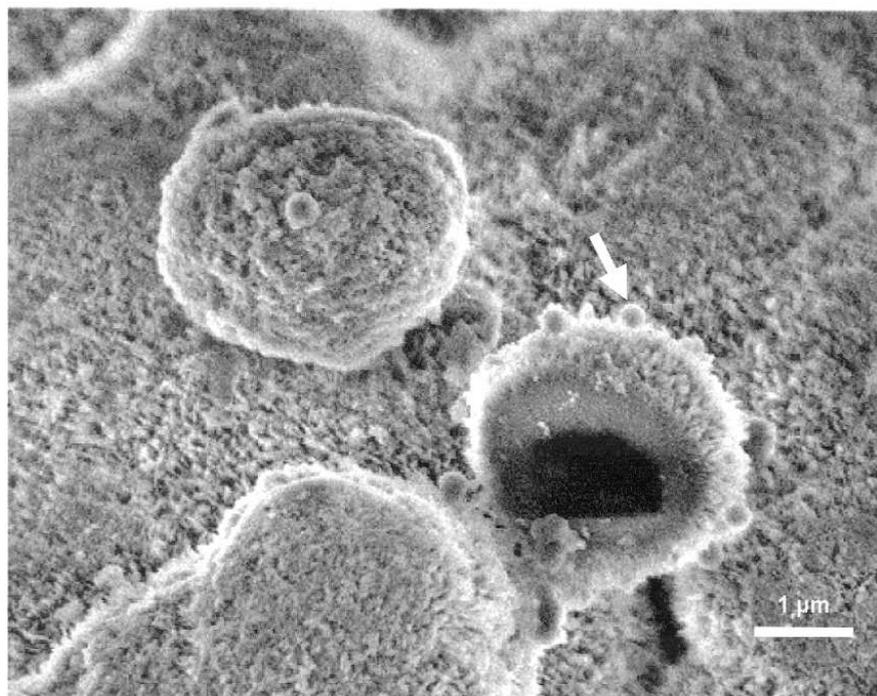


# De nan(n)obacterias y otros *aliens*

ULTRAMICROBACTERIAS, NAN(N)OBACTERIAS, NANOBIOS,  
NANOPARTÍCULAS CALCIFICANTES... PERO ¿DE QUÉ HABLAMOS?

Posiblemente, la denominación de “ultramicrobacterias” fue acuñada en 1981 para designar las formas cocoides, de menos de  $0.3 \mu\text{m}$  de diámetro, que se suelen observar en muestras recientes de agua marina (Torrella y Morita, 1981). Con frecuencia, se aplica esta denominación, por ejemplo, a las formas viables pero no cultivables de *Vibrio* que poseen un volumen menor de  $0.1 \mu\text{m}^3$ . No es inusual la confusión entre “ultramicrobacterias” y “nannobacterias” incluso entre astrobiólogos de la NASA (<http://astrobiology.nasa.gov/ask-an-astrobiologist/question/?id=161>). “Nannobacterias” son, según el geólogo R. Folk (1993) que fue quien propuso el término, formas enanas de bacterias, de entre  $0.05$  y  $0.2 \mu\text{m}$ , que poseen un diámetro y un volumen, respectivamente, de  $1/10$  y  $1/1000$  del de las bacterias ordinarias ([http://naturalscience.com/ns/articles/01-03/ns\\_folk.html](http://naturalscience.com/ns/articles/01-03/ns_folk.html)). Según Folk, las “nannobacterias” son particularmente abundantes en algunas muestras geológicas (calcitas) y podrán desempeñar un papel destacado en la precipitación de los carbonatos (<http://www.msstate.edu/dept/geosciences/nannobacteria/index.htm>). Los “nanobios” son otra historia: sólo han sido descritos una vez por un grupo de geólogos australianos (Uwins *et al.*, 1998) y poco más se sabe de estos “microorganismos” que, cómo no, también se suelen confundir con los otros “entes” (<http://serc.carleton.edu/microbelife/topics/nanobes/index.html>).

**Ernesto García López**  
Departamento de  
Microbiología Molecular  
Centro de Investigaciones  
Biológicas (CSIC), Madrid  
[e.garcia@cib.csic.es](mailto:e.garcia@cib.csic.es)



**Figura 1.** Tres supuestas "nanobacterias gigantes" (sic) formadas después de un mes de incubación en medio mínimo de Dulbecco carente de suero. Los satélites esféricos de unos  $200 \text{ nm}$  de diámetro (flecha) que están unidos a un iglú de HA corresponden, presumiblemente, a NB liberadas de la cavidad materna en la cual han madurado. Reproducido con permiso de Sommer *et al.* (2003). Copyright © 2003 American Chemical Society.



**Ernesto García López** se licenció con Premio Extraordinario en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad de Navarra (1971) y es Doctor por la Universidad Complutense de Madrid (1974). Desde 1972 trabaja en el Centro de Investigaciones Biológicas del CSIC donde, desde 1990, es Profesor de Investigación. Durante los últimos 30 años y en estrecha colaboración, principalmente, con los Drs. Rubens López, Concha Ronda, Pedro García y José Luis García, ha trabajado sobre diversos aspectos de la biología de *Streptococcus pneumoniae*. Más concretamente, ha estudiado las enzimas líticas y otras proteínas de unión a colina, los genes responsables de la biosíntesis capsular y las características moleculares de diversos fagos tanto líticos como atemperados de neumococo. En 1989 recibió el Premio Lorenzo Vilas de la Sociedad Española de Microbiología y, en 1990, coordinó el primer curso de Iniciación a la Investigación en Microbiología. En la actualidad es Presidente del Grupo Especializado de Microbiología Clínica y Vicepresidente de la SEM.



determinaciones de la presencia de NB y anticuerpos anti-NB en suero o plasma humano mediante el kit NB2™ *Nanobacterial Antigen & Antibody Blood Test* ([http://americanhealthassociates.com/web/index.php?option=com\\_content&task=view&id=16&Itemid=41](http://americanhealthassociates.com/web/index.php?option=com_content&task=view&id=16&Itemid=41)). Por el momento al menos, este kit no cuenta con la autorización de la FDA.

## EL PORQUÉ DEL IMPACTO MEDIÁTICO DE LAS NB

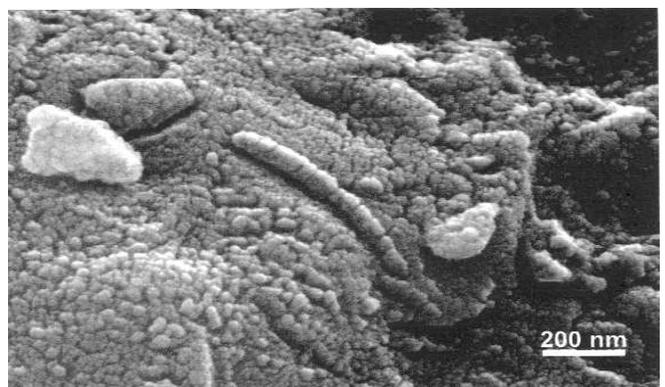
Uno de los sistemas más rápidos para medir el interés social que despierta un tema cualquiera es realizar una búsqueda en Internet. Hace escasamente un par de años, la palabra “nanobacteria” arrojaba un resultado de varios cientos de miles de entradas. ¿Por qué? Sin duda alguna, una de las razones de este interés generalizado tiene que ver con la publicación, en 1996, de un estudio de la NASA sobre la posible existencia de rastros fósiles en el meteorito marciano ALH84001 (McKay et al., 1996). En este trabajo, además de demostrarse la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos y de cristales de magnetita, se apuntaba la posibilidad de que ciertas formas minúsculas de aspecto ovoide y elongado (20 × 100 nm) pudieran corresponder a las “nannobacterias” de Folk. Curiosamente, la foto que se hizo más famosa y que apareció en todos los medios de comunicación (Figura 2) fue publicado en el mismo número de la revista *Science*, no en el artículo original sino en un comentario firmado por R. A. Kerr bajo el atractivo título *Ancient Life on Mars?* (Kerr, 1996). Este autor afirmaba que el posible microfósil segmentado, “recuerda a otros microfósiles terrestres de la

era precámbrica”. Aunque estas observaciones no han podido ser refrendadas (Friedmann et al., 2001), resulta bastante evidente que, con una campaña mediática perfectamente organizada, se ha conseguido obtener financiación suficiente para acometer la exploración del planeta Marte actualmente en curso (<http://mars.jpl.nasa.gov/>; [http://www.esa.int/esaMI/Mars\\_Express/](http://www.esa.int/esaMI/Mars_Express/)). Como era de suponer, la posible existencia de estructuras tipo NB en otros meteoritos no tardó en ser observada y, en este sentido, cabe mencionar los casos de los meteoritos Murchinson y Allende (<http://www.panspermia.org/hover.htm#%20ref>) o Tataouine (Benzerara et al., 2003)

De manera, si se quiere, colateral, pero no cabe duda que relacionada, algunas investigaciones apuntan a una abundante existencia de nanobacterias, no sólo en la estratosfera (Wainwright et al., 2004) sino incluso en buena parte del cosmos (Wickramasinghe y Wickramasinghe, 2006). No menos sorprendentes son las publicaciones del investigador alemán A. P. Sommer quien sugiere que las nanobacterias pueden estar en el mismo origen de la vida sobre la Tierra (Sommer et al., 2003).

Lamentablemente y a pesar de algunas declaraciones posiblemente precipitadas, las “nannobacterias” descritas por Folk y colaboradores nunca pudieron multiplicarse en el laboratorio. Sin embargo, las NB descritas por Kajander y Çiftçioğlu eran, según estos investigadores, capaces de hacerlo. Como consecuencia lógica, los estudios subsiguientes abandonaron toda referencia a “nannobacterias” para fijarse (casi) exclusivamente en las NB. No es por tanto casual que se estableciera el acuerdo de investigación entre Nanobac y la NASA mencionado con anterioridad y que se eligiera a la Dra. Çiftçioğlu como responsable del laboratorio correspondiente.

Pero las NB no sólo “colaboraron” en la promoción de investigaciones sobre el origen de la vida (panspermia incluida, como ya se ha apuntado), sino que las posibles



**Figura 2.** Forma tubular segmentada observada por microscopía electrónica de barrido en el meteorito marciano ALH84001. Se ha sugerido que dicha estructura podría corresponder a un microfósil bacteriano (Kerr, 1996). La imagen ha sido obtenida de la página web de la NASA (<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/marslife.html>).

implicaciones clínicas de las NB, con su cubierta de HA, en procesos en los que una calcificación anormal podría dar origen a multitud de procesos patológicos, fue la causa de un incremento muy notable en las publicaciones sobre NB. A este respecto, el comentario firmado por D. A. Carson titulado *An infectious origin of extraeskeletal calcification* (Carson, 1998), aparecido en el mismo número de la revista PNAS que el trabajo de los investigadores finlandeses, seguramente contribuyó de manera decisiva a promover tales investigaciones. A título anecdótico se puede citar la publicación, en 2004, de todo un superventas sobre la implicación de las NB en todo tipo de calcificaciones patológicas (Mulhall y Hansen, 2004), así como la concomitante apertura de una interesante página web (<http://www.calcify.com>).

## LA CONTROVERSIA ESTÁ SERVIDA

Aparte de acusaciones directas de fraude (<http://www.nature.com/doi/10.1038/43525>), una de las primeras consecuencias de las publicaciones antes mencionadas fue el comienzo de una larga discusión sobre el tamaño mínimo de los microorganismos. Después de no pocas acaloradas discusiones, la NASA solicitó al *National Research Council* de la *National Academy of Sciences* la organización de una reunión de especialistas en el tema ([http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=9638](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=9638)). Entre las conclusiones de dicha reunión se destaca que, con la sola oposición del Dr. Kajander, los especialistas coincidieron en que “el límite inferior para un microorganismo de vida libre, con una biología basada en el DNA, corresponde a un organismo esférico con un diámetro de entre 200 y 250 nm”. A este respecto debe señalarse que las dimensiones de un ribosoma son de, aproximadamente, 25-30 nm de diámetro (<http://www.astrobio.net/news/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=31>).

De entre los varios aspectos conflictivos que tiene el estudio de las NB, uno de los más discutidos es si estas entidades contienen o no ácidos nucleicos. Como dato a favor se ha esgrimido el hecho de que las NB muestran fluorescencia con el colorante de Hoechst 33258, específico de DNA (Kajander y Çiftçioglu, 1998), pero los detractores argumentan que para ello es necesario utilizar una concentración del colorante que es diez veces superior a la recomendada (Cisar *et al.*, 2000). Asimismo se ha publicado que las NB pueden marcarse radiactivamente con [ $^3$ H]Juridina (Miller *et al.*, 2004) pero los datos, a mi juicio, no son convincentes.

Es notable que, recientemente, Kajander parezca haber admitido que las NB carecen de ácidos nucleicos y establezca un paralelismo entre NB y priones (Kajander, 2006); como ya se señaló anteriormente, no parece casual que el mismo autor haya sugerido, como alternativa al nombre de “nanobacterias”, la denominación de “nanopartículas calcificantes” (CNP). En cualquier caso, Kajander reconoce explícitamente que las CNP no forman parte ni de las eubacterias ni de las arqueas, pero insiste en que “es un hecho que las CNP causan o, al menos partici-

pan en, enfermedades habituales de la humanidad”. Así pues, la discusión sobre si las NB (o CNP) causan enfermedades en humanos relacionadas con una calcificación anormal no parece haber terminado (véase más adelante). Aunque, como ya se ha señalado anteriormente, existen multitud de trabajos en los que se asegura que las CNP están implicadas en un gran variedad de diversas dolencias, posiblemente el mayor número se refiere a la implicación de las CNP en la formación de cálculos renales (para una revisión reciente, véase Wood y Shoskes, 2006). Curiosamente, se ha descrito que las NB se multiplican más rápidamente en condiciones de microgravedad (Çiftçioglu *et al.*, 2005) lo que podría suponer un peligro potencial para los astronautas. De hecho, un estudio muy reciente refiere el caso de un astronauta afectado de urolitiasis en uno de cuyos cálculos se pudo demostrar, mediante análisis microscópicos e inmunológicos (incluyendo el marcaje con anticuerpos monoclonales “específicos”) la presencia de partículas con las características de las CNP (Jones *et al.*, 2008). La perplejidad indicada por las comillas tiene que ver con la información suministrada en la página web de Nanobac Oy (<http://www.nanobac.fi/esitys/sldoo8.htm>) en la que se informa de la existencia de reacciones cruzadas entre NB y anticuerpos anti-lipopolisacárido de clamidias así como entre NB y suero hiperinmune anti-*Bartonella*, observaciones ya mencionadas previamente por alguno de los mismos autores (Hjelle *et al.*, 2000).

Un repaso pormenorizado de toda la bibliografía en la que se informa de las (posibles) implicaciones patogénicas de las NB se sale obviamente de los márgenes de este trabajo. Sin embargo, el lector interesado puede consultar, a este respecto, la reciente revisión de Urbano y Urbano (2007). No obstante, merece citarse por su resonancia mediática la reciente publicación de un grupo de investigadores de la Clínica Mayo quienes, junto al geólogo R. Folk, describieron partículas semejantes a NB que pudieron cultivarse a partir de tejido cardiovascular calcificado obtenido de pacientes (Miller *et al.*, 2004). Resultados comparables han sido publicados recientemente por, al menos, dos grupos diferentes, uno de ellos español (Bratos-Pérez *et al.*, 2008; Jelic *et al.*, 2007).

A la vista de resultados como los aquí comentados y de la notable resistencia de las CNP a los antibióticos (Çiftçioglu *et al.*, 2002), cabría preguntarse si se ha propuesto algún tratamiento específico para las patologías causadas (presuntamente) por dichas entidades y la respuesta a esta cuestión es afirmativa. El tratamiento, comercializado por Nanobac, consta fundamentalmente de un suplemento oral que contiene, entre otros componentes, varias vitaminas, algunos aminoácidos y proteasas, además de EDTA. El tratamiento, patentado en 2007, se complementa con una dosis de 500 mg/día de tetraciclina y supositorios de EDTA (<http://www.vivagen.net/gallery/Patient-Brochure-NanobacSciences.pdf>). Entre los usos de dicha patente se cita su utilidad en el tratamiento de más de un centenar de enfermedades caracterizadas por la formación de calcificaciones, de placas o ambas (mencionándose explícitamente la enfermedad de Alzheimer, la esclerosis múltiple,

o la diabetes tipo 1, así como varios tipos de cáncer), además de las calcificaciones patológicas causadas por las CNB.

## PERO, FINALMENTE, ¿VIVEN O NO?

Además de la cuestión de si, efectivamente, las CNP causan enfermedades o, al menos, cooperan de alguna manera a causarlas, está la pregunta de si estas entidades son capaces de multiplicarse, como afirman los defensores de su existencia o, por el contrario, la capacidad de multiplicación está basada en algún tipo de artefacto experimental. Cisar y cols. (2000) fueron capaces de reproducir la biomineralización en sucesivos pases de sus “cultivos” pero proporcionaron evidencias directas de que este proceso, atribuido a las NB, podía ser iniciado por macromoléculas “no vivas” (como ciertos fosfolípidos) y transferidas en “subcultivo” en medio fresco por las especiales características del apatito microcristalino que actuaría como nucleador de dicha biomineralización. Por otra parte, un estudio muy reciente ha puesto de manifiesto que se pueden “fabricar” partículas muy semejantes a las NB (*nanobacteria-like particles*; NLP) preparando *in vitro* precipitados de  $\text{CaCO}_3$  en presencia de suero humano (Martel y Young, 2008). Hay que hacer notar que, utilizando anticuerpos monoclonales comerciales anti-NB, se pudo observar que reaccionaban contra la seroalbúmina. La cuestión de si las NB están o no realmente vivas ha sido también objeto de un reciente y amplio estudio por parte de investigadores franceses que han observado la formación de complejos entre minerales y la proteína fetuina-A, que poseen capacidad de autopropagación y para los que se ha sugerido la denominación inglesa de “nanons” (Raoult *et al.*, 2008), que me resisto a traducir. Estas entidades han sido sometidas a una minuciosa caracterización: contienen HA pero no poseen ácidos nucleicos, se destruyen mediante tratamiento con tripsina, EDTA o a pH 5 y no parecen afectarse significativamente por los antibióticos. Además, los nanons tienen propiedades antigénicas, como ya se había notificado para las CNB (Ciftcioglu *et al.*, 2007) y producen un efecto deletéreo sobre cultivos de células eucarióticas. Es de particular interés el hecho de que los nanons lleven proteínas asociadas, fetuina-A ( $M_r$  45000, aunque migrando con una masa molecular aparente de unos 65 kDa, posiblemente por efectos de la glicosilación) y apolipoproteína-A1 (aprox. 30 kDa). Por otra parte, sueros anti-nanons y anti-fetuina humana dieron una reacción positiva con extractos solubles obtenidos de cálculos renales humanos.

## CONCLUSIONES ¿PROVISIONALES?

Después de lo expuesto hasta aquí, parece fuera de toda duda razonable que las NB -o cualquiera que sea la denominación utilizada- ni son microorganismos ni constituyen una nueva forma de vida, contrariamente a lo que algunos investigadores habían sugerido (Rawal y

Pretorius, 2005). Sin embargo, sí parece confirmarse la capacidad de autopropagación de unas partículas minerales de HA o  $\text{CaCO}_3$  con proteínas asociadas. A este respecto, resulta de interés consultar un artículo reciente donde se estudia al microscopio óptico la autopropagación de las CNP (Mathew *et al.*, 2008). Es notable y contradictorio, sin embargo, que tanto la albúmina como la fetuina-A, posean una reconocida capacidad inhibitoria de la calcificación (Heiss *et al.*, 2008). Esta propiedad es fundamental para evitar una calcificación ectópica ya que los fluidos extracelulares de los vertebrados están supersaturados con respecto al calcio y al fosfato y, de una manera singular, el epitelio renal y la zona de remodelación ósea. La fetuina-A forma coloides estables proteico-minerales que reciben el nombre de “partículas de calciproteína” (*calciprotein particles*; CPP). En contraste con estos datos, la propagación *in vitro* de los nanons sugiere que la fetuina-A promueve la nucleación de HA. Se ha sugerido que se puede producir un cambio conformacional de la proteína, equivalente al observado en los priones, que condicione la formación de agregados insolubles de HA-proteína (Raoult *et al.*, 2008). Por consiguiente, parece necesario continuar estudiando los mecanismos por los cuales la fetuina-A es capaz de promover la mineralización.

¿Y qué decir de la capacidad patogénica de los nanons y otras entidades similares? Como era de esperar, no existe unanimidad a este respecto. Mientras uno de los investigadores que han descrito recientemente las NLP (Young) cree que las NB pueden causar enfermedades, otros como Cisar opinan que estas entidades son probablemente benignas (Hopkin, 2008). En cualquier caso, se puede sacar la conclusión, siquiera provisional, de que existen datos suficientes como para justificar futuros estudios sobre el potencial patogénico de estos, sin duda, curiosos *aliens*.

## ADENDA EN PRUEBAS

Pocos días después de concluir la elaboración de este artículo (15 de septiembre 2008), los enlaces relacionados con la empresa Nanobac Oy (Finlandia) han sido desactivados. Lamentamos las molestias que ello pueda suponer a los lectores. Los mantenemos en el texto por si en algún momento volvieran a ser funcionales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Benzerara K, Menguy N, Guyot F, Dominici C y Gillet P. 2003. Nanobacteria-like calcite single crystals at the surface of the Tataouine meteorite. *Proc Natl Acad Sci USA* **100**: 7438-7442.
- Bratos-Pérez MA, Sánchez PL, García de Cruz S, Villacorta E, Palacios IF, Fernández-Fernández JM, Di Stefano S, Orduña-Domingo A, Carrascal Y *et al.* 2008. Association between self-replicating calcifying nanoparticles and aortic stenosis: a possible link to valve calcification. *Eur Heart J* **29**: 371-376.
- Carson DA. 1998. An infectious origin of extraskelatal calcification. *Proc Natl Acad Sci USA* **95**: 7846-7847.
- Ciftcioglu N, Aho KM, McKay DS y Kajander EO. 2007. Are apatite nanoparticles safe? *Lancet* **369**: 2078.

- Çiftçioglu N y Kajander EO. 1998. Interaction of nanobacteria with cultured mammalian cells. *Pathophysiology* **4**: 259-270.
- Çiftçioglu N, Haddad RS, Golden DC, Morrison DR y McKay DS. 2005. A potential cause for kidney stone formation during space flights: enhanced growth of nanobacteria in micro-gravity. *Kidney Int* **67**: 483-491.
- Çiftçioglu N, Miller-Hjelle MA, Hjelle JT y Kajander EO. 2002. Inhibition of nanobacteria by antimicrobial drugs as measured by a modified microdilution method. *Antimicrob Agents Chemother* **46**: 2077-2086.
- Cisar JO, Xu DQ, Thompson J, Swaim W, Hu L y Kopecko DJ. 2000. An alternative interpretation of nanobacteria-induced biomineralization. *Proc Natl Acad Sci USA* **97**: 11511-11515.
- Folk RL. 1993. SEM imaging of bacteria and nanobacteria in carbonate sediments and rocks. *J Sediment Petrol* **63**: 990-999.
- Friedmann EI, Wierzchos J, Ascaso C y Winklhofer M. 2001. Chains of magnetite crystals in the meteorite ALH84001: Evidence of biological origin. *Proc Natl Acad Sci USA* **98**: 2176-2181.
- Heiss A, Eckert T, Aretz A, Richtering W, van Dorp W, Schafer C y Jahnen-Dechent W. 2008. Hierarchical role of fetuin-A and acidic serum proteins in the formation and stabilization of calcium phosphate particles. *J Biol Chem* **283**: 14815-14825.
- Hjelle JT, Miller-Hjelle MA, Poxton IR, Kajander EO, Ciftcioglu N, Jones ML, Caughey RC, Brown R, Millikin, PD et al. 2000. Endotoxin and nanobacteria in polycystic kidney disease. *Kidney Int* **57**: 2360-2374.
- Hopkin M. 2008. Nanobacteria theory takes a hit. *Nature* doi:10.1038/news.2008.1762
- Jelic TM, Chang HH, Roque R, Malas AM, Warren SG y Sommer AP. 2007. Nanobacteria-associated calcific aortic valve stenosis. *J Heart Valve Dis* **16**: 101-105.
- Jones JA, Ciftcioglu N, Schmid JF, Barr YR y Griffith D. 2008. Calcifying nanoparticles (nanobacteria): an additional potential factor for urolithiasis in space flight crews. *Urology* doi:10.1016/j.urology.2008.1001.1033.
- Kajander EO y Çiftçioglu N. 1998. Nanobacteria: An alternative mechanism for pathogenic intra- and extracellular calcification and stone formation. *Proc Natl Acad Sci USA* **95**: 8274-8279.
- Kajander EO, Ciftcioglu N, Aho K y Garcia-Cuerpo E. 2003. Characteristics of nanobacteria and their possible role in stone formation. *Urol Res* **31**: 47-54.
- Kajander EO. 2006. Nanobacteria - propagating calcifying nanoparticles. *Lett Appl Microbiol* **42**: 549-552.
- Kerr RA. 1996. Ancient life on Mars? *Science* **273**: 864-866.
- Martel J. y Young JD-E. 2008. Purported nanobacteria in human blood as calcium carbonate nanoparticles. *Proc Natl Acad Sci USA* **105**: 5549-5554.
- Mathew G, McKay DS y Çiftçioglu N. 2008. Do blood-borne calcifying nanoparticles self-propagate? *Int J Nanomedicine* **3**: 265-275.
- McKay DS, Gibson EK Jr, Thomas-Keprta KL, Vali H, Romanek CS, Clemett SJ, Chhillier XD, Maechling CR y Zare RN. 1996. Search for past life on Mars: possible relic biogenic activity in martian meteorite ALH84001. *Science* **273**: 924-930.
- Miller VM, Rodgers G, Charlesworth JA, Kirkland B, Severson SR, Rasmussen TE, Yagubyan M, Rodgers JC, Cockerill FRI et al. 2004. Evidence of nanobacterial-like structures in calcified human arteries and cardiac valves. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* **287**: H1115-H1124.
- Mulhall D y Hansen K. 2004. *The calcium bomb: the nanobacteria link to heart disease & cancer*: Writers Collective.
- Raoult D, Drancourt M, Azza S, Nappes C, Guieu R, Rolain J-M, Fourquet P, Campagna B, La Scola B et al. 2008. Nanobacteria are mineralo fetuin complexes. *PLoS Pathogens* **4**: e41.
- Rawal BD y Pretorius AM. 2005. "Nanobacterium sanguineum" - Is it a new life-form in search of human ailment or commensal: Overview of its transmissibility and chemical means of intervention. *Med Hypoth* **65**: 1062-1066.
- Sommer AP, McKay DS, Ciftcioglu N, Oron U, Mester A R y Kajander EO. 2003. Living nanovesicles-Chemical and physical survival strategies of primordial biosystems. *J Proteome Res* **2**: 441-443.
- Torrella F y Morita RY. 1981. Microcultural study of bacterial size changes and microcolony and ultra-microcolony formation by heterotrophic bacteria in seawater. *Appl Environ Microbiol* **41**: 518-527.
- Urbano P y Urbano F. 2007. Nanobacteria: facts or fancies? *PLoS Pathog* **3**: e55.
- Uwins PJR, Webb RI y Taylor AP. 1998. Novel nano-organisms from Australian sandstones. *Am Mineral* **83**: 1541-1550.
- Wainwright M, Wickramasinghe NC, Narlikar JV y Rajaratnam P. 2004. Are these stratospheric nanoparticles bacteria? *Microbiology* **150**: 756-758.
- Wickramasinghe JT y Wickramasinghe NC. 2006. A cosmic prevalence of nanobacteria? *Astrophys Space Sci* **305**: 411-413.
- Wood HM y Shoskes DA. 2006. The role of nanobacteria in urologic disease. *World J Urol* **24**: 51-54.