

Darwin i el

Els éssers vius sorprenen per la seva diversitat. En un petit tros de selva tropical podem trobar, d'un cop d'ull, centenars d'organismes diferents, plantes i animals. Si, a més, descendim al món microscòpic, observarem milers de criatures de formes i activitats molt poc conegudes. Quan van preguntar al famós biòleg evolucionista J. B. S. Haldane (1892-1964) quin paper creia ell que tenia Déu en la natura, sorneguerament va contestar que tenia «an inordinate fondness for beetles» («una irrefrenable passió pels escarabats»). Els insectes, efectivament, tenen quasi un milió d'espècies descobertes, i segurament moltes més per descobrir. El nombre total d'espècies que habiten ara la Terra es calcula en més de trenta milions, i hem de recordar que moltes més han viscut, i s'han extingit, al llarg de la història de la vida. Copèrnic, el 1543, va dir que el centre de l'Univers no era la Terra, sinó el Sol. I ens va fer veure que els planetes i els estels es movien en el firmament sense que calgués cap mà divina que els empenyés constantment. Darwin, el 1859, ens va ensenyar que tampoc no necessitem una explicació divina per fruit de la immensa varietat d'organismes que veiem o que sabem que existeixen. I, a més de dir-nos el què, ens va explicar el com: el mecanisme del canvi evolutiu és la selecció natural.



• Escrit per
 • Ricard Guerrero
 • Departament de Microbiologia de la Universitat de Barcelona

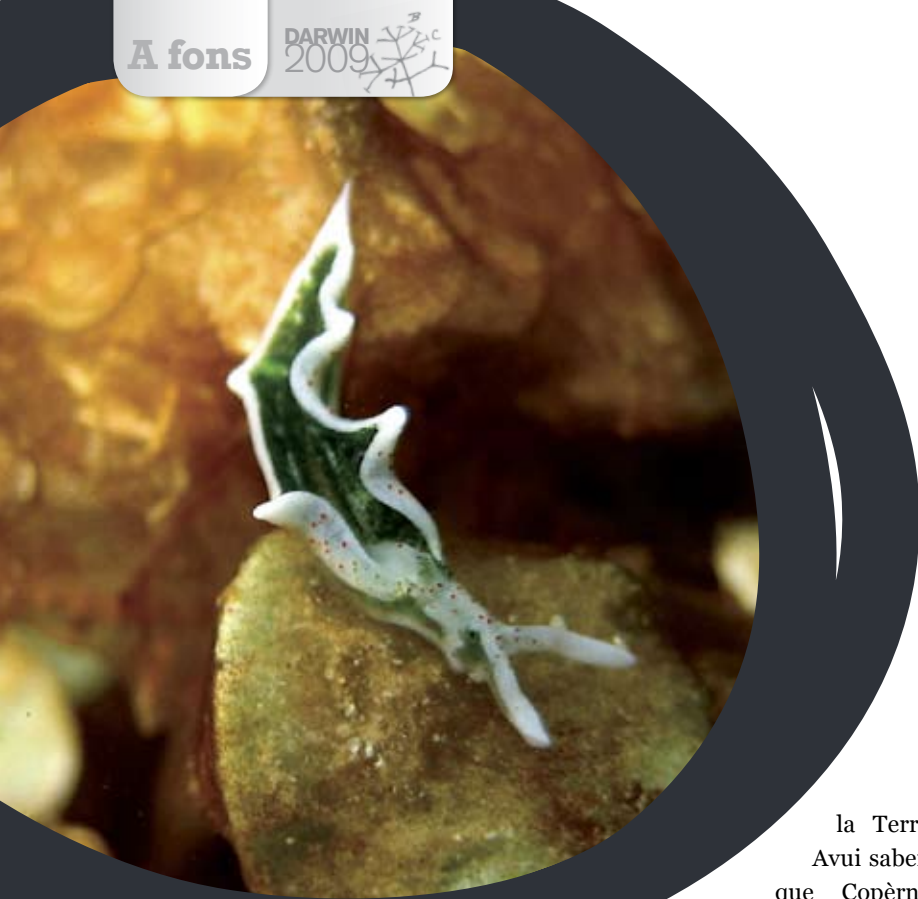
món microbià



ARA fa cent cinquanta anys que Charles Darwin (1809-1882) va publicar el famós llibre *L'origen de les espècies*. No era el seu primer llibre, ni en seria l'últim. Va publicar vint-i-cinc llibres en total, a més de centenars de cartes, comunicacions i articles científics, etc. Però *L'origen de les espècies* és, sens dubte, el llibre científic que més ha influït en el pensament humà. La seva principal proposta és que, a partir d'unes formes primitives, les diferents espècies van apareixent les unes després d'altres per evolució de la mateixa natura. Cada generació té més fills dels que poden sobreviure en un determinat ambient. Els fills no són tots exactament iguals, sinó que presenten petites variacions que poden fer-los més o menys capaços d'enfrontar-se amb l'ambient, que és, a més, molt variable. Hi ha un moviment evolutiu constant, com un ball, que ha d'obeir a

continuats ritmes canviants de l'ambient. En el desenvolupament de la vida són possibles moltes solucions, però també molts errors. La primera fotosíntesi no era capaç de trencar l'aigua per donar oxigen. La vida podria haver continuat immersa en el sopor d'un tebi ambient anòxic, com va ser la Terra durant molts milions d'anys. Però un error fisiològic dels cianobacteris va determinar la capacitat d'extreure l'oxigen de l'aigua. Això segurament va provocar la primera gran extinció dels éssers vius. La major part dels organismes no van poder resistir l'atac d'aquest gas abrasador, però que a nosaltres ens dóna la vida. Van desaparèixer moltes espècies, però en van aparèixer d'altres. Cadascun de nosaltres som la conseqüència de la replicació ininterrompuda del material genètic primigeni, que ha anat donant diferents espècies fins a arribar a les que viuen ara sobre

Figura 1. De les més de 350.000 espècies de coleòpters que es coneixen, se n'ha citat més de 2.000 a les illes Balears. Solament la família dels tenebrioníds compta amb unes 20.000 espècies, de les quals 78 es troben a les illes i 24 són exclusives d'aquest territori, és a dir, endèmiques. Els escarabats que podem veure en aquesta pàgina són alguns d'aquests endemismes i van ser dibuixats per Charles Puche amb motiu de la publicació del pòster divulgatiu *Tenebrioníds endèmics: un cas d'evolució insular*, editat enguany per la Conselleria de Medi Ambient del Govern de les Illes Balears.



© Fotografia de A. López-Arenas
(http://www.mediterran.biospout.com)

Figura 2. *Elysia timida* és un exemple de simbiosi: un mollusc «fotosintètic» que incorpora al seu organisme els plastidis de les algues que menja.

la Terra. Avui sabem que Copèrnic va errar quan va dir que el Sol era el centre de l'Univers, tot i que encara parlem del significat de la «revolució copèrnica». Pel que fa a Darwin, però, i han passat cent cinquanta anys, no tenim cap motiu per pensar que estava equivocant. La gran quantitat d'escarabats i tots els altres éssers vius que els acompanyem en aquest planeta, en som la prova. Darwin veia la natura com una *entangled bank*, com una ribera intricada, vestida amb una gran varietat d'animals i plantes. Però Darwin no coneixia la diversitat encara més gran del món microbià, ni la contribució essencial dels microorganismes al funcionament i manteniment dels ecosistemes. Tanmateix, la seva proposta de la selecció natural, que és el motor de l'evolució, es pot aplicar perfectament al món dels microbis. És més, de fet, s'ha estat aplicant als microorganismes molt més temps que als animals i a les plantes, que són uns nousvinguts a la Terra. El 85 % de la història de la vida sobre la Terra és exclusivament microbià. La vida va aparèixer fa aproximadament uns 3.850 milions d'anys, però els primers animals no van sorgir fins fa aproximadament 650 milions d'anys, poc abans de començar el Cambrià. Però això, Darwin, tampoc no ho sabia.

Contribució dels microbis a l'evolució

Què és l'evolució? Què és la teoria de l'evolució? Si la teoria de l'evolució és una llei universal, com ara la llei de la gravetat o la taula periòdica dels elements químics, i que deriva del coneixement científic acceptat, per què ensenyar-la és tan controvertit? Ningú no nega que la gravetat sigui la força que accelera els cossos que cauen, ni que la mescla de dos gasos tan «explosius» com l'hidrogen i l'oxigen doni un líquid tan «tranquil» com és l'aigua. Per tant, per què no tothom està convençut que l'evolució és un *fet*, no solament una *teoria*?

Els microorganismes han tingut una contribució decisiva en l'evolució, encara que aquest sigui un fet que solament s'ha conegut molt recentment. Com hem vist, els microorganismes han estat els únics éssers que evolucionaven —atès que eren els únics que existien— durant el 85 % de la història de la vida. La cèl·lula procariota és la unitat de la vida; per aquesta raó, l'estudi i el coneixement de la seva evolució són fonamentals. La història de la cèl·lula està fortament lligada a la de la Terra, i això es pot comprendre estudiant l'origen i l'evolució de la vida a partir del seu component essencial: la cèl·lula procariota. L'evolució és conseqüència no solament dels canvis genètics en les poblacions d'organismes, sinó també dels canvis en els ambients de la Terra. La universalitat de la bioquímica de la reproducció és conseqüència de l'origen comú de tota la vida a la Terra. Totes les grans innovacions en l'evolució de les cèl·lules van tenir lloc abans de l'aparició de qualsevol animal, planta o fong. Fa uns 700 milions d'anys, uns eucariotes heteròtrofs que havien ingerit procariotes fotosintètics (cianobacteris) van convertir-se en algues. I solament fa 400 milions d'anys que hi ha un assentament ben establert de plantes, animals i fongs.

La divisió procariota/eucariota continua essent la discontinuïtat més gran del món viu. Reconeguda en primer lloc pel francès Edouard Chatton i analitzada després per l'Escola de Delft de microbiologia (Albert J. Kluyver, Cornelis B. van Niel i Roger Y. Stanier), les diferències entre els dominis *Bacteria*, *Archaea* i *Eukarya* posen de manifest inequívocament que els dos grups de procariotes estan molt més relacionats entre ells mateixos que cadascun d'ells amb qualsevol eucariota. La cèl·lula, ja sigui bacteriana o mitòtica (nucleada), és una entitat autopoètica, que pot viure independentment dels gradients físico-químics de l'ambient, que crea el seu propi ambient interior. La unitat autopoètica és un sistema capaç d'automantenir-se en l'ambient i d'adaptar-se a noves condicions. La cèl·lula procariota és l'origen de la vida autònoma i la que permet l'evolució de les poblacions. Si les cèl·lules no

haguessin evolucionat, és a dir, si no haguessin donat formes com més va més diferents, la vida s'hauria aturat en pocs milions d'anys a causa de l'esgotament dels elements químics de la part més superficial de la Terra. Les cèl·lules consumeixen els nutrients del seu entorn i eliminen substàncies que no poden aprofitar. Si apareixen diferents tipus de poblacions, de cèl·lules, unes poblacions poden consumir les deixalles de les altres. Solament quan el material es pot reciclar entre les poblacions, es pot organitzar un cicle de materials que permeti l'aparició dels ecosistemes, és a dir, l'ecopoesi. Aquest reciclatge va aparèixer a la Terra, com més tard, fa 3.500 milions d'anys. I si no s'hagués donat l'ecopoesi, la vida s'hauria extingit per l'esgotament dels nutrients. És possible pensar que la vida ha aparegut en altres parts del sistema solar, però que no s'ha pogut mantenir perquè no es va poder originar un ecosistema.

Hi ha moltes diferències entre la cèl·lula procariota i l'eucariota. Entre les principals hi ha el fet que, en l'eucariota, el material genètic està separat del citoplasma per una membrana, i, per tant, té nucli. A més, el citoplasma conté multitud de membranes i d'òrgànuls, com ara els cloroplasts, els mitocondris, etc. La teoria de l'endosimbiosi seriada (SET, de l'anglès *serial endosymbiosis theory*) proposa que la cèl·lula eucariota s'ha format a partir de la fusió i incorporació de diferents cèl·lules procariotes. La paraula *simbiosi* va ser encunyada per Heinrich Anton de Bary (1831-1888) per a determinar la varietat d'associacions permanents que es donen entre diferents organismes. La simbiosi és una associació física estable, sota determinades condicions ambientals. La relació simbiòtica de llarga durada i de manteniment estable condueix a la simbiogènesi, que produeix canvis evolutius significatius. La simbiogènesi fa referència a l'aparició de nous comportaments, morfologies, teixits, vies metabòliques i d'altres novetats evolutives en el genoma de l'holobiont (que és el conjunt del genoma d'un organisme pluricel·lular, com ara una planta o un animal, amb tots els genomes dels seus microorganismes associats).

Tradicionalment, els investigadors neodarwinistes han mantingut que les mutacions en els gens individuals —«el gen nu»— són la font principal dels canvis fenotípics que porten a l'adaptació mitjançant la selecció natural. Però les mutacions puntuals solament expliquen la «microevolució», els canvis progressius d'una població, d'una espècie. La «macroevolució» necessita mecanismes addicionals. La simbiogè-

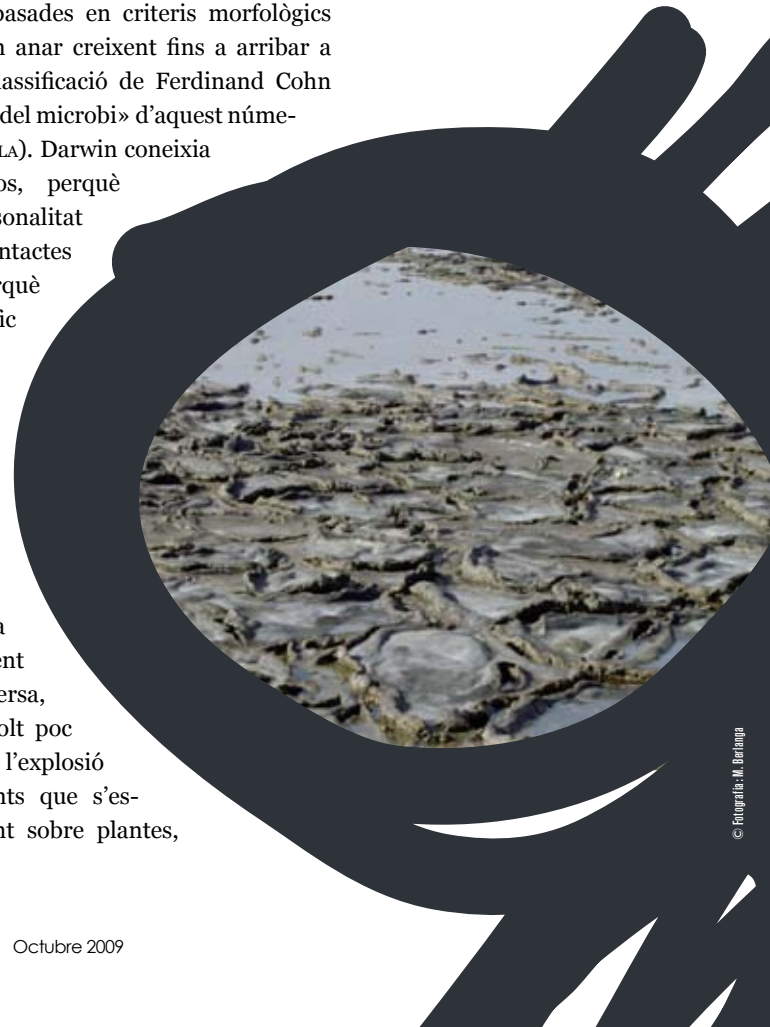
nesi és un dels possibles mecanismes de canvi evolutiu sobtat. Per això, la simbiogènesi podria explicar la teoria de l'equilibri «saltatori» (*punctuated equilibrium*) de Niles Eldredge i Stephen J. Gould, segons la qual el registre fòssil mostra que l'evolució de determinats grups no ha seguit sempre un ritme uniforme, ans hi ha hagut èpoques amb canvis evolutius ràpids i altres amb ritmes de canvi molt més lents.

La simbiosi entre bacteris i arqueus va originar els primers tipus de cèl·lules eucariotes, les que avui coneixem en la forma de diversos grups de protists, com ara protozous, algues, etc. L'evolució dels protists va produir els altres tres grups d'éssers vius: fongs, plantes i animals. Aquests grups mantenen connexions estretes amb els procariotes (sempre han de tenir al seu voltant bacteris que els ajuden en diferents aspectes del metabolisme) i segueixen depenent dels procariotes per portar a terme el reciclatge dels elements i per mantenir els grans cicles biogeoquímics dels ecosistemes.

Coneixia Darwin els microorganismes?

En els anys en què Darwin desenvolupà la seva teoria de la selecció natural era molt poc el que es coneixia sobre la fisiologia microbiana. Existia, però, una incipient taxonomia dels microorganismes, i aquestes taxonomies (més aviat classificacions basades en criteris morfològics solament) varen anar creixent fins a arribar a l'esquema de classificació de Ferdinand Cohn (vegeu el «Racó del microbi» d'aquest número d'OMNIS CELLULA). Darwin coneixia aquests avenços, perquè era una personalitat amb molts contactes externs, i perquè era un científic amb una curiositat universal. Malgrat tot, és fàcil imaginar que no hi havia un gran interès a explorar la diversitat microbiana —que no solament era poc diversa, sinó, a més, molt poc visible—, atesa l'explosió de descobriments que s'estaven esdevenint sobre plantes,

.....
Figura 3. Tapissos microbians de La Camarga. Aquestes comunitats actuals són similars als primers ecosistemes que es van establir a la Terra, durant l'edó Arqueà.





animals i fongs. Aquests organismes «macrobiàns», perfectament visibles, van proporcionar la base científica que necessitava Darwin per establir la seva teoria de la selecció natural.

Poc després que Darwin publicés *L'origen de les espècies*, Louis Pasteur, a París, desenvolupava una sèrie d'experiments que enderroquen la teoria de la generació espontània. Darwin estava assabentat de la controvèrsia que volia resoldre Pasteur: si existia o no la generació espontània, i, específicament, si els microorganismes podien sortir de la matèria orgànica. El 1860, en una carta al seu amic i mentor Charles Lyell, es refereix al treball de Pouchet, rival de Pasteur: «He vist quelcom en relació amb els experiments d'infusoris a París: Quatreffage dubtava de la seva correcció. Fa uns quants anys, a

dència amb un gran nombre de persones, tant d'Anglaterra com d'arreu. Una d'elles era l'esmentat Ferdinand Cohn, que va ser el primer a classificar els bacteris d'acord amb llur aparença microscòpica i el primer a descriure l'esporellació en *Bacillus*. La seva contribució va ser essencial en la publicació del treball de Robert Koch sobre *Bacillus anthracis*, l'agent etiològic del carboncle (o àntrax maligne). El gener de 1878, Cohn escriu a Darwin sobre el recent descobriment d'aquest bacteri per Koch. La resposta de Darwin és una magnífica introducció a la nova ciència de la microbiologia mèdica:

«Us agraeixo sincerament la vostra amabilíssima carta i corresponc de tot cor als vostres desitjos de felicitat Any Nou. La vostra carta em va interessar molt. El Dr. Sanderson em va ensenyar algunes fotografies admirables sobre vidre que ha fet el Dr. Koch dels organismes que causen el carboncle. Però la vostra carta, i el valuós treball que em comenteu, em deixa les coses molt més clares. Recordo molt bé que fa vint o trenta anys em vaig dir a mi mateix que, si mai s'arribava a demostrar l'origen de qualsevol malaltia infecciosa, allò seria el més gran triomf de la ciència; i ara tinc el plaer d'haver vist aquest triomf.»

Una ribera intricada

L'últim paràgraf de *L'origen de les espècies* ha meravellat generacions de científics. I encara ens meravella:

«It is interesting to contemplate an entangled bank, clothed with many plants of many kinds, with birds [...]. There is grandeur in this view of life, with its several powers, having been originally breathed into a few forms or into one; and that, whilst this planet has gone cycling on according to the fixed law of gravity, from so simple a beginning endless forms most beautiful and most wonderful have been, and are being, evolved.»

Tot i els canvis que hi va introduir en edicions posteriors (en la segona edició, publicada a corre-cuita el 7 de gener de 1860, després d'«originally breathed» va afegir «by the Creator»), aquestes línies defineixen la posició que mantenen molts científics en contemplar la diversitat de la natura, fruit de l'evolució: «Hi ha una grandesa en aquesta visió de la vida, ja que,



Figura 4. Diversitat de la vida. Portada del llibre *The illustrated five kingdoms. A guide to the diversity of life on Earth* (1994), de L. Margulis, K. V. Schwartz i M. Dolan.

Alemanya, havien intentat de fer alguns vells experiments amb molta cura i precaucions (l'aire passava a través d'àcid sulfúric i potassa càustica) i els infusoris no apareixien mai.»

En desaprovar la generació espontània, Pasteur podria ser vist com un detractor de la teoria de l'evolució, perquè eliminava un mecanisme de generació de les primeres formes de vida sobre la Terra. Malgrat això, Darwin va ser suficientment sagaç per entendre que les condicions en les quals s'havien originat les primeres formes de vida havien de ser completament diferents de les d'aquells dies. Darwin mantenia correspon-

partint de lleis físiques com la gravetat, s'han desenvolupat formes belles i meravelloses. Aquest fet, no solament ha passat, sinó que està passant ara, hi ha innumbrables formes que estan *evolucionant*.» (És interessant fer notar que aquesta és la primera vegada, i la darrera, ja que el llibre acaba amb ella, que Darwin utilitza aquesta paraula, que ben aviat caracteritzaria tot el seu pensament: *evolució*.)

Al llarg d'un segle i mig, les idees de Darwin han inspirat imatges poderoses i estudis en el camp de les ciències, les humanitats i les arts. Darwin ha estat titllat de ser un dimoni responsable de molts diversos «mals» (per a alguns) de la societat, incloent-hi l'ateisme, el comunisme, l'avortament, la recerca sobre cèl·lules mare, el matrimoni entre persones del mateix sexe i —encara que aquesta no sigui una malifeta tan greu— el retall de les nostres llibertats naturals. No és fàcil imaginar l'horror que patiria Darwin en saber la incomprensió i les apropiacions indegudes de les seves idees després de cent vint-i-cinc anys de la seva mort. Darwin es va moure intel·lectualment des d'un paradigma de creença incontestable en la Creació fins a una cerca continuada de la varietat de la natura, i de les seves causes. Ell va posar la classificació de les espècies dins un arbre que acaba en un sol tronc, i que abraça tant les espècies que existeixen actualment, com els organismes fòssils. I això volia dir dotar la sistemàtica d'una racionalitat i una justificació biològiques, en

comptes de mantenir-la cohesionada per criteris arbitraris o poc fonamentats. Va gaudir de l'oportunitat —que va coronar amb èxit— de predir l'existència de «baules perdudes» que posteriorment van ser trobades, com és el cas de l'aparició —poc després de la primera edició de *L'origen de les espècies*— d'un rèptil amb plomes, l'*Archaeopteryx*. Potser no va saber res dels microbis, però va encapçalat la major part de les qüestions importants que encara defineixen la nostra comprensió de l'evolució, des de la selecció natural a la selecció sexual, i va establir els principis fundacionals de la biogeografia, de l'ecologia i de l'etologia. I, sobretot, va canviar la nostra concepció del món natural i de la nostra pròpia espècie.

Una de les coses que més va impressionar a Darwin en el seu llarg viatge en el Beagle al voltant del món (1831-1836) va ser la gran varietat d'animals i plantes que trobava. I no solament els organismes vius; també va observar i recollir grans quantitats de fòssils. Era tal la varietat que va pensar que, per explicar-la, haurien calgut moltes Creacions diferents. Però Darwin solament podia mirar els organismes grans, els que es podien veure a simple vista. Darwin no veia els microorganismes, ni sabia que la seva varietat i antiguitat eren enormement més grans que les dels «macroorganismes» que ens envolten. Si ho hagués sabut, potser hauria corregit la frase sorneguera de Haldane i hauria dit que Déu tenia «una irrefrenable passió pels microbis». |

Referències bibliogràfiques

- AYALA, F. J. (2007). «Darwin's greatest discovery: Design without designer». *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, vol. 104, p. 8.567-8.573.
- GUERRERO, R.; BERLANGA, M. (2007). «The hidden side of prokaryotic cell: rediscovering the microbial world». *Int. Microbiol.*, vol. 10, p. 157-168.
- GUERRERO, R. (2008). «The session that did not shake the world (the Linnean Society, 1st July 1858)». *Int. Microbiol.*, vol. 11, p. 209-212.
- O'MALLEY, M. A. (2009). «What did Darwin say about microbes, and how did microbiology respond?». *Trends Microbiol.*, vol. 17, p. 341-347.
- PALLEN, M. (2009). «Darwin: from the origin of species to the origin of infection». *Microbiology Today* (maig), p. 76-78.
- PIQUERAS, M. (2009). «More about Mrs. Darwin than Mr. Darwin». *Int. Microbiol.*, vol. 12, p. 69-74.

Ricard Guerrero

(Madrid, 1943)



Catedràtic de Microbiologia de la Universitat de Barcelona i *Adjunct Professor* de la Universitat de Massachusetts-Amherst. Membre de l'Institut d'Estudis Catalans i secretari científic de la mateixa institució. President de la Sociedad Española de Microbiología. *Fellow* de la Societat Linneana i de l'Acadèmia Americana de Microbiologia. Els seus treballs sobre l'ecologia microbiana de les comunitats fotosintètiques anaeròbies han contribuït de manera destacada a fer que la comunitat científica internacional estudiï aquest tipus d'ecosistemes mínims. Ha investigat els possibles mecanismes fisiològics i reguladors dels primers ecosistemes de la Terra, ara fa 3.500 milions d'anys. És autor de més de tres-cents trenta articles sobre genètica, bioquímica i ecologia bacterianes i microbiologia ambiental.