

ESTAT ACTUAL DELS ESTUDIS SOBRE L'EVOLUCIÓ BIOLÒGICA

ANTONI PREVOSTI

Membre emèrit de la Secció de Ciències Biològiques de l'Institut d'Estudis Catalans
Professor emèrit de la Universitat de Barcelona

SUMMARY

The Studies of Evolutionary Biology at Present.

Most evolutionary biologists working in the field of Genetics understand the evolution of living beings in neodarwinian terms. Molecular genetics has not modified the foundations of neodarwinism. Even the neutralist theory of molecular evolution deals with molecular evolution in conformity with population genetics models, an important achievement of neodarwinism. This theory, like the endosymbiotic theory of the origin of eukaryotic cells, shows that not all features of evolution can be explained by natural selection. However, this does not detract from the importance of natural selection as the mechanism responsible for the origin of functional traits in organisms.

The ideas of scholars who do not consider evolution from a genetical viewpoint show greater diversity. Among these ideas the approaches based on recent views considering complex systems holistically are especially interesting. However, these approaches often banish natural selection or relegate it to a subordinate role. In consequence functional properties of organisms remain unexplained, which brings us back to the predarwinian situation. Darwin's greatest achievement is to have explained the origins of functional traits by natural processes.

According to neodarwinism, functional properties are caused by the accumulation of information in the genome by means of random mutations and natural selection. The genome carries codified information on the properties of living systems necessary to their survival, to build their properties and to respond adequately to external and internal changes. Some of the properties of the genome resemble those of the software in information systems. Thus, the study of organisms as systems with informational properties seems promising. Moreover, in this way it would be possible to arrive at a vision of organisms that fits very well with Darwinism.

EL NEODARWINISME I LA GENÈTICA

Durant els anys vint i trenta del segle XX es produí una síntesi dels coneixements sobre l'herència biològica aportats pel mendelisme amb la concepció darwiniana de l'evolució per selecció natural. Això tingué per conseqüència un renaixement del darwinisme, que a final del segle XIX i el principi del XX

havia passat per una forta crisi (Bowler, 1983), deguda a la manca de suport en les idees sobre l'herència biològica aleshores vigents. L'herència mendeliana, en canvi, és una base ferma sobre la qual la selecció natural pot anar construint noves propietats dels organismes. La concepció de l'evolució sorgida d'aquesta síntesi rebé el nom de neodarwinisme.

Pel neodarwinisme la selecció natural de mutacions –canvis genètics– favorables per a la supervivència és l'essència de l'evolució. A més, cal especificar, 1) que les mutacions són aleatòries, en el sentit que el seu origen no està relacionat amb l'efecte que tenen en les característiques dels individus que les porten, 2) que les mutacions són favorables quan determinen en l'organisme propietats adaptatives, és a dir, que afavoreixen la reproducció, 3) que la supervivència no és la de l'individu sinó la de les seves propietats en els seus descendents, i que la selecció natural és un procés de reproducció diferencial, és a dir, amb més reproducció dels individus amb propietats més adaptatives, cosa que té per conseqüència un increment d'aquestes propietats al llarg de les generacions i la consegüent disminució i final eliminació de les propietats menys adaptatives. Aquest procés condueix a l'adaptació.

La possibilitat d'elaborar models matemàtics tot formalitzant els processos de canvi de les freqüències gènétiques en les poblacions –oferta per la genètica de poblacions– ha estat un dels resultats més positius assolits per la síntesi neodarwinista. Aquests models han permès de precisar i entendre quins són els factors principals que actuen en els processos evolutius, en quantificar-ne els efectes. No obstant això, el progrés en aquest sentit està limitat, almenys de moment, per la dificultat d'estimar en les poblacions naturals els valors dels paràmetres, tals com els coeficients de selecció, la taxa de migració, el volum efectiu de les poblacions, etc., que cal conèixer per a aplicar els models a casos concrets, i també per la manca de mètodes matemàtics adequats per a tractar amb eficàcia les complexes situacions que presenta l'evolució. Actualment, la simulació amb ordinador permet de superar algunes d'aquestes dificultats.

Molts estudiosos de l'evolució distingeixen dos nivells diferents en els processos evolutius, la microevolució i la macroevolució. D'acord amb aquesta distinció la genètica de poblacions sols seria aplicable a la microevolució, que estaria limitada a l'evolució de les poblacions, la formació de varietats i races dins les espècies i, per alguns autors, també inclouria l'origen de les espècies. L'explicació de les diferències més grans, que en més o menys grau hi ha entre els gèneres, famílies, ordres, classes i tipus, requeriria tenir en compte altres aspectes de l'evolució. La morfologia, els processos de desenvolupament i els constrenyiments a què aquests estan sotmesos són, entre altres, factors que s'haurien de considerar en la macroevolució. En canvi, pels darwinistes més estrictes tots els nivells de diferències s'originarien per l'acumulació dels canvis que estudia la genètica de poblacions.

Sembla evident que alguns aspectes de l'evolució no es poden tractar totalment dins la genètica de poblacions, però és difícil definir on és el límit d'aquest camp. Un canvi evolutiu que el transcendeix és l'origen de la cèl·lula

eucariota. Actualment, gairebé no hi ha dubte que, en l'origen de les cèl·lules amb nucli propiament dit, hi tingué un paper important la simbiosi. Mitochondris, plastidis, cilis, flagels i possiblement altres components d'aquestes cèl·lules semblen antigues cèl·lules procariotes simbionts, que s'haurien convertit en orgànuls de cèl·lules d'un nivell superior de complexitat. Si bé el manteniment de la simbiosi i el procés subsegüent de transformació dels simbionts en orgànuls de cèl·lules més complexes s'explica molt bé per selecció natural, el procés globalment considerat no encaixa amb els models ordinaris de la genètica de poblacions.

Actualment, el neodarwinisme continua essent la base principal per a explicar els processos evolutius, en particular pels evolucionistes procedents del camp de la biologia, especialment del de la genètica. Pels que el consideren poc adequat o el refusen plenament, és el punt de referència per a situar les noves idees.

El desenvolupament de la genètica molecular, després de la publicació l'any 1953 del treball de Watson i Crick on es descriu l'estructura del DNA, no ha alterat els fonaments del neodarwinisme, malgrat que ha modificat i ampliat el coneixement de l'herència biològica.

La genètica molecular ha obert l'estudi del nivell més bàsic de la variabilitat dels éssers vius, el dels mateixos gens i del seu producte immediat, les proteïnes. Un dels primers resultats importants d'aquest estudi fou el descobriment de canvis neutres o sigui, substitucions de nucleòtids al DNA o d'aminoàcids a les proteïnes, que no varien o varien molt poc la funció de la informació codificada en els gens o portada en les proteïnes. L'existència d'aquesta variabilitat neutra serví al genètic japonès Motoo Kimura per a formular la teoria neutralista de l'evolució molecular. D'acord amb aquesta teoria, la major part de les substitucions d'aminoàcids que s'observen en les proteïnes i de nucleòtids en els gens són neutres, i al llarg del temps s'acumulen amb una taxa que és igual a la taxa de mutació. Com que aquesta taxa tendeix a ésser constant al llarg del temps, el nombre de diferències degudes a substitucions, observades entre proteïnes o gens homòlegs, tendeix a ésser proporcional al temps transcorregut des que iniciaren l'evolució independent. Per tant, la taxa d'acumulació d'aquestes diferències és un rellotge evolutiu, que permet d'estimar el temps transcorregut des de la separació de les línies evolutives, a partir d'un tronc evolutiu comú.

No tothom acceptà la teoria neutralista quan fou formulada per Kimura. Especialment, la rebutjaren els neodarwinistes més clàssics, malgrat que s'enquadra totalment dins el marc de la genètica de poblacions. No obstant això, per a temps de separació evolutiva no massa curts, i si es comparen nombres elevats de gens o proteïnes, els supòsits de la teoria neutralista són força acceptables. Per això, l'anàlisi molecular ha revolucionat els estudis filogenètics, que actualment són molt més precisos que quan només es basaven en l'anatomia i la fisiologia comparades.

Les possibilitats d'establir amb més exactitud el parentiu evolutiu entre els grups taxonòmics, a vegades es poden complementar estudiant el DNA de restes

antigues. En aquestes, i fins i tot en alguns fòssils, quan les condicions són favorables es conserva DNA que pot estudiar-se amb les tècniques de l'enginyeria genètica. Així ha nascut una nova branca de la genètica, la paleogenètica.

Un aspecte important de l'evolució és l'aparició de genomes més complexos, amb un nombre més gran de gens, que ha estat paral·lela a l'increment de complexitat dels organismes. Per això, un altre resultat valuós de l'anàlisi de la variabilitat molecular ha estat el descobriment del mecanisme d'origen de gens nous. Tant la comparació de les seqüències d'aminoàcids a les proteïnes, com de nucleòtids al DNA indica que els gens nous s'originen per duplicació gènica i que aquesta ha estat freqüent en el curs de l'evolució. La duplicació gènica permet l'aparició d'un gen nou, amb una funció nova, sense que es perdi l'antiga. Una de les dues còpies del gen duplicat pot conservar la funció original, mentre que l'altra canvia i pot adquirir la nova. Els efectes de les mutacions que determinen l'aparició d'un gen nou no poden ésser neutres, ja que han d'ésser la base de la nova funció; per tant, en l'origen dels nous gens hi actua la selecció natural.

En l'evolució de les proteïnes, a més de les duplicacions gèniques també hi contribueixen les fusions de gens i la combinació de trossos de gens. És molt possible que la gran varietat de proteïnes actuals s'hagi produït a partir de molt poques proteïnes primitives curtes, fins i tot d'una de sola, per successives duplicacions i fusions. Aquesta hipòtesi és afavorida, respecte a l'alternativa que les proteïnes llargues tinguin un origen independent, pel principi de parsimònia i també pel fet que les proteïnes petites obtingudes per polimerització d'aminoàcids per acció tèrmica presenten freqüentment diverses propietats enzimàtiques dèbils, que poden ésser el punt de partida de l'evolució i la diversificació d'aquestes propietats (Fox 1988).

Virus, virus lisogènics (és a dir, que poden inserir-se al genoma), retrovirus (virus de RNA que formen còpies de DNA que s'integren al genoma), plasmidis amb propietats episòmiques (que poden integrar-se als cromosomes), plasmidis sense propietats episòmiques, elements mòbils, etc., són una sèrie d'elements genètics filogenèticament relacionats, estudiats amb les tècniques de la genètica molecular, que plantegen diverses qüestions d'importància evolutiva, però encara difícils d'avaluar. En conjunt, aquests elements i llur comportament demostren un dinamisme del genoma que en molts casos és difícil de precisar si està situat dins els límits de la patologia o correspon a processos importants per a l'evolució. Dos exemples d'aquesta situació són els efectes mutàgens dels elements mòbils i la possibilitat que tenen els retrovirus de transportar material genètic dels cromosomes on estan integrats a altres cèl·lules, fins i tot d'individus d'espècie diferent.

L'estudi molecular ha demostrat que molts dels canvis mutacionals detectats al fenotip són un efecte dels elements mòbils. Aquests elements són segments de DNA que tenen la propietat de canviar de posició —de saltar d'un lloc a un altre— en el genoma. Quan es col·loquen en una posició nova poden fer-ho dins un gen o en regions on alterin o impedeixin el funcionament d'algun gen.

Per aquest motiu, llurs efectes en el genotip no es distingeixen dels produïts pels canvis mutacionals pròpiament dits. En determinades circumstàncies, la freqüència d'aquests canvis és molt més alta que la de les mutacions convencionals. Encara no està ben definit quina importància tenen per a l'evolució. Les opinions oscil·len entre considerar-los un mecanisme més de canvis mutacionals, caracteritzat per tenir, a vegades, freqüències molt altes, o atribuir-los molta importància en l'evolució, per exemple en l'origen d'espècies noves.

En contraposició a la transmissió vertical que és l'ordinària de pares a fills en la reproducció, la transmissió horitzontal per retrovirus o altres mecanismes és el pas de material genètic entre individus que no tenen aquest parentiu. La transmissió horitzontal pot canviar la imatge que tenim de l'evolució. Fins ara s'ha cregut que, a partir del seu origen, els tàxons evolucionen independentment els uns dels altres. Això s'expressa representant les relacions filogenètiques per mitjà d'un arbre. La transmissió horitzontal trenca la independència evolutiva dels tàxons afectats i, doncs, entre les branques de l'arbre que representa la seva filogènia hi ha d'haver anastomosis, indicadores de la transmissió horitzontal. Si es demostrés que aquesta és molt freqüent, per a representar les filogènies s'haurien de substituir els arbres per xarxes.

L'EVOLUCIÓ VISTA DES DE FORA DE LA GENÈTICA

El renaixement del darwinisme en el neodarwinisme, degut a al base que li donà la genètica mendeliana, situà els estudis evolutius dins el camp de la genètica. Després, el desenvolupament de la genètica molecular ha consolidat la importància dels coneixements de genètica per a entendre l'evolució, com s'ha vist en els darrers paràgrafs i com es veurà quan tractem de les relacions entre l'evolució i la informàtica, més endavant. De tota manera, la comprensió total de l'evolució necessita pràcticament coneixements de tots els camps de la biologia.

Per a entendre l'evolució també cal conèixer les propietats dels organismes, del que en genètica s'en diu el fenotip. És en aquest on actua directament la selecció natural. Tenir ulls o no, una mida gran o petita, realitzar més o menys eficaçment la funció clorofíllica, resistir més o menys les temperatures altes o baixes, ésser capaç de córrer més o menys, regular o no la temperatura del cos, tenir un color que es confongui més o menys amb el de l'hàbitat, etc., determina la probabilitat de supervivència i de deixar descendents. L'acumulació o l'eliminació dels gens que controlen aquestes propietats és una conseqüència del valor selectiu que tenen els caràcters determinats per ells. Per tant, per a entendre l'evolució també és necessari l'estudi de les propietats morfològiques i estructurals dels organismes, així com de llur funcionament, prenent especialment en compte el significat que aquestes propietats tenen en relació amb l'ambient en què viuen i en les relacions amb altres organismes. Tenint això en consideració és evident que l'evolució ha d'ésser un camp d'estudi multidisciplinari, en el qual s'integrin els punts de vista de paleontòlegs, morfòlegs, fisiòlegs, estudiosos del

desenvolupament i del comportament, ecòlegs, taxònoms, etc., a més dels genètics. No obstant això, la integració actualment només és un objectiu per al futur.

De moment, aquesta varietat de punts de vista té per conseqüència idees molt diverses sobre molts aspectes de l'evolució i fins i tot sobre les concepcions generals. A més, això s'incrementa perquè actualment no sols hi contribueixen els biòlegs, sinó també altres científics, que cerquen de reduir la biologia a la física, unificant el procés de l'evolució biològica amb el general de l'univers. Si la visió que tenen de l'evolució biològica els biòlegs és predominantment neodarwinista, no acostuma a ésser-ho la dels altres científics.

Una interpretació crítica del neodarwinisme, però no frontalment oposada als seus aspectes més essencials, és la formulada pels paleontòlegs Eldredge i Gould (1972, 1977), en la teoria dels equilibris interromputs.¹ Especialment Gould, gran divulgador de la biologia i sobretot de l'evolució, ha popularitzat molt les idees expressades en aquesta teoria.

Les observacions paleontològiques en què es basen els autors de la teoria dels equilibris interromputs indiquen que moltes espècies es mantenen sense canvis importants, en períodes llargs de temps, d'alguns milions d'anys. En contrast, les noves espècies, apareixen "súbitament" —parlant en termes relatius a l'escala del temps que es fa servir en geologia— quan es trenquen aquests llargs períodes d'estabilitat. La interpretació que els autors de la teoria donen d'aquestes observacions, és que les característiques de les espècies són molt estables, que presenten un estat d'equilibri de molt llarga durada, que només s'interromp quan es forma una espècie nova. D'acord amb aquesta interpretació, l'evolució estaria associada amb l'especiació. Només en aquesta es produirien els canvis evolutius.

En la teoria dels equilibris interromputs es fa la distinció entre microevolució i macroevolució. La microevolució estaria limitada als canvis dins les espècies, que no afectarien el seu estat d'equilibri. Els canvis microevolutius s'ajustarien als models de la genètica de poblacions i tindrien poca transcendència evolutiva, ja que les noves espècies no s'originarien per acumulació d'aquests canvis com admet el neodarwinisme. En aquest aspecte hi ha una discrepància clara entre aquestes dues teories. La interpretació neodarwinista és gradualista, en el sentit que l'evolució es produiria, principalment, per acumulació successiva de canvis petits, mentre que per Gould i Eldredge el més freqüent serien els equilibris interromputs. Observeu que ni el gradualisme dels neodarwinistes ni els equilibris interromputs pretenen ésser models únics de l'evolució. Els neodarwinistes admeten que no tota l'evolució és gradual, per exemple no ho és l'aparició d'espècies per poliploidia, i la teoria dels equilibris interromputs admet que algunes dades paleontològiques poden interpretar-se per evolució gradual.

Els fòssils són les úniques proves directes que ens queden de l'evolució i de com s'ha produït aquesta. Per això, bé que amb mancances molt importants, els

1. Aquesta teoria també ha rebut el nom de puntualisme, degut a una mala traducció de l'expressió anglesa *punctuated equilibria*.

estudis paleontològics són els que permeten més directament la reconstrucció del procés evolutiu. En aquest sentit, les dades en què es fonamenta la teoria dels equilibris interromputs aporten informació molt interessant sobre les taxes amb què s'ha produït l'evolució. Això no obstant, la interpretació que es fa de les taxes en aquesta teoria té un punt feble, quan afirma que les espècies apareixen "instantàniament", malgrat que es matisi "en termes geològics".

L'instant geològic correspon a un espai de temps que l'anàlisi estratigràfica no pot precisar i que, com diuen els autors, pot oscil·lar entre 5.000 i 50.000 anys. La imatge telescopitzada de l'evolució que s'obté en referir-la a l'escala del temps utilitzada en geologia, quan es comparen períodes de 5.000 a 50.000 anys amb altres d'alguns milions, és interessant perquè visualitza els equilibris interromputs. Però d'aquesta imatge no se'n pot deduir una prova contrària al gradualisme. Les dades obtingudes sobre l'acció de la selecció en poblacions naturals actuals demostren que en períodes curts, de molt pocs anys –fins i tot en alguns casos de menys de 10–, per acumulació de canvis poden produir-se diferències notables (Prevosti, 1990a). Aquests canvis són ràpids però graduals. Essencialment, en el gradualisme l'evolució és el resultat de l'acumulació de canvis petits, i no significa evolució lenta, ni evolució contínua. Evolució ràpida tampoc no vol dir que no sigui gradual. Qualificar un canvi d'instantani, encara que això sigui dit en termes geològics, en aquest cas dona una imatge distorsionada de l'evolució.

Segurament Eldredge (1989) pensa en aquesta possible crítica quan diu que els equilibris interromputs fan referència a l'existència de llargs períodes de relativa estabilitat, interrompuda per explosions de transformació morfològica relativament breus i ràpides. Afirma, a més, que ell i Gould han continuat essent neodarwinistes gradualistes, en el sentit que en els breus períodes de canvis relativament ràpids es produeixen transformacions fenotípiques graduals, probablement sota el control de la selecció natural.

L'aspecte més interessant de la teoria dels equilibris interromputs, i al qual els seus autors donen més importància, és el llarg període de supervivència de les espècies. Aquest pot interpretar-se de diverses maneres. Té una explicació neodarwinista, atribuint-lo a una selecció estabilitzadora, però els partidaris de la teoria la refusen, i prefereixen explicar-lo com una conseqüència del fet que els organismes són sistemes complexos. En aquesta línia de pensament, alguns autors oposats al neodarwinisme tracten de relacionar els canvis que donen origen a les noves espècies amb les teories actuals sobre l'evolució de sistemes.

INTERPRETACIONS NO DARWINISTES DE L'EVOLUCIÓ

Dins el camp de la biologia, la principal alternativa al darwinisme és el lamarckisme, en el qual el canvis evolutius es produïrien per l'herència dels caràcters adquirits, per l'ús i el desús, al llarg de la vida dels individus. Encara que periòdicament es publiquen dades que semblen favorables al lamarckisme, fins ara ha resultat que no s'havien interpretat correctament o que no han estat repetibles.

La dificultat del lamarckisme radica en el fet que ha de demostrar que els caràcters adquirits són heretables. Perquè ho fossin hauria d'existir algun mecanisme que dirigís la mutació dels gens, i determinés en la descendència els caràcters adquirits pels pares al nivell somàtic. Aquests mecanisme no sols no s'ha descobert sinó que, amb els coneixements actuals de la genètica, és molt difícil d'imaginar. Per això, en els plantejaments científics de l'evolució biològica, actualment el lamarckisme no rep gaire consideració.

Més acceptació tenen els plantejaments teòrics que tracten d'integrar la biologia, i particularment l'evolució, en les construccions teòriques de la física. Molts d'aquests plantejaments difereixen radicalment del neodarwinisme i alguns, fins i tot, eliminen la genètica en la seva concepció de l'evolució.

Des de l'aparició del neodarwinisme diversos desenvolupaments de la física han contribuït a fer entendre què són i com funcionen els éssers vius. Així, les teories de les catàstrofes i del caos determinista han servit per a fer models que ajuden a entendre alguns processos biològics, però la més destacada d'aquestes contribucions segurament ha estat la de la termodinàmica dels sistemes oberts allunyats de l'equilibri (Prigogine, 1980). De fet, els éssers vius són sistemes oberts allunyats de l'equilibri i, per tant, com a tals cal entendre'ls i estudiar-los. Pel fet d'ésser sistemes oberts i allunyats de l'equilibri termodinàmic, passa per ells un flux continu de matèria i d'energia, necessari per a construir-los i per a conservar-ne l'organització i el funcionament.

Per alguns autors les propietats termodinàmiques dels éssers vius són suficients per a caracteritzar-los i per a explicar-ne l'evolució. Els situen dins la física de l'esdevenir, com anomena Prigogine la termodinàmica dels sistemes oberts allunyats de l'equilibri, que regeix les propietats de les estructures dissipatives, dels processos d'autoorganització que hi tenen lloc, de les fases d'estabilitat per què passen, de les bifurcacions que experimenten i de les catàstrofes que presenten. Aquest conjunt de propietats és realment engrescador per a forjar models de l'evolució dels éssers vius. Per exemple, la teoria dels equilibris interromputs, especialment en la seva imatge telescopitzada, sembla ajustar-s'hi molt. Per això hi ha autors que identifiquen els "instants" geològics d'especiació d'aquesta teoria amb les fases crítiques que poden produir-se en aquests sistemes termodinàmics, en les quals petites variacions d'algun dels elements poden determinar un gran canvi en l'estructura general del sistema.

Combinant idees estructuralistes i de la física, autors com Goodwin (1989) i Webster (1989) arriben a posicions molt oposades al neodarwinisme. A més d'afirmar que l'herència no té cap importància per a l'evolució, diuen que la taxonomia hauria d'ésser deduïble d'una teoria de les transformacions i que, disposant d'aquesta teoria, conèixer el que realment ha passat en la història dels éssers vius no tindria gaire interès i l'especulació filogenètica es convertiria en una activitat purament d'antiquari. D'acord amb aquesta concepció tot el procés de l'evolució estaria determinant per les lleis de les transformacions i, per tant, podria deduir-se coneixent aquestes lleis. La discrepància d'aquesta concepció de l'evolució amb la del darwinisme és patent. En aquest, la gran diversitat dels

organismes és el resultat d'un procés històric, amb un important component aleatori, en què les condicions que s'han anat produïnt han condicionat els camins seguits per l'evolució, i qualsevol alteració en les circumstàncies, tant internes com externes, hauria portat a resultats que podrien ésser molt diferents dels ocorreguts. En canvi, en la concepció estructuralista de Webster, tot aniria predeterminat per unes lleis generals.

La principal incompatibilitat entre el darwinisme i les concepcions que tracten de reduir l'evolució biològica als esquemes de la física és que els sistemes vivents tenen propietats funcionals. Darwin, com la major part de biòlegs, apreciava en els organismes propietats funcionals, mentre que aquestes propietats no són admissibles en una visió purament física, ja que són pròpies de sistemes dissenyats amb una finalitat, com les màquines construïdes per l'home. Per exemple, els automòbils estan dissenyats per a ésser utilitzats com a vehicles, i en ells el motor, les rodes, el volant, els sistemes de transmissió, els circuits elèctrics, etc., són propietats funcionals com les que els biòlegs aprecien en els organismes.

En efecte, els sentits –gust, tacte, olfacte, oïda i vista–, els aparells locomotors escaients per a caminar, reptar, nadar, volar, etc. segons l'ambient en què viu un animal, els aparells i òrgans –respiratori, digestiu, circulatori, excretor, reproductor, nerviós, etc.–, tots responen a un disseny, complex i molt ajustat, adient a les funcions que realitzen. Gràcies a aquestes propietats i organització, els animals tenen informació del món extern i es comporten adequadament per a sobreviure-hi, triant els aliments, la parella per a reproduir-se, l'hàbitat que els convé més. L'organització interna els permet de coordinar les funcions de tots els òrgans, aprofitant i transformant eficaçment els materials i l'energia que obtenen de l'exterior per a mantenir l'equilibri dinàmic necessari per a la conservació del sistema, i fins i tot per a respondre adequadament a les condicions canviants de l'ambient extern. A les plantes, el disseny d'organització i les propietats funcionals no són menys evidents. Les fulles, la tija i les arrels són apropiades per a captar l'energia de la llum solar, per a l'intercanvi de materials amb l'atmosfera i per a l'adquisició d'aigua i sals minerals del sòl. La tija té l'estructura convenient per a la conducció de materials entre les arrels i les fulles, i una organització que varia segons la mida de la planta i n'assegura el suport. La captació de l'energia solar i la seva transformació en energia química es fa amb una maquinària molecular exquisida en els cloroplasts, que funcionen amb un rendiment molt alt, en relació als que s'aconsegueixen a les màquines construïdes per l'home.

Per a evitar possibles malentesos, cal remarcar que el darwinisme no pretén que totes les propietats dels sistemes vivents siguin funcionals. Entre d'altres, una de les causes que no ho siguin és la conservació de trets de sistemes anteriors, cosa que també s'observa en les màquines. Per exemple, la forma de la carrosseria dels primers automòbils era molt menys aerodinàmica que la dels actuals, i més semblant a la dels cotxes de cavalls que els precediren com a vehicles.

Podria escriure's un llibre molt voluminós continuant detallant les propietats funcionals dels éssers vius, però no cal fer-ho per a analitzar-ne el significat.

Diferentment del que succeeix en els fenòmens només físics i químics, per a entendre els biològics s'han d'admetre les propietats funcionals, i això planteja una qüestió important, principalment si se'n vol conèixer l'origen. Abans de Darwin –des d'Aristòtil, passant per Galè i en general per tots els que aprofundiren en l'estudi dels éssers vius–, per a explicar aquestes propietats s'admetia que els éssers vivents havien estat dissenyats per algun agent exterior a ells o que a la natura hi ha una finalitat que es manifesta, principalment, en les propietats dels organismes. Darwin, amb la selecció natural, explicà aquestes propietats per un procés natural, que fa innecessari introduir agents externs a la natura o desconeguts en el món inorgànic. Aquest és precisament el gran mèrit científic de Darwin.

En el darwinisme la selecció natural és el “dissenyador cec dels organismes” –com diu Dawkins (1987)– per un procés de selecció de canvis aleatoris, que no tenen intencionalitat o finalitat de produir propietats funcionals útils per a la supervivència. Només quan casualment són útils, perquè augmenten la probabilitat que els individus que els presenten deixin descendents, es mantenen en l'herència de l'espècie. Com tot el funcionament dels éssers vius, la selecció natural és un procés totalment regulat per lleis físiques, però que dona origen a sistemes amb propietats funcionals.

Les concepcions de l'evolució basades sols en lleis físiques no expliquen les propietats funcionals i la coordinació estructural i dinàmica que s'observen en els sistemes vivents. Per tant, una sortida per a no retornar a les idees predarwinistes que admetien la finalitat en la natura, és negar l'existència d'aquestes propietats i considerar que els sistemes vivents sols es diferencien del inorgànic per un grau més gran de complexitat. Però no admetre aquestes propietats és difícil d'acceptar quan s'estudien els éssers vius. Només es pot fer per principi, com en realitat hi ha qui ho fa. A més, ultra negar l'evidència de les propietats funcionals, aquesta posició comporta prescindir del genoma –per exemple Lima de Faria (1988), Goodwin (1989), Webster (1989)–, el component dels sistemes vivents que a més de portar informació codificada i anar acumulant-ne de nova en l'evolució, és el suport de la continuïtat dels processos de la vida.

L'EVOLUCIÓ BIOLÒGICA I LES PROPIETATS INFORMÀTIQUES DELS ÉSSERS VIUS

La genètica molecular ha demostrat que el genoma dels organismes porta informació codificada sobre les seves propietats, cosa que fa possible l'acumulació i la transmissió d'aquesta informació i, per tant, que el genoma és un component necessari per a l'evolució. Això posa en evidència que en la comparació que s'ha fet abans dels sistemes vivents amb les màquines construïdes per l'home, prenent com exemple d'aquestes l'automòbil, hi falla un aspecte: en els automòbils no hi ha un component comparable al genoma.

Aquesta diferència entre els éssers vius i les màquines convencionals és essencial. Per a veure'n el significat pot servir un exemple. Els sistemes vivents, malgrat estar lluny de l'equilibri termodinàmic, mantenen, dins certs límits, un equilibri dinàmic que correspon al concepte de constància del medi intern de Claude Bernard (1856), al que Cannon (1929) va denominar homeostasi, i que s'aconsegueix gràcies a mecanismes que determinen respostes "adaptatives" als canvis externs o interns. Quan aquest equilibri no es regula bé o es trenca es produeix la malaltia, i, si no es pot restablir, el sistema es desintegra –mor–. En el manteniment de l'homeostasi el genoma, com a portador d'informació codificada, hi té un paper essencial. Als organismes hi ha gens que porten informació codificada per a elaborar substàncies que actuen en el manteniment de l'equilibri intern. Els efectes d'agents productors d'estrès, com els patògens, les oscil·lacions de la temperatura i de la llum, l'anaerobiosi, l'acció dels agents oxidatius, etc., s'ha comprovat que desapareixen el funcionament de gens productors de substàncies que contraresten els efectes desestabilitzadors del funcionament dels organismes que tenen aquests agents. Només en les màquines informatitzades, com per exemple els robots, hi ha un component amb propietats que s'assemblen una mica a les del genoma. Aquestes reflexions fan pensar que un camí de progrés en la comprensió dels processos evolutius i de les característiques dels sistemes vivents es pot buscar, actualment, estudiant-los des d'un punt de vista informacional.

Alguns autors (Wiley i Brooks, 1986) han seguit aquesta idea, partint del concepte d'informació de Shannon, expressat en la fórmula $H = -p_i \log p_i$, que dona la quantitat d'informació en un sistema de comunicacions. Basant-se en la identitat d'aquesta fórmula amb la que expressa l'entropia dels sistemes termodinàmics, situen l'evolució biològica dins el marc de la termodinàmica. Tot i que admeten la selecció natural, la consideren un procés subordinat a les característiques generals de l'evolució.

La utilització de la fórmula de Shannon per a formalitzar el procés d'acumulació d'informació en l'evolució biològica té un inconvenient important. No és adequada per a expressar l'aspecte qualitatiu de la informació biològica, que correspon a les propietats funcionals dels organismes, car només dona la quantitat d'informació. És el vessant semàntic de la informació el que interessa més, i no el quantitatiu.

L'estudi de les propietats informàtiques dels éssers vius ens dona una visió que encaixa molt bé amb el darwinisme (Prevosti 1989, 1990b, 1993). Les propietats funcionals i el disseny que es manifesten en llur organització, adequats per a la supervivència en les condicions en què viu cada espècie, s'expliquen perquè els sistemes vivents tenen una memòria –el genoma– on han acumulat, codificada, la informació de les propietats que els són útils per a sobreviure, per a construir aquestes propietats i per a respondre adequadament a canvis interns o externs, que podrien alterar llur bon funcionament.

La selecció natural, el procés pel qual l'organisme adquireix informació, té característiques dels processos d'adquisició de coneixement. Ho fa per tempteig

–la mutació a l'atzar–, en cercles cibernètics –les successives generacions–, i l'acumula per retroacció dels resultats positius –els canvis que donen propietats funcionals–. Els resultats obtinguts en la resolució de problemes, a vegades de solució difícil i no albirada, utilitzant en informàtica algorismes genètics, són una prova de les potencialitats del model d'evolució per selecció natural per a generar coneixement i, ateses les propietats del genoma, d'acumular-lo i transmetre'l. L'ús del terme coneixement fent referència a la informació codificada en el DNA dels gens em sembla justificat. Cal, però, precisar que no es pretén donar-li l'abast que té el coneixement humà. Als articles abans citats (Prevosti, 1989, 1990b i 1993) es discuteixen alguns aspectes d'aquesta qüestió, com que el genoma és un sistema de signes, que a més són arbitraris, com els del llenguatge natural, és a dir el llenguatge que utilitzen els homes per a comunicar-se entre ells i per a transmetre la informació que van acumulant en l'evolució cultural.

Que la informació codificada als gens sigui coneixement explica la finalitat, o teleonomia com molts biòlegs prefereixen dir-ne, que s'aprecia en els éssers vius. Aquesta finalitat és el resultat de la informació codificada per la selecció natural, i no és deguda a cap força diferent de les forces físiques. L'adquisició de coneixement pels sistemes vivents està exclusivament basada en les propietats físiques i químiques dels seus components i el mateix és cert de totes les seves propietats, tant funcionals com no, i de la seva fina organització. Malgrat això, els sistemes vivents es diferencien essencialment dels inorgànics. La funcionalitat que tenen algunes de les seves propietats no s'explica per les lleis de la física, sinó perquè han acumulat coneixement sobre com s'han d'utilitzar aquestes lleis per a sobreviure.

REFERÈNCIES

- BERNARD, C. (1856). Introduction a l'étude de la Médecine expérimentale. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 61, 321.
- BOWLER, P. J. (1983). *The eclipse of Darwinism*. The John Hopkins University Press. Traducció castellana: Editorial Labor, S.A., Barcelona, 1985.
- BROOKS, D. R. and WILEY, E. O. (1988). *Evolution as entropy*. 2ª ed. University of Chicago Press.
- CANNON, W. B. (1929). Organization for Physiological Homeostasis. *Physiol. Review*, 9, 399-431.
- ELDREDGE, N. (1989). *Macroevolutionary dynamics*. Mc-Graw-Hill Publishing Company, Nova York.
- ELDREDGE, N. & S. J. Gould. (1972). Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. A: "Models in Paleobiology", SCHOPF J. J. ed., 82-115, Freeman, Cooper and Co., San Francisco.

- FOX, S. (1988). *The emergence of Life*. Basic Books, Inc. Nova York.
- GOULD, S. J. i N. Eldredge. (1947). Punctuated equilibria: the tempo and mode of evolution reconsidered. *Paleobiology*, 3, 115-151.
- GOODWIN, B. (1989). "Structuralist research programme in developmental Biology". A: *Dynamic structures in Biology* GOODWIN, B. et al. eds., Edinburgh University Press., Edimburg, p. 49-61.
- LIMA-DE-FARIA, A. (1988). *Evolution without selection*. Elsevier, Amsterdam.
- PREVOSTI, A. (1988). Evolució natural i evolució artificial. *Tretzè Congrés de metges i biòlegs de llengua catalana. Llibre de ponències: 37-52*.
- PREVOSTI, A. (1990a). Un exemple de canvis adaptatius ràpids: la colonització d'Amèrica per *Drosophila subobscura*. A: "Poblacions, societats i entorn", 182-188. Institut d'Humanitats. Club de Barcelona.
- PREVOSTI, A. (1990b). Reflexions entorn de la posició de l'home a la Natura: una alternativa. *Memòries de la R. Acad. de Ciències i Arts de Barcelona*. 3a època, 50, 4-27.
- PREVOSTI, A. (1994). Teoría de la evolución, teoría de sistemas y epistemología evolutiva. A: *Descifrar la vida*, CASADESÚS, J. i RUIZ BERRAQUERO, F., eds., Universidad de Sevilla.
- PRIGOGINE, I (1980). *From being to becoming*. W. H. Freeman. San Francisco.
- WEBSTER, G, (1989). Structuralism and Darwinism: Concepts for the Study of Form. A: "Dynamic structures in Biology", GOODWIN B. et al. eds, Edinburgh University Press. Edimburg. p. 1-15.

(Original rebut per a publicació
el dia 2 de setembre de 1993)