

## LLETREJANT L'ENDOSIMBIOSI

Antonio Lazcano Araujo\*

Paraules del professor Antonio Lazcano arran de la presentació del llibre d'homenatge a la doctora Lynn Margulis

Al maig de 1831, John M. Herbert, un estudiant de la Universitat de Cambridge, va fer arribar al seu amic i condeixeble, el jove Charles Darwin, un regal anònim consistent en un microscopi marca Coddington, més semblant als impertinents que les dames elegants usaven en l'òpera que als seus equivalents contemporanis.

Darwin no va tardar a descobrir qui li havia fet el regal, i encara que prompte va abandonar fastiguejat la universitat, la seua gratitud, va durar tota una vida. Quaranta anys mes tard, Darwin va enviar a Herbert, llavors un respectable i respectat jutge britànic de cabells blancs i excel·lent reputació, una carta on li deia: "Recordes quan em vas enviar en forma anònima un microscopi? Pocs obsequis m'han produït major alegria i satisfacció." Com ho demostren els seus dibuixos i quaderns de treball, la gratitud de Darwin era sincera: el regal de Herbert li havia permès examinar amb fruïció l'anatomia dels escarabats, una de les seues grans passions, però, fins on sabem, no va usar mai l'instrument per a aguitar el món dels microorganismes.

Encara que és evident que Darwin, com a bon hipocòndriac, sabia de l'existència de patògens minúsculs i del risc de les infeccions, no sembla haver prestat major atenció als microbis. Com ho demostra la lectura de la seua extensa obra, els bacteris, els protists i altres organismes unicel·lulars són els grans absents en els textos de Darwin. De fet, ni tan sols els va tenir en ment quan va tractar de comprendre l'absència aparent i problemàtica d'un registre fòssil precàmbric, per a explicar així el llarg període d'evolució previ al sorgiment dels animals, que semblaven brollar en forma sobtada en començar el càmbric fa 560 milions d'anys.

La situació va canviar uns anys més tard quan Ernst Haeckel, un dels seguidors més ardents de Darwin, no sols va reconèixer explícitament els microorganismes com a ancestres de plantes i animals, sinó que va modificar els esquemes taxonòmics tradicionals i va proposar un regne específic on agrupar protists i bacteris. No era una empresa aïllada. Mentre Haeckel tractava de redefinir les fronteres de la vida, els governs més conservadors de l'Europa imperialista de l'època tractaven de



© Miguel Lorenzo

"Lynn Margulis tracta els seus amics i alumnes com si foren els seus fills, i els seus fills com si foren els seus estudiants".

fer el mateix, inventant imperis com el mexicà i regnes com el de Grècia, al mateix temps que es repartien la geografia d'Àsia, Àfrica i el Pròxim Orient. Encara vivim les conseqüències d'aquelles tendències.

A causa, sens dubte, de les dificultats tècniques que plantejava la seua petitesa, durant bona part del segle XIX es van fer pocs esforços per a estudiar l'evolució dels microorganismes, la fama dels quals va quedar establerta a partir de llavors més com a agents infecciosos que no com el grup biològic de major diversitat i antiguitat. De fet, les excepcions més fructíferes tingueren més a veure des d'un principi amb el problema de l'origen i la naturalesa dels eucariotes, com ho mostren els treballs d'Andreas Schimper. Els seus estudis sobre la fisiologia, reproducció i estructura dels cloroplastos li van portar a suposar immediatament un origen simbiòtic per a aquests orgànuls. Com han assenyalat alguns historiadors de la ciència, durant aquells anys ja llunyans tant el reconeixement del nucli com a entitat ben definida com la demostració de la reproducció binària dels cloroplastos i la replicació dels centríols, van portar alguns botànics i zoòlegs a suposar que les cèl·lules nucleades (que encara no estaven definides com una categoria biològica específica), representaven una espècie de cooperativa de diversos llinatges microscòpics.

Aquestes idees, encara que marginals, haurien de tenir ramificacions llunyanes. A principis del segle XX, i encara abans que hi haguera un esquema mínimament coherent sobre l'evolució procariota, tres investigadors russos, Konstantin S. Merezkovski, Andrei S. Famintsin i Boris M. Kozo-Polianski, van proposar de manera independent escenaris evolutius que pretenien explicar l'origen de les cèl·lules animals i vegetals afirmant que mitocondris, cloroplastos i algunes altres estructures intracel·lulars eren el resultat de processos d'endosimbiosi. Encara que les idees d'aquesta troica extraordinària van haver de romandre durant molts anys ignorades pel món acadèmic occidental, empenyada per la seua honestat intel·lectual Lynn Margulis ha promogut i divulgat tant les aportacions de Merezkovski, Famintsin i Kozo-Polianski, com els treballs del nord-americà Ivan E. Wallin, als quals reivindica com els seus predecessors científics.

És veritat que Margulis coneixia, de manera indirecta, algunes de les idees de Merezkovski i Wallin, i que hi va haver altres propostes sobre l'origen dels eucariotes més o menys simultànies a la seua teoria. No obstant això, és igualment cert que les propostes de qui ella considera els seus avantpassats intel·lectuals ocupaven un lloc marginal en la biologia russa, i que es tractava, en bona mesura, d'especulacions



© Miguel Lorenzo

“Va ser Lynn Margulis qui no sols va fer reviure la teoria endosimbòtica de manera independent, rescatant-la de l'oblit a què es condemnaren moltes especulacions científiques, sinó que, amb una visió extraordinària, la va articular i avalar amb una sèrie impressionant de dades morfològiques, bioquímiques, genètiques i fins i tot geològiques tan contundents que els seus punts de vista van acabar sent acceptats pels seus crítics més severos.”

basades en molt poques observacions empíriques. Merezkovski, per exemple, no va parlar mai de manera explícita de l'origen dels mitocondris, amb funcions que ell ignorava, i en un fullet publicat en 1909 va afirmar que els éssers vius eren formats per dos tipus de plasma cel·lular d'origen polifilètic que havien donat origen, de manera independent, a fongs, bacteris i orgànuls, d'una banda, i a les amebes, plantes i animals, d'una altra. Així, encara que és cert que la idea que mitocondris i cloroplastos eren descendents de bacteris lliures havia circulat en alguns mitjans científics des de finals del segle XIX, va ser Lynn Margulis qui no sols va fer reviure la teoria endosimbòtica de manera independent, rescatant-la de l'oblit a què es condemnaren moltes especulacions científiques, sinó que, amb una visió extraordinària, la va articular i avalar amb una sèrie impressionant de dades morfològiques, bioquímiques, genètiques i fins i tot geològiques tan contundents que els seus punts de vista van acabar sent acceptats pels seus crítics més severos. Avui sabem que és impossible comprendre la biologia dels eucariotes sense apel·lar a l'origen bacterià de mitocondris i cloroplastos, i que les asso-

ciacions simbiòtiques, lluny de ser una excepció o una mera curiositat biològica, constitueixen un factor essencial en l'evolució de la biosfera.

Com ens ha ocorregut a tots els qui ens trobem aquí, vaig conèixer primer els llibres i les idees de Lynn Margulis que la seua autora. Quan vaig conversar amb ella per primera vegada, fa ja més de 25 anys, sabia que estava davant una llegenda vivent, i vaig quedar aclaparat i seduït per la seua curiositat intel·lectual, el seu domini enciclopèdic de la biologia, l'extraordinària diversitat dels seus coneixements científics, i la mescla explosiva d'intel·ligència i candor. Em va commoure el seu amor per Tepoztlán, un petit paradís indígena situat no molt lluny de la capital mexicana on ella havia viscut d'adolescent, i mentre xarrava amb ella enmig de la tardor esplèndida de Nova Anglaterra, pensava, ho recorde bé, en el contrast absolut amb Malcolm Lowry, l'escriptor nord-americà que va viure en aquella mateixa zona davall el volcà mentre s'ofegava en l'alcohol i el rancor a Mèxic.

Em vaig quedar així atrapat per sempre en els replecs de la intel·ligència i l'amistat d'una dona d'una generositat tal que m'ha acompanyat des de llavors. Vaig aprendre molt prompte que Lynn tracta els seus amics i alumnes com si foren els seus fills, i els seus fills com si foren els seus estudiants, i encara que parla poc per telèfon, la casualitat (supose) ha fet que les seues telefonades coincidescen amb moments definitius en la meua vida. Una telefonada que em va fer des de Boston el 1985 em va despertar pocs minuts abans que la ciutat de Mèxic començara a patir els estralls del pitjor terratrèmol que hem sofert en la nostra història. Quatre anys més tard em va trucar a casa minuts abans que em conduïren d'urgència a un hospital i em submergira en la foscor d'un coma profund d'on vaig eixir dos mesos més tard, gràcies, entre altres coses, a la seua extraordinària solidaritat. Des de llavors prefereix ser jo qui la telefone, perquè estic convençut que és més segur per a mi deixar a les agendes la possibilitat de les nostres trobades.

Estic convençut que cal jutjar les persones pel millor que han fet, però en el cas de Lynn Margulis és difícil per a mi fer una elecció. No obstant això, em continuen sorprenent la frescor dels seus primers treballs, l'extraordinària visió globalitzadora que té de la biologia que li va permetre reagrupar i redefinir les fronteres dels grans regnes i els grups biològics, i la seua ob-

sessió apassionada per posar a l'abast d'estudiants i mestres el que sap i el que pot ensenyar. Cap hipòtesi pot romandre refractària als nous descobriments, i els privilegis de l'amistat m'han permès des de fa molts anys ser testimoni afortunat de les modificacions que Lynn Margulis ha introduït en les seues idees originals. Encara que no sempre coincidisca amb ella, admire la intensitat de les seues passions intel·lectuals i els seus esforços per comunicar-les i discutir-les, reflectides en bona mesura en el llibre que avui ens convoca, i que ha estat preparat i traduït amb atenció i amistat per Juli Peretó i Mercè Piqueras.

Hem de celebrar l'aparició d'aquest volum no sols per l'homenatge que representa al treball i a les idees d'una dona extraordinària, sinó també perquè és una demostració més del compromís de la Universitat de València, cinc vegades centenària, amb les tasques de docència, divulgació i investigació. Aquest no és un

compromís menor, sobretot en les èpoques en què, com ho demostra la carta que van publicar a principis d'aquest mes en la revista *Science* prop de 3.000 investigadors espanyols, la ciència en aquest país pateix en forma severa l'absència de suports oficials necessaris per al seu desenvolupament. Com afirma la frase del senyor Federico Mayor Zaragoza que em

**«LA CIÈNCIA EN ESPANYA  
PATEIX EN FORMA SEVERA  
L'ABSÈNCIA DE SUPORTS  
OFICIALS NECESSARIS PER  
AL SEU DESENVOLUPAMENT»**

repeteixen de manera constant els correus de la meua volguda amiga Mercè Piqueras, "no hi havia diners per a la pau però n'hi ha per a la guerra". Ens han empès cap a temps infaustos, i per això hem de celebrar cada curs, cada text, cada concert, cada exposició, cada conferència que s'organitza en aquest país, perquè darrere de tot això s'endevina l'empremta de la millor Espanya, la d'una societat generosa i hospitalària compromesa amb valors aliens al triomfalisme obscè dels patges que pel fet de lluir armadura es creuen vencedors. És l'Espanya plural que afirma de manera estrepitosa i multitudinària el seu compromís amb la cultura i amb la pau. I encara que alguns es queixen des de les altures del poder de l'estridència de les protestes, cal tenir present allò que va escriure León Felipe, el poeta espanyol desterrat que va abandonar Espanya per a viure i morir a Mèxic: "El qui pensa que l'espanyol parla fort, és perquè escolta des del fons d'un pou." ☺

\* Facultat de Ciències, Universidad Nacional Autónoma de México

# SIMBIOSI I TÈRMITS: UN MÓN A VESSAR DE MISTERIS

Lynn Margulis\*

Des de les finestres del nostre laboratori, a la Universitat de Massachusetts, a Amherst, tenim una magnífica panoràmica de la vall del riu Connecticut, que dona nom a l'estat veí. La plana que s'estén al nord és un escaquer multicolor format pels cultius de maduixes, espàrrecs, tomàquets i pomeres. Fa més de 10.000 anys els humans descobriren que podien estalviar-se esforços si feien créixer prop de la seva llar les plantes que els interessaven. L'agricultura, més que no pas la caça i la recol·lecció de menjar, ha marcat la civilització. Els humans, però, no són els únics que han anat més enllà de la cacera i la recol·lecció. En el nostre laboratori, en un recipient de plàstic no més gran que una caixa de sabates, hi ha uns tèrmits de l'espècie *Heterotermes tenuis*, molt enfeïnats a l'interior d'un tros de tronc procedent de l'Equador. L'associació dels tèrmits inferiors amb microorganismes és molt refinada, però és força diferent de la que han establert tèrmits més moderns, considerats "superiors", que ja no depenen de microorganismes del seu aparell digestiu per a degradar la fusta. Els tèrmits superiors s'alimenten de monocultius de fongs que ells mateixos conreen. No s'ha pogut esbrinar com ni quan desenvoluparen aquest comportament. Tanmateix, és possible que els *Heterotermes tenuis* siguin la baula perduda en l'evolució d'aquest grup d'insectes.

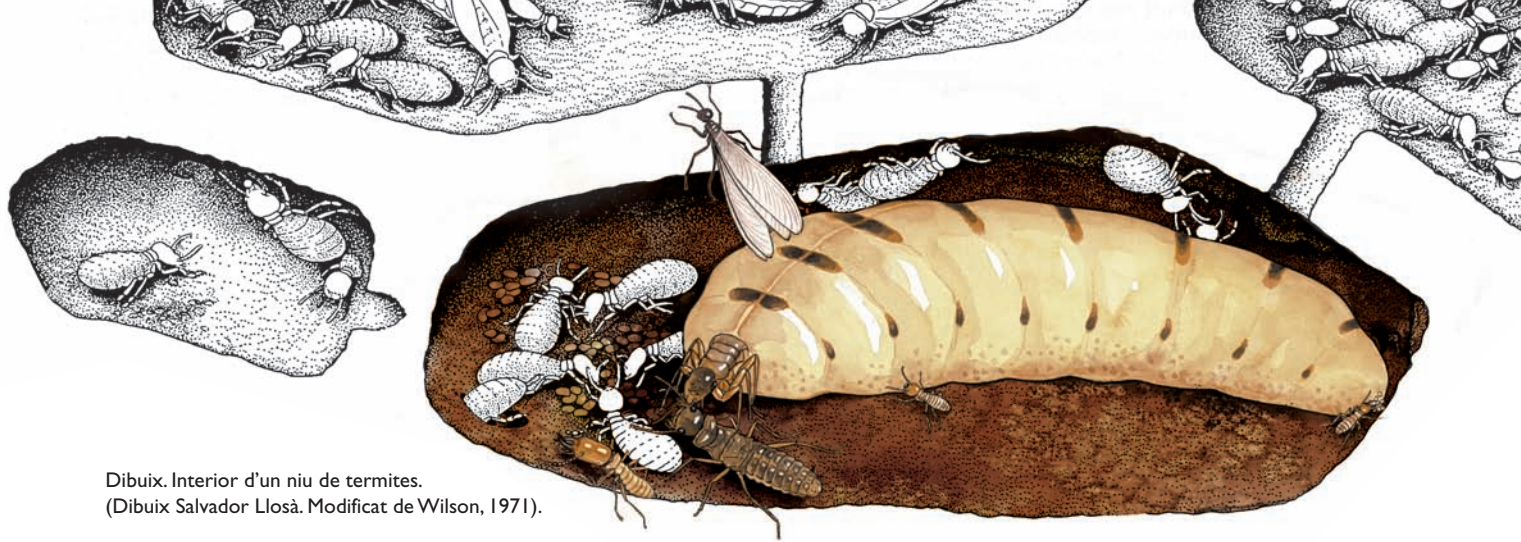
La història del nostre tèrmit començà el gener de 1999, quan un estudiant del nostre laboratori viatjà a Tiputini (Equador), en plena selva amazònica, amb l'objectiu de recollir tèrmits per als estudis de simbiosi. Allà, els enormes baobabs i ceibes (o arbres del cotó) formen una frondosa coberta, i de moltes branques i troncs pengen bromeliàcies que recorden l'anans; són plantes epífites, és a dir, que viuen sobre d'altres plantes i es nodreixen de la matèria orgànica que cau. Llevat dels arbres, no hi creix gai-

rebé cap planta; les palmeres exuberants i els ficus que gairebé ofeguen els arbres on creixen les bromeliàcies a penes deixen passar la llum. En el sòl, s'hi van superposant capes d'organismes vius que es reproduïxen i interaccionen els uns amb els altres. Qualsevol tros de fusta morta és ple de tèrmits. Al nostre laboratori, en el mateix tros que els servia de rebost a la selva equatoriana, hi viu aquesta colònia del tèrmit *Heterotermes tenuis*, de color blanc grogós, i de vida subterrània.

## ■ LA CASETA I L'HORTET

Els tèrmits cultiven els fongs *Termitomyces* i n'obtenen cultius purs. Espongen el sòl, i l'adoben; "poden" els fongs, eliminant-ne filaments o hifes inútils que podrien malmetre el conreu; arrenquen altres fongs que podrien créixer com males herbes; i finalment recol·lecten el producte del seu treball. Segurament cap micòleg podria dur a terme aquesta tasca amb tanta cura i entusiasme. Els mateixos fongs, en un cultiu artificial en el laboratori produeixen uns filaments llargs (les hifes), mentre que, cultivats pels tèrmits, les puntes de les hifes s'arrodoneixen i agafen la forma de bastonets i esferes, que no s'han vist enlloc més. L'abandó d'un d'aquests horts fa que els fongs hi creixin desmesuradament. Milions d'anys de pràctica i de selecció evolutiva aplicada a aquest tipus d'"agricultura" han dut a l'establiment d'enormes colònies de tèrmits superiors cultivadors de fongs que viuen en els anomenats termiters, unes estructures que sobresurten de la superfície del terra. *Macrotermes natalensis*, una espècie que viu al sud del continent africà, normalment pot emprar fins a uns dos milions d'individus per a bastir grans estructures còniques molt complexes, que poden arribar a fer prop de tres metres d'alçada i disposen

«ELS TERMITERS SÓN  
ESTRUCTURES DINÀMIQUES  
ESPECTACULARS, CONSTRUÏDES  
I CONSERVADES EN BON ESTAT  
PER CENTENARS DE MILERS  
D'ANIMALS QUE ESTAN  
CONTÍNUAMENT COMUNICANT-SE  
ELS UNS AMB ELS ALTRES PER  
ASSEGURAR EL MANTENIMENT  
D'UNES CONDICIONS DE VIDA  
QUE SERIEN IMPOSSIBLES  
SI ELS TÈRMITS NO VISQUESSIN  
EN COMUNITAT»



Dibuix. Interior d'un niu de tèrmits.  
(Dibuix Salvador Llosà. Modificat de Wilson, 1971).

d'“aire condicionat”. A l'interior, el cau dels tèrmits i els seus horts ocupen gairebé la tercera part del volum del termiter; a la part inferior, hi ha un celler espaiós amb uns pilars que suporten el niu.

Només una tercera part del termiter es troba per damunt del nivell del terra. La resta, subterrània, és una obra mestra d'arquitectura: connectada amb l'exterior per uns túnels radials, uns conductes verticals i una xemeneia central, tancada en la part superior, l'aire hi circula contínuament. El flux d'oxigen a través d'una ciutat de *Macrotermes michaelseni* pot arribar a ser de 9,5 litres per hora, dels quals, només 1,5 litres provenen de la respiració dels tèrmits. Els fongs cultivats en els horts interiors en produeixen els altres 8. La concentració de diòxid de carboni en el niu es manté entre un 2 i un 5%, que és un marge òptim per al creixement dels fongs, i força més elevat que la concentració atmosfèrica exterior, de 0,033%. Els horts de fongs mantenen la humitat necessària gràcies a l'elevada humitat interna del termiter; això és important en l'estació seca. En conjunt, el termiter genera 55 wats d'energia calorífica. Uns 47 wats s'atribueixen al metabolisme fúngic i només la resta, de 8 wats, a l'escalfor irradiada pels cossos del tèrmits vius. Aquests termiters són estructures dinàmiques espectaculars, construïdes i conservades en bon estat per centenars de milers d'animals que estan contínuament comunicant-se els uns amb els altres. Sales de part, criadors, escoles, hospitals, residències per a la lluna de mel, tallers i fins i tot tanatoris serveixen per a assegurar el manteniment d'unes condicions de vida que serien impossibles si els tèrmits no visquessin en comunitat.

Quan són atacats per un depredador o quan pluges torrencials malmeten el seu cau, els tèrmits reaccionen ràpidament al perill amb un mecanisme de retroalimentació positiva anomenat “estigmergia”. El tèrmit respon a la perturbació prenent amb la boca grans de sorra o dels propis excrements, que va col·locant en les esquerdes de la paret amb una secreció enganxosa. Aleshores segrega una substància química d'alarma, una feromona, que es dispersa pels canals i conductes de la comunitat. Altres tèrmits colpegen els caps repetidament contra les

parets del termiter en el lloc de la perturbació. Els tèrmits que reben el senyal responen posant-se ells també a treballar per reparar les parets. La resposta de tot el grup s'estén en un sentit únic. Els companys de niu es dirigeixen a la zona d'on prové l'alarma, i a les poques hores poden estar reparant la part destruïda i soldant l'esquerda, mentre brigades de tèrmits obrers van construint nous canals, galeries, pilars i sales.

#### ■ L'HORT, EL TRESOR MÉS PREUAT

L'hort de fongs és el capital més valuós de tot el termiter. Els tèrmits obrers són farratjadors i recol·lecten fusta i altres teixits de plantes vives o mortes, que porten al termiter en les bosses del seu intestí. Hi entren pels nombrosos passatges i canals i quan troben un indret adient per a fer-hi l'hort, excreten la massa triturada i ja mig païda, una mescla de fusta i fongs, que conté també tota mena de microorganismes del seu aparell digestiu. El miceli fúngic –la massa d'hifes a l'extrem del fong– creix tot formant petites esferes de la mida d'una agulla de cap. Aquestes esferes, que són plenes d'espores del fong, són un tret característic d'aquests “horts” de fongs. Per als tèrmits, aquell indret deu tenir l'aspecte que tindria per a nosaltres un camp atapeït dels fongs anomenats pets de llop. Els tèrmits, però, no s'alimenten directament d'aquella massa triturada de fongs que els obrers preparen i dipositen en el lloc adient. Els aproximadament dos milions d'habitants del termiter es nodreixen d'aquelles boletes com agulles de cap que sobresurten dels conreus; les devoren amb golafreria per esmorzar, dinar i sopar, i també en donen a la reina sedentària, als soldats de fortes mandíbules i a les noves generacions de tèrmits que van sortint dels ous.

El tèrmits controlen i, si convé, també frenen el creixement dels seus fongs, de la mateixa manera que un jardiner pot forçar la floració d'una planta, decidir els adobs que hi posa o anar modificant la forma d'un arbust. Mitjançant la poda controlada de les hifes dels fongs, mantenen inhibida la formació del bolet, que és el cos fructífer del fong. Tanmateix, si els tèrmits moren



## LA SIMBIOSI COM A MECANISME EVOLUTIU

La simbiosi és la coexistència, mitjançant un contacte físic, de dues o més espècies diferents d'organismes durant la major part de la seva vida. Ha estat un mecanisme fonamental de l'evolució: per a produir canvis evolutius ràpids, les relacions simbiòtiques que esdevenen permanents són més eficaces que les mutacions a l'atzar. Per exemple, hi ha algues que, per colonitzar llocs on s'alternen les condicions d'humitat i sequera, han establert una associació simbiòtica amb fongs que creixen a la riba del mar i han format líquens costaners. I si es privés una vaca dels microorganismes que conté el seu aparell digestiu, que l'ajuden a païr la cel·lulosa, moriria de desnutrició en unes poques setmanes. L'alga i el fong, i la vaca i els seus microorganismes, han expandit el seu ambient establint relacions simbiòtiques permanents i integrades.

**«ELS TÈRMITS PERTANYEN A UNA FAMÍLIA D'INSECTES MENJADORS DE FUSTA (XILÒFAGS) QUE VIU EN SIMBIOSI AMB BACTERIS I PROTISTS QUE VIUEN EN EL SEU APARELL DIGESTIU»**

Els tèrmits pertanyen a una família d'insectes menjadors de fusta (xilòfags) que viu en simbiosi amb bacteris i protists (el protists són organismes eucariotes –amb el material genètic a l'interior d'un nucli diferenciats– unicel·lulars), que viuen en el seu aparell digestiu. Aquests microorganismes metabolitzen els principals components de la fusta, la cel·lulosa i la lignina, que els tèrmits no podrien digerir. Els tèrmits que, per a alimentar-se a partir de la fusta, depenen de la multitud de microorganismes que viuen en el seu aparell digestiu, pertanyen als anomenats tèrmits “inferiors”. Són uns animals molt adients per a l'estudi de la simbiosi a causa de la seva resistència en el laboratori i de la seva completa dependència d'altres organismes per digerir la fusta que consumeixen. El nom de “formigues blanques”, amb què també són coneguts els tèrmits pot fer pensar que és un tipus especialitzat de formigues. Tanmateix, són isòpters, un ordre diferent al de les formigues i abelles, que són himenòpters.

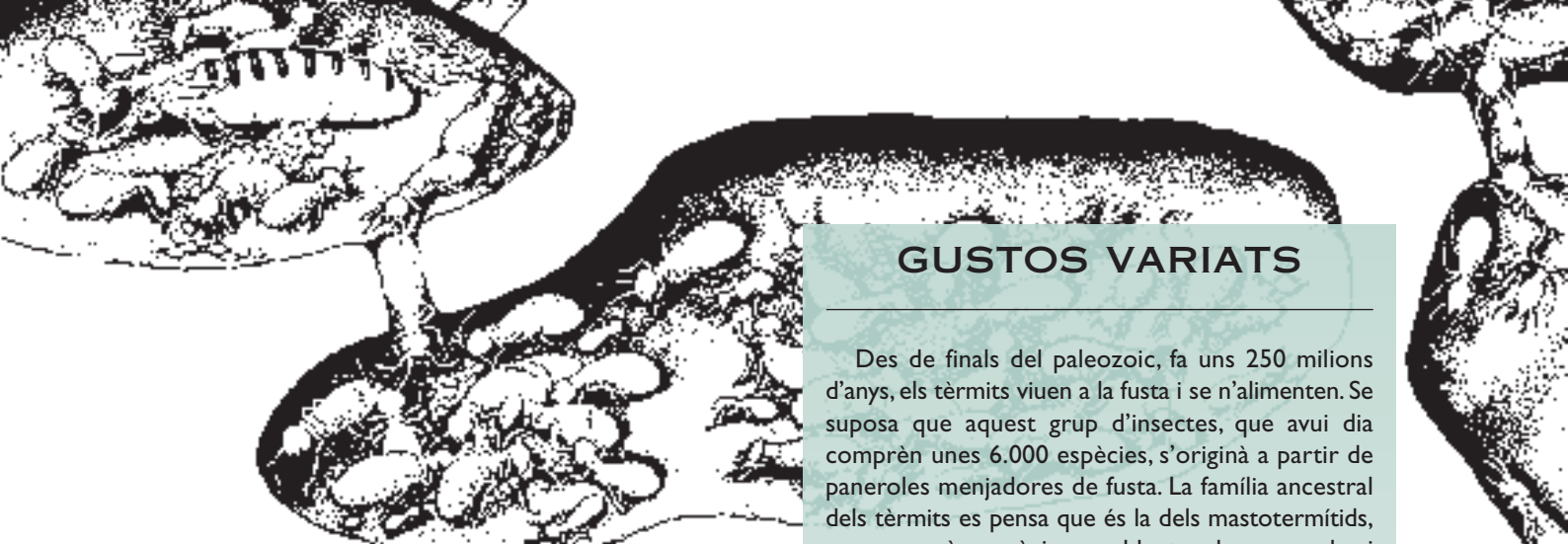
L. M.

o marxen, es desenvolupen els bolets i poden cobrir tot el termiter. A l'Àfrica tropical i en alguns països asiàtics, *Termitomyces titanicus*, un bolet que creix sobre termiters deshabitats i té un capell que pot arribar a fer un metre d'amplada, és molt preuat. Si no fos que els tèrmits de tant en tant abandonen els seus horts, els biòlegs potser no haurien mai esbrinat que els fongs que aquests insectes cultiven són basidiomicets (un dels dos grups de fongs que formen bolets; l'altre és el dels ascomicets). La fase filamentosa asexual en què els mantenen és tan diferent de les altres etapes del seu cicle biològic que, si la relació tèrmit-fong fos permanent, probablement els fongs simbiòtics dels tèrmits haurien estat classificats com a “imperfectes” o se'ls hauria assignat a un llinatge desconegut.

La relació entre els tèrmits i els fongs es coneix des de finals del segle XVIII. Tanmateix, encara no s'ha pogut esbrinar quan, on, ni en quines espècies o grups d'espècies es desenvolupà aquesta innovació evolutiva. Se sap que, junt amb la fusta, tots els tèrmits s'empassen les espores formades per les hifes, les quals els proporcionen una part del nitrogen que necessiten. A més, la distància evolutiva entre els tèrmits inferiors i els superiors sembla ja definitiva.

### ■ INUNDACIÓ AFORTUNADA

L'estudiant d'Amherst havia anat a l'Equador a buscar tèrmits inferiors per estudiar-ne els protists i les espiroquetes. El primer pas consistia a identificar els microorganismes que viuen a l'interior de l'aparell digestiu dels insectes. Ens sobtà que la majoria de bacteris i protists no fossin els habituals en altres espècies de tèrmits menjadors de fusta; eren desconeguts per a nosaltres. Després d'unes setmanes, el comportament d'aquells tèrmits feia pensar que hi havia alguna cosa d'especial. Els *Heterotermes* són petits i, en el laboratori, no paraven de construir túnels estrets en la fusta humida i fosca, que ells anaven canviant de lloc. Els túnels devien fer com a molt uns 5 mm d'amplada, just perquè hi poguessin passar els tèrmits d'un a un. En aquell tros



## GUSTOS VARIATS

Des de finals del paleozoic, fa uns 250 milions d'anys, els tèrmits viuen a la fusta i se n'alimenten. Se suposa que aquest grup d'insectes, que avui dia comprèn unes 6.000 espècies, s'originà a partir de paneroles menjadores de fusta. La família ancestral dels tèrmits es pensa que és la dels mastotermítids, que comprèn espècies semblants a les paneroles i que tingué representants per tot el planeta. Avui dia, però, només se'n coneix una espècie, *Mastotermes darwiniensis*, que s'ha trobat únicament al voltant de la ciutat de Darwin, al nord d' Austràlia. Altres grups de tèrmits inferiors també tenen simbiotes microbians en les seves panxes inflades: n'hi ha que són subterranis i viuen sobretot a cases de fusta (rino-termítids); d'altres són recol·lectadors i farratgers del continent africà (hodotermítids); i alguns es nodreixen de fusta seca, en la qual fan els caus (calotermítids). La resta de tèrmits, que són la majoria, es

de fusta el moviment dels insectes era constant, i la colònia es mantenia calenta i fosca dins del recipient incubador. Una perturbació accidental, però, trasbalsà aquell ambient. Just abans d'un cap de setmana algú hi tirà massa aigua i el terrari s'inundà. En qualsevol espècie de tèrmits inferiors, aquest error segurament hauria causat la mort de tota la colònia. El problema no és que els insectes s'ofeguin, sinó que comencen a créixer fongs que infecten els seus cossos. Els dos dies del cap de setmana haurien estat suficients perquè morissin tots els tèrmits menjadors de fusta que teníem.

Dilluns al matí podria haver estat un dia nefast per a la nostra recerca. En canvi, aquella colònia de tèrmits inundada mostrava una gran vitalitat. Els insectes semblaven haver respost amb una desmesurada activitat que recordava la estigmergia; no paraven de moure's, anaven d'un lloc a un altre tot agitant les antenes. Al llarg del cap de setmana havien aconseguit reparar les parts del cau que s'havien malmès. Era evident que les inundacions devien ser una cosa normal en l'hàbitat equatorià d'aquells tèrmits i havien desenvolupat la manera de sortir-se'n. El comportament d'aquells tèrmits inferiors digestors de fusta era molt semblant al dels tèrmits superiors africans que cultiven fongs. Set o vuit dies després de la inundació, ocorregué un fet extraordinari: la fusta podrida del tronc començà a cobrir-se d'uns petits puntets translúcids. Dues setmanes més tard, aquells puntets ja eren de la mida de l'extrem d'una agulla de cap, i mantingueren aquella mida durant mesos.

L'observació detallada d'aquella mena de gotes d'aigua blanquinoses i permanents, que eren enganxoses i translúcides, revelà que es tractava d'un cultiu gairebé pur d'espores de fongs; molt més pur del que podria esperar-se en una mostra del medi natural, on normalment es troben espores de diferents espècies. Les espores, grosses i formades per tres cèl·lules, no eren compactes ni estaven preparades per al desplaçament. Estaven inflades i eren túrgides, més a punt per a formar part d'un àpat que no pas per propagar la pròpia espècie. Malgrat la seva mida força gran, no vàrem poder identificar-les a partir de cap dels llibres de

«SE SUPOSA QUE ELS TÈRMITS, QUE AVUI DIA COMPRENEN UNES 6.000 ESPÈCIES, S'ORIGINAREN A PARTIR DE PANEROLES MENJADORES DE FUSTA»

consideren "superiors" perquè han desenvolupat altres estratègies per a l'obtenció d'aliments i aparentment han prescindit dels seus simbiotes interns. N'hi ha que han ampliat els seus gustos gastronòmics; el seu menú, abundant i variat, inclou fulles, fruita fresca i fruita seca, i bacteris del sòl. D'altres, malgrat que els manquin els simbiotes bacterians, també es nodreixen de productes a base de lignina i cel·lulosa. La diferència està en la manera d'obtenir aquests productes. Com algunes altres espècies d'insectes, es dediquen a cultivar fongs.

L. M.



*Termitomyces* amb el niu del tèrmits, Ouagadougou, Burkina Faso.



*Termitomyces fuliginosus*, Ouagadougou, Burkina Faso.

## L'ORIGEN I L'EVOLUCIÓ: MOTORS DE REFLEXIÓ AL VOLTANT DE LA BIOLOGIA



### UNA REVOLUCIÓ EN LA EVOLUCIÓ

LYNN MARGULIS

Col·lecció Honoris Causa. Universitat  
de València.

València, 2003. 374 pp.

Les nombroses contribucions de la professora Lynn Margulis per aclarir i divulgar l'origen i l'evolució de la vida al nostre planeta l'han convertida en una de les figures més significatives de la història de la biologia, un d'aquests personatges que amb els seus descobriments gaudeix del merescut reconeixement dels seus col·legues i del privilegi d'haver reescrit els llibres de text. Qui no ha sentit parlar de l'endosimbiosi com l'origen de la cèl·lula eucariòtica, del regne protocista en una classificació dels éssers vius en cinc regnes, la més impartida a les aules d'instituts i universitats, o de la hipòtesi Gaia, que presenta la terra com un sistema autoregulator mantingut per la biota? Tots són fruits de la seva tasca investigadora i de la seva inesgotable capacitat per difondre, amb la senzillesa del llenguatge i amb tots els mitjans tècnics disponibles, les propostes que han sacsejat molts dels principis arrelats a les disciplines biològiques.

Ara, amb motiu de la seva recent investidura com a doctora *honoris causa* per la Universitat de València, se li ret homenatge amb la publicació d'aquest llibre d'escrits seleccionats d'entre la seva copiosa obra escrita. Aquesta obra també recull els discursos pronunciats en l'acte d'investidura: la *laudatio* a càrrec del Dr. Juli Peretó, la *lectio* de la professora Margulis i les paraules de clausura del Dr. Pedro Ruiz, aleshores rector de la Universitat. Aquesta selecció heterogènia, accessible a tothom interessat en el coneixement dels habitants i dels processos biològics que dirigeixen el nostre planeta, es presenta agrupada en tres capítols fonamentals. En el primer, "Simbiosi i evolució", es demostra, amb una acurada i eloqüent presentació de resultats i evidències, l'origen de la cèl·lula eucariòtica i de diversos orgànuls cel·lulars (mitocondris, cloroplasts i undulopòdis) per associació simbiogenètica de procarïotes (cèl·lules sense nucli diferenciat). Amb aquests fets

com a testimoni, les associacions simbiòtiques, la unió d'uns organismes per a formar nous col·lectius amb propietats emergents, es converteixen en el principal mecanisme evolutiu d'innovació, com un factor essencial en l'evolució de la biosfera. Els líquens són l'exemple més evident i pròxim d'aquest procés: els simbionts per separat, el fong i l'alga, mostren les seves característiques individuals, però junts es converteixen en un tal·lus amb característiques pròpies i amb capacitats metabòliques i ecològiques inaccessibles des de la individualitat. A continuació, Antonio Lazcano, un altre prohoms de la biologia evolutiva, posa el seu particular contrapunt amb un interludi, que dona nom al segon capítol. El tercer és reservat per a Gaia, la polèmica hipòtesi que considera la biosfera com un sistema interactiu i dinàmic en què els nombrosos i diversificats microorganismes anònims són responsables del manteniment de la temperatura planetària, de la composició química de l'atmosfera, de la salinitat dels oceans, els processos biogeoquímics globals: la Terra com un planeta viu. L'últim capítol recull una sèrie d'articles més personals, que queden perfectament caracteritzats pel seu títol: "Reflexions, especulacions i mirades més lluny." Aquests treballs integren els arguments exposats, analitzen les objeccions rebudes, defensen les proves acumulades, tot al voltant de les esmentades aportacions científiques, amb noves perspectives, amb raonaments contrastats; però, a més a més, la posició, la saviesa i la valentia de Lynn Margulis li permeten raonar, moltes vegades amb una clara intenció crítica, sobre la situació actual de la investigació o la passivitat dels investigadors, la política científica i cultural dels governs o l'orientació restringida del finançament oficial, encara que els comentaris intencionats, els reconeixements, són presents en qualsevol treball, amb independència de la seva profunditat científica. L'opinió i les sensacions de cadascú sobre les teories, hipòtesis i discussions que se'ns presenten en aquest llibre pot ser molt heterogènia, però una cosa és ben segura, ningú quedarà indiferent ni durant ni després de llegir-lo. Açò la converteix en una obra digna d'elogi, que millora coneixements, activa l'intel·lecte i dinamitza la reflexió en nombrosos aspectes inherents a la investigació i a la ciència.

SIMÓN FOS

Conselleria de Territori i Vivenda  
Generalitat Valenciana



referència que teníem en el laboratori. Per resoldre la incògnita ens adreçarem a Kris Pirozynski, veterà investigador en paleomicrobiologia i neomicrobiologia del Museu Nacional d'Història Natural d'Ottawa (Canadà). Hi reconegué les espores de *Delortia palmicola*, un fong que ell trobà fa uns seixanta anys quan feia un cens micològic de Kenya. Ens telefonà per preguntar-nos si la fusta on havíem trobat les espores podia ser de palmera. Ens explicà que aquest fong fou descobert pel micòleg francès Narcisse-Théophile Patouillard el 1888 i, segons li constava, era un fong que només s'havia trobat a palmeres de l'hemisferi sud. Pirozynski havia vist més d'un cop els esporodòquis de superfície rugosa o uns punts de micelis secs i espores de *Delortia*, i sempre havia tingut el presentiment que aquell fong estava associat a insectes, però mai no ho havia pogut comprovar.

## ■ EL MISTERI ES RESOL

Les nostres observacions, juntament amb la identificació del fong que féu Pirozynski, començaven a tenir sentit. Era molt probable que el tros de fusta podrida fos una resta de palmera, perquè aquests arbres són molt abundants en el lloc on s'havia recollit. Els esporodòquis de *Delortia palmicola* que Pirozynski havia vist a l'Àfrica probablement també havien estat menjats per tèrmits, encara que ell no ho hagués vist. I encara que no hi havíem donat importància, la primera vegada que examinàrem el contingut intestinal dels nostres *Heterotermes*, hi detectàrem, a més de protists digestors de fusta i d'incomptables bacteris, les espores tricel·lulars i turgents de *Delortia*. Aquelles espores eren idèntiques a les estructures que es desenvoluparen quan els nostres *H. tenuis* cultivaven els fongs en el laboratori sobre un medi a base d'extracte de palmera que contenia molta cel·lulosa. Els insectes, a més de desenvolupar una manera de controlar la difusió de fongs perillosos en els seus caus, havien descobert la manera de fer servir els fongs com a aliment.

Podem imaginar fàcilment l'origen d'aquesta situació. Els fongs i la pluja devien ser una constant amenaça per als avantpassats d'aquests tèrmits, que vivien en boscos plujosos i que per sobreviure depenien exclusivament dels simbiotes que els ajudaven a pair la fusta. Els que aconseguiren dominar els fongs invasors i finalment els incorporaren a la seva dieta vivien molt bé; en

**«ABANS QUE ES  
DESENVOLUPÉS AQUESTA  
CAPACITAT DE CULTIVAR  
FONGS, SUPOSEM QUE ELS  
TÈRMITES INFERIORS, QUE  
DEPENIEN DELS SEUS  
PROTISTS SIMBIOTES, ES  
DEFENSAVEN DE L'ATAC DELS  
FONGS, PRIMERAMENT  
MENJANT-SE'LS I FINALMENT  
ACABAREN DOMESTICANT-LOS»**

canvi, els que fracassaren, desaparegueren. *Delortia*, com altres fongs relacionats, és molt possible que també contingui els enzims cel·lulasa i lignasa, que degraden les molècules de cel·lulosa i les de lignina –els principals components de la fusta. Quan els *Heterotermes* cultiven i mengen aquests fongs, el tèrmit n'obté dues substàncies pel preu d'una: un aliment que conté nitrogen, carboni i altres nutrients, i els enzims del fong que li permeten pair la fusta. La presència de protists digestors de

fusta a l'interior d'aquests tèrmits indica que són tèrmits inferiors, no relacionats amb les espècies que únicament són cultivadores de fongs; aquesta capacitat la deuen haver adquirit per casualitat al llarg de l'evolució. És indubtable que depenen bàsicament dels seus simbiotes microbians per digerir la fusta que mengen.

Abans que es desenvolupés aquesta capacitat de cultivar fongs, suposem que els tèrmits inferiors, que depenien dels seus protists simbiotes, es defensaven de l'atac dels fongs, primerament menjant-se'ls i finalment acabaren domesticant-los. Aprengueren a obtenir-ne cultius purs a la superfície dels troncs on vivien, a podar-ne les hifes, i plantaven i es menjaven les espores en els seus horts. Com és evident per l'activitat de *H. tenuis*, desenvoluparen aquestes tècniques abans que aprenguessin a construir els termiters. És a dir, el cultiu es feia sobre "camps" de fusta abans que els tèrmits bastissin aquella mena d'hivernacles subterranis. Amb el temps, aquests tèrmits perderen la capacitat d'allotjar en el seu interior microorganismes digestors de fusta i no tingueren altra opció que basar la seva subsistència exclusivament en el cultiu de fongs. No sabem si avui dia *H. tenuis* va camí de convertir-se en un tèrmit superior, un cultivador de fongs desproveït dels protists digestors de lignina i cel·lulosa, i especialitzat en arquitectura urbana. Al cap i a la fi, els detalls de l'evolució són imprevisibles. Aquest insecte, però, deu ser molt semblant als avantpassats del mesozoic que seguiren aquesta via evolutiva. No sabem si són únicament anàlegs o genuïnament homòlegs d'aquells tèrmits inferiors avantpassats dels actuals constructors de termiters. Tanmateix, la nostra sospita que *H. tenuis* és una espècie cultivadora incipient ens indica l'existència d'una via evolutiva que dugué dels tèrmits inferiors als superiors. ☺

\* Departament de Botànica, University of Massachusetts  
Aquest article ha estat traduït i adaptat de l'anglès per Mercè Piqueras