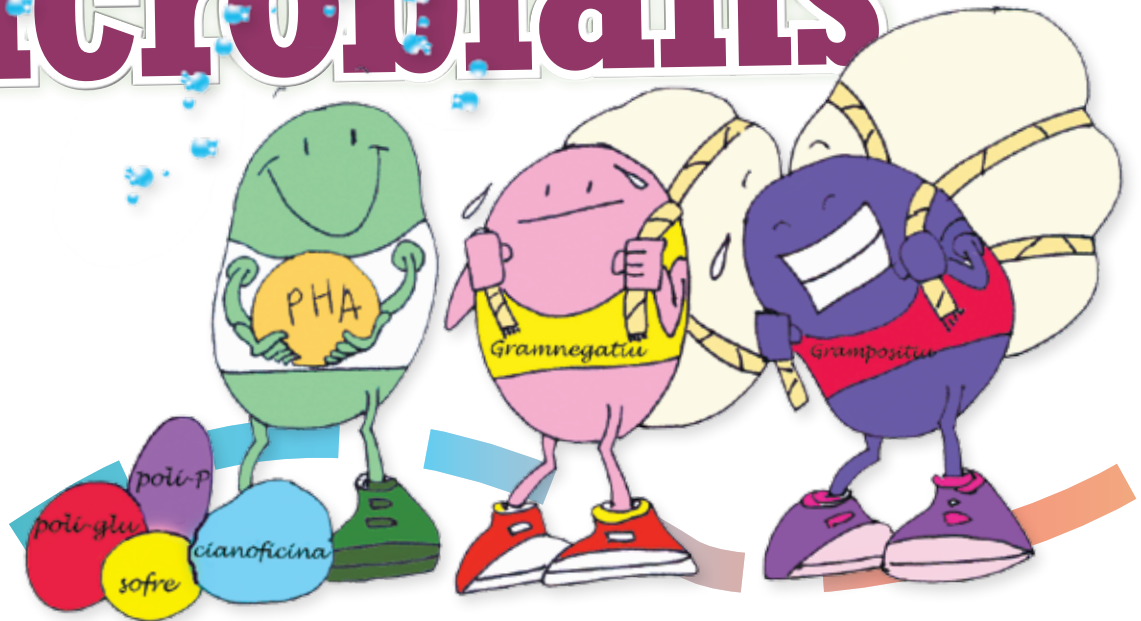


Bastaijos i camàlics microbians



• Escrit per

• Mercè Berlanga¹ i Ricard Guerrero²

• ¹ Departament de Microbiologia i Parasitologia Sanitàries de la Universitat de Barcelona

• ² Departament de Microbiologia de la Universitat de Barcelona

Durant molt de temps es va pensar que la cèl·lula procariota era un simple sac d'aigua que contenia proteïnes, lípids i sucres, material genètic i ribosomes. Els procariotes són petits, però no senzills; ben al contrari, són molt complexos quant a l'organització interna. El citoplasma procariòtic conté el material genètic (grans peces de DNA, freqüentment en un sol genòfor circular, i plasmidis més petits), els ribosomes, i sovint vesícules o corpuscles amb funcions específiques. Algunes d'aquestes vesícules estan separades del citoplasma per diferents tipus de membranes: capes de proteïnes sense lípids (p. ex., les vesícules de gas, que aporten flotabilitat a la cèl·lula, i els carboxisomes, que contenen rubisco, un enzim essencial en la fixació de CO₂); monocapes de lípids i proteïnes (p. ex., els grànuls de polihidroxialcanoats, que són a la vegada reserva d'energia i font de carboni); o bicapes lipídiques amb proteïnes (p. ex., els magnetosomes dels bacteris magnetotàctics; vegeu el núm. 14 d'OMNIS CELLULA, de l'octubre de 2007). Quant a la funció i la distribució de les transformacions energètiques que comporta la vida, podríem comparar una cèl·lula procariota amb una cabanya on visqués una família: totes les funcions casolanes es farien en un espai petit, d'accés fàcil a qualsevol indret, i sempre amb una connexió estreta amb la paret de la construcció. La cèl·lula eucariota, en canvi, la comparariem amb una masia, on hi ha zones molt diferents, escales i passadissos de comunicació, i habitacions determinades per a usos específics (magatzem, cuina, menjador, dormitoris, etc.).

La virtut de l'estalvi

Després del salt evolutiu dels dos números anteriors d'OMNIS CELLULA, tornem a ocupar el «Racó» amb descripcions de més microbis portentosos. Hem vist bacteris que s'orientaven amb els pols magnètics de la Terra, d'altres que establien simbiosis permanents amb animals i plantes, que suportaven temperatures polars, que podien matar i ensem curar, etc. Ha arribat el moment de parlar de bacteris previsors, que són capaços d'estalviar substàncies en el citoplasma per aprofitar-les en un futur si arriben les *vaques magres*. L'escriptor francès Jean de La Fontaine (1621-1695), va escriure unes faules amb una clara intenció exemplaritzant. Una de les més conegudes és *La cigala i la formiga*: «Aquell any l'hivern seria llarg i fred. Ningú ho sabia millor que la formiga que havia treballat tot l'estiu recollint aliments, i encara ho estava fent aquells últims dies de tardor. La cigala se'n reia i continuava cantant quan la veia passar. Una tarda d'aquesta agonitzant tardor, la cigala, entumida i morta de gana, li va demanar menjar a la formigueta. La cigala estava tan dèbil que gairebé no se sentia el que deia.

»—Què vols? —va dir la formiga—, no veus que estic ocupada? No tinc temps a perdre! —I va continuar amb la seva feina, transportant grans de blat. Quan va tornar a recollir-ne més, es va trobar la cigala sobre una fulla.

»—Dóna'm qualsevol cosa —va dir la cigala—, un bri de blat o civada; em moro de gana.

»La formiga va parar de treballar i li va preguntar:

»—Què vas fer durant tot l'estiu mentre jo estava treballant?»

A la natura, la carència de nutrients i l'exposició a factors abiòtics adversos constitueixen la norma, més que l'excepció. La disponibilitat d'aliment per als bacteris al mar és solament una fracció de mil·ligram per litre; en aigua dolça és de 6 a 10 µg/L; al sòl, de 0,4 g/100 g. Sembla raonable que els microorganismes hagin desenvolupat estratègies de supervivència, sistemes de defensa per fer front a les condicions adverses i mecanismes de control actius que facilitin el reajustament de la cèl·lula a les noves situacions. El cost de manteniment s'ha de reduir al màxim i s'ha d'utilitzar per conservar l'equilibri osmòtic, el potencial de membrana, la renovació dels components cel·lulars essencials, etc. L'energia necessària per a aquests canvis és subministrada pel metabolisme endogen a partir de constituents cel·lulars (com ara proteïnes o RNA) i de polímers de reserva. Una cèl·lula lluita fins al final per seguir

funcionant; es resisteix a la mort i intenta reaccionar contra aquelles forces que la poden destruir.

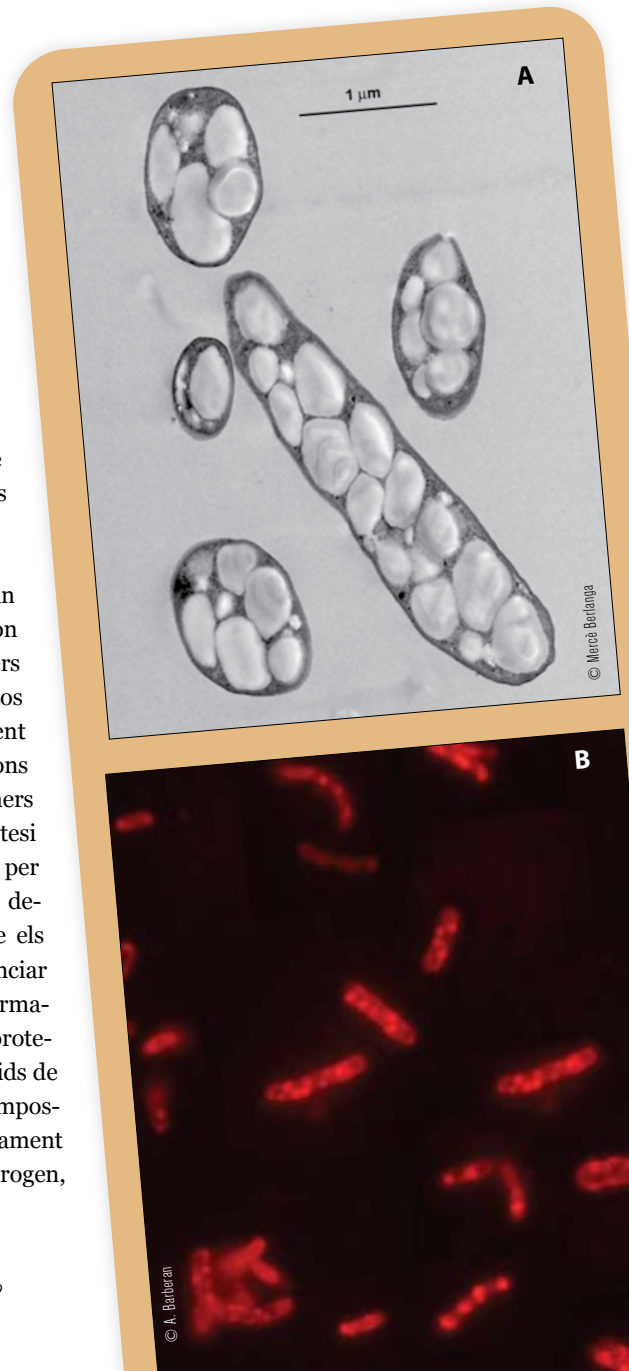
Algunes cèl·lules procariotes responen a la limitació d'un determinat nutrient mitjançant sistemes de transport d'alta afinitat per a aquest nutrient o utilitzant altres mecanismes que siguin capaços d'incorporar fonts alternatives més abundants. Però aquestes respostes solen ser insuficients per assegurar la supervivència, i necessiten degradar macromolècules intracel·lulars i polímers de reserva, com ara el glucogen o els poli-β-hidroxiàlcans (PHA) (fig. 1).

Per què bastaixos o camàlics?

Els lectors assidus d'OMNIS CELLULA deuen haver observat mots en els títols del «Racó» que convé revifar diccionari en mà (o en pantalla). *Porucs* o *murrís* (núm. 16), *occir* o *guarir* (núm. 18), *esglai* o *esgarrifança* (núm. 19), són mots catalans que no han perdut vigència i que convé que no quedin colgats sota l'allau abassegadora de paraules «fàcils». Els mots *bastaix* i *camàlic* són sinònims, però bé que *bastaix* és el terme històric i tradicional per anomenar l'ofici dels qui traginen coses pesants a coll. Posteriorment, es va afegir el terme *camàlic*, com a sinònim d'aquell, potser per referir-se inicialment a les persones que descarregaven els vaixells, atès l'origen genovès del terme.

Hi ha molts bacteris que fan de bastaixos o de camàlics. Són els que acumulen biopolímers en el citoplasma i són capaços d'utilitzar-los posteriorment quan empitjoren les condicions del seu ambient. Els biopolímers són macromolècules de síntesi biològica que estan formades per la repetició d'unitats petites, denominades *monòmers*. Entre els biopolímers s'han de diferenciar els que són components permanents de la cèl·lula (com ara proteïnes, àcids nucleics, polisacàrids de la paret, etc.) dels que són compostos que serveixen específicament com a reserva de carboni, nitrogen,

Figura 1. Micrografia al microscopi electrònic del bacteri *Halomonas* sp., en què s'observen els grànuls de PHA acumulats al citoplasma (A). La mateixa soca tenyida amb el colorant roig Nil, observada mitjançant un microscopi d'epifluorescència (B).



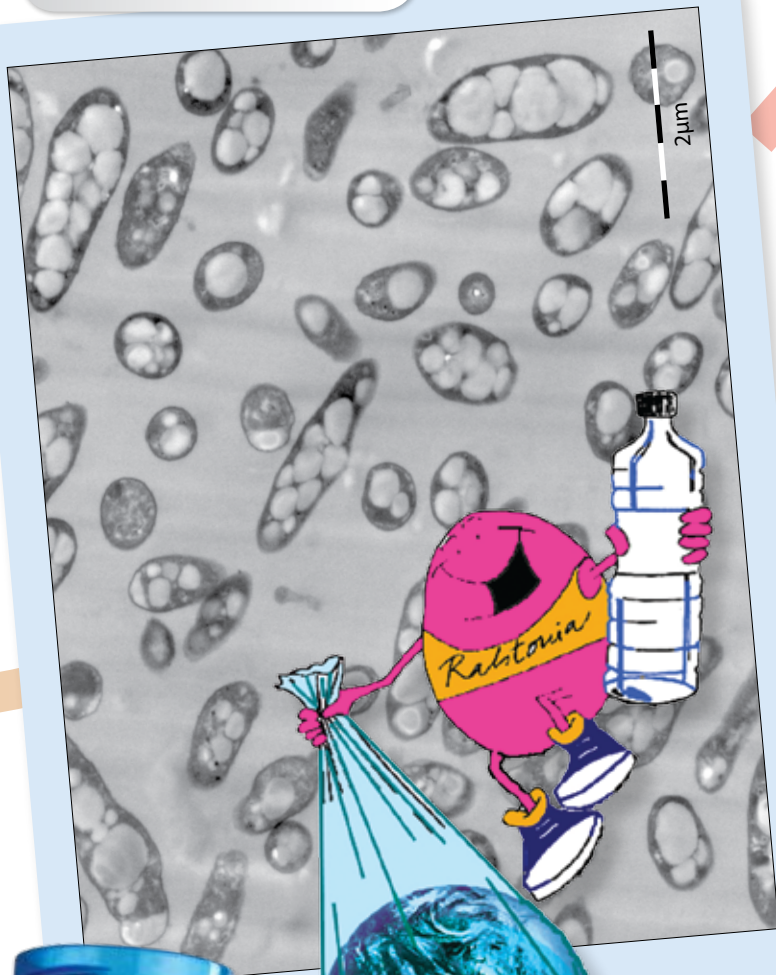


Figura 2. *Ralstonia eutropha*, microorganisme productor de PHA. El PHA pot servir per fabricar envasos biodegradables amb propietats semblants a les dels plàstics d'origen petroquímic.

fòsfor o energia (p. ex., el glucogen i els PHA, els polifosfats, les cianofícines, etc.).

Biopolímers bacterians

Per considerar un component cel·lular com a reserva energètica ha de satisfer tres criteris. Primer, s'ha d'acumular en condicions en què l'energia que prové de l'exterior es troba en excés, per sobre de la que necessita la cèl·lula en aquell moment per créixer i mantenir-se. Segon, s'ha d'utilitzar quan l'aportació energètica de l'exterior sigui insuficient per mantenir els processos de creixement, divisió o viabilitat de la cèl·lula. I, tercer, s'ha de degradar per produir energia assimilable per la cèl·lula, de manera que la cèl·lula pugui sobreviure en un ambient desfavorable des del punt de vista nutricional.

El PHA (polihidroxicanoat) que es va identificar primer va ser el poli- β -hidroxibutirat (PHB). El PHB és un homopolímer lineal d'àcid D-3-hidroxibutíric. Els PHA són polièsters biològics sintetitzats per nombrosos microorganismes bacterians (*Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Halomonas*, *Rhodobacter*, *Bacillus*, etc.), s'acumulen intracel·lularment formant grànuls envoltats per una monocapa lipoproteica, i constitueixen un reservori d'energia i de font de carboni. Aquest fenomen, sovint, està associat a un excés de la font de carboni i a la limitació d'algun altre nutrient (p. ex., el nitrogen, el fòsfor, etc.). El nombre final de grànuls de PHA en un típic bacteri productor *Ralstonia eutropha* (= *Cupriavidus necator*, = *Wautersia eutropha*, = *Alcaligenes eutrophus*), és aproximadament de 10, que ocupen tot el citoplasma (pot arribar a ser el 80 % del pes sec de la cèl·lula). El diàmetre de cada grànul és de 500 nm, aproximadament. L'acumulació de PHB en *R. eutropha* provoca l'augment del volum cel·lular d'1,208 a 3,808 μm^3 , per canvis de l'amplada però no de la longitud del bacteri; també s'observen canvis en la densitat, d'1,110 a 1,145 $\text{pg}/\mu\text{m}^3$, amb possibles repercussions en la flotabilitat dels bacteris de vida plànctica. Els PHA són materials biodegradables i biocompatibles. Aquests biopolímers presenten propietats mecàniques semblants a alguns termoplàstics sintètics (p. ex., el polipropilè) i són un bon substitut dels plàstics d'origen petroquímic, altament contaminants i recalcitrants (és a dir, difícilment biodegradables) en l'ambient (fig. 2). D'altra banda, el fet de ser materials biocompatibles fa que siguin bons candidats en el camp de la biomedicina (taula 1).

Polímers degradables i no degradables

Actualment, es pot considerar que vivim en l'era dels plàstics. Els últims cinquanta anys, el plàstic d'origen petroquímic ha esdevingut un dels materials més emprats. L'aplicabilitat a usos diversos i un cost relativament baix (0,50 €/kg) són alguns dels factors que han influït en la seva proliferació. Els Estats Units produeixen 170 Mt/any i es preveu un augment del 4-5 % anual. Els primers PHA comercials van ser ampolles de xampú de la marca alemanya Wella AG, produït el 1990 per Biopol. Però la incorporació generalitzada al mercat ha estat limitada pels preus de producció. Típicament, en l'obtenció de PHA s'utilitzaven cultius axènics (*R. eutropha*) amb fonts de carboni purificats com ara la glucosa, i aques-

ta producció tenia un cost de 10 €/kg. Posteriorment, amb la introducció de microorganismes modificats genèticament (p. ex., *Escherichia coli* recombinant, ja que de manera natural no sintetitza PHA) i la utilització d'altres substrats, els costos s'han reduït significativament, però encara són superiors als de la producció dels plàstics derivats del petroli. Una alternativa de producció *a priori* menys costosa seria la utilització de plantes transgèniques, que serien capaces de sintetitzar PHA (les plantes no necessiten substrats, ja que creixen amb minerals del sòl, CO₂ i llum). Actualment s'ha aconseguit una acumulació del 40 % en els plastidis vegetals (l'acumulació en bacteris pot ser fins a un 80 % del seu pes sec), però l'extracció no està optimitzada, tot i que hi ha algunes patents, i per això la producció continua sent cara.

Egoisme, altruisme o previsió de futur?

La distribució i la funció de les poblacions microbianes estan fortament influenciades per diversos factors abiòtics.

Els quatre elements bàsics de la cosmologia grega coincideixen amb les quatre necessitats bàsiques per mantenir la vida: *aigua* (metabolisme), *aire* (respiració; acceptors d'electrons), *foc* (calor) i *terra* (aliment). Els tres primers exclouen l'existència de microorganismes en diferents ambients, atès que cada organisme necessita una sèrie de condicions abiòtiques per sobreviure i desenvolupar-se, per sobre o per sota de les quals no és possible que l'organisme pugui sobreviure. El quart element, la *terra*, o els aliments, regula la biomassa (quantitat) dels microorganismes.

L'acumulació de biopolímers demostra la capacitat de *previsió de futur* (*time-binding*) dels microorganismes, ja que la cèl·lula s'anticipa a unes possibles condicions adverses del medi. Els microorganismes acumulen diferents substàncies quan hi ha un excés de recursos a l'entorn, una quantitat superior a la que necessiten per créixer. Posteriorment, les substàncies de reserva seran consumides per mantenir les funcions mínimes de la cèl·lula quan la font d'energia disminueixi. Fins que tornin les condicions ambientals favorables, les cèl·lules són *formigues* i tenen més probabilitats de sobreviure que aquelles que es comporten com a *cigales*.

Funcions biològiques

- Reserva de carboni i energia, augment de la supervivència en bacteris o arqueus que acumulen PHA
- Possible relació entre la síntesi de PHA i la fixació de nitrogen en bacteris simbiòtics
- La síntesi de PHA podria facilitar l'adquisició de competència en bacteris o arqueus transformats naturalment
- Marcadors en l'ambient de l'estat fisiològic de les poblacions bacterianes

Aplicacions biotecnològiques

Envasos industrials

- Envasos d'aliments i ampolles de begudes
- Superfícies resistents a l'aigua en envasos de paper i cartró
- Ampolles de xampú o gels

Aplicacions mèdiques

- Reparacions de teixits (plaques d'unió als ossos, sutures, etc.)
- Utilització cardiovascular (pegats pericardíacs, augment d'artèries, vàlvules cardíaques, etc.)
- Transportadors de medicaments que alliberen de manera controlada el principi actiu dins del cos

Aplicacions en agricultura

- Alliberament controlat d'insecticides
- Transportadors de bacteris fixadors de nitrogen en camps de blat i blat de moro.
- Síntesi de PHA en plantes transgèniques

PHA disponibles industrialment

- BIOPOL®, al principi produït per Zeneca/ICI, posteriorment per Monsanto i ara per Metabolix Inc. (EUA): copolímer de poli (3-hidroxibutirat-co-3-hidroxivalerat)
- Nodax™, de Procter & Gamble (EUA): copolímer de 3-hidroxibutirat (PHB) amb petites quantitats de monòmers de cadena de longitud mitjana
- DegraPol®, d'AB Medica SPA (Itàlia): bloc de copolièster uretà, sintetitzat químicament a partir de PHB-diol i α,ω -dihidroxipoli (caprolactona-bloc-dietilenglicol-bloc-caprolactona)
- Antibiótic Simplex®, d'AKZ, Nova Zelanda (una empresa de Pfizer Labs): PHB i metacrilat

La cerca d'aliment és una propietat emergent de les primeres etapes de la vida, quan, independentment de la suculència del *brou*, la presència de comensals (bacteris) conduïa necessàriament a l'oligotrófia i a la fam. Tota cèl·lula viva consumeix el que té al seu voltant. L'acumulació de polímers que serveixen com a reserva energètica, font de carboni o nitrogen (*previsió de futur*), representa un avantatge selectiu darwinian per a l'evolució i el manteniment dels sistemes cel·lulars. Constitueix una altra estratègia procariòtica per augmentar la supervivència en ambients on el canvi constant marca el ritme de la dansa de la vida sobre la Terra. |

Taula 1. Funcions biològiques i aplicacions biotecnològiques dels polihidroxialcanoats (PHA).

Per saber-ne més

- GUERRERO, R.; BERLANGA, M. (2007). «The hidden side of the prokaryotic cell: rediscovering the microbial world». *Int. Microbiol.*, vol. 10, p. 157-168.
- KADOURI, D. [et al.] (2005). «Ecological and agricultural significance of bacterial polyhydroxyalkanoates». *Crit. Rev. Microbiol.*, vol. 31, p. 55-67.
- PHILIP, S.; KESHAVARZ, T.; ROY, I. (2007). «Polyhydroxyalkanoates: biodegradable polymers with a range of applications». *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 82, p. 233-247.