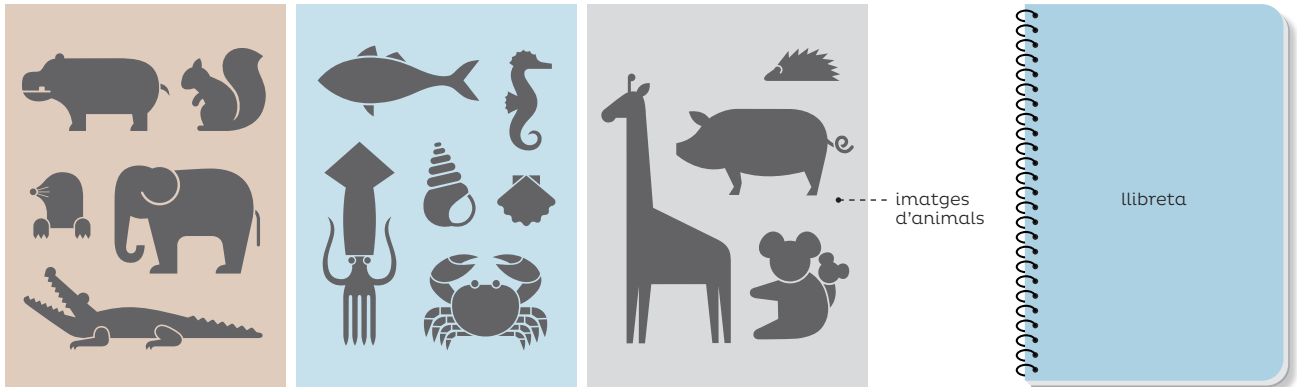
Idea 4. La classificació dels éssers vius ens indica el grau de parentiu entre organismes.

Material per a un grup de quatre

	Activitat 1. Explorem les idees dels infants sobre la classificació dels éssers vius	Activitat 2. Triar, ordenar o classificar	Activitat 3. Un model de classificació de grups a dins de grups	Activitat 4. De la classificació al grau de parentiu
Idea 1. Classificar permet parlar, estudiar i fer hipòtesis sobre la gran varietat d'éssers vius que hi ha a la terra.				
Idea 2. Per poder classificar els éssers vius cal observar-ne els trets característics.				
Idea 3. Els éssers vius que comparteixen característiques comuns poden agrupar-se en grups a dins de grups				
Idea 4. La classificació dels éssers vius ens indica el grau de parentiu entre organismes				

Activitat 1

EXPLOREM LES IDEES DELS INFANTS SOBRE LA CLASSIFICACIÓ DELS ÉSSERS VIUS



Folis o llibreta de ciències, document PowerPoint amb imatges d'animals (uegeu text)

Idees clau treballades amb aquesta activitat

Idea 1. Classificar permet parlar, estudiar i fer hipòtesis sobre la gran varietat d'éssers vius que hi ha a la terra.

Idea 2. Per poder classificar els éssers vius cal observar-ne els trets característics.

Descripció de l'activitat i orientacions didàctiques

Iniciarem l'activitat presentant una situació que ajudi que els infants facin explícites les seves idees sobre les diferències i similituds entre individus d'una espècie, i entre espècies diferents. Per fer-ho, mostrarem un PowerPoint amb diferents imatges, que haurèm prèviament cercat i seleccionat a internet, que ens ajudaran a reflexionar. El document tindrà les següents diapositives:

Diapositiva 1: mostrarem diferents imatges d'individus de tortuga mediterrània (*Testudo hermanni*) que permetin mostrar la variabilitat dins d'una mateixa espècie.

Diapositiva 2: mostrarem diferents espècies de tortugues terrestres. Per exemple, *Testudo hermanni*, *Terrapene carolina*, *Centrochelys sulcata*, *Stigmochelys pardalis*.

Diapositiva 3: mostrarem altres tortugues incloent-hi espècies marines i espècies més diferents a les que hem mostrat fins ara. Per exemple, *Caretta caretta* (tortuga careta o tortuga babaua), *Dermochelys coriacea*, *Chelus fimbriata*, *Macrochelys temminckii*.

Diapositiva 4: mostrarem la imatge de la tortuga mediterrània (*Testudo hermanni*), confrontada amb la d'una altra espècie de tortuga (*Chitra indica*), i amb les de dues espècies d'animals amb alguns trets compartits però que no són tortugues: el cargol bover (*Helix aspersa*) i l'armadillo o tatú (*Dasypus septemcinctus*).

Anirem mostrant les diapositives una per una. Abans de passar a la següent, demanarem als nens i les nenes que, primer individualment i després en petit grup, reflexionin i debatin sobre les preguntes que els formularem.

Les preguntes inicials per promoure la reflexió i el debat seran: [diapositiva 1] *Com és que hi ha tortugues d'una mateixa espècie que són diferents entre elles?* [diapositives 2 i 3] *Com és que totes aquestes imatges són tortugues? Què fa que una tortuga sigui una tortuga? Agruparíeu aquestes tortugues totes juntes, o podríem fer dos grups? Quin criteri heu fet servir per fer subgrups?*; [diapositiva 4] *podríem agrupar aquests tres animals en un grup? Per què? Però, com és que aquests altres animals no són tortugues si tenen trets en comú? Què fa que una determinada espècie d'animal sigui aquella espècie i no una altra?* Un cop els infants hagin debatut en petits grups, ens ajuntarem i encetarem una conversa amb tot el grup per contrastar les idees i arguments

que hagin sorgit.

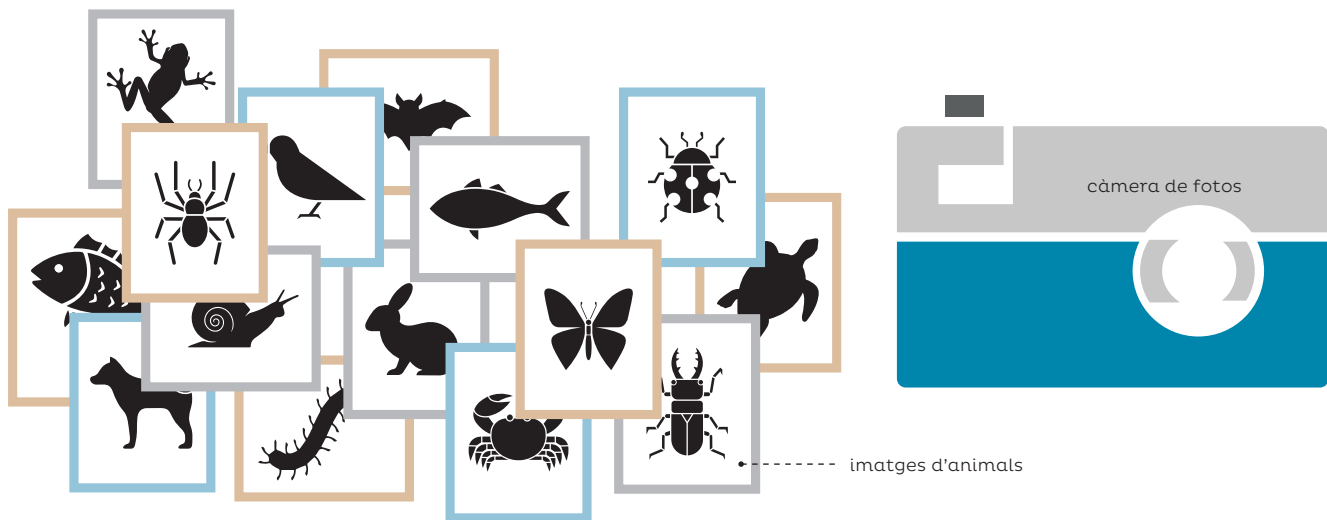
En la conversa grupal seguirem el mateix ordre que s'ha descrit en el paràgraf anterior. En aquest tipus d'activitat no pretenem que els infants reproduïxin el que diu la ciència, sinó que ens interessa que expressin les seves pròpies idees i arguments. Per aquest motiu, no introduïrem informació científica ni farem explicacions que puguin orientar o condicionar les seves respostes. Tot i així, sí que ens fixarem en quines expressions fan servir per justificar les seves explicacions ja que, posteriorment, les podrem recuperar i aprofundir-ne el significat al llarg de la resta d'activitats. Així, és possible que durant la conversa expressions com ara *són de la mateixa família*, *són de la mateixa espècie*, *són com cosins*, *són com si fossin parents*, etc. També ens fixarem en els criteris que hagin utilitzat en el cas que observant el conjunt de tortugues considerin que es poden fer subgrups. Observarem els criteris de classificació que facin servir, especialment si usen un criteri ecològic (relacionat amb el medi on viuen, com ara tortugues terrestres *versus* tortugues aquàtiques) o bé morfològic (relacionat amb l'estructura i les característiques físiques de les tortugues). També ens fixarem amb detall en els criteris emprats per agrupar, o no, els tres animals de la darrera diapositiva.

Per tancar l'activitat, explicarem als infants que, en el conjunt d'activitats que farem a partir d'ara, veurem com treballen els científics per determinar per què un determinat animal és aquell animal i quina relació de parentiu té amb altres que poden assemblar-s'hi més o menys.

Material per a un grup de quatre persones

Activitat 2

TRIAR, ORDENAR O CLASSIFICAR



Càmera fotogràfica (opcional), 1 conjunt d'imatges en blanc i negre dels següents animals (o semblants, però mantenint el grup al qual pertanyen): aranya, granota, humà, gos, llebre, ratpenat, pit-roig, gallina, orada, tonyina, mosca, escarabat, marieta, papallona nocturna, papallona diürna, cranc, centpeus, cuc de terra, cargol, tortuga.

Idees clau treballades en aquesta activitat

Idea 1. Classificar permet parlar, estudiar i fer hipòtesis sobre la gran varietat d'éssers vius que hi ha a la terra.

Idea 2. Per poder classificar els éssers vius cal obser-

var-ne els trets característics.

Descripció de l'activitat i orientacions didàctiques

Iniciarem l'activitat repartint a cada grup un conjunt d'imatges, preferentment dibuixos realistes, de diferents animals (vegeu el material). Alternativament, podem proposar que els nens i les nenes portin imatges de diferents tipus d'animals de casa, o podem proporcionar-los una càmera fotogràfica perquè facin fotos dels diferents animals que trobin al pati de l'escola. Si fem servir una de les dues darreres opcions, serà important adaptar l'activitat als animals que tinguem disponibles i complementar les imatges obtingudes amb altres que aportem nosaltres, de manera que tots els grans grups

d'animals quedin representats. Indicarem als infants que, quan observin animals, no s'han de fixar en el color, sinó en la forma i l'estructura de l'animal.

Cada equip haurà d'agrupar el conjunt d'animals que té com consideri oportú. Un cop hagi passat el temps suficient, encetarem una conversa perquè cada grup expliqui com ha fet les seves agrupacions. Ens interessarà saber: *quins animals heu agrupat amb quins altres animals? i quin criteri heu fet servir per agrupar els animals d'aquesta manera?* En aquest moment, acceptarem totes les agrupacions que proposin els infants, però aprofitarem per distingir les agrupacions entre tres tipus de criteris: (a) tria, quan s'ha usat un únic criteri per establir només dos grups, per exemple: *hem fet dos grups: els que poden volar i els que no poden volar, o hem separat els que ens agraden dels que no ens agraden*; (b) ordenació, quan s'ha establert un ordre o una gradació del conjunt d'animals segons un criteri, per exemple: *hem fet tres grups: els petits, els mitjans i els grans o hem fet tres grups: els que pesen poc, els que pesen molt i els que pesen entremig*; i (c) classificació, quan s'han agrupat segons un criteri no dicotòmic, basat en característiques observables: *hem agrupat els animals segons si el seu cos està recobert de plomes, pèl, closca, escates o res*. Si alguna d'aquestes opcions no apareix espontàniament, serà el o la docent qui la proposarà, per tal de distingir formalment entre triar, ordenar i classificar. També podem posar altres exemples perquè aquesta distinció quedi clara. Entre tots es poden fer diferents llistats amb exemples de classificació, ordenació i tria, tant d'animals com d'altres objectes.

Un cop fet aquest pas, explicarem als infants que l'objectiu dels científics quan fan grups d'éssers vius és entendre les relacions de parentiu que hi ha entre ells, ja que la teoria de l'evolució explica que tots els orga-

nismes vius comparteixen un ancestre comú, més o menys proper en el temps. Comentarem que, per assolir aquest objectiu, només és útil la classificació, mentre que triar o ordenar poden servir per a altres finalitats (per exemple, triar és el que fem quan identifiquem organismes amb claus dicotòmiques). Així doncs, disposar d'una bona classificació és el primer pas per poder establir les relacions de parentiu de diferents grups d'organismes i, per tant, reconstruir l'arbre de la vida observant com s'han anat formant els diferents grups al llarg del temps.

També explicarem que, quan els científics fan classificacions, sempre ho fan a partir de trets o característiques observables, és a dir, del que els organismes tenen i es pot veure. A la ciència experta, aquests caràcters observables poden ser anatòmics, genètics o moleculars, però a l'escola només farem servir caràcters anatòmics. També indicarem que els científics no classifiquen mai els organismes segons (i) el tipus d'alimentació o de reproducció, (ii) allò que no tenen, o (iii) el lloc on viuen. Si es dona el cas, podem aprofitar les seves pròpies agrupacions per mostrar els problemes que poden aparèixer quan es fan servir aquests altres criteris de classificació. Si no, nosaltres mateixos podem proposar exemples per il·lustrar-ho.

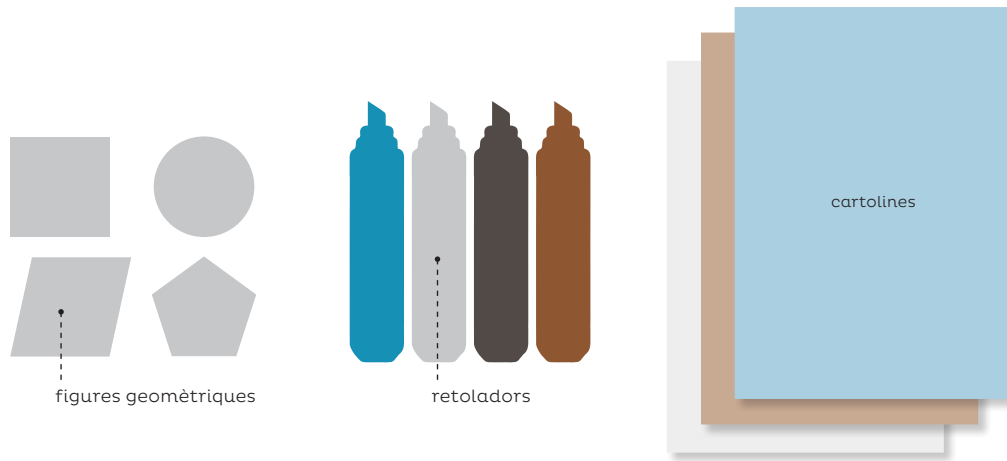
Per exemple, classifiquem pel tipus d'alimentació o reproducció quan diem: *els classifiquem junts perquè són carnívors, els classifiquem junts perquè tots ponen ous*. Aquest criteri és problemàtic perquè, per exemple, una tortuga de florida, un lleó i una marieta quedarien agrupats en un mateix grup, els carnívors. Els classifiquem per allò que no tenen quan diem: *els classifiquem junts perquè no tenen closca*. Això faria que un peix, un humà i un cuc de terra quedessin en el mateix grup, tot i ser molt diferents entre ells morfològicament. Jus-

tament per aquest motiu, el terme *invertebrats* no té gaire sentit, ja que agrupa animals molt diferents (com ara una medusa, un cuc de terra i una mosca) només pel fet de “no tenir vèrtebres”. Tot i que encara apareix als llibres de text, caldria evitar-ho, perquè no aporta informació sobre la història evolutiva dels animals. Finalment, els classifiquem pel lloc on viuen quan diem: *els classifiquem junts perquè viuen a l'aigua*, però això fa que peixos, dofins, escarabats aquàtics i meduses quedin al mateix grup, tot i ser molt diferents entre si.

En aquesta conversa finalment explicarem que classificar els organismes vius només a partir dels caràcters que comparteixen -en el nostre cas, sobretot caràcters morfològics- permet analitzar l'aparició en el temps de cadascun dels grups i dels respectius caràcters que els fan singulars. Aquest serà un aspecte que treballarem en les activitats següents.

Activitat 3

UN MODEL DE CLASSIFICACIÓ DE GRUPS A DINS DE GRUPS



Material per a un grup de quatre persones

Peces de figures geomètriques (per fer-les, uegeu figures 4, 5 i 6), cartolina, retoladors.

Idees clau treballades amb aquesta activitat

Idea 1. Classificar permet parlar, estudiar i fer hipòtesis sobre la gran varietat d'éssers vius que hi ha a la terra.

Idea 2. Per poder classificar els éssers vius cal observar-ne els trets característics.

Idea 3. Els éssers vius que comparteixen característiques comuns poden agrupar-se en grups a dins de grups.

Descripció de l'activitat i orientacions didàctiques

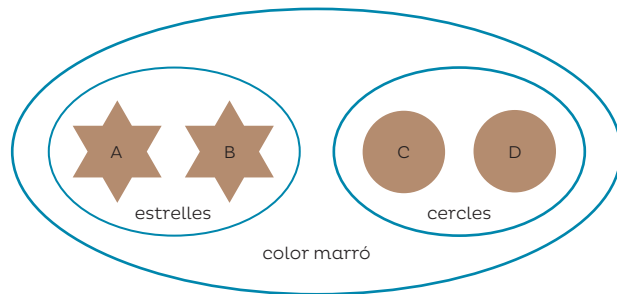
Aquesta activitat està adaptada d'una proposta similar del programa francès d'educació científica de la fundació *La main à la pâte* (<https://fondation-lamap.org/>) i té com a objectiu mostrar, de forma senzilla, com es concep la classificació dels éssers vius a partir d'un joc amb figures geomètriques.

Repartirem a cada equip un conjunt de figures geomètriques, que han de ser les mateixes que apareixen a la figura 4. D'entrada, donarem totes les fitxes, excepte les emmarcades en el quadrat (quadrat ratllat i cercles ratllats grisos). Explicarem que l'objectiu de l'activitat és classificar les diferents figures creant grups a dins de

grups. Per fer-ho, explicarem que cal que observin amb atenció els trets característics de les figures -nombre de vèrtexs, nombre de costats, si estan pintades o no, etc.- i que, a partir d'aquests trets, vagin formant grups i subgrups. Podem mostrar un model senzill de classificació per ajudar-los a entendre què vol dir fer grups a dins de grups. Per exemple, a la figura 3 es pot observar que A i B són estrelles, mentre que C i D són cercles. Alhora, A, B, C i D comparteixen que totes són de color marró.

Deixarem un temps perquè cada grup pugui crear la seva pròpia classificació. Durant aquest procés, anirem passant pels grups i els ajudarem a través de preguntes orientadores, com ara: *tenen color aquestes figures? Quants vèrtexs tenen? Quants costats? tenen algun patró de color o són totes blanques? Quina característica més general comparteixen les figures d'aquest grup, i les d'aquest altre? Podríem posar un nom a cadascun dels*

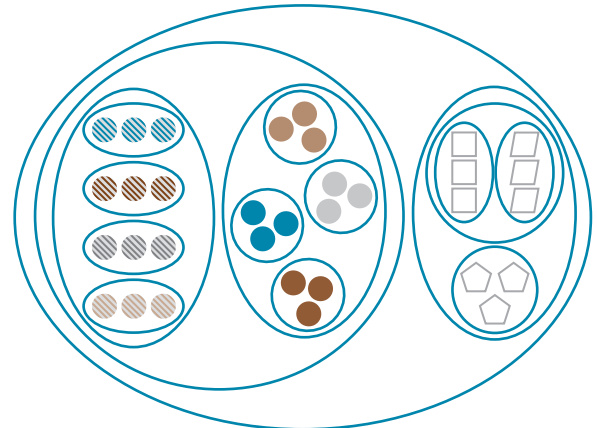
Figura 3. Exemple de classificació de grups a dins de grups.



grups i subgrups?, etc. Al final, la classificació resultant hauria de ser semblant a la que es mostra a la figura 4.

Després del treball en petit grup, compartirem amb tot el grup classe les diferents classificacions que hagin elaborat, identificant els trets comuns dels conjunts i subconjunts. A partir del resultat esperat, podrem observar que el grup més gran és el de totes les figures geomètriques. A dins, apareixen dos subgrups principals amb les figures amb costats i les que són cercles. Dins d'aquests dos subgrups podem establir altres grups més petits. Així, en el subgrup de les figures amb costats, podem fer dos grups més petits segons el nombre de costats que tinguin (per exemple, quatre o cinc), i en el subgrup dels cercles podem establir dos grups més petits segons si tenen ratlles o no. Així hauréem aconseguit agrupar totes les figures segons caràcters cada cop més restrictius, és a dir, que comparteixen menys

Figura 4. Classificació de les figures geomètriques

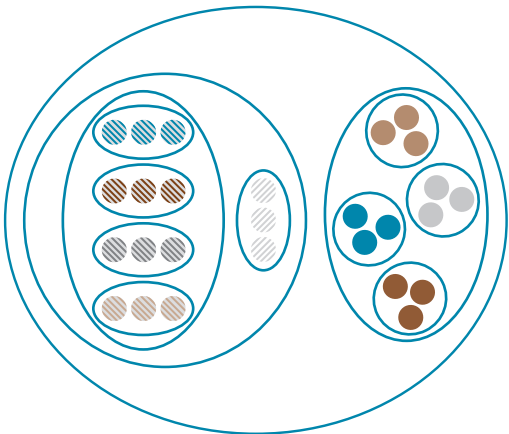


individus, de manera que el resultat final són grups amb pocs individus a dins de grups amb més individus.

Explicarem que aquest tipus de classificació basada en els trets característics observables i en grups a dins de grups, és la mateixa lògica que fan servir els científics per classificar els animals i altres organismes vius. Aleshores, plantejarem una pregunta: *què passa si es descobreix una nova espècie desconeguda fins aleshores?* Per reflexionar-hi, donarem a cada grup els tres cercles amb ratlles grises. La introducció d'aquestes noves figures obliga a replantejar-se una part de la classificació, concretament la dels cercles ratllats, tal com es mostra a la figura 5.

A continuació, donarem a cada grup el conjunt de quadrats ratllats. Demanarem, *què passa en aquest cas?* Els quadrats ratllats introdueixen un nou proble-

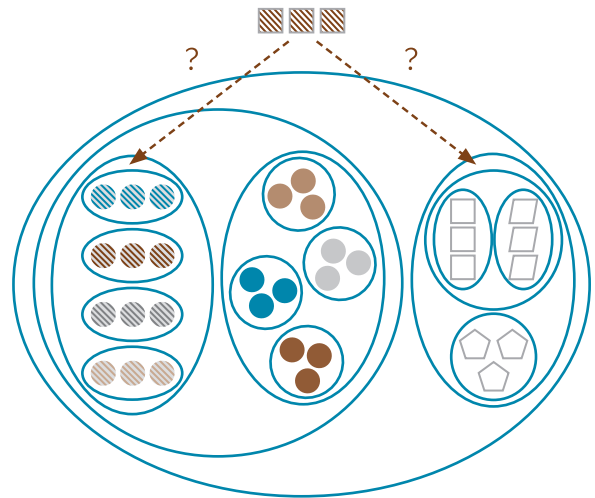
Figura 5. Nova classificació deguda al descobriment de noves espècies



ma, ja que poden ser classificats tant amb les figures amb quatre vèrtexs com amb les figures ratllades (figura 6).

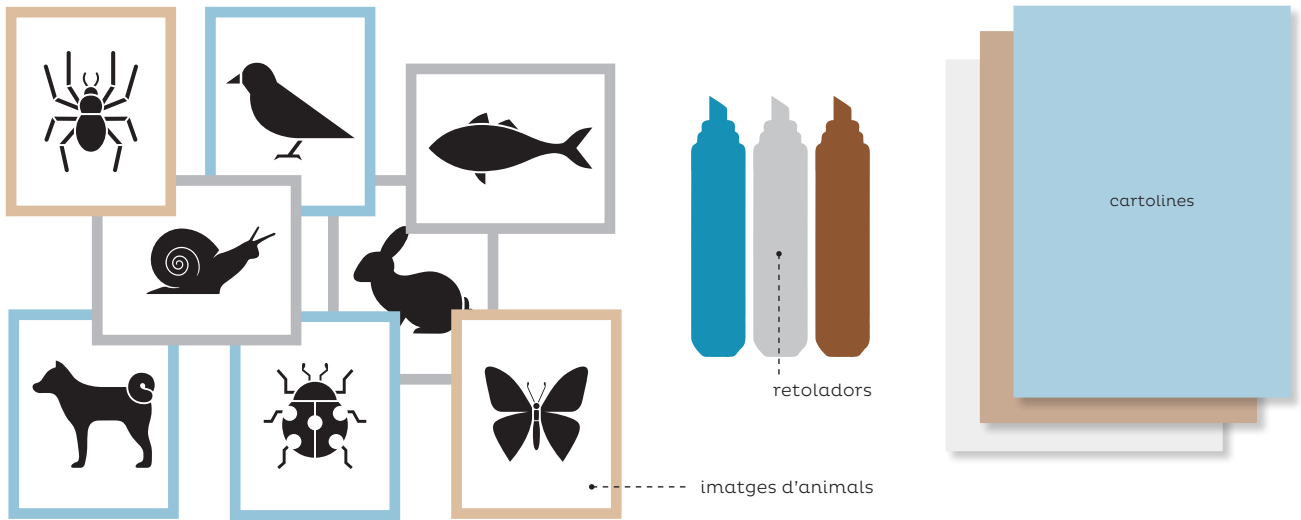
Explicarem als infants que aquesta situació a vegades és molt similar al que passa en la ciència quan els científics descobreixen noves espècies o aprofundeixen en l'estudi d'espècies ja conegudes. Aquests tipus de dilemes fan que els científics hagin de replantejar els criteris de classificació, amb l'objectiu que cada espècie només quedi classificada en un únic grup concret dins del sistema general de classificació. Per aquest motiu, les classificacions dels grups d'animals sovint es modifiquen amb el temps, a mesura que es descobreixen noves espècies o s'obtenen noves dades que permeten conèixer-les millor.

Figura 6. On posem els quadrats ratllats?



Activitat 4

DE LA CLASSIFICACIÓ AL GRAU DE PARENTIU



Material per a un grup de quatre persones

Imatges amb els animals de l'activitat 2, cartolines, retoladors.

Idees clau treballades amb aquesta activitat

Idea 1. Classificar permet parlar, estudiar i fer hipòtesis sobre la gran varietat d'éssers vius que hi ha a la terra.

Idea 2. Per poder classificar els éssers vius cal observar-ne els trets característics.

Idea 3. Els éssers vius que comparteixen característiques comuns poden agrupar-se en grups a dins de grups.

Idea 4. La classificació dels éssers vius ens indica el grau de parentiu entre organismes.

Descripció de l'activitat i orientacions didàctiques

A partir del que haurem treballat en l'activitat anterior, proposarem que els infants classifiquin alguns dels animals que hem utilitzat a la segona activitat. Recor-

Taula 1. Taula amb els caràcters a observar en els diferents animals.

	Humà	Llebre	Ratpenat	Gallina	Pit-roig	Tortuga	Tonyina	Orada	Cargol	Cuc de terra	Marieta	Papallona	Aranya	Milpeus
Cap	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Esquelet intern	●	●	●	●	●	●	●	●						
Esquelet extern											●	●	●	●
Cos tou									●	●				
4 extremitats (2 parells)	●	●	●	●	●	●								
6 extremitats (3 parells)											●	●		
8 extremitats (4 parells)													●	
Molts parells d'extremitats														●
Aletes							●	●						
Cos protegit per closca						●			●					
Cos cobert de plomes				●	●									
Cos amb escates						●								
Cos amb pèl	●	●	●											

darem que, per classificar, els científics sempre es fixen en trets característics i observables, i en aquesta activitat nosaltres farem el mateix. També explicarem que un mateix tret pot tenir diverses manifestacions. Per exemple el tret “tenir potes” pot aparèixer amb diferents valors: “6”, “8” o “moltes”.

Repartirem la taula que es mostra a continuació (taula 1), inicialment buida, i comentarem els diversos caràcters a observar perquè tots els infants tinguin clar el seu significat. Preguntarem, per exemple: *tenim clar què és un esquelet extern o intern?, què vol dir extremitats?*

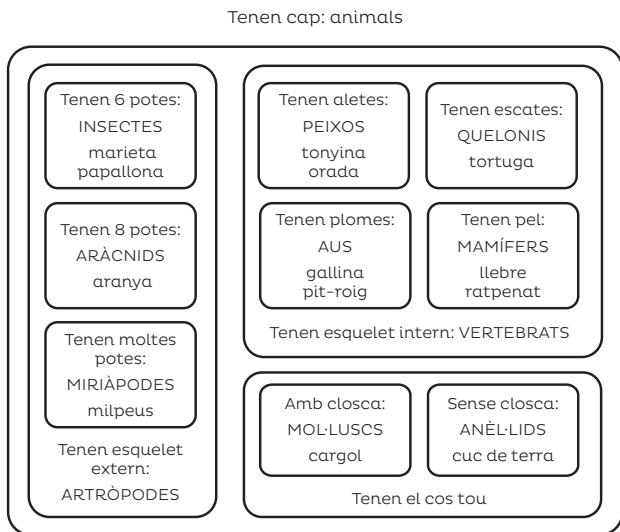
Un cop tots els infants estiguin familiaritzats amb la terminologia i el reconeixement d'aquests trets característics, deixarem un temps perquè omplin la taula. Hauran de marcar amb una creu la presència de cada característica (columna de més a l'esquerra) en cadascun dels animals que apareixen a la primera fila. A la taula 1 mostrem el resultat final esperat.

Després d'aquest treball en grup, compartirem els resultats en gran grup, assegurant-nos que tots els grups

han identificat correctament els trets característics de cada espècie. Farem servir una taula gran, que ens permetrà posar en comú les respostes i corregir els possibles errors.

A partir d'aquí, demanarem que de nou en petits grups procurin transformar aquesta graella en un sistema de grups a dins de grups. Per ajudar-los, podem guiar-los amb preguntes com ara: *hi ha alguna característica que tinguin en comú tots els animals?* [tots tenen cap]. Per tant, *si tots tenen cap, quin dels conjunts serà?* [el més gran i el més extern, el que agrupa tots els altres animals]. Seguidament podem demanar: *podem distingir un subconjunt d'animals amb esquelet extern i un subconjunt d'animals amb esquelet intern? Quins animals hi ha a cada subconjunt? dins del subconjunt d'animals amb esquelet extern, podem fer diferents grups segons el nombre d'extremitats? Dins del grup d'animals amb esquelet intern, podem fer diferents subgrups segons com tenen recobert el seu cos? Hi ha algun altre grup que es pugui fer? Què el caracteritza?* Totes aquestes preguntes ens han d'ajudar a crear una sèrie de grups i subgrups, com els que es mostren a la figura 7.

Figura 7. Resultat final de l'establiment grups a dins de grups.



Un cop feta aquesta estructura, explicarem que els científics, per estudiar el grau de parentiu entre diferents espècies d'animals, fan servir representacions més simples i llegibles que els conjunts i subconjunts que acabem de fer: els arbres filogenètics o cladogrames. Comentarem que aquests s'assemblen als arbres genealògics que mostren les relacions entre diferents individus d'una mateixa família. Podem utilitzar un exemple d'arbre genealògic (amb avis, cosins, tiets i germans), per analitzar-lo i fer preguntes com ara: *germans i cosins comparteixen un ancestre familiar en algun moment?, qui és?, per tant, qui estan més emparentats entre ells, dos germans o dos cosins?*, etc.

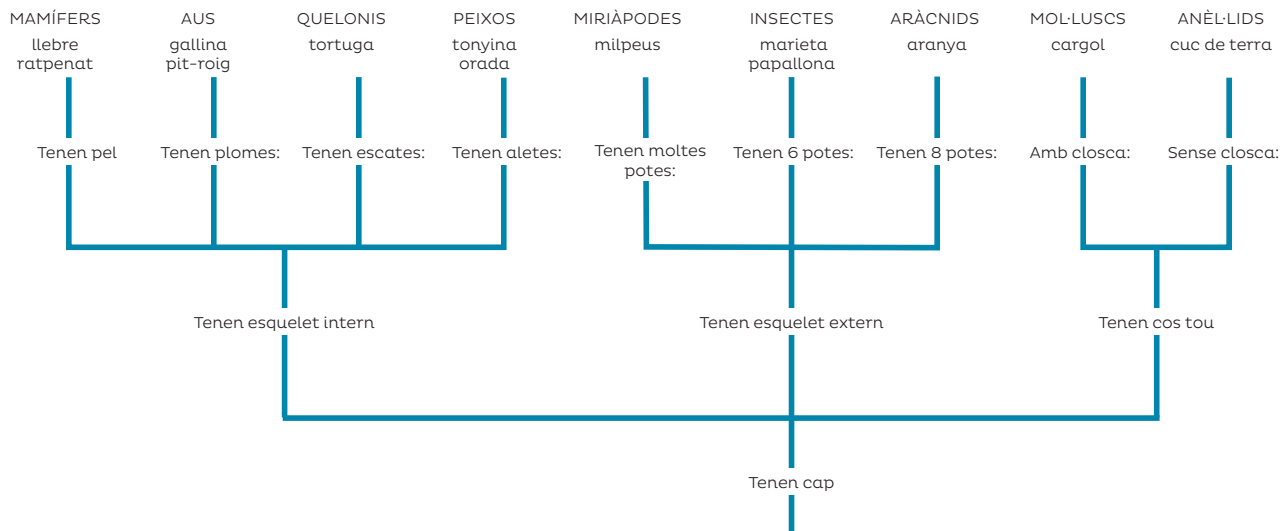
Fet aquest paral·lisme, repartirem còpies del cladograma de la figura 8 i explicarem l'esquema dels grups i subgrups a la representació en forma d'arbre.

Quan tots els infants tinguin una còpia del cladograma, els ajudarem a interpretar-lo i a extreure'n informació. Podem explicar que, en un moment determinat de la història evolutiva, van sorgir animals amb cap i cua i simetria bilateral, diferents d'altres com ara les meduses. A partir d'aquests animals, que no podem saber com eren, es van diferenciar tres grans grups: els animals amb esquelet extern, els animals amb esquelet intern i els que tenen el cos tou. A través d'aquest relat, recorrerem el cladograma i subratllarem que el cladograma és una manera ràpida d'observar el grau de parentiu entre els diferents grups d'animals que s'hi representen, de manera que els grups que estan als extrems d'una mateixa enforcadura comparteixen un ancestre comú més proper, que estaria situat al node de l'enforcadura.

També observarem que, si hi col·loquem els caràcters utilitzats per classificar inicialment els animals, aquests van apareixent de manera successiva. Així, el fet de tenir cap és molt antic entre els animals, i el fet de tenir sis parells de potes en els insectes és posterior, o com a mínim simultani, a la presència d'esquelet extern. Amb tot, també remarcarem que el cladograma no indica el temps exacte en què van aparèixer aquests caràcters, sinó només l'ordre en què ho van fer.

Per comprovar la comprensió dels cladogrames per part dels infants podem plantejar preguntes com ara: *quins trets comuns comparteixen l'home i el conill? I una marieta i una papallona? Qui creieu que té un major grau de parentiu, una tonyina i una llebre o una aranya i un ratpenat? Per què?, tenen algun grau de parentiu una aranya i un ratpenat? Per què?*, etc.

Figura 8. Cladograma



Per tancar l'activitat, podem proporcionar altres cladogrames senzills perquè els infants els interpretin. A internet es poden trobar molts exemples de cladogrames usant termes de cerca com ara: "cladograma + primats" o "cladograma + vertebrats". Escollirem els més simples o els adaptarem nosaltres mateixos. Cal advertir que hi ha dos grans formats de cladogrames: els que usen enforcadures (verticals o horitzontals), i els que tenen una forma diagonal, sense enforcadures. Tot i que representen el mateix i s'interpreten de la mateixa manera, la recerca ha mostrat que els infants entenen millor els cladogrames amb enforcadures orientades verticalment, com el de la figura 8.

Per acabar, pot ser interessant consultar la web EvoGenao (<https://www.evogeneao.com/es>), que mostra un immens arbre de la vida. Aquesta eina permet jugar amb els nens i nenes a descobrir els ancestres comuns als éssers vius que ells mateixos triïn i conèixer en quin moment van viure, segons el coneixement científic actual. El lloc web està disponible en diversos idiomes, entre ells el castellà i el català.

Quan el problema és comprendre l'origen dels tetràpodes amfibis, rèptils, ocells i mamífers

En el bloc d'activitats anterior hem vist com podem introduir els nens i les nenes a la classificació biològica dels animals i, a partir d'aquí, aprendre a construir i interpretar arbres filogenètics o cladogrames. També hem vist que aquest tipus de representacions mostren les relacions de parentiu entre diversos grups d'organismes i l'origen dels caràcters propis de cada grup. Un d'aquests caràcters és el fet de posseir quatre extremitats, una particularitat del grup d'animals que els zoòlegs anomenen tetràpodes (del grec *tetra* = quatre, i *podós* = potes). En aquest bloc d'activitats proposarem als infants d'investigar sobre l'origen d'aquest grup d'animals, al qual nosaltres mateixos pertanyem, juntament amb la resta de mamífers, amfibis, tortugues, serps, llangardaixos, cocodrils i ocells.

En aquest breu itinerari d'investigació es pretén que els infants explorin i relacionin coneixements de diferents disciplines científiques. D'una banda, de la biologia del desenvolupament, que explica com es forma un organisme adult a partir d'un embrió, i de l'altra de la paleontologia, que estudia els fòssils. Totes dues disciplines formen part de la biologia evolutiva i actualment la seva integració contribueix a una comprensió més profunda dels processos evolutius (Shubin, 2015, 2024). És important que els nens i les nenes comencin a reconèixer aquesta complementarietat entre disciplines, ja que la ciència moderna sovint avança a partir de la connexió entre diferents àmbits de coneixement.

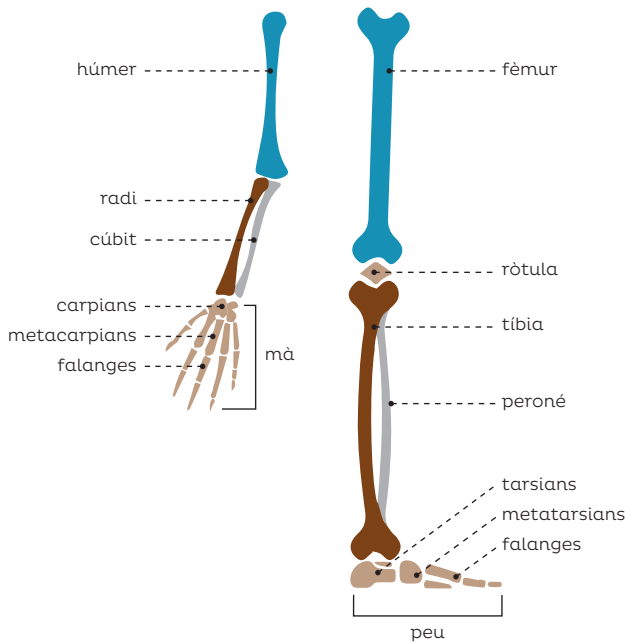
A més a més, recentment s'ha subratllat la importància d'introduir a l'escola l'origen de les grans novetats evolutives, com ara l'origen dels tetràpodes, com a contingut específic en l'ensenyament de l'evolució. Això permet anar més enllà de l'adaptació per selecció natural i comprendre que l'origen de grans novetats evolutives es pot explicar a partir de mecanismes biològics con-

crets. Aquesta comprensió ajuda a veure que aquest tipus de problemes no representen cap punt feble de la teoria evolutiva, contràriament al que sovint defensen els moviments antievolucionistes (Padian, 2010).

Com ja s'ha vist en les activitats del problema anterior, malgrat l'enorme diversitat d'espècies dins de cada gran grup d'animals, tots comparteixen un mateix patró corporal bàsic: un conjunt d'estructures anatòmiques disposades d'una manera semblant entre tots els animals que formen part d'aquell grup. En aquest sentit, a l'*Origen de les espècies* Darwin ja ho expressava així: «Què podria ser més curiós que el fet que la mà de l'home, formada per a agafar coses, la del talp, per a cavar, la pota del cavall, l'aleta del dofí i l'ala del ratpenat, estiguin totes construïdes segons el mateix patró i incloquin els mateixos ossos en les mateixes posicions relatives?» (1859/2009, p.415). És com si, al llarg de la història de la vida, s'haguessin originat, en moments determinats, formes diferents de "ser animal". A partir d'aquí, s'haurien produït una radiació evolutiva més o menys gran d'espècies que han donat lloc a moltes espècies noves: variacions sobre un mateix tema que mantenen el mateix patró corporal amb manifestacions una mica diferents.

Això és el que ha passat amb els tetràpodes, un subgrup de vertebrats que comparteixen el fet de tenir quatre extremitats, a diferència dels peixos, que tenen aletes. Aquest grup va ser capaç de conquerir el medi terrestre, i avui podem afirmar que ho va fer amb molt d'èxit, tant pel gran nombre d'espècies existents com per la diversitat morfològica que han assolit des de l'origen del grup. Els primers tetràpodes tenien un aspecte molt semblant a les salamandres i tritons actuals, però de mica en mica, el grup es va diversificar fins a originar tots els amfibis, tortugues, llangardaixos i serps,

Figura 9. Membre tetràpode (dreta cama, esquerra braç) amb les seves parts



cocodrils, mamífers i ocells que coneixem actualment, i també els que han existit en el passat.

Malgrat l'enorme diversitat dins dels tetràpodes, tots comparteixen el fet de tenir quatre potes i, a més, cadascuna d'aquestes extremitats segueix un mateix patró estructural, anomenat *membre tetràpode*. Aquest patró estructural és comú tant a les extremitats anteriors (braços) com a les posteriors (cames) i es pot resumir així: 1 os + 2 ossos + ossets + dits (figura 9). Això

significa que al braç, la successió d'ossos seria: húmer + cúbit i radi + carpians/metacarpians + falanges dels dits. A les cames, la successió seria: fèmur + tibia i peroné + tarsians/metatarsians + falanges dels dits. El membre tetràpode s'articula amb la resta de l'esquelet a través de dues cintures: la cintura escapular, formada per la clavícula i l'escàpula, i la cintura pelviana, formada pels ossos de la pelvis.

L'estructura general que caracteritza el membre tetràpode es repeteix, amb lleugeres modificacions, en totes les espècies que pertanyen a aquest grup. A banda de formes lleugerament diferents en els ossos més llargs de l'extremitat -els que formen el braç i la cama-, les modificacions s'han produït sobretot a la part final de l'extremitat, la que correspon a les mans o els peus. Així, per exemple, dins el grup dels mamífers hi ha subgrups que han perdut alguns dels dits -com els senglars o els cavalls-, i d'altres que han mantingut els cinc dits, com ara els primats, entre els quals els humans. Parlem de "mantenir" perquè els fòssils dels primers tetràpodes mostren un nombre més gran de dits -fins a vuit-, però sabem que en un determinat moment aquest nombre es va reduir i es va establir en cinc, tot i que després es pot haver reduït encara més en alguns grups.

En altres casos, són les falanges dels dits de les mans les que s'han modificat, per exemple allargant-se en el cas dels ratpenats, la qual cosa ha permès que els dits actuin com a radis que sostenen la membrana dèrmica que els serveix per volar. És molt interessant observar que aquesta modificació a les mans dels ratpenats no es reproduïx a les extremitats posteriors, fet que ha portat als científics a pensar que les extremitats anteriors i posteriors es desenvolupen de manera independent l'una de l'altra i, per tant, es poden modificar en direccions diferents, a mesura que es forma un nou individu.

Tal com passa en els ratpenats, un altre exemple d'aquesta evolució independent dels dos parells d'extremitats el trobem en els ocells, que han modificat molt les extremitats anteriors -allargament relatiu dels ossos del braç i l'avantbraç, reducció del nombre de dits, etc.-, convertint-les en ales gràcies a la presència de plomes. Amb tot, els ocells també han mantingut les extremitats posteriors amb una estructura molt més semblant al patró general del membre tetràpode, tot i que amb una reducció en el nombre de dits. També s'han produït canvis en el grup dels cetacis -balenes i dofins-, en què l'extremitat anterior s'ha modificat fins a constituir una aleta que propulsa l'animal quan neda, mentre que les extremitats posteriors han quedat reduïdes, com a molt, a ossos molt petits que no es poden percebre des de l'exterior. Però el cas més extraordinari de modificació és, sens dubte, el de les serps, que no desenvolupen cap de les quatre extremitats -com també passa en algunes espècies de llangardaixos-, tot i que en el grup de les boes i les pitons, hi ha restes molt petites dels ossos del que serien les extremitats posteriors, però que no són visibles externament.

Les extremitats dels tetràpodes són un exemple del que en biologia evolutiva s'anomena homologia, és a dir, caràcters compartits per grups diversos d'organismes pel fet de derivar tots d'un mateix ancestre comú. En el nostre cas, aquest caràcter heretat és el membre tetràpode. Alhora, és també un grup d'animals on s'observen exemples del que els científics anomenen convergència evolutiva. Els casos de convergència evolutiva es donen quan organismes que no tenen una relació de parentiu molt pròxima acaben desenvolupant estructures que els permeten realitzar una mateixa funció -per exemple, ales per volar. Un exemple molt clar de convergència evolutiva es dona entre ratpenats, ocells i pterosaures que són els tres grups de tetràpodes que

presenten estructures adaptades al vol actiu. En tots tres casos es tracta de modificacions del membre tetràpode original, però que han seguit línies evolutives diferents. És fàcil trobar imatges a internet de l'esquelet de les extremitats anteriors d'aquests tres grups de tetràpodes per comparar-les entre si.

Arribats aquí, la pregunta que sorgeix és, sens dubte: com es produeixen el conjunt de variacions específiques que té cada espècie d'animal sense que es modifiqui el patró estructural general del membre tetràpode? Des de la ciència, la resposta la trobem, d'una banda, en la biologia del desenvolupament que, com ja hem dit abans, és la disciplina que investiga les transformacions que es produeixen des del zigot -és a dir, l'òvul fecundat- fins a l'adult. I, d'altra banda, en el concepte de selecció natural que ja hem tractat al primer bloc d'activitats, i que explica la persistència d'aquelles morfologies que permeten sobreviure millor en un determinat ambient.

Cada vegada més, els científics coneixen millor els mecanismes implicats en el desenvolupament embrionari i, justament, la formació de les extremitats ha estat un dels temes que més ha interessat als investigadors. De manera molt simplificada, podríem dir que el desenvolupament embrionari d'un organisme concret depèn de com es desplega en el temps la informació genètica que hereta dels seus progenitors. Tot animal comença essent una única cèl·lula, la qual es va dividint de manera progressiva fins a donar lloc a multitud de cèl·lules filles que també es divideixen, però que al mateix temps es diferencien entre elles, formant els diferents tipus cel·lulars que trobem en els diferents teixits -per exemple, nervis, músculs, pell o ossos. Malgrat que totes les cèl·lules del nostre cos contenen la mateixa informació genètica, perquè deriven de la progressiva divisió del zigot, la informació que s'activa en unes o altres cè-

l·lules és el que determina que aquestes es diferenciïn i acabin formant teixits o estructures tan diferents com la pell, el múscul o els ossos. Tot i que ara mateix és un camp de recerca molt actiu, sabem que el que fa que s'activi una o altra informació genètica en determinades cèl·lules és la capacitat que tenen les cèl·lules de comunicar-se entre elles. Les cèl·lules es comuniquen usant molècules com a vehicles d'informació -sobretot proteïnes-, i en aquesta comunicació s'intercanvien ordres que, fent una mica de caricatura, podrien ser: *divideix-te, para de dividir-te, desplaça't cap a..., diferència't*, o fins i tot *more't*.

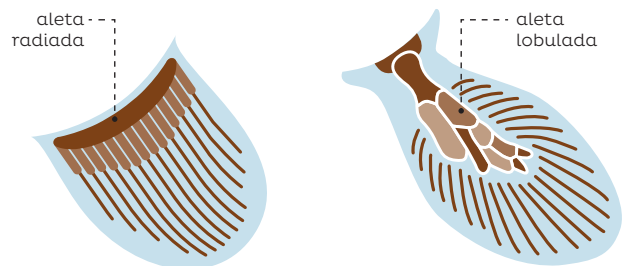
És evident que, cap al final de l'etapa de primària, pot ser que els infants comencin tot just a conèixer les cèl·lules, i potser encara no hagin après formalment res sobre la informació genètica d'un individu. Tanmateix, sí que sabem que els nens i les nenes saben que el cos té teixits diferents, i també coneixen casos en què els objectes o els animals reaccionen després de rebre certa informació. Al mateix temps tenen coneixement que els organismes canvien i es formen al llarg del procés de desenvolupament. A les activitats que proposem aprofitarem tots aquests coneixements previs per començar a introduir-los, d'una manera molt simple i general, en la biologia del desenvolupament i, més concretament, en el procés de formació d'una extremitat.

Com ja hem vist en el primer bloc d'activitats, la informació genètica pot patir canvis -anomenats mutacions-, i aquests canvis s'hereten de pares a fills. Si aquestes mutacions afecten els gens que regulen la formació d'una determinada estructura corporal, pot passar que un petit canvi genètic, doni lloc a estructures finals molt diferents. Els detalls d'aquests processos de regulació genètica al llarg del desenvolupament cada cop es van coneixent millor, però la seva comprensió deta-

llada està, sens dubte, fora de l'abast dels nens i nenes de primària. No obstant això, pensem que és important fer una primera aproximació a alguns d'aquests processos, ni que sigui de forma molt general, perquè tenir-ne una mínima comprensió serà, sens dubte molt útil per comprendre millor com, al llarg de l'evolució dels organismes vius, han pogut aparèixer formes tan diferents com una granota, un ocell o una serp.

Saber com es formen les extremitats no ens diu res sobre com ni quan va aparèixer una estructura tan singular a la història evolutiva dels animals. Per respondre aquests dos interrogants cal la informació que prové del registre fòssil. Les investigacions en l'àmbit de la paleontologia han permès determinar que totes les espècies de tetràpodes, comparteixen un ancestre comú amb un grup molt particular de peixos: els peixos d'aletes lobulades -el terme científic és *peixos sarcopterigis*. Aquest grup de peixos, enlloc de tenir aletes amb radis com els peixos més coneguts, tenen el que s'anomenen aletes lobulades (figura 10)

Figura 10. Anatomia simplificada de l'esquelet d'una aleta radial i d'una aleta lobulada.



Actualment encara existeixen algunes espècies de peixos d'aletes lobulades, que constitueixen el grup germà dels tetràpodes. Un exemple és el celacant (*Latimeria chalumnae*), que es pensava que estava extingit però que va ser redescobert per uns pescadors l'any 1938 a les illes Comores, molt a prop de Madagascar. Un altre exemple són els anomenats peixos pulmonats, o dipnous, dels quals en coneixem unes sis espècies, entre les quals *Lepidosiren paradoxa* i *Neoceratodus forsteri*. A internet es poden trobar imatges i vídeos de totes aquestes espècies.

Com que tots els tetràpodes tenen un esquelet ossi, i els ossos fòssilitzen fàcilment, els paleontòlegs han pogut establir amb força precisió el moment de l'aparició dels primers tetràpodes, situat ara fa entre 380 i 360 milions d'anys. D'aquest període s'han documentat diverses espècies que mostren algunes parts del membre tetràpode i que es presenten a l'activitat 4. L'anàlisi de les restes fòssils de les extremitats d'aquestes espècies ja extingides, mostra com en algunes hi ha una sèrie d'ossos a l'interior de l'aleta que prefiguren el que després serà el membre tetràpode (per exemple, *Eusthenopteron*, *Panderichthys*, *Tiktaalik*), mentre que en d'altres, ja posteriors, hi apareix l'estructura típica del membre tetràpode (per exemple, *Acanthostega*, *Tulerpeton*). És curiós observar que la majoria de fòssils trobats tenen més de cinc dits al final de les extremitats: *Acanthostega*, per exemple, en tenia vuit a les potes anteriors i set a les posteriors.

A partir d'aquest primer grup d'espècies amb membres tetràpodes complets, es va produir una gran radiació de formes que va donar lloc, en moments diferents, a totes les espècies del grup dels amfibis, les tortugues, els llan-gardaixos i serps, els cocodrils, els ocells i els mamífers. Tal com hem indicat anteriorment, en alguns d'aquests

grups, sense que l'estructura general del membre tetràpode es modifiqués, és a dir, mantenint l'esquema 1 os + 2 ossos + ossets + dits, es van produir modificacions d'algunes d'aquestes parts, que van conduir a adaptacions molt específiques.

El membre tetràpode va permetre que els animals que el tenien es poguessin desplaçar amb facilitat per terra. Evidentment, aquesta no és l'única adaptació que presenten els animals d'aquest grup per viure en el medi terrestre, ja que aquesta presenta molts altres reptes i dificultats que, per manca d'espai i per evitar un excés de nova informació, hem optat per no tractar en el conjunt d'activitats que presentem a continuació.

Una idea interessant que es desprèn del cas dels tetràpodes, i que és un principi general de la història evolutiva dels organismes, és que l'evolució no actua com un enginyer, sinó més aviat com si fes bricolatge: no construeix estructures corporals *de novo*, sinó que aprofita estructures ja existents, les modifica i les reutilitza per a noves funcions (García-Fernández i Bueno, 2016; Jacob, 1977). Malgrat el llenguatge utilitzat aquí pugui suggerir intencionalitat, cal recordar que només és una manera d'expressar-nos, ja que l'evolució no té cap finalitat: tot el que n'és fruit es produeix per processos de mutació a l'atzar i de selecció natural.

En tot cas, quan investiguem sobre evolució amb els nens i les nenes, hem de tenir sempre present que els organismes només poden evolucionar a partir de les estructures, els gens i els processos de desenvolupament dels organismes que els han precedit i dels quals deriven. Aquestes reutilitzacions poden produir transicions evolutives tan espectaculars com l'aparició dels animals tetràpodes a partir d'un grup de peixos

amb aletes, o bé la dels cetacis o les serps a partir d'un ancestre que sí que presentava totes quatre extremitats.

Les idees dels nens i nenes sobre l'origen de grans grups d'animals

Que sapiguem, encara no s'ha fet cap recerca sobre les idees dels nens i les nenes en relació a l'aparició dels diferents grans grups d'animals, de manera que no disposem d'informació concreta sobre aquests aspectes.

Tanmateix, podem pensar que els nens i les nenes consideren que aquests animals han existit sempre, o bé que tenen una concepció molt lineal de l'origen dels grans grups d'animals. Això probablement es deu al fet que, en llibres de text o informatius, sovint hi hagin trobat representacions gràfiques que mostren de manera successiva un peix, una salamandra, un rèptil i un mamífer. Aquesta imatge és completament errònia des del punt de vista científic, i per això és tan important haver treballat prèviament amb els infants la representació de l'evolució en forma d'arbre filogenètic, tal com s'ha remarcat en el bloc d'activitats anterior.

És evident que la comprensió de l'aparició dels grans grups d'animals és un tema molt complex. Ho és per a la ciència, i òbviament també ho serà per a l'alumnat. Tot i això, cal abordar-lo tan aviat com sigui possible. Aquesta complexitat deriva entre altres coses, de la necessitat d'integrar sabers procedents d'àmbits de coneixement tan diversos com són la genètica, la biologia del desenvolupament i l'estudi dels fòssils. Malauradament, aquests continguts són encara molt poc presents a l'educació primària. Aquest fet podria conduir els docents a pensar que no cal tractar-los i que s'han de deixar completament de banda, però, des del

punt de vista dels autors, això seria un error. Una de les funcions fonamentals de la didàctica és precisament transformar el coneixement expert en coneixement escolar assequible, en un procés que anomenem transposició didàctica.

Per aquest motiu, voldríem que els docents entenguessin el bloc d'activitats que seguidament es descriu com un intent innovador, i fins i tot atreït, d'introduir els nens i les nenes a aquest gran problema evolutiu que és l'origen dels grans grups d'animals.

Les idees que cal treballar sobre l'origen dels grans grups d'animals

En l'estudi sobre l'origen del grup dels tetràpodes que es planteja en el conjunt d'activitats del breu itinerari d'investigació que es presenta a continuació, es pretén ajudar els nens i les nenes a construir les següents idees clau:

Idea 1. Tots els grups d'animals tenen una sèrie de característiques que són pròpies i exclusives d'aquell grup.

Idea 2. L'evolució aprofita les estructures que ja tenen els organismes i mai inventa noves estructures des de zero.

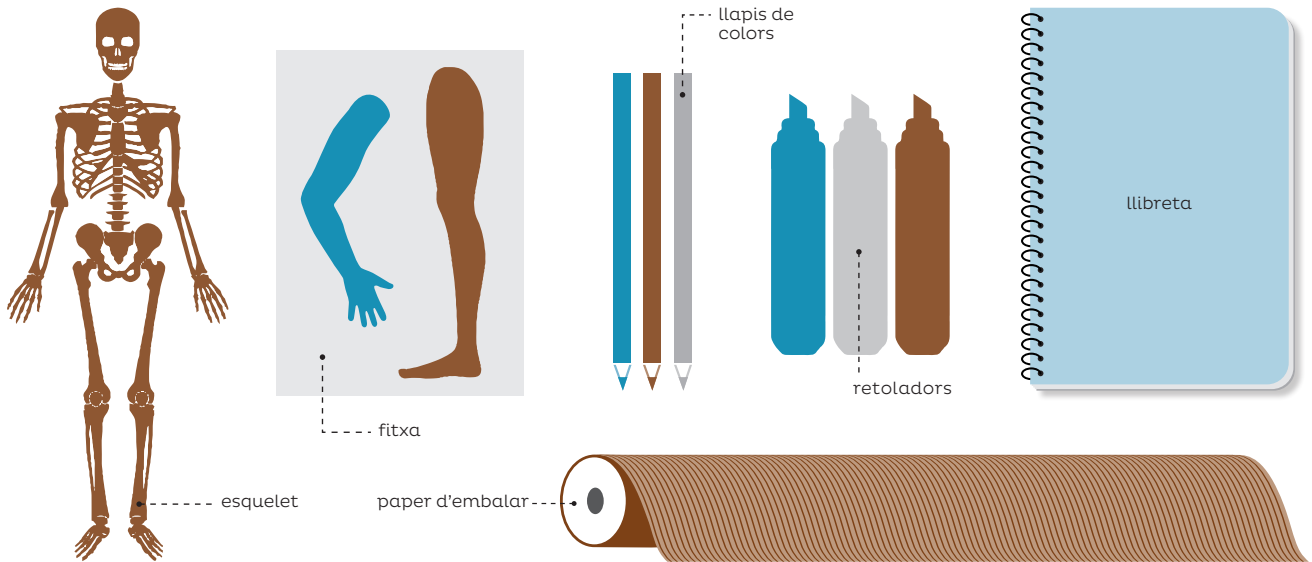
Idea 3. Els fòssils ens ajuden a reconstruir la història evolutiva d'un grup determinat d'organismes.

Idea 4. Petites modificacions produïdes en el desenvolupament d'un organisme condueixen a la formació d'estructures corporals que poden arribar a ser molt diferents.

	Activitat 1. Explorem els nostres braços i cames	Activitat 2. Com són i com varien les extremitats dels tetràpodes?	Activitat 3. Com es forma una extremitat?	Activitat 4. Els fòssils ajuden a explicar l'origen dels tetràpodes
Idea 1. Tots els grups d'animals tenen una sèrie de característiques que són pròpies i exclusives d'aquell grup.				
Idea 2. L'evolució aprofita les estructures que ja tenen els organismes i mai inventa noves estructures des de zero				
Idea 3. Els fòssils ens ajuden a reconstruir la història evolutiva d'un grup determinat d'organismes.				
Idea 4. Petites modificacions produïdes en el desenvolupament d'un organisme condueixen a la formació d'estructures corporals que poden arribar a ser molt diferents.				

Activitat 1

EXPLOREM ELS NOSTRES BRAÇOS I CAMES



Material per a un grup de quatre

Esquelet anatòmic humà, paper d'embalar, retoladors, llapis de colors, fitxa amb silueta de braç i cama, folis o llibreta de ciències.

Ides clau treballades amb aquesta activitat

Idea 1. Tots els grups d'animals tenen una sèrie de característiques que són pròpies i exclusives d'aquell grup.

Descripció de l'activitat i orientacions didàctiques

Iniciarem l'activitat demanant als nens i les nenes que observin els seus braços i cames i que, en petits grups, pensin i dibuixin com estan fetes aquestes extremitats per dins. Per facilitar el dibuix, els donarem una silueta d'un braç i d'una cama, prou grans perquè tinguin espai suficient per dibuixar-hi a dins. Mentre els grups estiguin ocupats en aquesta tasca, circularèm per l'aula i ajudarem a realitzar-la sense avançar els resultats. És important observar quins elements anatòmics tenen en compte els nens i les nenes en els seus dibuixos -ossos, músculs, nervis, vasos sanguinis, etc.- i, en funció

del que detectem, podem intervenir amb preguntes com ara : *creieu que ja ho teniu tot dibuixat?, no hi ha res més que hagueu d'afegir al dibuix? esteu segurs/se-gures que ho teniu tot?, si sabeu com es diu aquest os/ múscul, hi podeu posar el nom, etc.*

Passat un temps prudencial, demanarem als diferents grups que mostrin els dibuixos que han fet i que els comentin en una conversa col·lectiva. Aquesta conversa ha de servir per identificar els punts en què tots els nens i les nenes estan d'acord i aquells en què discrepen. En un paper d'embalar, la mestra, o un nen o nena voluntaris aniran fent el dibuix del braç i de la cama, segons allò que s'acordi entre tots. Només s'hi representarà el que hagi estat consensuat. En el cas que els nens i les nenes hagin indicat els noms d'alguns ossos o músculs que coneguin, també els afegirem al dibuix.

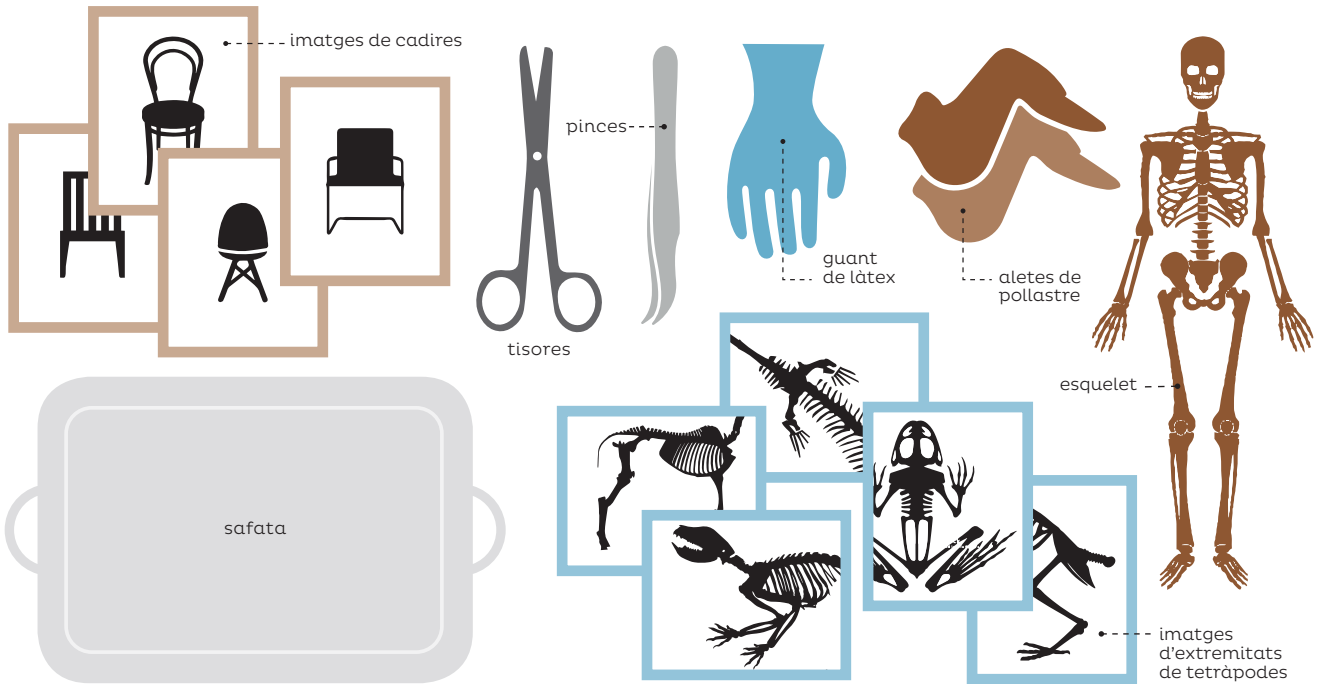
Un cop fet el dibuix general, explicarem que els ossos són el que dona estructura als braços i a les cames, i que és important observar com estan disposats. Portarem un esquelet humà de plàstic i demanarem que comparin els ossos del dibuix amb els ossos de l'esquelet per tal de modificar el seu dibuix en allò que faci falta. En aquesta revisió, ens fixarem sobretot en la posició i el nombre d'ossos, més que no pas en els detalls morfològics. Després de revisar el dibuix, demanarem que s'hi fixin bé, o bé que observin l'esquelet, i que pensin si poden trobar alguna semblança en la disposició dels ossos que formen els braços i els que formen les cames. Preguntarem: *hi ha alguna cosa en comú en la disposició dels ossos dels braços i els de les cames?* L'objectiu és que els infants observin que, tant als braços com a les cames, els ossos segueixen un mateix patró: primer un os llarg (l'húmer o el fèmur), després dos ossos (cúbit/radi o tibia/peroné), després el conjunt d'ossos del canell i el turmell (carpians/metacarpians i tarsians/metatarsi-

ans) i finalment els dits, formats per diverses falanges articulades. Aquest patró es pot simplificar com: 1 os + 2 ossos + ossets + dits. Demanarem que, al seu dibuix, pintin de diferents colors cadascuna d'aquestes quatre parts, posant-nos d'acord prèviament sobre els colors que usarem (vegeu figura 9).

Per acabar l'activitat, plantejarem la pregunta: *us sembla que aquest patró de les nostres extremitats el compartim amb altres animals? Amb quins?* Farem una llista conjunta amb tots els animals que proposin els nens i les nenes i que responguin realment a la pregunta feta en les preguntes anteriors. Distingirem entre els animals dels quals estem segurs que comparteixen aquest patró i aquells dels quals només ho suposem però no n'estem del tot segurs.

Activitat 2

COM SÓN I COM VARIEN LES EXTREMITATS DELS TETRÀPODES



Material per a un grup de quatre

2 aletes de pollastre, model anatómic de l'esquelet humà, imatges de les extremitats de diversos tetràpodes (vegeu text), imatges de cadires diferents, tisores de dissecció, pines, guants de làtex, safata.

Idees clau treballades amb aquesta activitat

Idea 1. Tots els grups d'animals tenen una sèrie de característiques que són pròpies i exclusives d'aquell grup.

Idea 2. L'evolució aprofita les estructures que ja tenen els organismes i mai inventa noves estructures des de zero.

Descripció de l'activitat i orientacions didàctiques

Iniciarem l'activitat a partir de la llista d'animals anotats al final de l'activitat anterior i que creiem o sabem del cert que comparteixen amb nosaltres el mateix patró esquelètic a les seves extremitats. Organitzarem la llista segons si els animals proposats pertanyen al grup dels amfibis, les tortugues, els llangardaixos, les serps, els cocodrils, els ocells o els mamífers. En el cas dels mamífers ens assegurarem que hi hagi balenes, ratpenats, foques, primats, rinoceronts i cérvols. Si algun d'aquests grups no té cap representant, en proposarem un o dos. Seleccionarem un o dos representants de cadascun dels grups anteriors per cada infant i demanarem que amb l'ajuda de llibres i internet, busquin imatges dels seus esquelets. Indicarem que si no troben els esquelets sencers, també ens servirán les imatges que només mostrin l'esquelet de les extremitats anteriors i/o posteriors.

Mentrestant, el o la docent també buscarà els esquelets dels animals seleccionats per poder-los projectar a la classe i analitzar-los conjuntament. Es poden obtenir imatges en 3D a webs com ara: <https://boneclothes.com/>, <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/animal-and-bird-and-dinosaur-skeletons-huge-collection-3d-model-1972220>, o bé <https://www.tur->

[bosquid.com/es/3d-models/animal-skeletons-collection-3d-model-2306179](https://www.turbosquid.com/es/3d-models/animal-skeletons-collection-3d-model-2306179). Una altra bona font d'informació per obtenir imatges d'esquelets és el llibre de Kirk (2016), que referenciem a la bibliografia.

Un cop tinguin les imatges, recordarem que en l'activitat anterior havíem establert que els ossos dels nostres braços i cames segueixen el patró: 1 os + 2 ossos + ossets + dits. A partir d'aquest recordatori demanarem que observin detingudament les imatges que han trobat per comprovar si les extremitats de tots aquests animals segueixen el mateix patró. També els demanarem que comptin els dits que tenen i que anotin a la seva llibreta de ciències tota aquesta informació, juntament amb altres curiositats que hagin pogut observar. Per facilitar la recollida d'informació, els proporcionarem una taula com la que es mostra a continuació (taula 2). A la columna de l'esquerra hi anotarem el nom dels animals dels quals hem buscat informació, i a les altres escriurem "sí" o "no" a les columnes corresponents, segons el que puguem observar en cada cas, excepte en el cas dels dits, dels quals n'anotarem el nombre.

Un cop recollides les dades a la taula, les analitzarem per tal de veure si les espècies observades segueixen el mateix patró ossi que nosaltres, a les seves extremitats. Anirem establint conclusions a partir de preguntes com

Taula 2. Taula de recollida de dades sobre les extremitats

	1 os		2 ossos		Ossets		Dits	
	Braç	Cama	Braç	Cama	Mans	Peus	Mans	Peus
Nom de l'espècie								
Nom de l'espècie								
...								

ara: *tots els animals observats segueixen el patró 1 os + 2 ossos + ossets + dits a les seves extremitats?* [sí], *si heu observat diferències, on les heu observat, al començament de l'extremitat o al final?* [majoritàriament serà a la part final de l'extremitat, sobretot en el nombre de dits], *hi ha alguna cosa que us hagi cridat l'atenció?*, etc.

Per afavorir una observació més directa, proposarem als nens i les nenes que es fixin especialment en el cas de les ales dels ocells. Per això, donarem a cada grup de nens i nenes un parell d'aletes de pollastre, i material de dissecció. Demanarem que, amb cura, facin la dissecció de l'aleta, retirant-ne la pell i tanta musculatura com puguin, fins a deixar els ossos tan nets com sigui possible. Per facilitar l'observació dels ossos, podem portar aletes de pollastre que prèviament haurém desossat tot bullint-la prou estona perquè la carn es pugui separar de l'os amb més facilitat. Durant la dissecció, demanarem als infants que vagin observant els teixits diferents que apareixen i que en distingeixin els principals: pell, múscul, os i cartílag, nervis i vasos sanguinis. També demanarem que un membre del grup faci un dibuix el més realista possible de tot allò que van observant. A internet es poden trobar vídeos tutorials de com fer aquesta dissecció.

Quan tinguem els ossos ben nets, els mantindrem en connexió anatòmica i demanarem que analitzin si l'extremitat segueix o no el patró que hem estat observant fins ara, que és el patró típic del membre tetràpode: 1 os, 2 ossos, ossets i dits. Posarem en comú les observacions entre tots i, si cal, reforçarem aquesta anàlisi amb imatges de dibuixos, fotografies o imatges en 3D d'esquelets de les extremitats anteriors dels ocells, per tal d'observar-ne millor l'estructura. És recomanable fer aquesta comparació, ja que segons com s'hagin tallat les aletes, pot ser que no siguin completes.

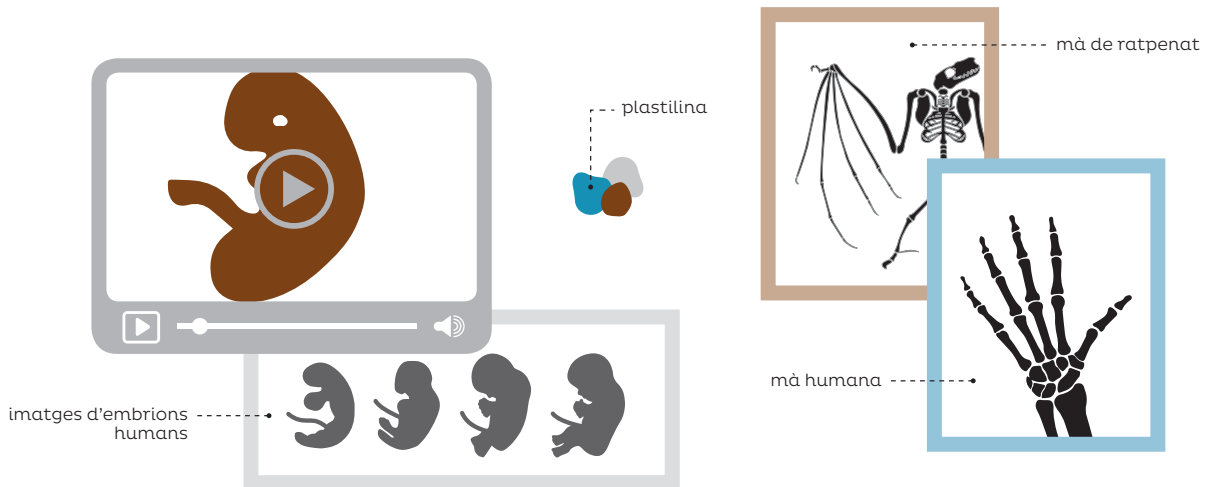
Acabarem l'activitat establint que tots els animals que tenen quatre extremitats presenten una mateixa estructura esquelètica en aquesta part del cos: 1 os, 2 ossos, ossets i dits. Aprofitarem per posar el seu nom científic a cada un dels ossos. En el cas dels carpians/metacarpis i dels tarsians/metatarsians, podem referir-nos-hi com a ossos del canell o del turmell. També destacarem que, malgrat que tots els animals observats segueixen aquest patró general, hi ha diferències entre ells, en la mida i la forma dels ossos i, sobretot, en el nombre de dits. Finalment, observarem que en alguns animals, les extremitats anteriors i les posteriors, tot i mantenir el mateix patró esquelètic general, són molt diferents entre elles, com passa, per exemple, en els ocells, els ratpenats o les balenes.

Per ajudar a comprendre millor aquestes conclusions, farem una analogia amb les cadires. Mostrarem imatges de diferents models i veurem que totes comparteixen un mateix patró: quatre potes, una peça per seure-hi i una altra per recolzar l'esquena. Tot i així, cada cadira és diferent segons com s'hagi construït. Si ho creiem convenient, també es poden buscar cadires diferents dins de l'escola, portar-les a l'aula i observar-les directament.

Explicarem que el fet que aquest patró esquelètic de les extremitats -el membre tetràpode- sigui compartit entre animals tan diferents, ens indica que tots formen part d'un mateix grup i comparteixen un ancestre comú, que va viure fa molts milions d'anys i que devia tenir unes extremitats semblants a les que hem vist. Finalitzarem l'activitat plantejant dos nous problemes: *com es forma una extremitat? Quan i com van aparèixer els primers animals amb membres tetràpodes?* Indicarem que en les activitats següents investigarem més a fons aquests dos problemes.

Activitat 3

COM ES FORMA UNA EXTREMITAT?



Material per a un grup de quatre

Plastilina de diferents colors, imatges i vídeos d'embrions humans en desenvolupament (vegeu text), imatge esquelet mà humana i mà de ratpenat.

Idees clau treballades amb aquesta activitat

Idea 2. L'evolució aprofita les estructures que ja tenen els organismes i mai inventa noves estructures des de zero.

Idea 4. Petites modificacions produïdes en el desenvolupament d'un organisme condueixen a la formació d'estructures corporals que poden arribar a ser molt diferents.

Descripció de l'activitat i orientacions didàctiques

Recuperarem el primer dels dos problemes que hem plantejat al final de l'activitat anterior: *com es forma una extremitat?* Indicarem que, per saber com es forma una extremitat, hem d'investigar com apareix al llarg del desenvolupament embrionari. Explicarem que, per fer aquest tipus d'investigacions, els científics descriuen els canvis que es van produint a mesura que els embrions creixen i intenten esbrinar per què es produeixen tots aquests canvis.

Iniciarem l'activitat explicant que tots els animals comencem essent només una cèl·lula -l'ou o zigot-, que és resultat de la fecundació d'un òvul i un espermatozoide. Aquesta primera cèl·lula es va dividint progressivament

fins a originar els milions de cèl·lules diferents que formen el cos de l'animal, les quals s'organitzen en diferents teixits: pell, músculs, nervis, ossos, vasos sanguinis, etc. Per tant, no n'hi ha prou que les cèl·lules es vagin dividint d'1 a 2, de 2 a 4, de 4 a 8, de 8 a 64, i així successivament, sinó que també cal que aquestes cèl·lules, que a l'inici són totes iguals, es vagin diferenciant segons quin sigui el teixit que van conformant, i també cal que es vagin situant al lloc que els pertoca. Remarcarem que aquest procés és autodirigit, de manera que no hi ha un "constructor extern", sinó que són les mateixes cèl·lules les que s'autoorganitzen. Aquest procés d'autoorganització és possible perquè les successives cèl·lules que es van formant a partir de l'ou o zigot són capaces de comunicar-se entre elles i intercanviar informació que els indica quan han de créixer, quan s'han de diferenciar per esdevenir teixit nerviós, o ossi, o muscular, o epitelial, on s'han de situar o, fins i tot, quan han de morir.

Podem complementar aquesta informació amb el visionari d'algun vídeo sobre el desenvolupament embrionari dels humans, per tal que es pugui veure aquest procés de divisió. N'hi ha molts de disponibles i estaria bé seleccionar-ne algun on es vegi bé com apareixen les extremitats i com es van desenvolupant. Recomanem el següent: <https://www.youtube.com/watch?v=Vpbd-qGJ9LWk> (des de l'inici fins al minut 1.25), però el o la docent el pot substituir o complementar-lo amb els que consideri més adequats per al seu alumnat. Sigui quin sigui el vídeo escollit, és important que s'hi vegi com s'allarga l'extremitat i també com els dits de les mans i dels peus presenten inicialment una membrana interdigital que després desapareix, de manera que es formen dits lliures entre ells.

Un cop realitzades les tasques anteriors, remarcarem que hi ha un moment en què, a l'embrió en desenvolupament,

apareixen les gemmes de les extremitats, que en el cas dels humans és al voltant de les quatre setmanes de gestació.

A partir d'aquí, demanarem que, en petits grups, elaborin un model de com pensen que es poden anar formant els braços que hem observat a la fotografia de l'embrió i que hem vist al vídeo. És evident que els nens i les nenes tenen poc coneixement científic per dur a terme aquesta activitat, però també és obvi que tenen capacitat de raonar d'una manera lògica, i alhora imaginativa, i que posseeixen un coneixement general sobre com són fetes les extremitats. Per tal que puguin elaborar els seus models, primer els donarem plastilina de diferents colors i ens posarem tots d'acord sobre quin color representarà cadascun dels teixits que formen les extremitats, indicant que ens fixarem només en tres teixits -múscul, os i pell-, i deixarem de banda altres teixits com ara els nervis o els vasos sanguinis, tot i que també són presents a les extremitats. A continuació, indicarem que cada grup faci unes quantes boletes de plastilina i que les ajuntin formant la gemma de l'extremitat. Aquestes primeres cèl·lules les farem d'un color de plastilina diferent per indicar que són cèl·lules que encara no estan diferenciades i que poden esdevenir cèl·lules de qualsevol tipus de teixit. Per facilitar la feina, demanarem que col·loquin les boletes-cèl·lula de plastilina formant un anell que s'anirà estenent i modificant.

Tot seguit, indicarem a cada grup que han de construir un braç a partir d'aquest conjunt inicial de cèl·lules indiferenciades. Per fer-ho, caldrà que pensin quines són les instruccions que unes cèl·lules han de donar a les altres perquè l'extremitat creixi i es formi tal com és al final. Sugerirem que anotin el següent d'instruccions que creuen que s'han d'anar produint. També demanarem

que facin fotografies de com va canviant el seu model d'extremitat i, si dominen la tècnica, poden fer un vídeo amb *stop-motion*. Indicarem que les instruccions que poden fer servir seran: *divideix-te, para de dividir-te, diferencia't en teixit [tipus de teixit], desplaça't cap a..., more't*; però que si consideren necessària alguna altra informació se la poden inventar.

Un cop hagin fet els seus models, demanarem que cada grup l'expliqui als seus companys i companyes, i compararem les semblances i diferències, els productes finals i el conjunt d'instruccions que hagin pensat que eren necessàries. Recordarem que el que estem fent són models hipotètics, com els que fan servir els científics per començar a pensar com pot ser que es produeixi un fenomen que encara no coneixen prou bé. Quan donem per acabada la conversa, la resumirem explicant que una extremitat es forma gràcies al fet que les cèl·lules tenen la capacitat de comunicar-se informació entre elles, i que aquesta informació fa que es divideixin, es diferencien en nous tipus de cèl·lules, es desplacin o morin.

Acabarem l'activitat ensenyant una imatge de l'esquella d'una mà humana i d'una mà de ratpenat. Demanarem als nens i les nenes que s'adonin que l'estructura general des les mans és la mateixa i que estan formades pels mateixos tipus d'ossos, però sobretot els demanarem que ens indiquin quines són les principals diferències que hi observen. Aquestes diferències serien: la reducció del dit 1 i l'allargament dels metacarpis i les falanges dels altres quatre dits. Un cop identificades les principals diferències, els demanarem: *com podríem explicar aquestes diferències? Quina pot ser la causa que faci diferents les mans dels humans i dels ratpenats?*

Debatrem una estona sobre les idees que aportí l'alum-

nat que, en principi, esperem que estiguin relacionades amb el tipus d'informació que unes i altres cèl·lules es donen en cada cas, sobretot en relació a la instrucció *divideix-te* que es repetiria més vegades en els ossos allargats dels ratpenats que no pas en els més curts dels humans.

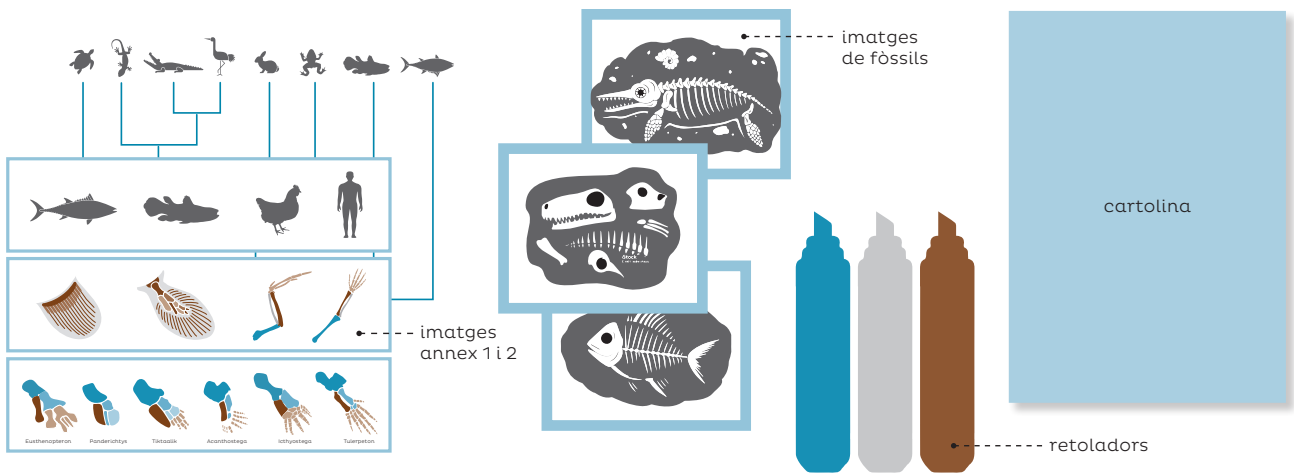
Subratllarem que actualment els científics atribueixen les diferències que hi ha entre les extremitats dels tetràpodes a la manera com es desenvolupen en cada espècie, i que això depèn del tipus d'informacions que les cèl·lules es transmeten entre elles en cada tipus d'animal. Remarcarem que petits canvis en aquestes informacions poden produir modificacions anatòmiques considerables i que en el cas dels ratpenats, l'evolució no ha inventat ossos nous, sinó que ha aprofitat els que ja existien, modificant-los a partir de canvis en les instruccions que indiquen com s'han de construir. Per això, els científics diuen l'evolució fa "bricolatge", és a dir, reutilitza i adapta estructures prèvies per crear-ne de noves.

A més a més del cas del ratpenat, també podem proposar que pensin què deu passar durant el desenvolupament d'altres grups de tetràpodes, per exemple els ocells, les serps o els dofins.

Clourem l'activitat recordant que teníem un segon problema a resoldre, que era: quan i com van aparèixer els

Activitat 4

ELS FÒSSILS ENS AJUDEN A EXPLICAR L'ORIGEN DELS TETRÀPODES



primers animals amb membres tetràpodes?

Material per a un grup de quatre

1 cartolina, retoladors, imatges de fòssils (vegeu text), imatges annex 2 i 3, folis o llibreta de ciències.

Idees clau treballades amb aquesta activitat

Idea 1. Tots els grups d'animals tenen una sèrie de característiques que són pròpies i exclusives d'aquell grup.

Idea 2. L'evolució aprofita les estructures que ja tenen

els organismes i mai inventa noves estructures des de zero.

Idea 3. Els fòssils ens ajuden a reconstruir la història evolutiva d'un grup determinat d'organismes.

Descripció de l'activitat i orientacions didàctiques

Iniciarem la nova activitat identificant quins coneixements previs tenen els nens i les nenes sobre els fòssils. Per fer-ho, demanarem: *sabeu què són els fòssils?, quines parts dels animals es poden fossilitzar i quines no?, us sembla que podem trobar fòssils d'animals*

amb esquelet (peixos, granotes, dinosaures, ocells, mamífers, serps, etc.)?, per què?, podríem trobar fòssils de cucs de terra?, i de cargols i petxines?

A través de la conversa anterior ens assegurarem que els infants entenen que els fòssils són restes d'éssers vius, i que normalment es fossilitzen les parts més dures de l'animal: closques, ossos i dents. Tant si ha sortit a la conversa com si no, remarcarem que en algunes ocasions molt excepcionals, els científics també troben restes fòssils de l'activitat dels animals (caus, túnels, petjades, etc.). Podem posar com a exemple les petjades de dinosaure que hi ha a diferents jaciments de Catalunya –Fumanya al Berguedà, o Isona i Conca Dellà al Pallars Jussà–, o bé casos en què es conserven parts toves, com en el fòssil de l'*Archeopteryx*, un ocell que va viure fa uns 152 milions d'anys i del qual en trobarem fàcilment imatges a internet que mostren clarament les marques de les plomes que tenia repartides a diferents parts del cos.

Tot seguit demanarem als nens i les nenes: *per a què us sembla que poden servir els fòssils?, quina informació ens aporten?, què podem conèixer a través de l'estudi dels fòssils que no podríem conèixer sense tenir fòssils?* Amb les seves aportacions i les pròpies intervencions del o de la docent, arribarem a la conclusió que els fòssils són una peça clau per saber la història evolutiva d'un grup d'animals, ja que ens permeten saber com eren els animals que van viure en el passat, a quina època van viure i a quins altres organismes actuals s'assemblen. Tot plegat permet a la ciència reconstruir la història evolutiva d'un determinat grup d'animals i entendre l'aparició progressiva dels caràcters que el defineixen.

Comentarem que en aquesta activitat el que volem és investigar sobre quan van aparèixer els tetràpodes per primera vegada, i que per fer això haurem d'observar

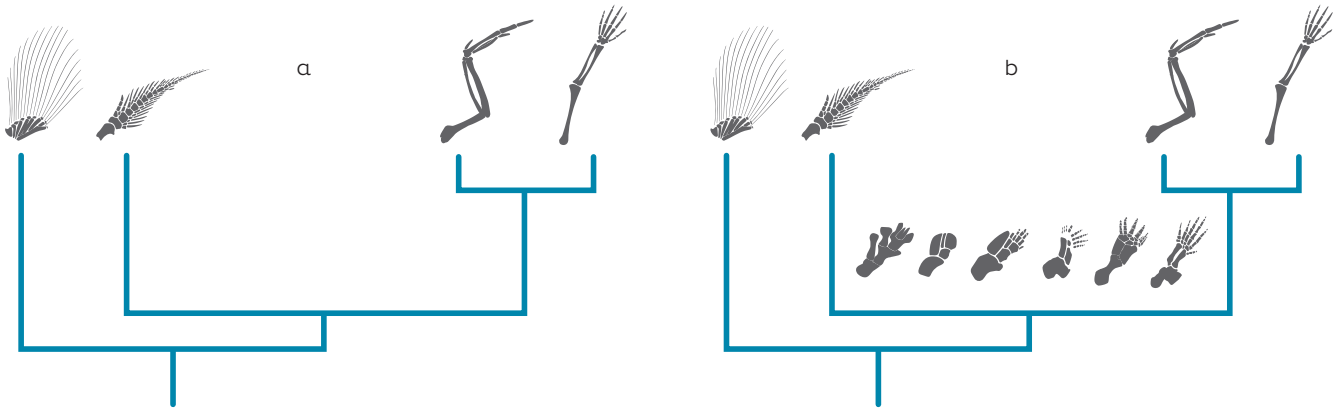
amb molt detall alguns dels fòssils que els científics han trobat. Explicarem que els fòssils són un material molt preuat i que es conserven en museus o en centres d'investigació, però que els científics de tot el món comparteixen les seves descobertes a través d'imatges o dibuixos que pengen a internet, de manera que qualsevol científic els pugui veure i estudiar sense necessitat de moure's de lloc.

Explicarem que això és el que farem nosaltres en la nostra investigació, aprofitar les imatges que els científics han compartit a internet.

Començarem repartint un cladograma com els que s'han treballat al bloc d'activitats anterior, que en aquest cas mostra quins són els grups d'animals més propers als tetràpodes (annex 1), i demanarem: *observant amb detall aquest arbre evolutiu, quin és el grup germà dels tetràpodes?* [el grup dels peixos lobulats, com ara el celacant i els peixos pulmonats], *quin és el grup d'animals més proper als peixos pulmonats i els tetràpodes?* [els peixos d'aletes radials].

A continuació demanarem que, per grups, facin un cladograma en una cartolina com el que es mostra a la figura 11a, i que separin la cartolina en dues franges, una amb el terme extingit i l'altre amb el terme actual. Després els donarem quatre imatges d'animals: un peix d'aletes radials (una tonyina), un peix d'aletes lobulades (un celacant), una gallina i un humà (veure annex 2). Demanarem que les col·loquin al lloc del cladograma on creuen que han d'anar. Posteriorment els donarem imatges que reproduïen les extremitats de cadascun d'aquests animals i els demanarem que les col·loquin a prop de les imatges dels propis animals, tal com mostra la figura 11a. Un cop col·locades totes les imatges farem notar que si comparem els ossos pintats de negre, no

Figura 11a i 11b Fòssils dels primers tetràpodes



sembla que hi hagi massa semblances.

A continuació repartirem un joc de fitxes amb imatges que mostren esquemàticament les extremitats de diversos fòssils (annex 2) i informació relacionada amb cada fòssil (nom). Demanarem a cada grup d'infants que, fixant-se sobretot en els ossos, col·loquin cada espècie representada a la part corresponent a les espècies extingides i la situïn més a l'esquerra o més a la dreta segons la similitud que consideren que té aquella extremitat amb les que ja hi teníem col·locades en aquest moment. Després demanarem que col·loquin les fitxes més amunt o més avall de la franja corresponent a les espècies extingides, segons el moment en què consideren que van viure, seguint el criteri de quant més antiga més avall. El resultat final serà semblant al que es pot observar a la figura 11b.

Un cop tots els grups tinguin col·locades totes les imatges al seu esquema, encetarem una conversa per compartir les solucions que proposen. Preguntarem: *en què heu coincidit tots els grups?, en què no heu coincidit? què ens indiquen els fòssils que han trobat els paleontòlegs sobre l'aparició del membre tetràpode? han existit sempre animals amb el membre tetràpode?*

En aquesta conversa, podem arribar a diverses conclusions. En primer lloc el fet que els fòssils d'*Eusthenopteron*, *Panderichthys* i *Tiktaalik* haurien de quedar col·locats cap a la banda esquerra de la cartolina, mentre que els

fòssils d'*Acanthostega*, *Ichthyostega* i *Tulerpeton* haurien de quedar col·locats més cap a la banda dreta. En segon lloc, podem concloure que abans de l'aparició dels tetràpodes vivien només peixos que tenien o bé aletes radials, que no tenen gaire semblança amb el membre tetràpode, i peixos d'aletes lobulades, que sí que tenen una colla d'ossos a l'interior de l'aleta que es podrien assemblar una mica a algunes parts del membre tetràpode. Finalment, podem concloure que els científics han trobat fòssils de diverses espècies que cada cop tenen les extremitats més semblants al patró estructural típic del membre tetràpode, és a dir: 1 os + 2 ossos + ossets + dits, però que a la mateixa època vivien altres espècies que encara no tenien aquesta estructura. Podem explicar que l'ancestre comú de tots els tetràpodes havia de ser semblant a alguna de les espècies més antigues que ja el tenen, i que devia viure ara fa entre 380 i 360 milions d'anys. Per complementar aquestes conclusions podem fer cercar més informació als infants sobre les sis espècies fòssils que hem citat més amunt.

Podem acabar l'activitat explicant que, tal com havíem vist en l'activitat anterior, segurament el que va passar és que en les diferents espècies la informació que les cèl·lules es van passant entre elles per anar formant els diferents models d'extremitats va anar canviant amb el temps -fruit de mutacions a l'atzar en alguns dels gens que regulen el desenvolupament de les extremitats-, donant lloc a formes diferents d'extremitats, però amb elements molt semblants. Com a hipòtesi, podem de-

manar als nens i nenes quins tipus de canvis en aquestes instruccions podrien explicar els canvis més rellevants que observem al llarg del registre fòssil i en les espècies actuals.

Bibliografia

Carroll, S.B. (2011) *Endless forms most beautiful. The new science of Evo-Devo and the making of the animal kingdom*. London: Quercus.

Catley, K.M.; Novick, L.R.; Shade, C.K. (2010) Interpreting evolutionary diagrams: when topology and process conflict. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(7), 861-882.

Coley, J.D.; Muratore, T.M. (2012) *Trees, fish, and other fictions. Folk biological thought and its implications for understanding evolutionary biology*. A Rosengren. K.S., Brem, S.K.; Margaret Evans, E.; Sinatra, G.M. *Evolution challenges. Integrating research and practice in teaching and learning about evolution*, p.22-46. New York: Oxford University Press.

Darwin, Ch. (1859/2009) *L'origen de les espècies*. Barcelona: Edicions 62.

Departament d'Educació (2022) DECRET 175/2022, de 27 de setembre, d'ordenació dels ensenyaments de l'educació bàsica. DOGC núm. 8762.

Dobzhansky, T. (1973) "Nothing in Biology Makes Sense except in the Light of Evolution". *The American Biology Teacher*, 35 (3), 125-129.

García-Fernández, J.; Bueno, D. (2016) *L'embrió inconformista. Com influeix en la nostra evolució el desen-*

volupament embrionari. Barcelona: Publicacions de la UB.

Grau, V.; Amat, A.; Martí, J. (2019) *Investiguem els fenòmens astronòmics*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona, FCRI i Fundació Bancària La Caixa. Disponible a: <https://llibrespetitstalents.fundaciorecerca.cat/>

Gregory, T. G. (2009) "Understanding Natural Selection: Essential Concepts and Common Misconceptions". *Evolution: Education and Outreach*, 2, 156-175.

Izquierdo, M. (2005) "Hacia una teoría de los contenidos escolares". *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 111-122.

Jablonski, N. (2012) *Living color. The biological and social meaning of skin color*. Berkeley: University of California Press.

Jacob, F. (1977) "Evolution and tinkering". *Science*, 196(4295), 1161-1166.

Kampourakis, K. (2014) *Understanding evolution*. Cambridge: Cambridge University Press.

Kipling, R. (1998) *Precisament així*. Barcelona: Editorial Juventut.

Kirk, A.W. (2016) *Skeletons. The extraordinary form and function of bones*. Ewes: Iuy Press.

Lalueza-Fox, C. (2001) *Races, racism i diversitat. La ciència, una arma contra el racisme*. València: Editorial Bromera.

Martí, J. (2012) *Aprendre ciències a l'educació primària*. Barcelona: Graó.

Padian, K. (2010) "How to win the evolution war: Teach macroevolution". *Evolution: Education & Outreach*, 3, 206-214.

Pérez Iglesias, J.I. (2023) *Primates al Este del Edén. El organismo humano a la luz de su evolución*. Barcelona: Crítica.

Pozo (2014) *Psicología del Aprendizaje Humano: Adquisición de conocimiento y cambio personal*. Madrid: Morata.

Quintana-Murci, L. (2022) *Humanos. La extraordinaria historia del ser humano: migraciones, adaptaciones y mestizajes que han conformado quiénes somos y cómo somos*. Barcelona: Ediciones Deusto.

Rocha, J. (2020) "The evolutionary history of human skin pigmentation". *Journal of Molecular Evolution*, 88, 77-87.

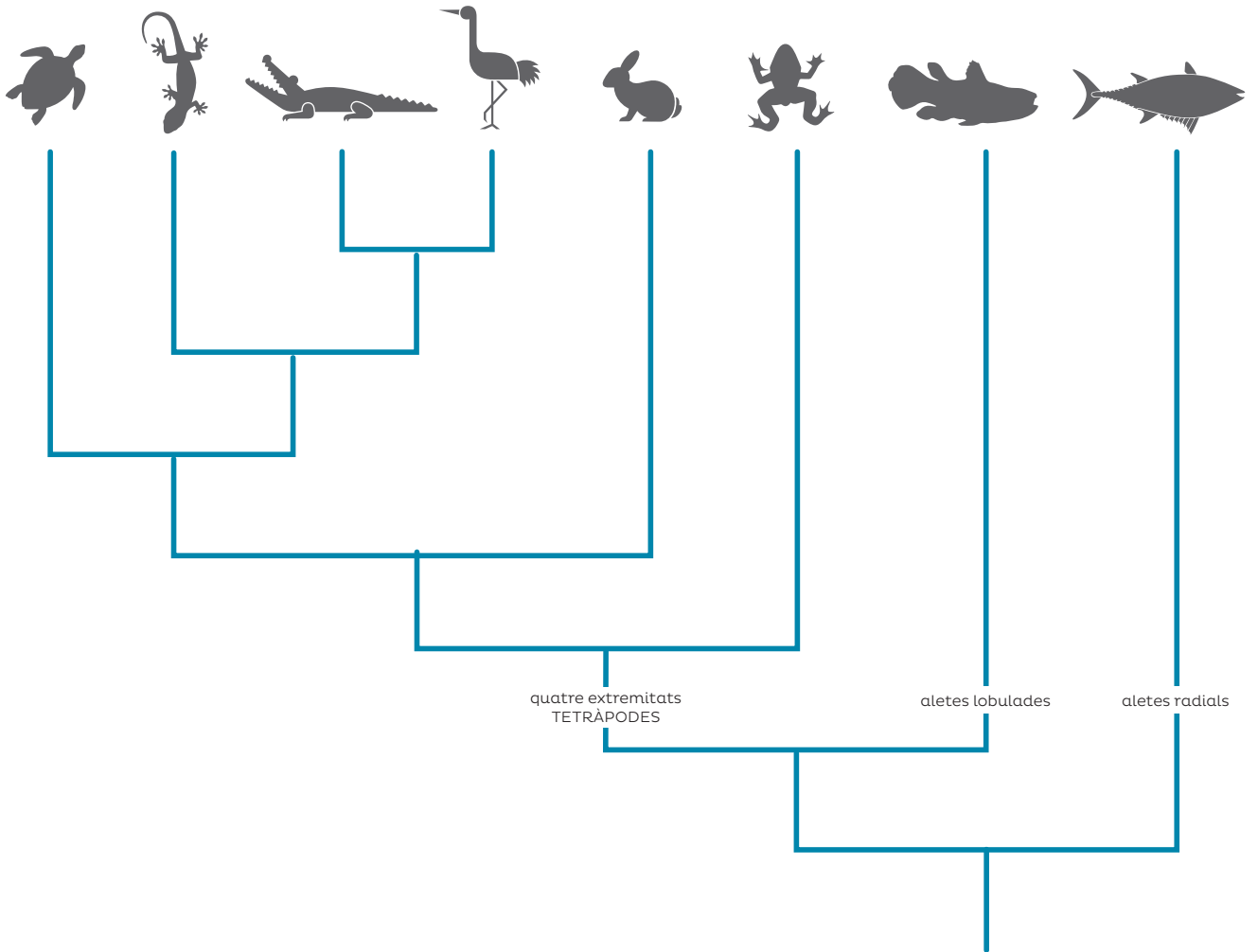
Rosas, A. (2022) *Origen y evolución de Homo sapiens*. Madrid: CSIC-La Catarata.

Shtulman, A. (2017) *Scienceblind. Why our intuitive theories about the world are so often wrong*. New York: Basic Books.

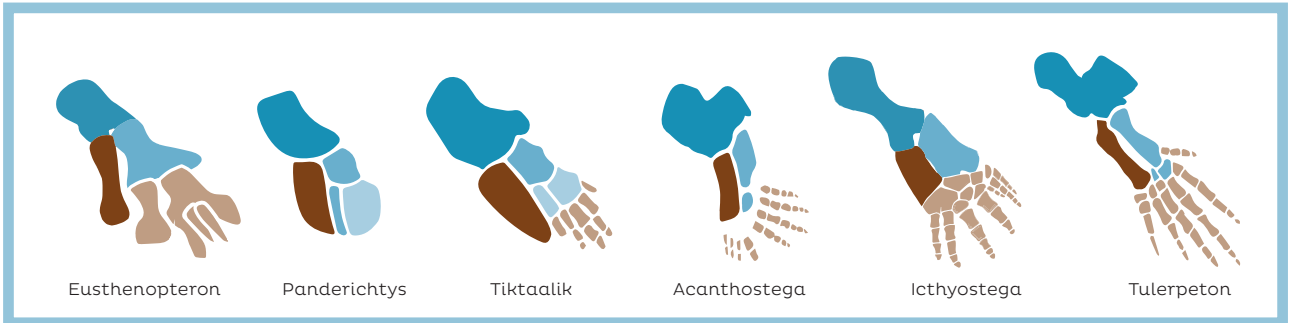
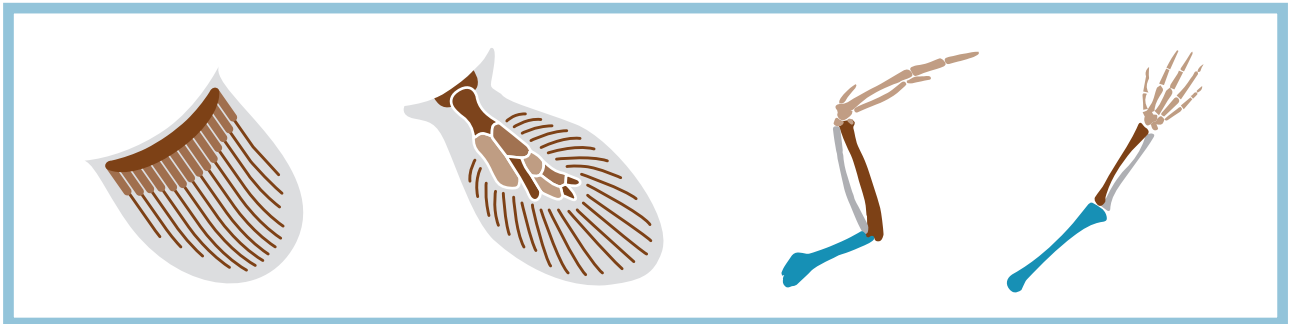
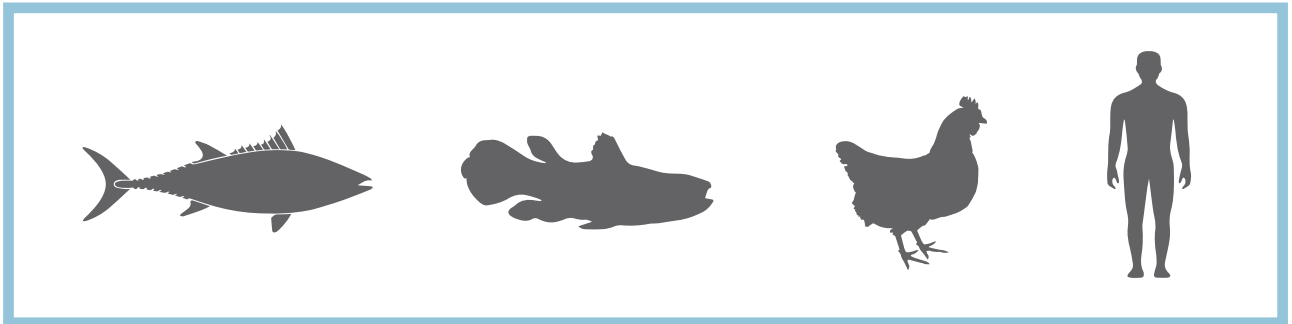
Shubin, N. (2015) *Tu pez interior*. Madrid: Capitán Swing.

Shubin, N. (2024) *Las piezas de la evolución. Descifrando cuatro mil millones de años de historia de la vida*. Madrid: Pinolia.

Annex 1. Cladograma vertebrats



Annex 2: imatges extremitats fòssils + peix aletes radiades + peix aletes lobulades + gallina + humana



Índex

- 3 Presentació
- 4 Investigar a l'aula per ajudar a adquirir cultura científica
- 7 Investigar sobre l'evolució dels éssers vius
- 12 **Quan el problema és comprendre la diversitat dels colors de la pell de les persones**
- 17 Activitat 1. Explorem les idees dels infants sobre la diversitat dels colors de la pell
- 19 Activitat 2. Com es distribueixen els colors de la pell al món?
- 22 Activitat 3. Què explica la distribució mundial dels colors de la pell?
- 26 Activitat 4. Com s'ha originat la diversitat de colors de la pell?
- 31 **Quan el problema és comprendre el parentiu entre els grans grups d'animals**
- 36 Activitat 1. Explorem les idees dels infants sobre la classificació dels éssers vius
- 38 Activitat 2. Triar, ordenar o classificar
- 41 Activitat 3. Un model de classificació de grups a dins de grups
- 44 Activitat 4. De la classificació al grau de parentiu
- 48 **Quan el problema és comprendre l'origen dels tetràpodes (amfibis, rèptils, ocells i mamífers)**
- 55 Activitat 1. Explorem els nostres braços i cames
- 57 Activitat 2. Com són i com varien les extremitats dels tetràpodes?
- 60 Activitat 3. Com es forma una extremitat?
- 63 Activitat 4. Els fòssils ens ajuden a explicar l'origen dels tetràpodes
- 66 Bibliografia
- 58 Annexos

Crèdits

Edita:

Ajuntament de Barcelona. Institut de Cultura de Barcelona
Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació (FCRI)
Fundació "la Caixa"

Text:

Jordi Martí, Isabel Jiménez, Laura Martín i David Segarra del Grup de Recerca GRECC
de la UVic-UCC

Coordinació:

Direcció d'Extensió Cultural de l'Institut de Cultura de Barcelona

Disseny gràfic, maquetació i il·lustracions:

Jordi Salvany

Barcelona, desembre de 2025

© de l'edició: Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació

© dels textos i les imatges: els autors esmentats

ISBN: 978-84-89570-36-8

Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació (FCRI)

Passeig Lluís Companys, 23. 08010 Barcelona

Tel. 932 68 77 00

fcri.cat

Institut de Cultura de Barcelona

La Rambla, 99. 08002 Barcelona

Tel. 933 16 10 00

barcelona.cat/barcelonacultura

Fundació "la Caixa"

Av. Diagonal 621-629. 08028 Barcelona

Tel. 93 404 60 00

fundacionlacaixa.org

