

MICROBIS AMB GPS

Escrit per

Mercè Berlanga¹ i Ricard Guerrero²

¹Departament de Microbiologia i Parasitologia
de la Universitat de Barcelona

²Departament de Microbiologia de la Universitat de Barcelona

L'univers és un espai fonamentalment buit. Però entre la gran foscor que separa les galàxies i envolta els estels hi ha núvols de gas, pols i matèria orgànica. Els radiotelescopis han detectat desenes de molècules orgàniques –hidrocarburs, alcohols, sucres, aminoàcids, bases púriques i pirimidíniques–, peces essencials del *meccano* de la vida. L'univers, per tant, està prenyat de molècules biològiques. Potser la vida sigui, si se li dóna temps, una ineluctabilitat còsmica. Però, per ara, solament coneixem un lloc on s'hagi donat: el tercer planeta que envolta una estrella mitjana d'una galàxia ordinària. És la nostra Terra.

Elecció, discriminació, memòria, aprenentatge, instint, judici i adaptació són paraules que normalment identifiquem amb processos vitals "superiors". Però, en cert sentit, es pot dir que un bacteri (una vida catalogada d'antuvi com a "simple") ja presenta totes aquestes propietats. Les respostes dels bacteris als

canvis ambientals (pH, temperatura, osmolaritat, absència d'aliment, etc.) són costoses i requereixen l'expressió de molts gens. Si no els utilitzen, la pressió selectiva tendeix a eliminar-los. Generalment, tots els microorganismes i en especial aquells que viuen en un estret nínxol ecològic, mantenen solament aquelles respostes que els beneficien. L'anàlisi dels genomes microbians seqüenciats constata aquesta regla. Hi ha una relació entre l'estil de vida d'un microbi i la natura del seu genoma. La mida del genoma reflecteix la fre-



Bacteris magnetotàctics.
© Dibuix de M. Berlanga.

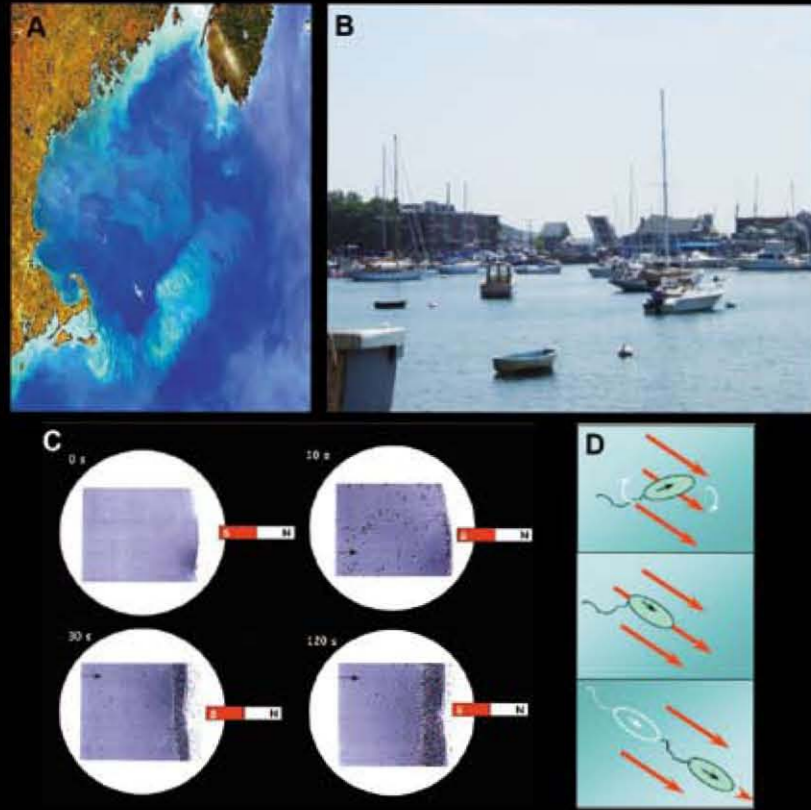


Figura 1

(A) Imatge de satèl·lit de Cape Cod, al sud-est de l'estat de Massachusetts. (B) Eel ("anguila") Pond, Woods Hole, Cape Cod, MA. (C) Observació al microscopi d'una mostra d'aigua. Amb una barra magnètica de laboratori, els bacteris magnetotàctics són atrets cap a la vora de la gota. (D) Esquema de com els bacteris magnètics se situen en les línies de camp magnètic. El moviment en una direcció o una altra ve determinat per la rotació dels flagels.

qüència amb la qual un microorganisme ha d'enfrontar-se amb els canvis del seu ambient. "La variació contínua de l'ambient és el ritme al qual ha de ballar la vida", ens deia el Professor Margalef. És a dir, com més canvis ambientals hagi d'experimentar un bacteri, més gran serà el seu genoma.

Molt sovint, els microbis s'enfronten als canvis ambientals simplement fugint cap a zones més "hospitalàries". La mobilitat pot significar la diferència entre la vida i la mort. El moviment (desplaçament per buscar aliment i/o les condicions fisicoquímiques òptimes) està causat per diferents estructures de motilitat, la millor estudiada de les quals és el flagel procariòtic. Però el moviment no és erràtic o a l'atzar. Els procariotes poden respondre a diverses substàncies mitjançant una resposta de moviment orientat. Algunes d'aquestes substàncies poden actuar com atractants i altres com a repel·lents, i aquest comportament es coneix com a quimiotàxia. Diverses proteïnes que participen en la quimiotàxia es localitzen només en un dels pols de la cèl·lula. Podria dir-se que els bacteris tenen

un "nas" que percep les molècules atractants i repel·lents. Però, com un bacteri pot distingir entre la direcció correcta o l'equivocada? Els bacteris tenen una memòria química, és a dir, comparen contínuament la concentració d'un substrat, com ara un sucre, en el moment present respecte al detectat fa un moment. D'aquesta manera presenten un sistema d'acomodació que "calibra" la sensibilitat per un substrat cap a una concentració major i poden dirigir així el moviment en la direcció correcta. L'acomodació és la responsable de moltes percepcions humanes, com ara la incapacitat de captar un determinat olor després d'haver-ho fet durant un període perllongat de temps. L'acomodació constitueix una memòria molecular que capacita la detecció de canvis en la concentració i facilita el moviment dirigit.

Altres sistemes sensors bacterians són els que trobem en els procariotes fotosintètics (cianobacteris, bacteris vermells i verds del sofre i no del sofre, halòfils extrems, etc.), o en els bacteris magnetotàctics. Els primers responen a un gradient d'intensitat de llum. Els segons interaccionen amb les línies de camp magnètic de la Terra per orientar-se en la columna d'aigua. En el primer cas, aquest tipus de tàxia rep el nom de fototàxia; en el segon, s'anomena magnetotàxia.

Com són i què fan els bacteris amb brúixola

La primera indicació que alguns bacteris eren sensibles al camp geomagnètic la va tenir el 1975 Dick Blakemore, aleshores estudiant de doctorat del Departament de Microbiologia de la Universitat de Massachusetts, a Amherst. Es trobava observant els bacteris que colonitzen el fang de les llacunes salobres de Woods Hole (a Cape Cod, al sud-est de l'estat de Massachusetts), quan va observar que alguns microorganismes nedaven persistentment en un mateix sentit, movent-se a través del camp visual del microscopi per concentrar-se a la vora d'una gota d'aigua fangosa. En absència d'un altre camp magnètic que no fóra el geomagnètic, alguns bacteris nedaven persistentment en direcció nord i s'acumulaven a la vora nord de la gota. Si s'aproximava una barra magnètica de laboratori, els bacteris nedaven cap al pol que atreïa l'extrem d'una agulla imantada que assenyalava el nord (Fig. 1). Cal destacar que els bacteris magnètics ni són atrets ni

repel·lits pel pol geomagnètic, només hi són orientats. Les cèl·lules mortes també se situen en les línies de camp magnètic com les cèl·lules vives, però no es desplacen. El moviment en una direcció o en una altra ve determinat per la rotació dels flagels. Els bacteris magnetotàctics són microaeròfils o anaerobis, de tal manera que eviten les concentracions d'oxigen elevades. La navegació al llarg de les línies del camp magnètic facilita la migració cap a una posició favorable de concentració d'oxigen, més amunt o més avall d'on es troben, és a dir, busquen la zona on la concentració d'oxigen dissolt sigui l'òptima (que ha de ser molt baixa o zero) per al seu metabolisme. Els bacteris magnetotàctics de l'hemisferi nord de la Terra s'orienten buscant el nord geomagnètic, mentre que els de l'hemisferi sud busquen el sud. La magnetotàxia és particularment avantatjosa per als bacteris perquè augmenta l'eficàcia de trobar i mantenir la posició òptima relativa al gradient de concentració vertical (oxigen, sulfhídric o potencial redox), reduint la cerca de les condicions òptimes d'un espai tridimensional a un de bidimensional.

Els bacteris magnetotàctics són cosmopolites, ubics en els hàbitats aquàtics, i es troben en elevada densitat poblacional just en la zona de transició òxica-anòxica. Constitueixen un grup heterogeni de procariotes, amb morfologies molt diferents, poden presentar-se com a cocs, bacils, vibris o espirils. A més, poden viure com a cèl·lules aïllades o bé formar agregats cel·lulars. Tot i aquesta diversitat morfològica, els bacteris magnetotàctics comparteixen algunes característiques comunes: (I) són gramnegatius, (II) presenten moviment flagel·lar, (III) exhibeixen una resposta tàctica negativa enfront de concentracions altes (atmosfèriques) d'oxigen i (IV) tenen "magnetosomes", que són partícules intracel·lulars de magnetita (òxid de ferro, Fe₃O₄) o greigita (sulfur de ferro, Fe₃S₄). Moltes vegades, els bacteris magnetotàctics formen agregats constituïts per un nombre de 10 a 30 cèl·lules individuals. Els agregats multicel·lulars magnetotàctics estan formats per un nombre fix de bacteris gramnegatius disposats cada un al costat dels altres formant una esfera, i deixant un espai buit en el seu interior. Les cèl·lules tenen magnetosomes de

greigita. Es troben en ambients aquàtics rics en sulfhídric. Aquests bacteris no han pogut ser cultivats axènicament (és a dir, en cultiu pur). Els agregats naden com una unitat. Els flagels estan en la superfície exterior de cada cèl·lula i es mouen de forma coordinada. Totes les fases del cicle d'aquests bacteris són multicel·lulars. A l'inici de la divisió, les cèl·lules creixen en grandària, i després se separen, formant dues esferes idèntiques (amb el mateix nombre de cèl·lules). Les cèl·lules individuals que se separen de l'agregat deixen de moure's i no responen més al camp magnètic; estan mortes. El consorci multicel·lular és imprescindible per a la mobilitat, el comportament magnetotàctic i la viabilitat! (Fig. 2).

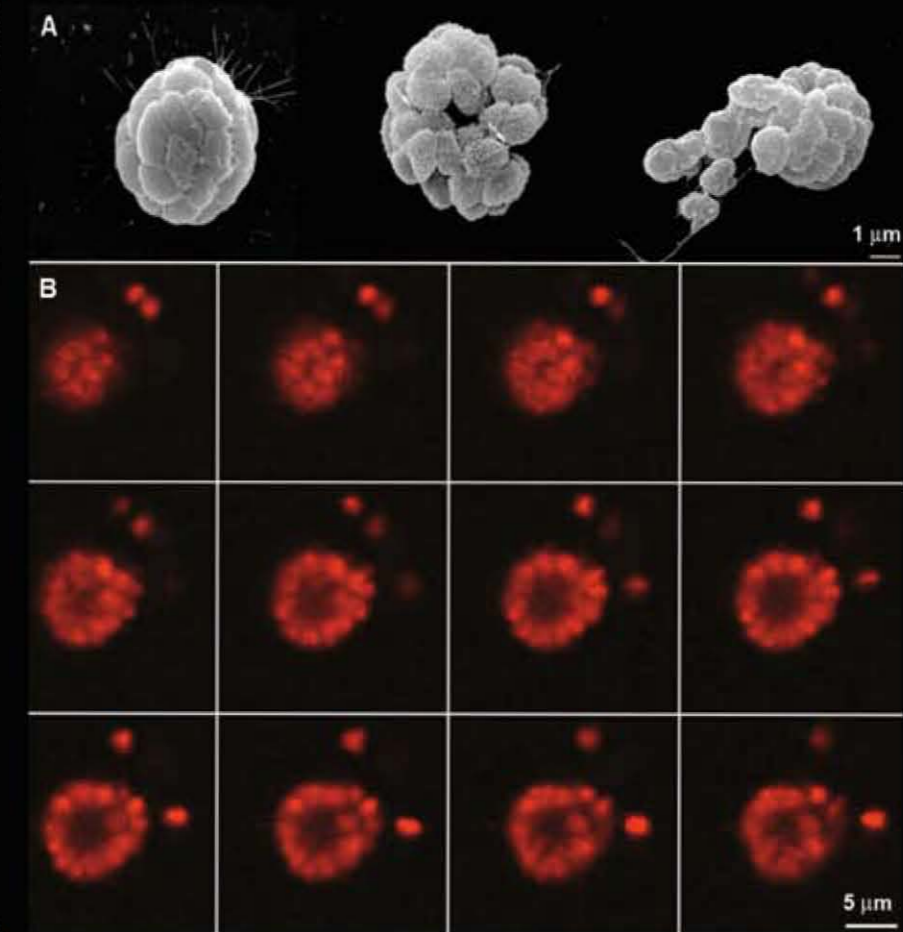
Nanoimants bacterians

Els magnetosomes són estructures intracel·lulars compostes per cristalls d'un mineral magnètic i es troben envoltats per una membrana lipoproteica. Els magnetosomes estan disposats en una o més cadenes paral·leles a l'eix major de la cèl·lula. El nombre de magnetosomes presents en una cadena depèn del tipus de bacteri. S'han observat

Figura 2

(A) Sèrie de micrografies al microscopi electrònic en les que s'observa la morfologia esfèrica típica dels agregats i l'alteració i separació de les cèl·lules després del tractament amb aigua destil·lada. (B) Sèrie de micrografies amb el microscopi confocal. Els agregats han estat tenyits amb un colorant vital. S'observa un augment de cèl·lules tenyides de vermell (mortes) i un augment de la mida del compartiment intern.

© Fotos cedides per la revista *International Microbiology* [IM 9(4):267-272], realitzades per Ulisses Lins i cols., de Rio de Janeiro, Brasil.



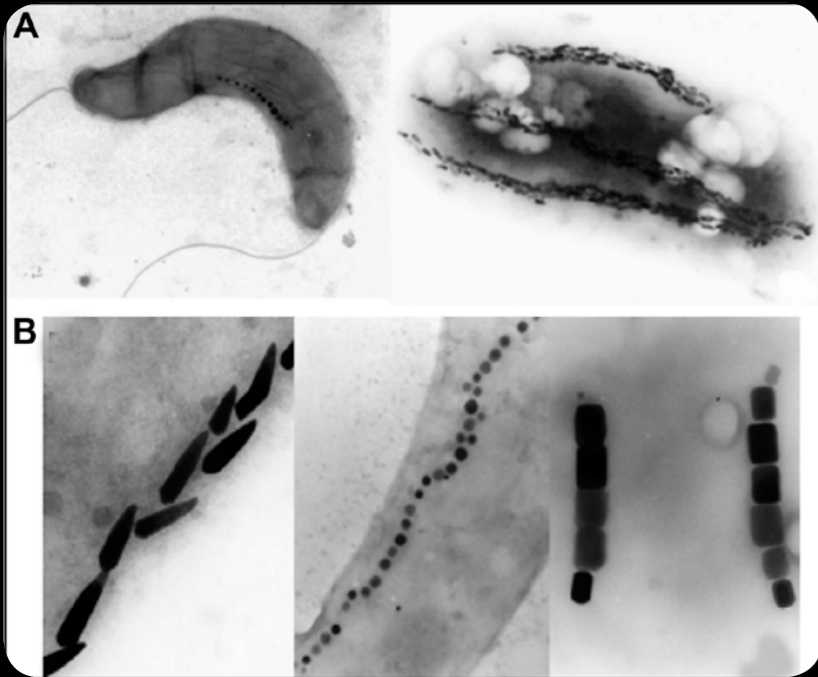


Figura 3

(A) Diferents morfologies de bacteris magnetotàctics, espiral i bacil·lar, on s'observa una(es) cadena(es) de magnetosomes en l'eix del bacteri. (B) Tipus de magnetosomes (d'esquerra a dreta): en forma de punta de fletxa, cubooctaèdric i prismes allargats hexagonals.

© Fotos cedides per la revista *International Microbiology* (IM 5(4):209-214)

tres tipus de morfologia de les partícules de mineral magnètic: cubooctaèdric, prismes allargats hexagonals i en forma de punta de fletxa (Fig. 3). Els magnetosomes observats fins al moment presenten una mida compresa entre 40 i 120 nm. La mida i morfologia prefixats en cada espècie bacteriana per als seus magnetosomes indiquen l'existència d'un mecanisme de "mineralització controlada biològicament".

Minerals magnètics biogènics (?) a Mart

El debat de la possible presència de vida a Mart es remet –si prescindim de les novel·les de ciència ficció– als experiments realitzats el 1976 per la sonda espacial *Viking*. Com se sap, els resultats van ser negatius.

Però no es pot descartar la possibilitat que es trobi vida en altres localitzacions no assajades. Els resultats de la *Viking* no contenen informació de possibles fòssils, ni tampoc era l'objectiu de la sonda *Pathfinder*, el juliol de 1998. A més, avui sabem que, en un moment determinat, milions d'anys abans que a la Terra, Mart també va tenir aigua líquida en abundància, rius cabalosos els corrents dels quals van gravar canons profunds que avui en dia encara podem observar sobre la superfície del planeta roig. Una altra font d'informació sobre la possibilitat de què hi hagi hagut vida a Mart són els meteorits del tipus SNC. L'estudi mineralògic –com també altres característiques– del meteorit marcíà SNC ALH84001 ("Allan Hills, primera mostra de 1984"), que es va trobar a l'Antàrtida, ha suggerit que diverses estructures del meteorit són cadenes de magnetosomes i que, per tant, són prova de l'existència de vida passada a Mart (Fig. 4). Encara que no coneixem un altre origen possible dels magnetosomes que no sigui el biogènic (produïts per bacteris) és també possible que les característiques descrites en ALH84001 puguin ser explicades per processos inorgànics. Aquí, com en molts altres descobriments en curs, amb el temps se sabrà quina de les dues hipòtesis és la correcta.

Conclusions

Els microbis posseeixen característiques notables. Són de dimensió reduïda, ubics, presenten variabilitat i flexibilitat metabòliques, i plasticitat genètica (transferència horitzontal) que els permet suportar i adaptar-se ràpidament a les condicions ambientals desfavorables i/o canviants. Els microbis exhibeixen una potencialitat funcional desconeguda en la

resta del món viu. Encara que la cèl·lula procariota no té els orgànuls que caracteritzen als seus equivalents eucariotes, el seu interior és sorprenentment complex. Els procariotes senten el seu medi i responen com a cèl·lules individuals a desafiaments ambientals específics. Els bacteris magnetotàctics són un interessant grup heterogeni de procariotes. La seva ecofisiologia i filogènia els emparenta amb els bacteris que van poder viure en els ambients microòxics de l'Arqueà antic, a la Terra. És possible també que hagin existit a Mart, encara que aquest fet no podrà ser verificat fins d'ací a alguns anys. Els magnetosomes són una font insubstituïble de partícules magnètiques unidomini. La magnetita bacteriana podria tenir múltiples aplicacions biotecnològiques en camps tan diversos com ara nous materials per a enginyeria o biomedicina; encara que, en l'actualitat no s'ha explotat a escala comercial, principalment per la dificultat del cultiu massiu dels bacteris magnetotàctics. El coneixement de com un bacteri magnetotàctic és capaç de controlar el procés de biomineralització podria ser empleat en la síntesi de partícules magnètiques "a mida", amb diferents morfologies cristal·lines i propietats desitjades. Després de 10.000 anys de domesticació de microbis (pa, vi, cervesa), nous microorganismes (per a nosaltres), fins ara impensables, continuen tenint –com deia Pasteur– "le dernier mot".

Enllaços d'interès

- <http://magnum.mpi-bremen.de/magneto/research/index.html>
- <http://www.calpoly.edu/~rfrankel/mtbcalpoly.html>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetotactic_bacteria
- <http://www.nasa.gov/centers/ames/news/releases/2001/01images/magneticbacteria/bacteria.html>

Figura 4

Com va arribar a la Terra el meteorit que podria contenir indicis de vida (bacteris magnetotàctics) a Mart.

○ ALH84001
La roca va viatjar per l'espai i finalment va caure a la Terra

○ L'impacte de l'asteroide va trencar i llançar la roca a l'espai

4.500 Ma, la roca es forma quan es refreden les columnes de lava

3.500 Ma, es depositen molècules orgàniques amb carboni en petites esquerdes de la roca

16 Ma, l'impacte d'un meteorit arrenca la roca de Mart

13.000 anys, la roca cau a la Terra com a meteorit, que és descobert a l'Antàrtida el 1984

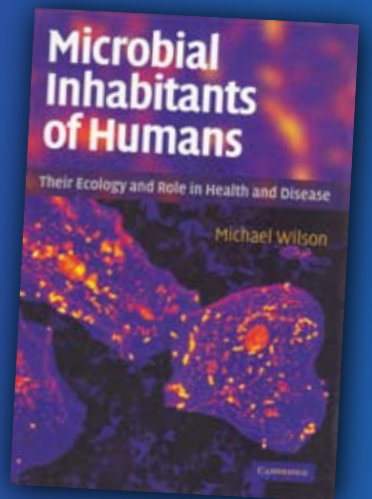
"A book a day, keeps doctor away"

Microbial Inhabitants of Humans

Michael Wilson

2005, Cambridge University Press
New York, USA

476 pàgines



On hi ha vida, trobem microbis. Ja és hora que comencem a conscienciar-nos que els microorganismes són la base del funcionament, tant de la biosfera com del cos humà. La fama dels microbis com agents de malaltia ha provocat que, al llarg de la seva història, en sentir el seu nom ens esgarrifin. Ningú no nega que els microorganismes patògens han representat i representen una amenaça tant per als éssers humans com per a altres formes de vida. *Microbial Inhabitants of Humans* (Microorganismes en el cos humà) proporciona una visió única de les comunitats microbianes que habiten el cos humà, on les interaccions més representatives no són les patògenes sinó les simbiòtiques.

Els primers nou mesos de la nostra existència –dins la mare– és l'únic període de la nostra vida que estem lliures de microorganismes. Des del naixement fins a la mort, i definitivament després d'ella, el nostre cos està colonitzat per molts tipus de virus, bacteris, protists i fongs. Una persona adulta té deu vegades més cèl·lules microbianes (procariotes, com ara els bacteris, o eucariotes, com ara els llevats i altres fongs) que cèl·lules humanes:

el cos humà té 10¹³ cèl·lules eucariotes i 10¹⁴ cèl·lules procariotes. Els procariotes representen aproximadament 1,25 kg del nostre pes total. Som la llar de més de 1.500 tàxons microbians diferents, que no es distribueixen homogeniament per tot el cos, sinó que cadascun ocupa uns hàbitats determinats, com ara la pell, l'intestí, l'aparell respiratori superior, l'aparell genital extern, les vies urinàries, o la conjuntiva. Certs microorganismes mantenen un pacte de permanència (el sistema immunitari tolera la seva presència) sobre determinades superfícies del cos. No obstant això, un mateix microorganisme en zones diferents pot provocar respostes diverses (per exemple, *Escherichia coli*, que és un bacteri comensal molt abundant en l'intestí, si es troba en les vies urinàries pot causar una infecció i malaltia).

Microbial Inhabitants of Humans descriu les interaccions entre els microbis i el nostre cos tot aplicant conceptes d'ecologia microbiana per entendre com els microorganismes colonitzen, sobreviuen i persisteixen sobre i dins nostre, fent-nos possible una vida sana i una alimentació més completa.

Referències

- Bazylinski, D.A. (1999) Synthesis of the bacterial magnetosome: the making of a magnetic personality. *Int. Microbiol.*, 2:71-80
- Guerrero R., Berlanga M. (2000) Bacterias magnetotàcticas, hoy y hace 3800 millones de años. *Actualidad SEM*, 29:1420
- Guerrero R., Berlanga M. (2005) Movimiento procariótico: entre la atracción y la repulsión en los balbuceos de la vida. *Actualidad SEM*, 40:18-26
- Komeili A. (2007) Molecular mechanisms of magnetosome formation. *Annu. Rev. Biochem.*, 76:351-366
- Lang C., Schüler D., Faivre D. (2007) Synthesis of magnetite nanoparticles for bio- and nanotechnology: genetics engineering and biomimetics of bacterial magnetosomes. *Macromol. Biosci.*, 7:144-151
- Schüler D. (2002) The biomineralization of magnetosomes in *Magnetospirillum gryphiswaldense*. *Int. Microbiol.*, 5:209-214