



Anna Maria Solanas

La cara amable dels bacteris

Com ens ajuden i què en podem aprendre



Índex

<i>Pròleg</i> , per David Bueno	11
<i>Presentació</i>	13
Capítol 1. Què són els microbis i què són els bacteris.	17
Capítol 2. La vida va aparèixer en forma de bacteri.	23
Capítol 3. Qui i quan va descobrir els bacteris	29
Capítol 4. Va ser amb els bacteris que es va refutar definitivament la teoria de la generació espontània de la vida	33
Capítol 5. Els bacteris són els amos del nostre planeta	39
Capítol 6. Que intel·ligents que són, els bacteris!	43
Capítol 7. Com els podem estudiar si no els veiem?.	49
Capítol 8. Hauríem de parlar bacterià.	57
Capítol 9. Si no fos pels bacteris, la Terra es col·lapsaria.	61
Capítol 10. La contaminació invisible	67
Capítol 11. Estem rodejats d'hidrocarburs.	71
Capítol 12. El <i>percebeiro</i> tenia raó: el cas del <i>Prestige</i>	75
Capítol 13. Exèrcits de bacteris depuren les aigües residuals, descontaminen els sòls i eliminen les males olors	83
Capítol 14. Bones notícies: ja han aparegut bacteris degradadors de plàstics	93
Capítol 15. La guerra contra la contaminació química: si no fos pels bacteris...	99

Capítol 16. Aprofitant la gran inventiva metabòlica dels bacteris	103
Capítol 17. Els bacteris ens han donat les eines de l'enginyeria genètica i la biotecnologia	111
Capítol 18. Els bacteris ens parlen de cooperació i generositat	117
<i>Agraïments</i>	125

Pròleg

Es diu que les paraules no són innocents. Potser som les persones que no les interpretem de manera innocent i les dotem de connotacions positives o negatives, segons el cas. Sens dubte, la paraula *bacteri* genera sensacions desagradables, i fins i tot aversió en moltes persones, puix acostumem a relacionar aquests diminuts organismes amb malalties molt diverses. Aquesta és una de les primeres coses que ens diu Anna Maria Solanas en el llibre que teniu a les mans. Hi ha persones que temen els bacteris, o que els odien, i moltes altres, possiblement la majoria, que no s'hi senten vinculades emocionalment de cap manera. Tanmateix, és possible estimar els bacteris? Us puc ben assegurar que sí. Per partida doble.

D'una banda, perquè la immensa majoria dels bacteris no només no ens són perjudicials, sinó que són absolutament necessaris per mantenir la vida a la Terra i perquè els nostres cossos puguin desenvolupar-se. Són els nostres companys de viatge, inseparables i col·laboradors, amb els quals vivim de manera harmònica des del naixement. Ens aporten molt més del que segurament estem disposats a reconèixer. Sense ells, els nostres cossos fràgils no sobreviurien i els ecosistemes s'esfondrarien. Des d'aquest punt de vista vital, amb la humilitat de compartir amb ells aquest planeta, els bacteris haurien de merèixer com a mínim tot el nostre respecte. Hi vivim de manera molt més estreta del que podem imaginar però, no obstant això, són uns grans desconeguts. Aquest és el coneixement que trobareu en aquest llibre i que us farà gaudir del fet d'estar tan ben acompanyats.

Hi ha, a més, una altra estimació pels bacteris, que és la que transmet l'Anna Maria. Ells han estat durant molts anys els seus companys de viatge, com en tots nosaltres, i també han estat la seva font de recerca, d'inspiració i de docència. Una estimació que ens ha transmès a tots els que hem estat alumnes seus. Només entrar a l'aula ja notaves els seus ulls vibrants d'emoció, que traslluïen un gran respecte i estima cap a aquests microorganismes i també pel fet de poder-ho compartir amb altres persones. Microbiòloga i docent. Respecte i estima pels bacteris i pels alumnes. Passió per la seva feina. Justament això és el que també trobareu en aquestes pàgines: entusiasme pel coneixement en el camp de la microbiologia. Us puc assegurar que, quan acabeu de llegir el llibre, tindreu una visió nova dels bacteris. Deixaran de ser éssers estranys i desconeguts, a voltes perillosos, i esdevindran una peça clau de la vida.

He començat dient que les paraules no són innocents, i aquestes tampoc ho han estat. Són una crida a deixar-nos portar sense complexos ni preconceptes pels coneixements d'una persona que ha dedicat tota la seva vida acadèmica a descobrir un nou món. I que ara ens l'ofereix.

DAVID BUENO

Professor i investigador de la Secció
de Genètica Biomèdica, Evolutiva
i del Desenvolupament

Presentació

He dedicat vora quaranta anys de la meua vida a l'estudi d'un grup de bacteris que, entre altres coses, contribueixen que els nostres mars no estiguin plens d'hidrocarburs. Encara que ens pugui sorprendre, s'estima que, ja sigui de manera accidental, ja sigui de manera intencionada, més de tres mil tones d'aquests contaminants arriben anualment als nostres oceans. Durant aquests mateixos quaranta anys, el privilegi de ser professora del Departament de Microbiologia de la Universitat de Barcelona m'ha permès transmetre els meus coneixements, adquirits a través de la recerca en el laboratori i de la lectura de treballs d'altres microbiòlegs, a centenars d'alumnes que han passat per les aules de la Facultat de Biologia d'aquesta Universitat.

Com a professora de l'assignatura general de Microbiologia del grau de Biologia, sempre em va agradar fer una pregunta als alumnes el primer dia de classe. Per a ells, aquesta assignatura representava la primera vegada que durant un curs complet els parlarien només de microbis, i la pregunta que els formulava era quina era la primera impressió que els suggeria la paraula *microbi*. En un percentatge aclaparador, les paraules que els sorgien de manera immediata eren *misteri*, *por*, *perjudici* i *malaltia*. En finalitzar el curs tornava fer aquesta mateixa pregunta i amb gran satisfacció podia comprovar que s'havia produït un canvi radical en la seva percepció. Naturalment, aquest petit assaig no l'he pogut traslladar a la societat en general, però m'atreveixo a

aventurar que la resposta no estaria gaire allunyada de la dels meus alumnes.

No és la meva intenció minimitzar els estralls causats pels bacteris patògens a la humanitat. Avui dia, malgrat que s'hagin realitzat grans avenços, les malalties infeccioses, la majoria de les quals són causades per bacteris, encara representen la segona causa de mortalitat a tot el món. I si ens remuntem al passat, podria esmentar dos episodis extremament dramàtics. En primer lloc, el bacteri *Yersinia pestis*, causant de la pesta bubònica, que va aniquilar un terç de la població europea al segle XIV i, en segon lloc, però no menys dramàtic, el que va tenir lloc al segle XVI a la regió central del continent americà. Si quan el conquistador espanyol Hernán Cortés va desembarcar a Mèxic la població nativa era d'uns trenta milions de persones, passats cinquanta anys havia disminuït fins a tres milions. Les malalties infeccioses provocades pels bacteris i els virus que portaren els espanyols van ser la principal causa d'aquesta mortaldat.

Però entre les desenes de milers d'espècies bacterianes que es coneixen, en realitat només n'hi ha un centenar que trenquen les regles de la convivència pacífica amb la humanitat i ens causen malalties. És per això que en aquest llibre em proposo presentar i descobrir el que jo anomeno la cara amable dels bacteris.

Aquesta cara amable està relacionada amb una infinitat d'àmbits. Un d'ells, potser el més conegut, és el referit a la producció d'aliments, com els derivats làctics. I, malgrat que el lector pensi en altres aliments, com el vi, la cervesa o el pa, en aquests casos els protagonistes no són els bacteris, sinó els llevats, que també són microbis, però una mica més grans que els bacteris i que estan emparentats amb els fongs. En el primer capítol veurem en què es diferencien els bacteris dels llevats.

Un altre àmbit és el relacionat amb la producció de molècules d'interès farmacèutic, com és la síntesi d'antibiòtics. En el mateix camp, fa poc temps s'ha descrit la síntesi de compostos potencialment antitumorals, com els produïts pel bacteri *Salinos ora*, que es troba en els fons marins a

més de mil metres de profunditat. Per acabar, en l'àmbit industrial, sense connotacions terapèutiques trobem els bacteris que produeixen enzims, aminoàcids, emulsionants, additius alimentaris o additius de detergents, entre d'altres.

Els bacteris tenen infinitat de cares amables i en un llibre de divulgació com el present no voldria atordir el lector amb l'explicació de centenars de casos on podríem observar aquest aspecte del món bacterià. Tenint en compte que el medi ambient està amenaçat per les accions i actituds dels organismes suposadament més evolucionats del planeta, els éssers humans, i que el meu camp de treball tant en la recerca com en la docència ha estat el de la microbiologia ambiental, donaré més importància als aspectes relacionats amb el medi ambient.

Exposaré com els organismes cel·lulars situats a l'altre extrem de l'escala evolutiva, els bacteris, porten a terme una sèrie d'activitats metabòliques imprescindibles perquè es continuïn donant les condicions que la humanitat requereix per habitar el planeta, com tanquen els cicles dels elements que formen part de la matèria viva, com lluiten contra la contaminació química i com ens ofereixen solucions substituint molts productes nocius per a la salut humana —com els plàstics, els hidrocarburs o els pesticides— per d'altres del tot innocus que ells poden sintetitzar.

Així mateix, veurem que el comportament dels bacteris es mou sempre en el camp de la cooperació i la generositat, de manera que potser tenir més informació sobre el món bacterià ens portarà a potenciar i utilitzar totes aquestes possibilitats que ens ofereixen per viure en un planeta més net, més sostenible i inclús més solidari.

CAPÍTOL 1

Què són els microbis i què són els bacteris

Atès que aquest llibre parla del món dels bacteris, en primer lloc necessitem saber què són. Aquests diminuts éssers vius estan inclosos en el grup dels microbis, també anomenats microorganismes. La paraula *microbi* procedeix dels termes grecs *micro* ('petit') i *bios* ('vida'). En efecte, considerem microbis els éssers vius que tenen una mida més petita de 0,1 mm, per la qual cosa no els podem observar a ull nu, sinó que necessitem un microscopi. Amb aquesta definició tan genèrica, no ens ha de sorprendre que dins del món microbià trobem una gran diversitat d'organismes: des d'algues microscòpiques com les diatomees o fongs microscòpics com els llevats, fins a protozous com les amebes i, finalment, els bacteris. Un món a part és el dels virus, que són els organismes més petits que existeixen, però que no estan formats per cèl·lules. De fet, els virus necessiten introduir-se en una cèl·lula, ja sigui d'un animal, ja sigui d'un vegetal o d'un bacteri, per poder reproduir-se, ja que la cèl·lula és el requisit imprescindible per poder viure de manera independent.

Si la cèl·lula és la unitat de la vida independent, ha d'incloure tota una sèrie de components que li permetin mantenir-se viva i a la vegada formar noves cèl·lules, és a dir, generar descendència. I de quantes parts està formada una cèl·lula? Doncs una de les principals estructures és la membrana que la separa de l'exterior i que controla quins materials hi poden

entrar i quins n'han de sortir. Una altra estructura seria la del material on s'emmagatzema la informació genètica, l'anomenat ADN —corresponent a l'abreviatura d'àcid desoxiribonucleic—, que alhora s'organitza en unes petites estructures anomenades cromosomes, els quals contenen la informació necessària perquè cadascun dels organismes adquireixi les característiques que el diferencien dels altres i, el que és més important, que garanteixen la seva herència. Finalment trobem un medi aquós interior, que anomenem citoplasma i que conté una infinitat d'altres estructures i diversos materials, com les proteïnes i altres molècules, que permeten el funcionament de les activitats vitals i la possibilitat de dividir-se i generar nous individus.

Doncs bé, així com la mida ens ha permès definir els microbis, el tipus de cèl·lula ens permetrà diferenciar els bacteris de la resta d'éssers vius. Encara que ens sembli simplista i sorprenent, tots els éssers vius que poblen el nostre planeta, ja siguin microbis, plantes o animals, presenten només dos tipus de cèl·lules: les cèl·lules dels bacteris, que anomenem procariotes i que tenen una estructura molt simple, i les cèl·lules de la resta d'éssers vius, que anomenem eucariotes i que tenen una major complexitat estructural. Malgrat que hi hagi diverses diferències entre aquests dos tipus de cèl·lula, n'hi ha una que és la més destacada i que, com veurem, és la que els dona el nom. Les cèl·lules procariotes —del grec *pro* ('abans de') i *karyon* ('nucli')— tenen el material genètic dispers a l'interior de la cèl·lula, mentre que les eucariotes —del grec *eu* ('vertader') i *karyon* ('nucli')— tenen el material genètic, és a dir, els cromosomes, rodejat per una membrana en forma d'esfera que se situa a l'interior del citoplasma. Aquesta membrana i el que conté al seu interior constitueixen el nucli (figura 1).

Els bacteris són éssers unicel·lulars, és a dir, formats per una sola cèl·lula de tipus procariota i d'una grandària que oscil·la entre 0,5 i 5 μ . La resta d'éssers vius són eucariotes i poden estar formats per una sola cèl·lula, com els llevats o els protozous, que per la seva mida quedarien inclosos

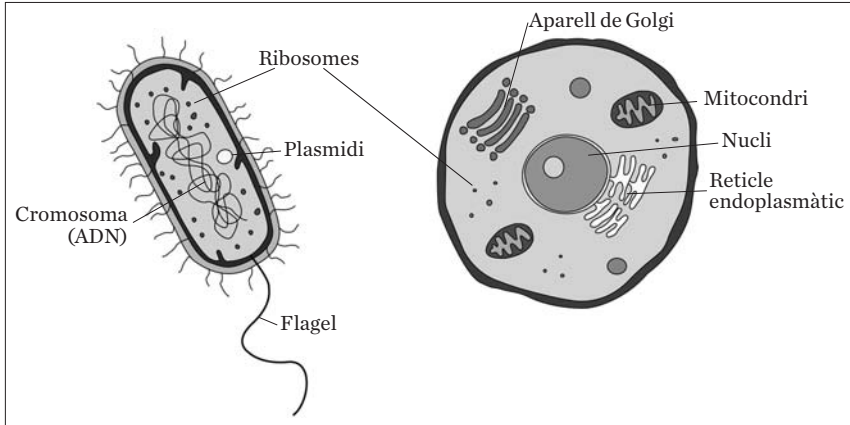


Figura 1. Esquema d'una cèl·lula procariota (esquerra) i d'una cèl·lula eucariota (dreta). En aquesta última podem veure moltes estructures com els mitocondris, el reticle endoplasmàtic i l'aparell de Golgi, entre d'altres, que no es troben en la cèl·lula procariota. Imatge: Eulàlia Rovira.

en el grup dels microbis, o per moltes cèl·lules, de manera que constitueixen organismes pluricel·lulars com les plantes i els animals.

No obstant això, aquesta simplicitat que representa dividir els éssers vius entre bacteris i la resta d'éssers vius eucariotes es va acabar a finals de la dècada dels anys setanta del segle passat gràcies als descobriments d'un grup de microbiòlegs de la universitat americana d'Illinois encapçalat per Karl Woese. Mentre estudiaven un grup de bacteris molt arcaics que vivien sense oxigen, van observar que presentaven algunes diferències, encara que no morfològiques, respecte a la resta de bacteris coneguts fins a aquell moment. I, malgrat que es diu que després del descobriment, en una conversa entre ells, Ralph Wolfe, del mateix equip d'investigadors, seguia convençut que eren igualment bacteris, després les coses van canviar.

Però abans vull destacar que en les darreres dècades han anat apareixent noves tècniques d'anàlisi a escala molecular que han permès aprofundir en les característiques de qualsevol ésser viu fins a nivells que abans eren impensables i, en particular, dels organismes unicel·lulars. No ens

ha d'estranyar que la classificació taxonòmica d'organismes amb una simplicitat morfològica tan extrema com són els bacteris, tenint en compte que estan formats per una sola cèl·lula i les seves diferències de forma són mínimes, estigui basada en diferències a escala molecular, i no tant de tipus morfològic. En aquest sentit, recordo que durant uns anys, com a conseqüència de l'aplicació d'aquestes tècniques moleculars que anaven apareixent de manera vertiginosa, la classificació dels bacteris va experimentar una vertadera revolució, i bacteris que abans estaven inclosos en determinats grups taxonòmics van ser reassignats a altres categories després de verificar-se la seva composició molecular.

Doncs bé, aquestes tècniques es van aplicar tant als nous bacteris descoberts per Woese com a altres descoberts abans però que, com ells, també vivien en ambients inhòspits que recordaven les condicions primitives del planeta —per exemple, en temperatures elevades i en absència d'oxigen—. Els resultats van permetre determinar que els bacteris de Woese i els procedents d'aquests ambients inhòspits eren molt similars entre si, però a la vegada eren molt diferents de la resta de bacteris, que podríem anomenar normals pel fet de viure en ambients més amables i que correspondrien als compartits amb els humans. Per tot això, es va decidir agrupar aquests microbis en una nova categoria d'éssers vius, la dels arqueus, del grec *arkhaia* ('antics'), i es va determinar que els organismes del nostre planeta es distribuïrien en tres categories: arqueus, bacteris i eucariotes. No obstant això, tenint en compte que tant els arqueobacteris com els bacteris estan formats per una sola cèl·lula procariota i que fins a aquest moment hem descrit més de set mil espècies de bacteris i només uns tres-cents arqueobacteris, atesa la voluntat divulgativa d'aquest llibre, a partir d'ara utilitzaré el terme *bacteri* malgrat saber que en algunes ocasions pugui tractar-se d'un arqueobacteri.

I d'on ve el nom de bacteri? Doncs de la forma plural del llatí modern *bacterium*, i aquest al seu torn del grec *baktēr-ion* ('bastonet'). Això es deu al fet que els primers bacteris observats tenien aquesta forma. De fet,

aquest terme va ser proposat per un científic alemany, Christian Gottfried Ehrenberg, l'any 1838. I després del que s'ha exposat en aquest capítol, com podem definir de manera senzilla el que són els bacteris? Doncs com els éssers vius inclosos dins el grup dels microbis i formats per una sola cèl·lula que no té membrana nuclear, per la qual cosa el seu ADN està dispers pel seu interior.

CAPÍTOL 2

La vida va aparèixer en forma de bacteri

Segons determinacions radiomètriques de datació, el nostre planeta es va formar ara fa aproximadament 4.500 milions d'anys a partir de matèria mineral. Ara bé, un primer requisit per a l'aparició de vida era l'existència de matèria orgànica. En aquest sentit, van ser molts els científics que van buscar la manera de reproduir les condicions primitives de la Terra per poder demostrar la formació de matèria orgànica a partir d'elements inorgànics. L'any 1924, un bioquímic rus anomenat Oparin formulà una de les primeres hipòtesis que més tard dos científics americans van poder demostrar a mitjan anys cinquanta del segle passat. Produint descàrregues elèctriques sobre elements inorgànics com el metà, l'hidrogen, l'amoniac i el vapor d'aigua, compostos que existien en aquells primers temps, van poder demostrar la formació d'aminoàcids i altres compostos orgànics. Recordo que l'any 1973, just acabada la meva llicenciatura en Ciències Biològiques a la Universitat de Barcelona, em vaig assabentar que Oparin venia a la ciutat comtal per assistir a un congrés. Ràpidament m'hi vaig inscriure —era la primera vegada que assistia a un esdeveniment d'aquestes característiques— i vaig poder escoltar Oparin. Ho recordo amb molta emoció, ja que des dels meus primers contactes amb la biologia sempre m'havia sentit atreta per aquestes qüestions.

A més d'aquest origen endogen de la matèria orgànica en la primitiva Terra, investigacions posteriors van posar de manifest que aquesta matèria també podria haver arribat ja formada des de l'exterior. De fet, s'ha pogut verificar la presència de matèria orgànica en infinitat d'objectes extraterrestres, com va ser el cas d'un meteorit caigut a Austràlia l'any 1969, i que que contenia aminoàcids.

I la vida? Quan va aparèixer? Si ens guiem pels fòssils més antics que s'han descobert fins als nostres dies, l'origen de la vida s'ha de situar ara fa uns 3.800 milions d'anys. No obstant això, investigacions recents apunten que es podria haver produït en una data anterior. Encara que no sabem exactament ni on ni quan va aparèixer la vida a la Terra, moltes investigacions assenyalen i coincideixen que les primeres zones habitables van poder situar-se en fumaroles hidrotermals del fons dels oceans riques en diversos elements químics, com ara el sofre.

En aquest llibre no puc recollir totes les hipòtesis sobre la formació d'un ens que va presentar les capacitats organitzatives i autoreplicatives que caracteritzen un ésser viu a partir de molècules orgàniques, perquè són moltes i complexes. Com explicaré més endavant i més detalladament, la cèl·lula eucariota va aparèixer molt més tard, per la qual cosa el primer organisme present a la Terra ho va fer en forma de bacteri, en forma de cèl·lula procariota, i això significa que aquests organismes invisibles van ser els primers éssers vius que van colonitzar el nostre planeta.

En el cronograma següent es poden observar els fets més rellevants que han succeït a la Terra al llarg de milers de milions d'anys, des de la seva formació fins als nostres dies (figura 2). De tots ells, en vull destacar dos que, com veurem més endavant, van tenir i tenen unes conseqüències crucials per a la humanitat. En primer lloc, fixem-nos en la data següent: els bacteris van viure com a únics habitants del planeta durant aproximadament 1.800 milions d'anys, ja que no va ser fins fa uns 2.000 milions d'anys que va aparèixer un organisme amb l'estructura de l'altre tipus cel·lular, la cèl·lula eucariota, que —com hem dit— forma part de la resta