

**DARWINISME I GENÈTICA:
UN SEGLE DE SINERGIES
I ALGUN FALS DESENCONTRE**

© del text: l'autor, 2009

© de l'edició: Universitat de les Illes Balears, 2009

Edició: Edicions UIB. Cas Jai. Campus universitari. Cra. de Valldemossa, km 7.5.
07122 Palma (Illes Balears). <http://edicions.uib.es>

Impressió: JORVICH, SL. C/ del Gremi de Forners, 13. Polígon Son Castelló. 07009 Palma

DL: PM 1903-2009

DARWINISME I GENÈTICA: UN SEGLE DE SINERGIES I ALGUN FALS DESENCONTRE

Aquest any 2009 commemorem el bicentenari del naixement de Charles Darwin i a la vegada els 150 anys de la publicació del seu llibre cabdal, *L'origen de les espècies mitjançant la selecció natural, o la conservació de races afavorides en la lluita per la vida*, títol llarg encara que ben explícit, més conegut de costum en la seva forma abreujada: *L'origen de les espècies*. Amb motiu de l'Any Darwin se celebren o ja s'han celebrat molts d'actes per tot el món, i per descomptat també a les Illes Balears, per donar a conèixer i destacar el llegat absolutament innovador del savi anglès. Per a mi és un vertader honor poder contribuir a l'Any Darwin a la meua universitat amb aquesta lliçó inaugural del curs 2009-2010, i encara més, també, pel fet de ser el meu darrer any acadèmic abans de la jubilació. Quan na Montserrat Casas, Rectora de la Universitat de les Illes Balears, tingué la deferència de demanar-me d'impartir aquesta lliçó inaugural, una de les primeres idees que se m'ocorregueren va ser: puc dir qualque cosa inèdita d'una certa vàlua i interès sobre una persona i una obra tan conegudes, enaltides i discutides com són Darwin i el darwinisme? La resposta, evidentment, és un no rotund i categòric; així doncs, em limitaré a tractar-ne aquells aspectes dels quals tinc un més gran coneixement per la meua forta afeció al paradigma evolutiu i l'experiència acumulada durant més de quaranta anys de recerca i docència en Genètica, primer a la Universitat de Barcelona i més tard, des de l'octubre de 1981, en aquesta universitat.

L'existència d'evolució en els éssers vius no és entre els postulats de cap dels filòsofs grecs presocràtics, més interessats en les ciències físiques i matemàtiques que no en les ciències naturals. Per Tales de Milet l'aigua era l'origen del món, per Heràclit ho era el foc, per Anaxímenes l'aire i per Anaximandre primer ho fou l'aigua i després la terra, de tal manera que els animals marins, com són els peixos, serien avantpassats dels terrestres i també de l'home. Es pot considerar Anaximandre com un predecessor en les teories evolucionistes, malgrat que les seves aportacions més valuoses per a la ciència foren cosmològiques, per tal com defensà que la Terra era rodona i girava sobre el seu eix, calculà distàncies i mides d'estels, fixà el temps dels equinoccis i dels solsticis i construï el primer rellotge de sol i la primera esfera terrestre. Tot i que alguns dels filòsofs grecs acceptaren la generació espontània de nous organismes vivents, la gran majoria els considerava immutables i permanents. Aquesta visió fixista de la diversitat biològica va rebre un suport inqüestionable en ser defensada al segle IV abans de Crist per Aristòtil, el primer naturalista de la història a banda d'un dels filòsofs grecs més destacats, i la seva influència va ser tan gran que el fixisme de les espècies romangué en bona part vigent fins a mitjans del segle XIX, en els temps de Darwin. Per Aristòtil la natura té un ordre fixat i inalterable, totes les coses tenen un propòsit en el món natural, un món estrictament estàtic, on l'home i tots els animals i plantes són eternals, ni s'han creat ni poden desaparèixer (Mayr, 1982). No obstant això, cal remarcar que Aristòtil en fundar la Història Natural va establir les bases que permeteren bastir les teories evolutives, partint dels primers coneixements acurats de les distintes categories taxonòmiques dels éssers vivents, que serviren per inferir les possibles derivacions evolutives mitjançant evidències indirectes. El cristianisme, igual que les dues altres grans religions monoteistes, seguiren el parer d'Aristòtil respecte al fixisme de les espècies, però assignant a Déu la seva creació, segons relata la Bíblia en el seu primer llibre del Gènesi.

Si bé és cert que el terme evolució ja fou utilitzat per científics dels segles XVII i XVIII, s'aplicava només als canvis morfològics observables al llarg del desenvolupament embrionari dels animals, seguint, per tant, un ordre preprogramat invariant. Un sentit ben diferent del significat modern i actual d'evolució, que no segueix un patró preprogramat, ni es pot predir en quina direcció s'orientarà, tal com és imprevisible la història de la humanitat (Ridley, 1996). No era, doncs, gens estrany que Darwin defugís l'ús del terme evolució al seu llibre sobre *L'origen de les espècies*, a causa del sentit que li era atribuïble en aquell temps.

Encara que el fixisme de les espècies era la creença ortodoxa a l'època de Darwin, com a precedents hi havia hagut naturalistes i filòsofs que havien especulat sobre la transformació de les espècies, entre ells el científic francès Maupertuis; també Diderot, el conegut coautor de l'Enciclopèdia, i el mateix avi de Darwin, Erasmus Darwin, havien qüestionat la invariància dels éssers vivents. Tanmateix, avui en dia, els historiadors de la Ciència estan d'acord a atribuir al naturalista francès Jean Baptiste Lamarck (1744-1829) la primera teoria de l'evolució. Lamarck suposava que els llinatges de les espècies persistien indefinidament, però canviant d'una forma a una altra, sense ramificar-se ni extingir-se. La causa d'aquest transformisme era una «força interna» de naturalesa desconeguda, la qual determinava la producció de descendents lleugerament distints dels progenitors, de tal forma que en acumular-se aquests canvis durant moltes generacions, el llinatge es transformava en una nova espècie. El mecanisme pel qual es transmetien els petits canvis a la descendència era l'herència dels caràcters adquirits, entenent per caràcters, en Biologia, les propietats o els trets particulars distingibles d'un organisme, no caràcter en sentit de personalitat. L'exemple més popular del mecanisme proposat per Lamarck, que pretenia explicar l'herència dels caràcters adquirits, és el de l'allargament del coll de la girafa, l'animal vivent més alt que es coneix, que té una altària de sis metres i unes potes anteriors molt més llargues que les posteriors. El seu argument suggeria que les girafes ancestrals estiraven els colls per arribar a les fulles més tendres de la capçada dels arbres, i aquest esforç es traduïa en colls lleugerament més llargs que els dels seus pares, i així, transmetent-se de generació en generació les petites modificacions durant milers d'anys, s'assolia el resultat final del sorprenent coll de la girafa. Cal remarcar que la teoria de l'evolució elaborada per Lamarck en el seu llibre *Philosophie zoologique* (1809) era absolutament especulativa i estava mancada de qualsevol base empírica. Tant la «força interna» com el pur transformisme sense producció de branques, l'evolució pel desig i voluntat de les mateixes espècies, i l'herència dels caràcters adquirits, no foren demostrats per Lamarck i encara romanen indemostrables en l'actualitat. Per tant, no és estrany que alguns dels mateixos contemporanis de Lamarck, com el francès Georges Cuvier, fundador de la moderna Anatomia comparada, i el geòleg anglès Sir Charles Lyell, l'ignoressin o el critiquessin, probablement amb més furor que aquell del qual, fins i tot, s'hauria fet mereixedor.

El viatge de Charles Darwin en el vaixell *Beagle* al voltant del món, durant cinc anys (1831-1836), fou un esdeveniment essencial per

demostrar l'evolució a partir d'observacions rigoroses i arguments de gran solidesa. La troballa de restes fòssils de grans mamífers ja extingits a la Patagònia argentina, molt semblants però més petits que els actuals, i sobretot, l'observació dels ocells pinsans a les illes Galápagos, semblants als del continent sud-americà, distant 900 quilòmetres de les illes, on cadascun d'aquests pinsans es trobava restringit a una illa particular de l'arxipèlag, oferiren a Darwin proves evidents del procés evolutiu. Aquests pinsans tenien becs distintius, adaptats segons els seus respectius costums alimentaris, per ingerir llavors, trencar nous, capturar insectes o esbudellar cucs. Les paraules del mateix Darwin són prou esclaridores per arribar a comprendre el seu pensament: «Quan em trobava com a naturalista a bord del *Beagle*, em van sorprendre alguns fets relacionats amb la distribució dels éssers vius a l'Amèrica del Sud amb les relacions geològiques dels habitants presents d'aquest continent respecte als del passat. Em va semblar que aquests fets il·luminaven un poc l'origen de les espècies. En tornar a casa, se'm va acudir el 1837 que potser es podia treure alguna cosa en clar d'acumular pacientment tota mena de fets que hi poguessin tenir algun lligam i de reflexionar-hi. Al cap de cinc anys de feina em vaig permetre especular sobre el tema i esbossar unes notes curtes. Des d'aquell període fins avui he perseguit amb fermesa el mateix objectiu» (Darwin, 1859).

A banda de la gran quantitat de proves subministrades per Darwin en favor de l'evolució dels organismes vivents, l'acceptació dels postulats del canvi de les espècies en el decurs del temps assolí un èxit immediat, per la gran quantitat d'observacions aportades i també perquè l'agent causal responsable del procés, la selecció natural, és a dir, la supervivència dels individus més aptes en un entorn determinat, i/o la seva més gran fertilitat, era quelcom fàcilment intel·ligible i s'ajustava a esquemes mentals de pura lògica. L'evolució no era determinada per cap «força interna» de tipus desconegut, ni anava dirigida a un perfeccionament finalista i inexorable, en una escala de la natura de complexitats sempre creixents, amb l'home com a vèrtex culminant d'aquest procés.

La lectura del llibre de Malthus sobre dinàmica de poblacions, en la seva sisena edició, publicada l'any 1826, inspirà Darwin per poder establir i fonamentar el paper de la selecció natural. Els «principis» malthusians es basaven en la idea que les poblacions humanes tendeixen a créixer de forma geomètrica, o exponencial com diríem en l'actualitat, mentre que els recursos alimentaris ho fan de manera aritmè-

tica, d'on s'infereix que més prest o més tard no bastarien aquests recursos per poder alimentar les poblacions i, en conseqüència, solament podrien sobreviure una part del total dels individus. Sense entrar en disquisicions respecte a la discutible validesa d'aquests «principis», pel que fa a les poblacions humanes, sí que és ben cert que resulten aplicables a les poblacions de les altres espècies. Així, Darwin escrigué a propòsit del llibre de Malthus: «estant ja preparat per apreciar la lluita per l'existència, que es deriva a tot arreu de llargues i contínues observacions dels hàbits d'animals i plantes, em vaig adonar que sota aquestes circumstàncies les variacions favorables tendrien a ser preservades i les desfavorables a ser destruïdes. El resultat d'això seria la formació de noves espècies» (Darwin, 1859).

Aquí cal fer esment que Darwin va insistir de manera explícita en la selecció natural com a mecanisme predominant, però no l'únic, de modificació evolutiva. Malgrat aquesta insistència, va ser malinterpretat per altres autors, que li atribuïren l'exclusivitat de la selecció natural com a causa de la transformació de les espècies, fet del qual es queixà en repetides ocasions i l'induí a escriure un amarg comentari a la sisena edició de *L'origen*: «Això no ha servit de res. És gran la força de la tergiversació continuada» (Gould, 2004, pàg. 173).

La teoria de l'evolució per selecció natural no va ser proposada únicament per Darwin. Alfred Wallace, un naturalista també anglès, excel·lent observador i recol·lector d'ocells i insectes per les selves d'Amèrica del Sud i del sud-est asiàtic, va escriure un article el 1858 per ser presentat a la Societat Linneana de Londres, una còpia del qual també la dirigí a Darwin, article on es formulaven els mateixos arguments de Darwin per justificar el paper de la selecció natural en l'evolució. És ben sabut que dos membres distingits d'aquella venerable institució, el ja esmentat geòleg Charles Lyell i el botànic doctor Joseph Hooker, amics de Darwin i ben assabentats de l'estat de les seves recerques, suggeriren fer una presentació conjunta de les conclusions assolides per ambdós naturalistes, Darwin i Wallace, que es publicà l'1 de juliol de 1858, quasi un any i mig abans d'aparèixer el llibre de Darwin sobre l'origen de les espècies.

Perquè les petites diferències en caràcters biològics que trobam entre els individus d'una mateixa població i espècie fossin triades per la selecció natural, era condició imprescindible que s'heretessin. La

constatació de l'herència biològica, en altres paraules, el fet de ser conscients de les similituds entre progenitors i descendents, ja la podem datar fa entre sis mil i deu mil anys, durant el Neolític, quan almenys a sis regions del món es domesticaren de forma independent un bon nombre d'espècies de plantes i d'animals. El descobriment de l'agricultura s'inicià probablement amb la utilització de cereals silvestres a la regió de l'Orient Mitjà. En els llocs on la vegetació era destruïda, per exemple per incendis, apareixien aquests cereals sobretot si aquests llocs es trobaven prop d'assentaments humans i les plantes eren adobades per excrements. Els cereals foren emprats com a menjar pel seu bon rendiment, però sols es pot parlar d'agricultura quan una part de les llavors recol·lectades se sembraven de nou per aconseguir-ne més producció. Els més difosos per la seva alta productivitat foren el blat comú, l'ordi i el blat de moro o blat indi, aquest darrer d'origen americà. De fet, les restes arqueològiques més antigues que s'han trobat de blat comú són les d'Abu Hurey, a Síria, de fa uns 9.600 anys; i les d'arròs, aliment de la meitat de la població humana, són les de la vall del riu Iangtsé, a la Xina, també d'una edat semblant.

Podem suposar, amb un bon fonament de causa, que els homes del Neolític, en totes aquelles regions on començaren les activitats agrícoles, practicaren els primers encreuaments controlats per domesticar plantes i animals, i per anar millorant després la qualitat de les collites i del bestiar, malgrat els seus coneixements molt rudimentaris en Genètica, la ciència que estudia la variació i l'herència. La selecció artificial realitzada per la domesticació de plantes i animals ha estat un dels esdeveniments més importants de la història de la humanitat, perquè féu augmentar la quantitat d'aliment disponible i, en conseqüència, va permetre el creixement de la població i la seva capacitat d'expandir-se a nous hàbitats, a part d'influir també en el desenvolupament cultural (López-Fanjul, 2009).

Tant per Darwin i els seus contemporanis, com també, almenys sis mil anys abans, pels antics egipcis, babilonis, xinesos o maies, les preguntes clau eren: per què els fills són similars però gairebé mai idèntics als pares?, o per què certs caràcters sembla que es boten una generació i passen d'avis a néts? Els principis o lleis de l'herència eren un vertader misteri a mitjan segle XIX, en el temps de Darwin.

Igual que la majoria dels seus contemporanis, Darwin creia en la teoria de la pangènesi, segons la qual totes les parts corporals

formaven unes partícules anomenades gèmmules o pangens que anaven acumulant-se als òvuls o als espermatozoides i que constituïen el material hereditari. Aquestes gèmmules no eren permanents ni invariants sinó que es modificaven d'acord amb les influències rebudes del medi ambient; així, escriu Navarro (2009), «les gèmmules provinents d'un múscul fort i ben entrenat eren diferents de les que el mateix múscul hauria produït sense exercici». És evident que Darwin, com ho féu abans Lamarck, acceptà la hipòtesi de l'herència dels caràcters adquirits, hipòtesi clarament errònia, com es demostrà més tard. En aquest sentit i amb molta raó, Sheldon Glashow, el famós premi Nobel de Física, remarcava fa poc en una conferència impartida a l'Acadèmia de Medicina de Palma, que els grans científics, com Newton, Darwin o Einstein, no tenen per què estar sempre en possessió de la veritat, ja que de vegades també poden equivocar-se, com va deixar ben palès per a tots tres.

Si a cada generació les gèmmules paternes i maternes es barregen, com encara ens diuen els vells aforismes de la «mescla de sangs», el d'individus «pura sang» o també el de «sang blava», referit a la reialesa, encara que la sang no tingui res a veure amb la reproducció, el resultat d'aquesta mescla seria una tendència cap a la uniformitat de les generacions filials. Aquesta classe d'herència faria inexplicable la surgència de novetats evolutives i la interpretació de caràcters que se salten una generació: els presents en els néts i els padrins però no en els pares. Crec molt convenient insistir més en les conseqüències de la teoria de la pangènesi relativa al procés de l'evolució. Si els trets individuals es dilueixen en cada generació per mescla de les gèmmules paternes, i la selecció natural afavoreix els trets que assegurin la millor supervivència i fertilitat en un entorn definit; donades aquestes premisses, en darrer terme, tothom acabaria sent idèntic i la selecció natural no podria actuar, perquè no hi hauria diferències sobre les quals podria exercir la seva funció. Darwin, conscient de la feblesa i de la manca de proves sobre el mecanisme de l'herència per pangènesi, se centrà de manera prevalent en les interaccions dels organismes amb el seu ambient i en el paper de la selecció natural, per adequar-los de la forma més eficaç als hàbitats que colonitzen. Amb aquesta aproximació al problema de l'origen de les espècies, Darwin evità discutir sobre el factor més polèmic, el de les fonts d'on sorgien les novetats evolutives, per la manca de coneixements d'aleshores.

En el transcurs de la segona meitat del segle XIX, dos excel·lents investigadors en el camp de les Ciències Biològiques, el monjo

txec Gregor Mendel i el científic alemany August Weismann, donaren resposta a la pregunta anterior d'on sorgien aquestes novetats i, cosa que encara és més transcendental, com s'heretaven. Weismann establí el concepte de *plasma germinal* (1883-1885), constituït per les cèl·lules directament implicades en la reproducció, els òvuls i els espermatozoides en els animals, on resideix la informació hereditària que passarà als individus de la següent generació. En canvi, tota la resta de cèl·lules del cos, les pertanyents a les línies somàtiques, no s'hereten ni influeixen sobre les germinals. En paraules de Weismann, «aquest plasma germinal es manté invariant per a la formació de les cèl·lules germinals de la següent generació». D'aquí també es podia concloure que les possibles millores fruit de l'ús d'òrgans formats per cèl·lules somàtiques, musculars, de la sang, neurones, del cor, fetge, ronyons, etc., no es podien transmetre en absolut a la descendència perquè no s'heretaven. La presumpta herència dels caràcters adquirits quedava, per tant, descartada, perquè en el supòsit, per altra part no demostrat, d'haver-se produït canvis hereditaris avantatjosos en cèl·lules somàtiques, aquests no eren transmesos a la descendència. En un curiós experiment dut a terme pel mateix Weismann, va tallar la coa d'una línia de ratolins durant moltes generacions, sense arribar a assolir mai un animal desproveït d'aquest apèndix en cap dels centenars de descendents obtinguts. La manca de coa i de la seva possible funció, no determinava, en definitiva, la pèrdua per desús, com podia ser previsible. Aquest experiment no va convèncer els lamarckistes, perquè, evidentment, una mutilació no era equiparable al desús d'un òrgan funcional. En relació amb el lamarckisme, vull destacar aquí el cas Lysenko, ocorregut a la Rússia estalinista dels anys quaranta i cinquanta, quan la Genètica i els genètics descomparegueren per complet dels programes de recerca i d'ensenyament, seguint les opinions imposades per aquest agrònom i els seus deixebles, partidaris aferrissats de l'herència dels caràcters adquirits i responsables de l'extraordinari retard sofert per l'agricultura russa, que perdurà encara molts d'anys després.

I ara ja és el moment de centrar-me en Mendel, l'altre gran científic que comparteix amb Darwin el protagonisme de la meua lliçó. L'èxit de Mendel en la resolució del misteri de les lleis de l'herència fou degut a la combinació de tres factors que resultaren decisius: 1) elegir una espècie adient, 2) analitzar per separat la transmissió de caràcters qualitius ben definits, i 3) aplicar comptatges acurats de la descendència obtinguda en cada generació filial d'encreuaments entre races pures. Vegem amb més deteniment cadascun d'aquests tres factors. La tria de la

planta de pèsol (*Pisum sativum*) per investigar els principis de l'herència fou un gran encert perquè és una espècie d'exclusiva reproducció sexual. Imaginem-nos què hauria passat si l'espècie elegida tingués també reproducció vegetativa, a més de la sexual: la mescla d'individus derivats per una classe de reproducció i per l'altra, hauria produït resultats impossibles d'interpretar. Els set caràcters qualitius de la pesolera estudiats per Mendel eren trets senzills fàcils de reconèixer i analitzar: la forma, el color i la localització de les beines, la forma i el color de les llavors, el color de les flors i la mida alta o nana de les plantes. Els encreuaments es realitzaren entre races pures de plantes que diferien tan sols per un o per dos caràcters, i està ben documentat que Mendel, durant prop de nou anys, recollí dades sobre unes trenta mil plantes, de forma extremadament meticulosa, ja que registrava també, entre altres aspectes, característiques climàtiques i dades solars, per arribar a fer previsions meteorològiques. La metodologia usada per explicar els resultats dels encreuaments entre races pures fou una aproximació genial i inèdita en la direcció correcta per resoldre el problema. Si com havien fet alguns dels seus predecessors, Mendel hagués estudiat tots els caràcters a la vegada, el galimaties d'individus diferents que hauria trobat en la descendència no li hauria permès d'arribar a cap mena de conclusió.

El fet crucial del treball de Mendel, presentat a la Societat Científica de Brno (República Txeca) el 1865 i publicat l'any següent, va ser demostrar l'existència de factors hereditaris, els *gens*, responsables de la transmissió de caràcters individuals senzills i que solien presentar-se en variants alternatives, els *gens al·lèls*, d'expressió morfològica distinta. Cada individu fruit de la reproducció sexual i per cada gen en particular, rebia dues còpies de tots els gens, una còpia al·lèlica del pare i una de la mare, i aquests al·lèls eren *dominants* si el caràcter que determinaven es manifestava sempre quan l'al·lel era present, o *recessius* si aquest caràcter es manifestava només quan mancaven els anteriors, per tant, sempre que dos al·lèls recessius parentals passessin als fills. L'existència de gens recessius explicava per què certs trets es botaven una generació, passaven de padrins a néts, a diferència del que es podia preveure amb la teoria de la pangènesi.

L'herència «blana», per la qual els factors hereditaris eren fàcilment emmotllables i influïts per l'ambient, tal com creien Lamarck, Darwin i quasi tots els científics contemporanis del segle XIX, era una teoria errònia, clarament falsificada per les dades empíriques obtingudes

per Mendel. Ben al contrari, el concepte d'herència «dura», permanent i no influïble per l'entorn, entrà en el pensament científic amb poques opcions de rèplica. Malauradament, com sovint passa als científics que s'avancen al seu temps, els treballs de Mendel romangueren ignorats durant quasi quatre dècades fins a 1900, any que considerem la data a consignar a la partida de naixement de la Genètica. I no sembla que aquesta ignorància fos deguda a l'escassa entitat de la revista austríaca on es publicaren els experiments de Mendel, perquè en oposició al que s'ha dit, aquesta revista tenia bastant més difusió de la que se suposava. Més aviat sembla que els interessos de recerca en Biologia prevalents a l'època no eren els d'estudi de l'herència, sinó els d'evolució, anatomia comparada, paleontologia i biogeografia, i ja a les dues darreres dècades del segle XIX, amb el perfeccionament dels microscopis, l'anàlisi de l'estructura i la funció del nucli i dels cromosomes, objecte de la biologia cel·lular i del que, anys després, es va conèixer com a citogenètica.

Hi ha autors que s'han plantejat què hauria passat si Darwin hagués llegit el treball de Mendel. La major part d'ells assumeixen que el fet no hauria tingut cap efecte sobre Darwin, per impossibilitat de comprendre'n el significat. Darlington (1966) assenyalà amb raó les excepcionals característiques per a la síntesi d'observacions, pròpia de Darwin, i la poca eficàcia dels seus experiments, davant les facultats analítiques i l'excel·lent disposició de Mendel envers el treball experimental. Si a més hi afegim el bon coneixement d'aquest darrer sobre la teoria cel·lular i el significat de la fecundació, respecte als dubtes i la confusió de Darwin a l'hora de copsar la realitat d'aquests mateixos aspectes, es comprèn l'escàs ressò de la seva teoria de la pangènesi sobre la transmissió dels caràcters hereditaris.

L'adveniment de la Genètica en redescobrir-se les lleis de Mendel el 1900 i el fet de publicar-se d'immediat una autèntica riuada de treballs per confirmar-les i ampliar-les, de manera paradoxal, no varen suposar d'entrada un suport al darwinisme, en contra del que es podia preveure, sinó més aviat una reacció adversa, rebuig que fou batejat, per alguns autors, com *l'eclipsi del darwinisme*. Quines foren les causes d'aquest embat fins a cert punt imprevisible? A finals del segle XIX dos corrents d'evolucionistes discrepaven respecte a la importància assignable a la variabilitat biològica per a l'origen de les espècies. Pels darwinistes ortodoxos, les petites diferències de grau que es troben en caràcters quantitius de mida corporal o de determinades estructures morfolò-

giques, devien ser la matèria primera per a una evolució gradual, sota la influència permanent de la selecció natural. Però altres científics evolucionistes, poc convençuts dels possibles efectes exercits per la selecció natural, argumentaven que les espècies, àdhuc les més properes, no es diferenciaven entre si per caràcters quantitativs sinó pels caràcters qualitativs. Els primers genètics eren experimentalistes avesats a l'obtenció i l'ús de mutants morfològics ben identificables per alternatives, generalment binàries, de trets discontinus. Per ells, l'evolució es nodria bàsicament de les noves mutacions que apareixien de manera espontània, i la selecció natural tan sols realitzava el paper secundari d'eliminar les mutacions d'efectes deleteris. Per acabar d'afegir més llenya al foc de la polèmica, aquests primers mendelians defensaven, malgrat l'absència de proves empíriques, que els caràcters quantitativs no eren heretables perquè no s'ajustaven a cap model conegut d'herència i, per exclusió, sols podien deure's a factors ambientals. Els avenços aconseguits pels biòlegs experimentals i pels teòrics, aquests darrers proposant els primers models de genètica de poblacions, resolgueren les suposades posicions antagoniques entre seleccionistes i mutacionistes, atès que les situaren en el context de la necessària objectivitat.

Així, el fet d'interpretar les mutacions com a causa principal de l'origen de les espècies, ben aviat es demostrà com una hipòtesi insostenible, perquè la gran majoria d'aquestes presumptes novetats biològiques eren individus aberrants, amb una eficàcia biològica molt reduïda, que sens dubte serien eliminats per la selecció natural. A més a més, també a la primera dècada del segle XX es va fer palès que els caràcters hereditaris de variació contínua, expressables en termes tals com centímetres, quilos, litres o coeficients d'intel·ligència, eren heretables, però no deguts a una o dues parelles de gens al·lèls, sinó a un nombre bastant més alt de parelles d'al·lèls. L'herència de l'estatura en l'home, el pes dels fesols o les variants de color del gra de blat, entre altres exemples, s'ajustaven a aquest tipus d'herència. En altres paraules, quan hi ha un nombre suficient de gens responsables d'un caràcter quantitativ, cadascun d'ells d'efectes petits, les moltes combinacions d'al·lèls resultants de la segregació d'aquests gens en la descendència expliquen la variabilitat contínua. Aquí també cal remarcar que els caràcters hereditaris, siguin quantitativs o qualitativs, no depenen únicament i exclusivament dels gens, sinó també de l'ambient, entenen per ambient tot tipus de factors, tant els físics, temperatura, humitat i llum, com l'alimentació, la classe de sòl per a les plantes, les interaccions amb altres éssers vius, siguin o no de

la seva mateixa espècie..., etcètera. Si ens fixem per exemple en la nostra espècie, l'home ha anat modelant l'ambient a la seva conveniència, de forma sempre creixent amb l'avenç de la cultura, fet únic dins el regne animal i que l'independitza en gran manera dels canvis ambientals.

A partir dels anys quaranta i cinquanta del segle passat, la conjunció del darwinisme amb els models i les dades experimentals obtinguts, sobretot, pels genètics de poblacions, i els nous enfocaments evolutius de paleontòlegs, zoòlegs, botànics i citogenètics, donà lloc a la teoria sintètica de l'evolució, també coneguda amb el nom de neodarwinisme. Les poblacions passaven a ser les unitats evolutives bàsiques sobre les quals operava no tan sols la selecció natural, sinó també la mutació, la deriva genètica, causant de la fixació aleatòria de certes combinacions gèniques en poblacions petites, la migració entre poblacions, i tots els sistemes de recombinació majoritàriament dependents de la reproducció sexual, a banda de possibles hibridacions interespecífiques.

En definitiva, les diverses variants genètiques individuals són provades globalment pel tamís de la selecció natural quant a les propietats adaptatives que confereixen, però com que els individus formen part de poblacions, les comunitats reproductores d'ordre superior, és correcte assenyalar l'efecte de la selecció com a operatiu a nivell de les poblacions, de les quals altera la constitució genètica.

Un punt importantíssim encara no resolt a la primera meitat del segle XX era identificar la base química de l'herència. L'existència dels gens s'havia demostrat pels seus efectes sobre caràcters morfològics, fisiològics o del comportament, transmesos de generació en generació, però de quina substància eren formats? Malgrat que les proteïnes semblaven més heterogènies que qualsevol altra classe de macromolècules específiques dels éssers vivents, les dades experimentals conclouents en bacteris, virus, i més tard en algues, fongs, plantes i animals, provaren que els àcids nucleics i més en concret l'àcid desoxiribonucleic, l'ADN, eren el material de l'herència de tots els éssers vius, excepte d'alguns virus que tenien àcid ribonucleic (ARN) com a substància hereditària. La seqüència de les quatre classes de nucleòtids constitutius de l'ADN, d'adenina (A), timina (T), guanina (G) i citosina (C), donava la informació genètica per sintetitzar les proteïnes, de tal manera que les $4^3 = 64$ possibles combinacions de tres nucleòtids codificaven cadascun dels vint aminoàcids que presenten les proteïnes naturals.

Com que els gens són formats sovint per milers de nucleòtids, la capacitat de generar tipus diferents de proteïnes era extraordinària. A partir dels anys seixanta es començaren a seqüenciar proteïnes per determinar les taxes de divergència evolutiva entre espècies emparentades. Si tenim en compte que les mutacions s'acumulen en funció del temps, com més llunyà sigui l'avantpassat comú de dues espècies properes, més alta serà la taxa de divergència entre proteïnes homòlogues, és a dir, proteïnes produïdes per la mateixa classe de gens i que realitzen idèntica funció. D'aquí va sorgir la hipòtesi del *rellotge molecular*, en provar-se que les taxes de substitució d'aminoàcids a l'hemoglobina i al citocrom c eren aproximadament iguals i constants en diferents llinatges de mamífers. Com a resultat d'aquestes anàlisis es va inferir que la separació del llinatge humà respecte al dels grans simis africans es produí fa només uns sis milions d'anys, molt abans dels quinze milions d'anys que indicaven la majoria dels paleontòlegs dels anys seixanta del segle passat. L'existència d'un rellotge molecular no comporta que tots els gens acumulin mutacions en una taxa idèntica. Hi ha gens codificadors de proteïnes extraordinàriament importants, com ara les histones, proteïnes cromosòmiques d'enllaç amb l'ADN, que han variat molt poc al llarg de l'evolució. D'altres tenen un grau mitjà de canvi mutacional, com els de l'hemoglobina i el citocrom c, esmentats abans. I n'hi ha d'evolució ràpida, per exemple el del fibrinogen, proteïna responsable de la coagulació de la sang. Segons el nivell de semblança dels grups d'espècies sotmeses a anàlisi, serà convenient utilitzar uns tipus o altres de gens. Per construir filogènies profundes entre grans grups d'organismes, caldrà basar-les en gens per proteïnes molt conservats, mentre que per a espècies congenèriques o fins i tot sovint per a espècies de la mateixa família, no aportaran cap informació aprofitable si són de seqüències idèntiques.

Els grans avenços tecnològics en biologia molecular dels darrers vint-i-cinc anys han fet possible que avui en dia sigui molt més fàcil seqüenciar ADN que no pas proteïnes, principalment des del moment que es va posar a punt la tècnica de la *reacció en cadena de la polimerasa* (PCR), per mitjà de la qual es poden amplificar tot tipus de gens, emprant fragments encebadors universals, i així obtenir una quantitat suficient de molècules de qualsevol gen per poder-lo seqüenciar. L'ús d'una bateria de gens en anàlisis combinades de les seves seqüències, alineades i processades en ordinadors, i aplicant algorismes de la màxima potència estadística, permet inferir arbres filogenètics on les relacions entre espècies són quantificades per valors numèrics de fiabilitat, quelcom

que Darwin hauria considerat un somni impossible d'assolir i, jo hi afegiria, és la prova d'evidència més consistent i valuosa en favor de l'evolució, a l'abast dels científics del segle XXI.

El darwinisme i la Genètica no sempre s'han complementat i han actuat de manera sinèrgica, com sembla que podria deduir-se de la teoria sintètica de l'evolució. La troballa en moltes espècies de variants al·lèliques de gens codificadors d'enzims, que fan aparentment la mateixa funció, va suggerir que aquestes variants eren neutres o quasi neutres davant la selecció natural. Seguint aquest fil d'argumentació, alguns autors batejaren d'evolució *no darwiniana* aquesta classe d'evolució en què la mutació i la fixació aleatòria de gens en poblacions petites tenen el paper primordial, sigui per efecte de la deriva genètica o per efecte dels encreuaments consanguinis.

A part que el concepte d'evolució no darwiniana es presta a ambigüitats i constitueix una clara exageració, l'existència de gens quasi neutres no implica que no estiguin subjectes a cap tipus de selecció, perquè s'han de tenir sempre en compte unes petites diferències en els coeficients de selecció, i les mutacions originàries de variants deletèries acabaran sent eliminades per la selecció negativa, també anomenada selecció purificadora. Igualment, uns conceptes com ara els de *gens egoistes* o *cromosomes egoistes*, caracteritzats per l'únic objectiu d'assegurar la seva transmissió, amb independència de la resta dels gens i de l'eficàcia biològica de l'organisme al qual pertanyen, s'han de matisar, perquè de la mateixa forma que els virus molt virulents quan maten els individus infectats no poden transmetre's, els gens o cromosomes egoistes d'efectes molt deleteris fan davallar substancialment les probabilitats de poder passar-se a la descendència. Si és cert que moltes seqüències genòmiques, com succeeix amb la majoria dels ADN repetitius, no tenen cap funció coneguda, això no vol dir per necessitat que no la tinguin, perquè poden tenir un paper estructural. Vegeu, per exemple, el cas de l'ADN repetitiu dels centròmers, els elements dels cromosomes responsables de la seva transmissió equilibrada a les cèl·lules filles en les divisions cel·lulars, i en conseqüència, del manteniment de la informació genètica de cèl·lula a cèl·lula i de pares a fills. També hi ha determinades proves en favor de possibles efectes indirectes d'aquestes seqüències sobre processos de recombinació en la meiosi, però hem d'admetre que moltes d'aquestes proves poden ser completament neutres per a la selecció natural.

Un altre punt d'aparent discrepància entre el neodarwinisme i/o la Genètica *versus* la paleontologia i l'embriologia, és l'evolució gradual per petits canvis més o menys constants, o l'evolució saltatòria, a bots discontinus, també qualificada com a *evolució puntualista d'equilibris interromputs*. Al llarg del darrer segle han anat sorgint partidaris de l'una o de l'altra alternativa, sota distintes teories i suposades proves empíriques concloents. Per errors hereditaris en el desenvolupament poden aparèixer individus clarament aberrants, mosques amb quatre ales en comptes de les dues normals, amb potes en comptes d'antenes o en comptes d'ulls, etc. Aquests individus tan anòmals varen ser anomenats *monstres prometedors* pel genètic alemany Richard Goldschmidt i els seus seguidors, que els atribuïren el paper d'innovacions evolutives en l'origen de grans grups d'animals. Ells no interpretaren aquests canvis morfològics dràstics com a deguts a l'acumulació de mutacions, amb petits efectes additius durant moltes generacions, sinó com a deguts a *macromutacions* que sorgien de tant en tant i generaven, per exemple, la conquilla dels mol·luscs, les plomes dels ocells, el pèl dels mamífers o la regulació de la temperatura de la sang, en els uns i en els altres d'aquests darrers animals. Amb anàlisis genètiques acurades s'ha demostrat que els mutants de desenvolupament en mosques són deguts en realitat a mutacions senzilles, però sense cap repercussió evolutiva, pel fet de ser d'efectes altament deleteris. Les preteses macromutacions d'aquells autors, segons ells originàries dels grans grups d'animals, no s'han trobat mai. I a més, en realitat no poden deure's a un sol gen, sinó a molts de gens. Quant a l'evolució gradual o l'evolució saltatòria, cal assenyalar que el mateix Darwin ja va assumir que malgrat que l'evolució és gradual, no té per què seguir taxes de canvi absolutament constants. L'evolució saltatòria no és incompatible per necessitat amb els postulats darwinistes, i de fet, els suposats salts evolutius no ho són tant quan es va ampliant el registre fòssil.

Hi ha una descoberta nova que mereix un breu comentari i que em sembla esclaridora en aquest sentit. Actualment s'accepta que els ocells han derivat dels dinosaures, encara que a la gent del carrer li pugui parèixer una relació estranya i insospitada. No obstant això, és ben sabut que els ocells presenten plomes, al contrari del que es creia que passava en tots els dinosaures; doncs bé, els últims quinze anys s'han descobert abundants restes fòssils de dinosaures amb plomes i coa, que mostren una clara graduació envers les característiques pròpies dels ocells. Així, la presumpta macromutació a partir de la qual els ocells derivaren dels dinosaures, ja no sembla que respongui a un gran salt evolutiu, sinó més

aviat a una evolució gradual per mutacions ordinàries i sota el procés de la selecció natural, perquè hi ha característiques pròpies dels ocells i absents en els rèptils actuals, com són les plomes i la sang calenta, que també les mostraren alguns dinosaures.

A més, la Genètica ha donat la resposta correcta a l'objecció formulada sovint en el sentit que la selecció natural és tautològica, és a dir, finalista i sempre orientada en una direcció definida. Si la selecció té lloc per aportació a la descendència de trets presents en els individus més eficaços, i a la vegada aquests són els més prolífics, l'argument és d'una circularitat evident. No obstant això, des de la perspectiva genètica, si l'eficàcia biològica es refereix a una població concreta, amb un joc definit de gens, i en determinades condicions ambientals, l'argument tautològic és insostenible. López-Fanjul (2009) explica de manera convincent la falsedat de la proposició tautològica referida a la selecció natural. Si en una població genèticament uniforme amb el gen A, que té recursos alimentaris per a únicament cent individus, apareix un mutant B de fecunditat doble de la dels individus anteriors, en poques generacions s'haurà substituït el gen A pel B, i es mantindrà constant el nombre d'individus. Però si el mutant B no tan sols permet doblar la fecunditat sinó que també fa possible consumir la meitat dels aliments necessaris per als individus del gen A, l'eficàcia biològica de les dues variants del gen B serà idèntica i el mecanisme selectiu donarà el mateix resultat final, emperò el cens d'individus es duplicarà en el segon cas i no en el primer. Resumint, hi ha una associació entre la variació genètica de l'eficàcia i l'adaptació al medi ambient. Ara bé, no obstant això, aquesta correspondència no és necessàriament perfecta i cal definir els dos conceptes per separat, com s'ha fet a l'exemple precedent.

Unes reflexions sumàries respecte al tema de la selecció sexual, també discutit per Darwin, ens poden ajudar a entendre més bé les diferències entre l'eficàcia biològica i l'adaptació al medi, inherents als processos evolutius. Per selecció sexual definim la tria d'un individu per part d'un altre del sexe contrari, amb assentiment recíproc i finalitats reproductores, però afegim que aquesta definició no és completament aplicable a la nostra espècie, per raons que no crec necessari de comentar. Al seu llibre sobre *L'origen de les espècies*, Darwin explica la selecció sexual com «la lluita entre mascles per la possessió de les femelles». En moltes espècies d'animals, sobretot vertebrats, l'èxit en aquesta lluita depèn sovint de caràcters de gran poder atractiu per a les femelles, però mal

adaptats per a la supervivència dels mascles que els manifesten. L'exemple més paradigmàtic d'aquest tipus de caràcters és el de l'esplèndida coa dels mascles de paó, la mida de la qual està directament relacionada amb el seu èxit reproductor, malgrat que limiti de forma palesa les capacitats de passar desapercebut i de sobreviure a l'atac dels predadors. En els ocells és comú el dimorfisme sexual: els mascles sovint són de colors llampancs i ben aparents, mentre que les femelles tenen colors apagats, idonis per al camuflatge. El contrast de colors i la seva intensitat en els mascles d'un gran nombre d'ocells, la mida i el color del bec, o fins i tot la llargada de la coa, com s'ha observat en les oronelles, estimulen les probabilitats d'aparellament amb individus de l'altre sexe, a pesar de restringir sovint la seva esperança de vida. Si bé els ocells subministren la majoria dels casos més ben estudiats de selecció sexual, aquests també són comuns en mamífers: vegeu, per exemple, les grans banyes dels mascles dels cérvols; i fins i tot en peixos: el color vermell brillant que mostren el mascles del nostre peix espinós (*Gasterosteus aculeatus*) durant el període reproductor, contrasta amb el color platejat i críptic que duen la resta de l'any. Tot i que la selecció sexual opera de manera més evident en els mascles que en les femelles, aquestes també l'exerceixen, perquè s'ha demostrat en diversos animals vertebrats la tria de mascles sans i forts, i el rebuig dels febles, malalts o parasitats, comportament sens dubte encaminat a poder transmetre els gens més adequats a la descendència.

No voldria acabar aquesta lliçó sense fer uns quants comentaris relatius a la nostra espècie. Darwin a *L'origen de les espècies* evità qualsevol tipus de referència a l'evolució humana, probablement per fugir de problemes amb les autoritats polítiques i religioses de l'Anglaterra del seu temps, i també, segons sembla, per no ferir els forts sentiments religiosos de la seva dona. Tanmateix, per coherència amb la seva teoria de l'evolució per selecció natural, més prest o més tard havia de tractar el punt candent de l'origen del home. Al llibre *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex* (1871) destaca que els mecanismes adduïts per a l'evolució dels organismes animals i vegetals, també són aplicables a l'espècie humana. Actualment, les dades genètiques, anatòmiques, paleontològiques i biogeogràfiques són concloents a l'hora de demostrar que l'home actual, l'*Homo sapiens*, té avantpassats comuns i compartits, d'uns sis milions d'anys, amb els grans simis africans, ximpanzés i gorilles, i que el llinatge evolutiu humà és constituït, no per una, sinó per una vintena d'espècies del gènere *Homo*. Les més antigues, de fa dos milions i mig d'anys, i les més recents, a part de la nostra, datada en uns

dos-cents mil anys, són l'home de Neandertal i el petit home de l'illa de Flores, a Indonèsia, que s'extingiren fa només 35.000 i 12.000 anys, respectivament. Dates, que estimades en temps geològic, diríem d'ahir mateix.

La interpretació literal de la Bíblia que han fet i encara fan alguns creacionistes no té el suport de cap prova científica i està fora de context, perquè la Bíblia no és un llibre científic. Una teoria creacionista molt més subtil, de gran popularitat avui en dia als Estats Units, és la del *disseny intel·ligent*. Segons aquesta, i recollint les paraules d'Ayala (2009), «els organismes són molt complexos i això demostra que han estat *dissenyats*, de la mateixa manera que la complexitat d'un rellotge mostra haver estat dissenyat per un rellotger. Diuen els seus proponents, que l'atzar no pot donar una explicació satisfactòria de l'ull, clarament dissenyat per veure-hi, o les ales òbviament dissenyades per volar, o de les brànquies, específicament dissenyades per respirar dins l'aigua. Només Déu, el gran *Dissenyador Intel·ligent*, pot argumentar l'organització funcional dels éssers vius.» Si l'evolució es basés únicament en els successos aleatoris provinents de les mutacions, tots aquests òrgans, i jo hi afegiria: qualsevol espècie vivent, tindria una probabilitat zero o com a màxim infinitesimal d'aparèixer, però la selecció natural fa possible que els éssers vius tinguin òrgans i funcions adaptats al medi on es troben, i exhibeixin *disseny*, malgrat que aquest disseny no sigui intel·ligent sinó fruit de la selecció natural.

Si acceptem el disseny intel·ligent, és incompreensible, com ens indica Ayala (2009), que Déu hagi fet els ulls dels pops i dels calamars més «perfectes» funcionalment que els dels humans, i el mateix podem dir de l'inútil i sovint enutjós queixal del seny, causat per la reducció en la mida de la mandíbula associada al nostre augment del cervell; igualment, que el perfil de la columna vertebral de l'home tingui certs defectes en el «presumpte disseny», i també que fins a un 20 per cent de les concepcions humanes acabin en avortament, cosa que suposaria que Déu fos un avortista de gran magnitud.

Una altra qüestió és veure si l'evolució exclou o no l'existència de Déu. És obvi que els creacionistes l'accepten, però aquesta acceptació no es pot fonamentar en proves científiques, com hem dit abans, perquè el fet evolutiu ni nega ni demostra que Déu existeixi. En opinió una vegada més d'Ayala (2009), la ciència i la religió són dues finestres per

guaitar el món, finestres que no són incompatibles, i encara menys, excloents: les podem obrir o tancar a voluntat. La ciència cerca descobrir i explicar els processos de la naturalesa: el moviment dels planetes, la composició de la matèria i de l'espai, l'origen i la funció dels organismes. La religió tracta del significat i propòsit de l'Univers i de la vida, les relacions apropiades entre els humans i el seu Creador, els valors morals que inspiren i guien la vida humana (Ayala, 2007). No té cap sentit utilitzar les metodologies emprades en religió per resoldre problemes científics, ni a l'inrevés. En aquesta línia de pensament, Joan Pau II afirma: «la Bíblia ens parla de l'origen de l'Univers i la seva creació, no per proporcionar-nos un tractat científic, sinó per establir les correctes relacions de l'home amb Déu i l'Univers», i més tard afegeix que la Bíblia «s'expressa en termes de la cosmologia coneguda en temps de l'escriptor sagrat».

Les preguntes inherents a la condició humana, Què som?, D'on venim? i On anem?, s'han anat plantejant al llarg del temps i romandran plantejant-se encara mentre l'home sigui un ésser pensant, amb unes creences que el motiven, el facin estimar i el facin sensible a totes les manifestacions de bellesa, entre les quals la de meravellar-se davant de la natura i de la seva complexitat per tractar, com ho va fer Darwin, de comprendre-la i interpretar-la. En darrer terme, l'home ha de cercar la transcendència, no en ell mateix sinó primer en els altres homes, com a ésser social i ètic que és, i per què no, també en tots els altres éssers, amb els quals comparteix aquesta sorprenent i potser inesgotable varietat de programes genètics que anomenem VIDA.

Bibliografia

- Darwin y el diseño inteligente*. F. J. Ayala, Alianza Editorial, Madrid (2007).
El disseny imperfecte de la vida. F. J. Ayala, *Omnis Cellula*, 21: 22-27 (2009).
Genetics and Man. C. D. Darlington, Penguin Books Ltd., London (1966).
On the origin of species by means of natural selection. C. R. Darwin, Ed. Murray, London (1859).
The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex. C. R. Darwin, Ed. Murray, London (1871).
La estructura de la teoría de la evolución. S. J. Gould, Tusquets Ed., Barcelona (2004).

- El alcance del darwinismo. A los 150 años de la publicación de «El origen de las especies».* C. López-Fanjul (coord.), publicació en línia, Madrid (2009).
- The Growth of Biological Thought. Diversity, Evolution and Inheritance.* E. Mayr, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. (1982).
- Charles Darwin i el misteri de l'herència.* A. Navarro, *Omnis Cellula*, 21: 10-15 (2009).
- Evolution, Second Edition.* M. Ridley, Ed. Blackwell, Cambridge, Mass. (1996).