

La classificació dels organismes

Enrique Macpherson

Biòleg del Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CSIC)

Tot i que el mètode de classificació de les espècies continua encara la lògica euclidiana del seu inventor Carl Linnaeus, fa molt pocs anys, i més de dos segles després del naturalista suec, que la ciència comprova que amb prou feines coneix un 10% de la diversitat biològica que conviu amb l'home a la Terra. Linnaeus reconegué 9.000 espècies i avui n'hi ha entre 1,5 i 1,8 milions de registrades. Les estimacions van de 10 a 80 milions.

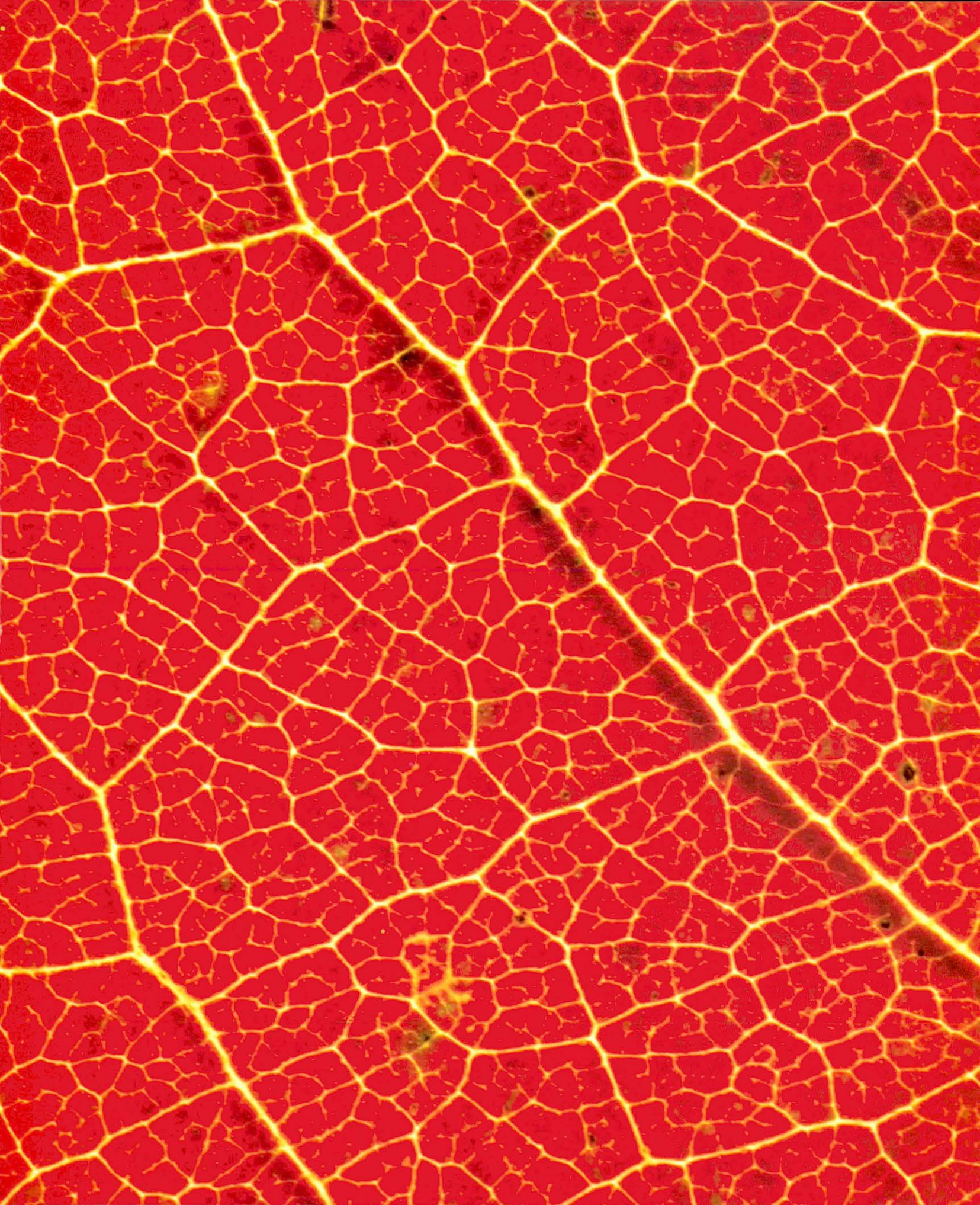
Carl Linnaeus va néixer a Rashult (Suècia) el 1707 i fou el primogènit de Nils Inge-marsson, un pastor luterà que, seguint un costum de la Suècia del segle XVII, en entrar a la universitat es canvià el cognom per Linnaeus. El nom elegit deriva de *Lin*, que en el dialecte de Smaland significa til. Així, com si es tractés d'una premonició, el primer fill d'aquest pastor, Carl (Carles del Til), ja fos pel seu cognom o per vés a saber quines raons, estava cridat a ser un dels naturalistes més importants del seu temps i l'indicador de la taxonomia i de la classificació vegetal i animal tal com la coneixem avui. La seva concepció euclidiana de la vida el portà a practicar la lògica aristotèlica i aplicar-la al coneixement de les Ciències Naturals.

Ràpidament, el jove Carl demostrà entre els seus col·legues universitaris uns coneixements sobre la natura fora del corrent, i als trenta anys començà la seva llarga sèrie de publicacions (*Flora Lapponica*, *Systema Naturae*, *Fundamenta botanica*, *Musa Cliffortiana*, *Genera Plantarum*, etc.) que revolucionarien el món científic del segle XVIII. La principal contribució de Linnaeus no va ser precisament la seva visió de la natura, que en aquella època continuava basada en principis religiosos, sinó la seva visió meticulosa, detallista i sistematitzada sobre com distingir les plantes i els animals. El seu mètode racional de classificar els organismes demostrà tenir una enorme utilitat, tant pedagògica com científica, i implantà el sistema binari (gènere i espècie) de denominació de les espècies. Tant és així que va ser acceptat, gairebé sense reserves, per tota la comunitat científica d'aquella època, i això ha perdurat fins als nostres dies.

Probablement, Carl Linnaeus no podia imaginar que la seva obsessió per ordenar i classificar plantes i animals, seguint uns cànons clars i metòdics, serviria perquè, a finals del segle XX, els científics poguessin establir una diversitat d'organismes no imaginables fins fa tan sols poques dècades.

De 9.000 a 80.000 milions d'espècies

El 1758 Linnaeus reconegué unes 9.000 espècies de plantes i animals; actualment n'hi ha descrites entre 1,5 i 1,8 milions. Fins fa poques dècades el nombre d'espècies existents a la Terra s'extrapolava de les xifres conegudes, sobretot en àrees temperades. Recents estudis en selves tropicals i fons oceànics demostren que tan sols coneixem un màxim del 10% del total (entre 10 i 80 milions segons les fonts d'estimació). El descobriment d'aquesta elevada densitat començà a principis dels anys vuitanta quan T. Erwin, de la Smithsonian Institution de Washington, inicià les seves investigacions en les copes dels arbres de la selva panamenya. Fins aleshores la majoria d'estudis es realitzava sobre la fauna existent sobre els sòls o, dependent de la seva accessibilitat, en els primers metres de la massa forestal. En només 19 arbres trobà més de 1.200 espècies diferents d'escarabats. Estudis posteriors, realitzats a les selves amazòniques i indonèsiques confirmen aquestes xifres i suggereixen l'existència d'uns 30 milions d'insectes únicament als tròpics. Troballes d'un ordre de magnitud similar s'han realitzat en la micro i mesofauna dels grans fons oceànics. En bacteris el panorama és encara més interessant; ni tan sols es co-



La mitjana de noves espècies d'aus o mamífers, que solen descobrir-se a les selves tropicals, és de dues per any.



neix l'ordre de magnitud del nombre d'espècies existents. El descobriment de noves espècies es realitza pràcticament en tots els grups d'organismes, en general, en relació inversa amb la seva grandària i, tot s'ha de dir, també en funció del nombre d'especialistes existents. La mitjana de noves espècies d'aus o mamífers és de dues per any, que solen descobrir-se a les selves tropicals. Aquest nombre es dispara fins a uns quants centenars en insectes i crustacis. Gràcies al sistema, ordenat i precís, proposat per Linnaeus, aquest enorme nombre d'espècies es podrà conèixer i classificar adequadament. Aquest sistema és la base de la taxonomia, la branca de les ciències encarregada de posar ordre en tota aquesta fascinant diversitat biològica.

La ciència de la classificació

La taxonomia es defineix com la ciència de classificar organismes. Això no tan sols implica catalogar-los i donar-los un nom, sinó també aclarir les seves relacions evolutives i tots aquells problemes relacionats amb la seva diversitat, tant ara com en el passat. Els taxònoms proporcionen aquesta informació d'una manera pràctica, aportant la base referencial de la biologia a l'hora d'anomenar i descriure els organismes i facilitant, mitjançant claus o bancs de dades, el seu coneixement fàcil. Aquesta branca del saber és omnipresent en totes les branques de la biologia. Tots els treballs empírics publicats en ciències biològiques tenen una part de taxonomia, senzillament perquè els biòlegs necessiten identificar els organismes amb què treballen.

La classificació dels organismes és en el cor de la investigació biològica, i té un paper vital en qualsevol investigació en ecologia, morfologia, comportament, genètica o biologia molecular. Com senyala el gran impulsor dels estudis sobre la biodiversitat, E.O. Wilson de la Universitat de Harvard, la classificació taxonòmica significa supervivència i així ho han entès totes les cultures al llarg de la història, simple-

ment es tracta d'anomenar les coses pel seu nom. Cada vegada més, el món de la ciència i de la indústria exigeixen la intervenció de taxònoms, atesa la importància de la correcta identificació dels organismes i de la transcendència de molts dels estudis per a l'agricultura, medicina o medi ambient.

Biologia molecular i bioquímica

La tasca central de la taxonomia és identificar organismes i agrupar-los en categories que permetin aproximar-se al més possible a les relacions evolutives reals, establint-ne la filogènia. Per raons pràctiques, molts estudis es construeixen utilitzant només dades morfològiques, anatòmiques i bioquímiques, assumint que aquestes reflecteixen les afinitats genètiques existents entre si. De fet, la major part dels taxònoms utilitzen caràcters morfològics fàcils d'observar, que són els més útils per identificar les espècies per als no especialistes. Tanmateix, l'ús recent de noves metodologies està obrint aspectes de notable importància. Les tendències actuals en la taxonomia es dirigeixen cap a una major complementació amb les diferents metodologies científiques, incloent-hi estudis que abasten des dels morfològics clàssics fins als basats en la biologia molecular i la bioquímica.

Per exemple, el desenvolupament de l'anàlisi d'imatges permet estudis i classificacions d'espècies de formes molt similars (les denominades espècies *sibil·lines*). La introducció de noves tècniques en la taxonomia és contínua i està possibilitant millorar l'exactitud en la identificació d'espècies. Els avenços tècnics, com el pas dels microscopis òptics més simples als electrònics de transmissió o d'escombratge moderns, la introducció de l'anàlisi de sons emesos durant l'aparellament, etc., han obert mons fins fa poques dècades desconegudes. Això ha permès establir la identitat de molts organismes i validar impressions que els antics taxònoms posseïen sobre espècies molt pròximes i fins i tot

morfològicament no diferenciables. Per exemple, diferències en els sons emesos durant l'època de reproducció d'espècies molt pròximes d'aus i insectes i que suggerien l'existència d'espècies diferents. Així mateix, nombrosos caràcters químics són utilitzats en la classificació de plantes i invertebrats, i especialment en bacteris.

Entre aquestes tecnologies innovadores, la biologia molecular ha demostrat tenir una gran utilitat quan s'ha mogut des d'una fase descriptiva cap a una de més interpretativa. Respondre preguntes tals com: malgrat la similitud entre les molècules dels organismes existents, com poden arribar a ser tan diferents? Com tan sols una diferència de l'1% en les bases de l'ADN fan que l'home i el ximpanzé siguin tan diferents? Aquestes noves línies d'investigació probablement revolucionaran molts camps de la biologia. La biologia molecular està tenint un impacte molt important en la taxonomia, i s'està aplicant tant en l'àmbit individual com en l'estructura de les poblacions, de manera que permet separar espècies pròximes i establir les seves relacions.

Aquestes tècniques tenen, tanmateix, l'inconvenient del seu cost. Per exemple, un biòleg molecular necessita més d'1,5 milions de pessetes per any, mentre que un taxònom tradicional n'utilitza menys de 200.000.

La tècnica molecular que probablement s'utilitzarà més sovint els pròxims anys és la determinació de seqüències de nucleòtids de regions particulars de l'ADN. El desenvolupament de tècniques simples de replicar l'ADN, per exemple la PCR (Polymerase Chain Reaction) està, així mateix, obrint noves vies d'investigació. Altres tècniques més simples fan servir ARN ribosòmic que, en ser abundant en les cèl·lules, permet ser seqüenciat sense amplificació prèvia. Aquesta última tècnica es fa servir per analitzar les distàncies entre phyla. Per diferenciar espècies es comparen seqüències del citocrom-b mitocondrial i per distingir poblacions o

subespècies se solen utilitzar diverses tècniques aplicades a l'ADN mitocondrial.

Totes aquestes tècniques estan permetent analitzar l'estructura de moltes poblacions i la variabilitat entre individus. La taxonomia aplicada als fòssils i fent servir tècniques innovadores de biologia moleculars està permetent conèixer les pautes de l'evolució al llarg dels temps. Per exemple, recents estudis demostren que fa 600 milions d'anys, durant el Precàmbric, la diversitat, en termes de phyla pot haver estat més gran que en qualsevol temps posterior. Dins de cada phylum, les pautes d'evolució han estat diferents. Per exemple, els braquiòpodes semblen haver canviat molt poc quant a nombre d'espècies, al llarg del temps. Els moluscs, per contra, han anat augmentant. Actualment, s'està treballant activament per millorar *rellotges moleculars* a partir de les estimacions en les taxes de canvi de determinades regions dels gens. Això ha permès comprovar que la separació de grups en les aus començà aviat i alguns, com per exemple el de les cantores, s'ha especialitzat a un ritme molt inferior al de les rapaces.

En el cas de l'home sembla que el seu temps de divergència respecte als grups afins va començar fa uns 5 milions d'anys, època molt més recent que l'establerta per les dades fòssils (20 milions a l'any). El temps de divergència de les diferents races ha estat també força recent, i sembla que les poblacions no africanes s'iniciaren a partir d'un sol origen fa uns 200.000 anys.

El paper de la taxonomia en l'anàlisi dels canvis històrics té un bon exemple en els estudis del pol·len i la seva documentació del canvi global. Analitzant el pol·len fòssil i la seva tolerància al clima (a partir d'espècies actuals similars) s'ha pogut estimar com eren la temperatura i les pluges en determinades zones fa més de 100.000 anys.

Històricament, la taxonomia s'associa als museus i a les seves gegantines col·leccions (només les col·leccions del National History Museum de Londres engloben més de 58 milions d'exemplars).

El desenvolupament de l'anàlisi d'imatges permet estudis i classificacions d'espècies de formes molt similars.



L'establiment de col·leccions és essencial per als estudis taxonòmics i compleixen diversos objectius en servir com a dipositaris de la informació en la qual es basen taxònoms, biòlegs evolutius, etc. i són la referència per a la identificació i la verificació dels exemplars que s'utilitzen en diversos estudis. L'ús d'aquestes col·leccions va en augment i es consideren un patrimoni d'incalculable valor, que propicia estudis de gran interès. Per exemple, diversos herbaris han permès establir les variacions en la concentració de PCB en l'aire al llarg de diverses dècades. En altres casos permeten estudiar les relacions entre espècies recentment extingides, o en vies de desaparició, i els seus parents més pròxims encara existents. Per exemple, en el llop roig, extingit en estat salvatge, l'estudi del citocrom mitocondrial a partir de pells de museus ha permès determinar els seus autèntics parents genètics, i s'ha trobat que el llop roig està més pròxim al coiote que al llop gris.

Nombroses teories ecològiques canvien segons el nivell taxonòmic al qual s'estudien, cosa que dificulta la nostra comprensió del món que ens envolta.



Aplicacions mèdiques, agrícoles i industrials

Com ja s'ha indicat anteriorment, les aplicacions de la taxonomia no acaben en la simple classificació d'organismes, que sol associar-se a museus obscurs i decimonònics, producte d'una ciència ancorada en el passat. Les aplicacions de l'adequada classificació dels organismes van des de la medicina, passant per l'agricultura, la indústria i totes aquelles branques del saber relacionades amb la biologia. Aspectes com la comprensió del cicle de nutrients (carboni, nitrogen i fòsfor) estan limitades actualment per l'absència d'una taxonomia adequada. Per exemple, els models de transferència d'energia en els sòls suggereix que el 70% del flux del nitrogen es basa en els bacteris. És a dir, la disponibilitat del nitrogen per als altres organismes depèn de l'activitat bacteriana. Tanmateix, s'estima que hi ha molts més tipus de bacteris en els sòls dels que poden detectar-se amb els mètodes tradicionals. Com la taxonomia d'aquests bacteris es gairebé desconeguda, és impossible saber quin és el paper dels diferents tipus de bacteris en el cicle dels nutrients i no podem saber si l'home pot afectar aquest procés. Passa el mateix amb els processos que es produeixen en el mar o en la descomposició de la matèria orgànica.

Nombroses teories ecològiques canvien segons el nivell taxonòmic al qual s'estudien, caos que dificulta la nostra comprensió del món que ens envolta. Per exemple, es conclou normalment que els animals grans són més abundants que els petits. Tanmateix, un estudi detallat realitzat en aus de Gran Bretanya i Suècia mostra que l'abundància relativa de les espècies grans i petites depèn del nivell taxonòmic a què es faci l'estudi. Si es consideren totes les aus en conjunt, les petites tendeixen a ser més abundants que les grans, però considerats els grups individualment (per famílies, per exemple), les grans tendeixen a ser més abundants que les petites.

En termes generals, la taxonomia contribueix d'una manera significativa en aspectes de rellevància social i econòmica mitjançant la identificació d'organismes útils, tals com els llevats utilitzats en la fermentació, plantes d'ús en agricultura o indicadors de qualitat ambiental. Així mateix, intervé en la identificació de patògens en medicina i veterinària. La recent utilització de biopesticides, agents patògens que poden ser específics d'una determinada plaga agrícola, necessita una correcta identificació tant de l'agent patògen com de l'insecte agressor. La seva incorrecta classificació comportà que durant diversos anys els programes de control de plagues en arrossars de l'Àsia tropical no pogués tenir èxit.

Probablement unes 10.000 de les 250.000 plantes superiors conegudes han estat utilitzades per l'home. El 70% de la població humana encara depèn de remeis obtinguts d'aquestes i fins i tot països amb sofisticades indústries farmacèutiques fan servir un 25% dels seus productes derivats de les plantes. El mercat d'aquest tipus de

medicina s'estima en uns 43 bilions de dòlars per any.

Els microorganismes són així mateix una enorme font de medicines. Des de 1950, 3.000 antibiòtics s'han desenvolupat tan sols a partir d'*Actinomycetes*. L'eficàcia d'aquests productes i la seva aplicació a la medicina ha estat i és enorme. Drogues com la vincristina o la vinblastina, ambdues derivades de la planta *Catharantus roseus* de Madagascar, s'utilitzen amb èxit com a anticancerígens i suposen ingressos d'uns 200 milions de dòlars l'any. En farmacologia, un món de grans possibilitats s'està desenvolupant a partir de les molècules que segreguen nombrosos invertebrats bentònics i algues marines. Molts d'aquests organismes són sèssils, és a dir, romanen fixats al fons durant tota la seva vida amb la qual cosa per competir, protegir-se o identificar-se entre si necessiten segregat substàncies específiques, que estan demostrant ser de gran utilitat per a l'home. Exemples com l'avarol, que es troba en una esponja de les nostres costes (*Dysidea avara*), a més de ser un potent bactericida és útil contra el virus del sida. Altres molècules, com les trobades en les esponges *Crambe crambe* i *Raniera mucosa*, entre d'altres, han demostrat ser eficaços anticancerígens i antivírics. La majoria d'aquestes substàncies són característiques d'una sola espècie, per la qual cosa la correcta identificació de l'espècie mare és essencial.

Un dels programes més extensos de control de malalties a l'Àfrica occidental inclou la lluita contra la mosca negra *Simulium damnosum*. L'èxit en l'ús d'insecticides depèn de la correcta identificació de l'espècie i dels seus llocs de posada d'ous. Els exemples d'utilitat immediata per a l'home són i continuaran sent nombrosíssims. El cas del paludisme fou un dels primers en la història recent de la medicina, en què l'adequada classificació de l'insecte transmissor, permeté el seu control. Des de 1985, se sabia que la malaltia era transmesa per mosquits *Anopheles*, però malgrat totes les campanyes de des-



secació de llacunes els efectes positius no s'observaven. No va ser fins al 1934 quan els entomòlegs descobriren que el que es creia una sola espècie de mosquit n'eren, en realitat, almenys set, i només algunes s'alimentaven de sang humana, transmetent així el paludisme. Una vegada realitzada aquesta separació taxonòmica, la lluita es va poder centrar adequadament i es va poder fer desaparèixer pràcticament aquesta malaltia d'àmplies zones.

Un altre exemple recent es troba a les nostres costes. L'intens control que la Generalitat de Catalunya realitza sobre les aigües litorals permet controlar el tancament de determinades instal·lacions de cultiu del musclo i adoptar precaucions en platges, quan hi ha proliferació de determinats dinoflagel·lats planctònics. Una d'aquestes espècies (*Gymnodinium catenatum*) és molt tòxica i a partir de determinades concentracions obliga al tancament d'instal·lacions costaneres. Tanmateix, quan apareix a les nostres costes, les seves concentracions són més elevades que en altres



Probablement unes 10.000 de les 250.000 plantes superiors conegudes han estat utilitzades per l'home per combatre malalties. El 70% de la població humana encara depèn de remeis obtinguts d'aquestes.

àrees marines i presenta, a més, certes pautes atípiques de l'espècie. Després d'intensos estudis realitzats a l'Institut de Ciències del Mar (CSIC) s'observà que es tractava d'una espècie desconeguda per a la ciència (*Gyrodinium impudicum*), morfològicament molt similar a l'anterior i pràcticament no distingible pels no-especialistes. Afortunadament aquesta nova espècie no és tòxica, si no és en concentracions rara vegada observables en condicions naturals. Les conseqüències econòmiques d'aquest descobriment són enormes tant per als cultivadors de moluscs com per al turisme.

Un altre exemple de l'aplicació de la taxonomia a la indústria es va poder observar fa uns anys en resoldre la raó de determinades fluctuacions en la producció d'agar-agar. Aquesta substància, utilitzada comunament en farmàcia, s'extrau de l'alga *Gelidium sesquipedale*, comuna en les nostres aigües del Cantàbric i a l'Atlàntic Nord. Les quantitats recollides en determinats anys no es corresponien amb la quantitat extreta d'agar, la qual cosa provocava importants pèrdues econòmiques i fluctuacions no desitjables en els preus. La raó de tals variacions es descobrí en observar que en els anys de baixa producció es recollien dues espècies, el *Gelidium* i una alga eípita (*Plocamium cartilagineum*), aquesta última no productora d'agar. Com que no distingien ambdues espècies, els recollidors d'algues i els industrials hi dedicaven un esforç que no els reportava cap benefici, tan sols pèrdues. Així mateix, la taxonomia de microfòssils ha tingut un paper central en l'exploració dels grans recursos petrolers, inclosos els de l'Orient Mitjà i la mar del Nord.

Per altra banda, és corrent l'ús de la taxonomia en la ciència forense. Qui no recorda la seva utilitat per trobar l'assassí en la guardonada pel·lícula *El silenci dels anyells*. De fet, nombrosos departaments policíacs tenen taxònoms en la seva plantilla, a fi de detectar l'origen dels organismes trobats en cadàvers.



Malgrat la seva importància, la taxonomia sol quedar rellegada com una segona ciència, i en els últims vint anys ha baixat notablement la seva ensenyança.



Ciència de segona

La gran transcendència dels estudis sobre biodiversitat i les conseqüències que tant el seu ús com la seva destrucció poden implicar per a la vida tal com la coneixem a la Terra, impliquen un profund coneixement de quins i quants organismes poden trobar-se en un ecosistema determinat.

Malgrat aquesta importància, la taxonomia sol quedar rellegada com una segona ciència, i en els últims vint anys ha baixat notablement la seva ensenyança. El temps dedicat a la taxonomia dins dels estudis de les Ciències de la Natura ha passat del 17% el 1980 al 9% el 1990. La taxonomia és una ciència molt barata, necessita una escassa infraestructura i les seves despeses se centren en processos de recol·lecció i classificació. Aquest baix cost ha estat, tanmateix, el seu taló d'Aquil·les en diversos països on els *overheads* o percentatges que ingressaven les institucions sobre la base de projectes que desenvolupen servien per mesurar la qualitat d'investigació realitzada.

Amb el creixent interès per estudiar la biodiversitat i els efectes humans en les comunitats naturals, el debat principal es planteja en el suport que han d'experimentar les investigacions en taxonomia. Aquest debat sol estar hipotecat pel desconeixement en el nombre d'espècies existents, així com per les inexactituds en el nombre de taxònoms i la seva distribució geogràfica. Un recent estudi estima que als Estats Units, Canadà i Mèxic existeixen uns 8.000 científics dedicats a estudis taxonòmics. Per grups, aquests científics es distribueixen de la següent manera: el 30% són botànics, el 5% treballa en fòssils, el 2% en microorganismes i el 60% en animals. D'aquests últims, el 32% treballa en tetràpodes, l'11% en peixos, el 32% són entomòlegs i el 25% en altres invertebrats. Aquestes proporcions es mantenen en altres àrees geogràfiques, com Europa i Austràlia. Si es comparen aquests percentatges amb el nombre d'espècies conegudes i considerem que hi ha N taxònoms

per espècie coneguda de tetràpode (mamífers, rèptils, etc.) resulta que hi ha 0,3 taxònoms per peix i entre 0,02 i 0,04 per invertebrat i, d'una manera global, hi ha el doble de botànics per planta que per espècie animal. Tot això suggereix que seria necessari un esforç per arribar a un millor coneixement dels invertebrats, abans que cap als altres grups.

Si aquesta distribució de científics es fa per països, les diferències són notables. Per exemple, al voltant del 80% dels ecòlegs i taxònoms es troben a l'Amèrica del Nord i a Europa i només el 4% a Llatinoamèrica i l'Àfrica, precisament on la biodiversitat és més elevada. Tot i que molts d'aquests científics treballen sobre grups tropicals, el desfasament existent segueix sent enorme i, si es manté el ritme actual farien falta 380 anys per completar la flora neotropical i 950 anys per completar l'inventari de fongs de la mateixa zona. Caldria preguntar-se, si els taxònoms només estan familiaritzats amb un 10% de les espècies existents, quines han de ser les seves conseqüències i com podrem conèixer el funcionament dels ecosistemes? Com veurien els químics o físics els seus camps respectius si només concernís el 10% dels elements?

Malgrat l'evident importància de la correcta identificació de les espècies en qual-sevol estudi relacionat directament o indirecta amb la biologia, els ajustos pressupostaris i les retallades en les plantilles dels grans museus, situen en una posició crítica una branca essencial de les Ciències de la Natura. Per exemple, a les universitats, que han de ser el bressol de noves generacions de taxònoms, aquesta branca del saber està en continu descens. Al tercer cicle, la proporció de temps dedicada a aquests estudis ha passat del 17% el 1980 al 9% el 1990. De fet, aquest efecte negatiu també s'observa en l'edat mitjana dels científics que treballen en aquest àmbit, en el qual tan sols menys del 13% té una edat inferior als quaranta anys. En el fons hauríem de preguntar-nos si aquestes tendències decreixents en l'interès per la taxo-

nomia no obeeixen a situacions més preocupants. En una recent enquesta a joves estudiants londinencs, se'ls preguntà quantes espècies d'escarabats creien que existien al món. Més de la meitat va contestar que menys de deu! com ja va senyalar el 1968 el Dr. Ramon Margalef en el seu *Perspectives in Ecological Theory* (Perspectives en la teoria ecològica): «**La victòria contra la taxonomia ha estat total, avui dia ningú no pot classificar correctament un organisme.**» ●