
2

Antigüedad de la vida terrestre

La vida es un fenómeno muy antiguo en nuestro planeta. Tal como se mencionó en el capítulo anterior, la Tierra se formó hace 4.550 millones de años y, como veremos a continuación, hay vestigios de la existencia de una vida microbiana muy extendida unos 1.000 millones de años después. Antes de presentar los datos actuales sobre las huellas más antiguas de vida, conviene revisar lo que sabemos sobre el ambiente de la Tierra primitiva.

Planetas internos: nacidos iguales, destinos diferentes

Se ha discutido mucho sobre la combinación entre el tamaño de un planeta y su distancia al Sol como determinantes de las condiciones físicas que han hecho, por ejemplo, que la Tierra fuese un planeta capaz de albergar la vida, tal y como la conocemos, muy poco después de su formación y durante tan prolongado periodo de tiempo. En particular, que haya mantenido las condiciones que posibilitan el *sine qua non* de la vida: el agua líquida. Los planetas internos o terrestres –Mercurio, Venus, la Tierra y Marte- compartieron unas condiciones iniciales muy similares, pero después han seguido desarrollos muy divergentes. Las condiciones actuales son producto de la evolución a partir de unas atmósferas secundarias, derivadas de la actividad de los propios planetas. Inicialmente, las atmósferas primarias, reductoras como las de los planetas exteriores o jovianos –Júpiter, Saturno y Urano- se derivaron de la nébula solar y habrían sido eliminadas durante la evolución posterior de Sol. En su juventud, el Sol pasó por una fase de gran actividad que duró un millón de

años y que barrió por completo dichas atmósferas primarias. Este fenómeno no afectó a los planetas exteriores. Diferentes procesos fisicoquímicos simultáneos o posteriores a la propia formación de los planetas interiores, como el calentamiento por la radiactividad interna, las emanaciones volcánicas o la fotodisociación del agua, fueron los factores decisivos en la formación de las atmósferas secundarias, ricas en dióxido de carbono y nitrógeno y que contenían gases reducidos en una proporción mucho menor.

¿Cómo son las atmósferas de los planetas interiores ahora? Mercurio, como la Luna, carece actualmente de atmósfera. Venus entró en un efecto invernadero irreversible con una espesa atmósfera de dióxido de carbono, nitrógeno y ácido sulfúrico, una presión 90 veces superior a la nuestra y una temperatura media de unos 480 °C. Marte, por el contrario tiene una atmósfera tenue de dióxido de carbono y nitrógeno, una presión de 0,007 bar y -55 °C de temperatura. En medio, la Tierra con una atmósfera sobre todo de nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono, y 16 °C de temperatura media. Los componentes más abundantes de la atmósfera terrestre están controlados actualmente por procesos biológicos, mientras que las atmósferas de Venus y Marte están estrictamente controladas por factores abióticos. Otros gases presentes en la atmósfera de la Tierra en proporciones mucho menores –como el metano, el amoníaco o el sulfuro de hidrógeno- también tienen un origen biológico.

La hostilidad del Venus actual para albergar vida es evidente. Desde los años sesenta, las diferentes misiones soviéticas –Venera- y norteamericanas –Mariner II y Pioneer- han aportado datos sobre la superficie del planeta y nos permiten imaginar que en el pasado existieran lagos extensos de agua y un clima más benigno. Posiblemente durante unos pocos centenares de millones de años mantuvo las condiciones para que se dieran los primeros pasos hacia la vida. La proximidad del Sol evaporó toda el agua y la radiación la deshizo en oxígeno e hidrógeno. El primero descompuso las rocas y el segundo escapó al espacio interplanetario. La ausencia de agua impidió que se cerrase el ciclo del dióxido de carbono.

El aumento de temperatura producido por las concentraciones crecientes de este gas de invernadero hizo que las rocas perdieran todo el dióxido de carbono almacenado y se entrara en un efecto invernadero desabocado. La combinación de los gases de azufre atmosférico con el vapor de agua produjo las nubes de ácido sulfúrico. El fabuloso aumento de la temperatura no sólo haría inviable la existencia de una evolución biológica sino que habría borrado completamente cualquier vestigio suyo.

Quizás el estudio de Venus nos permita profundizar en el conocimiento de los límites físicos de la habitabilidad.

Las exploraciones de las misiones Viking nos demostraron que Marte es un desierto seco y frío. Aunque los resultados de los experimentos fueron un tanto ambiguos, la falta de agua líquida sobre Marte permite concluir que hoy en día no existe vida. Sin embargo, también hay datos que indican que en el pasado Marte era un sitio diferente y que las condiciones podrían haber sido, como en la Tierra, favorables a la aparición de la vida. Numerosos canales dendriformes, parecidos a los sistemas de drenaje del agua terrestre, son testimonio de la acción erosiva del agua sobre la superficie marciana. Es casi seguro que hubo ambientes acuáticos en el Marte primitivo. Aunque actualmente es un planeta con una actividad geológica y volcánica nula no fue así poco después de su formación. Una característica más que lo acerca a las condiciones de la Tierra primitiva. Dicha similitud no duraría más que unos centenares de millones de años, quizás 1 Ga. La falta de reciclaje del dióxido de carbono sería la causa fundamental para el enfriamiento del planeta y la desaparición de la vida marciana, en el caso que hubiese aparecido. La acumulación del dióxido de carbono atmosférico en carbonatos fue resultado del pequeño tamaño de Marte y, por tanto, de su baja energía interna y el consiguiente rápido declive de su actividad geológica, que lo hicieron incapaz de reciclar los constituyentes atmosféricos. La disminución del dióxido de carbono produjo el descenso de la temperatura y la congelación del agua. Como en nuestra Antártida, es posible que bajo sus aguas permanentemente congeladas existan microorganismos... o sus restos fósiles. Aunque lo más probable es que actualmente no haya vida en Marte, quizás se esconda allí el registro más interesante e intacto de los procesos que dieron lugar a la vida.

En la estabilidad del clima de nuestro planeta ha desempeñado un papel crucial el hecho de que posea un satélite. Se ha demostrado que el eje de giro de la Tierra no se mueve caóticamente, como lo hace el de Marte, sino que es muy estable gracias a la acción de la Luna. Un ejemplo más de la contingencia histórica pues si la Luna no se hubiese formado, quizás, después de un fabuloso impacto hace 4,5 Ga de un objeto del tamaño de Marte contra el precursor del planeta, las condiciones climáticas hubiesen sido muy cambiantes y los ciclos estacionales se sucederían caóticamente y de forma muy diversa en las diferentes partes de la Tierra. Todo esto sin duda habría afectado a la fisonomía de la vida, caso de haber aparecido.

Huellas de los primeros pasos de la vida terrestre

El mismo Darwin en su libro sobre el origen de las especies reconoce su incapacidad para explicar satisfactoriamente la ausencia de restos paleontológicos en estratos más allá del Cámbrico. Casi cien años después nacía la micropaleontología prefanerozoica con los trabajos pioneros de E. S. Barghoorn, de la Universidad de Harvard, que en 1954 describía microfósiles de 2,0 Ga de edad hallados en Gunflint (Canadá). El límite de antigüedad está ahora en 3.500 millones de años, desde que en 1993 J. W. Schoopf, de la Universidad de California en Los Angeles, describiera formas atribuidas a células fósiles en los sílex de Apex (grupo Warrawoona, Australia Occidental). La figura 2 presenta un ejemplo de los microfósiles carbonáceos estudiados por Schoopf acompañados de unos dibujos interpretativos. Los microfósiles descritos se han comparado con cianobacterias actuales y, por tanto, poseerían pared celular, llevarían a cabo la fotosíntesis y formarían tapetes colaborando ecológicamente con otros microorganismos. Toda una complejidad metabólica y ecológica.

Otra fuente de información importante para establecer la antigüedad de la vida la constituyen los estromatolitos. Se trata de estructuras calcáreas, dolomíticas o silíceas, que muestran una extraordinaria semejanza con los tapetes microbianos y estromatolitos actuales, como los que se encuentran en Australia o el Delta del Ebro. Por ello resulta muy sugerente establecer que los estromatolitos fósiles son el resultado de la acción biológica y sedimentaria de comunidades microbianas. Su estructura laminar reflejaría el carácter rítmico de la deposición de materiales durante los ciclos luz-oscuridad o estacionales. Microscópicamente suelen contener una rica variedad de formas similares a células. Los más antiguos que se han descrito también pertenecen al grupo Warrawoona, Australia, y tienen 3,5 Ga de edad.

El análisis de la composición isotópica de las rocas también puede facilitar una información valiosa. Se sabe que los procesos enzimáticos responsables de la transformación de la materia inorgánica en materia orgánica no usan indistintamente los diferentes isótopos naturales. Por ejemplo, los procesos de fijación biológica de dióxido de carbono discriminan los dos isótopos estables más abundantes del C en la naturaleza: ^{12}C y ^{13}C . Los enzimas trabajan mejor con el isótopo más ligero, por lo que la materia orgánica que resulta está enriquecida en ^{12}C y empobrecida en ^{13}C . Esta diferencia, $\delta^{13}\text{C}$, aunque muy pequeña- se mide en tanto por mil de desviación respecto a un estándar- es cuantificable con precisión.

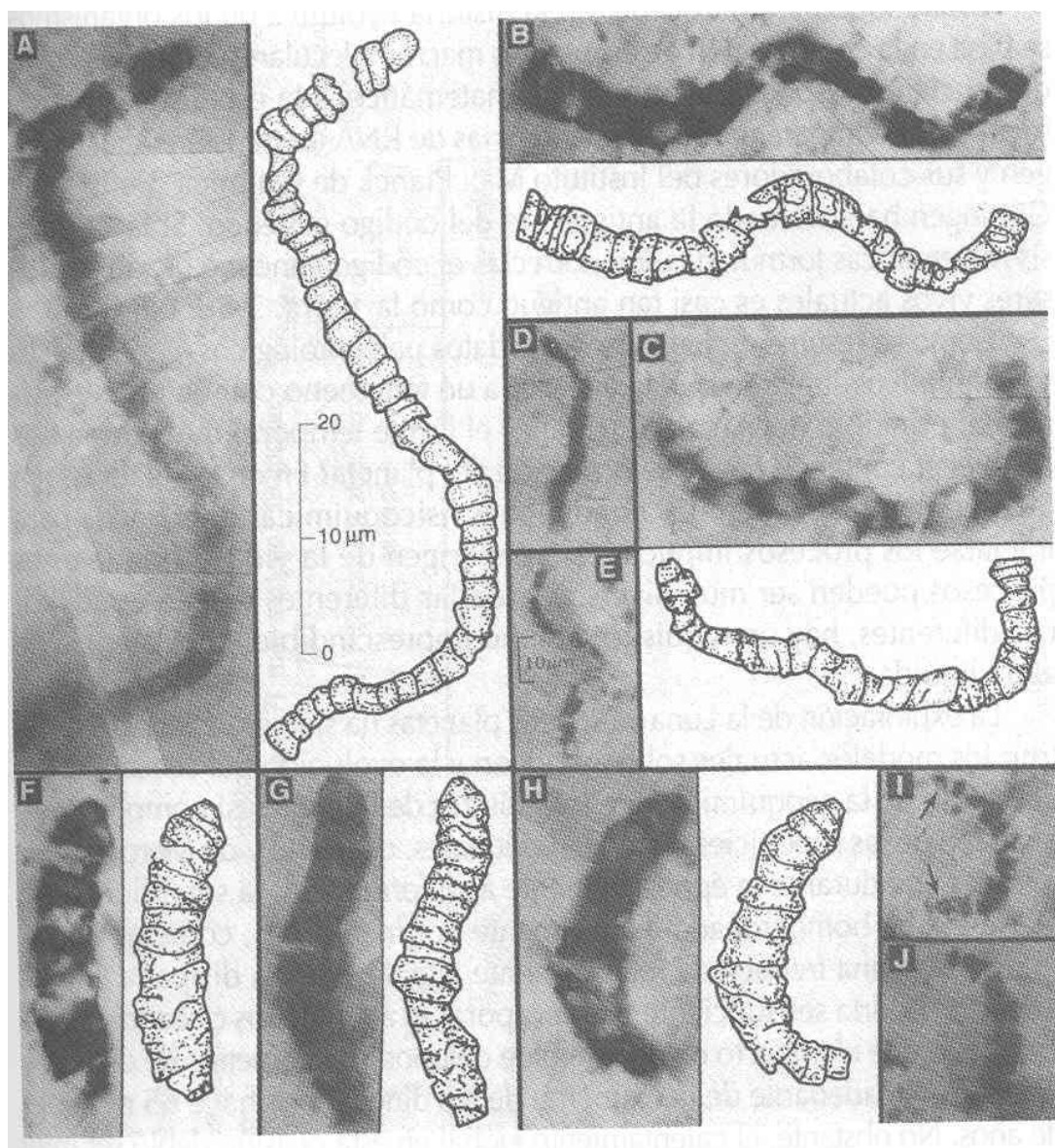


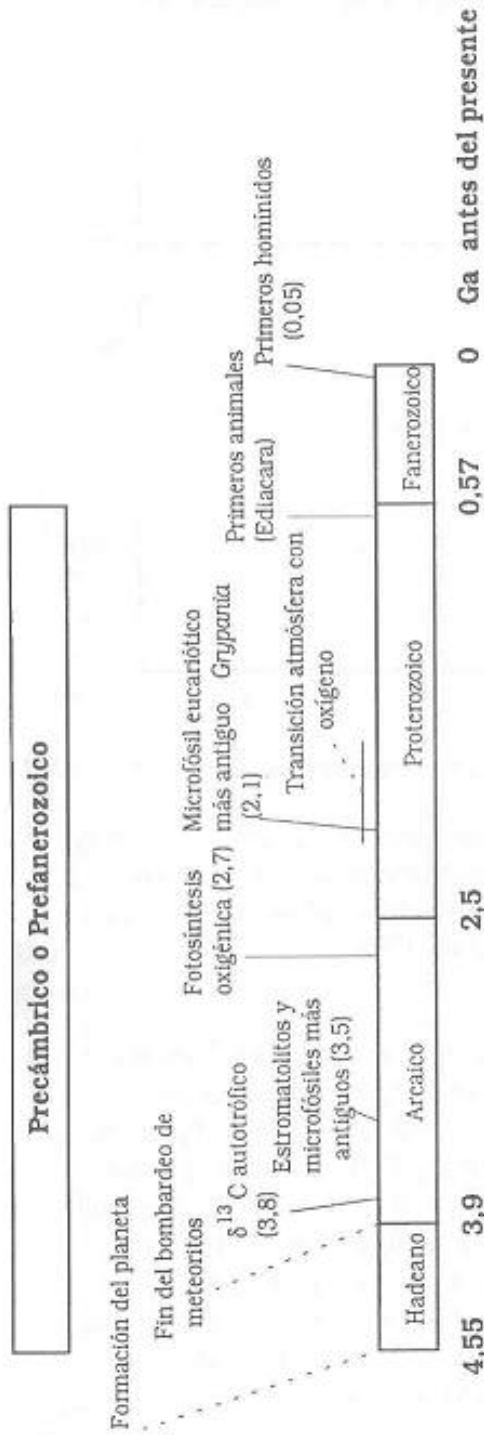
Figura 2. Microfósiles acompañados de dibujos interpretativos, en secciones finas de sílex Apex del Arcaico Inferior (Australia Occidental). La escala mostrada en (E) sirve también para (D, I y J). La escala en (A) sirve para el resto de micrografías y dibujos. De (A) a (E): *Primaevifilum amoenum* Schopf 1992. De (F) a (J): *P. Conicoterminatum* Schopf 1992. Tomado de Schopf (1993).

Basándose en estas observaciones, M. Schidlowski del Instituto Max Planck de Química de Mainz defiende que en la roca sedimentaria más antigua que se conoce (Isua, Groenlandia, 3,8 Ga) se detecta un $\delta^{13}\text{C}$ compatible con procesos biológicos de fijación de dióxido de carbono. Sin embargo, las microestructuras detectadas en la roca de Isua no se consideran de origen biológico.

Un método para retroceder en la historia evolutiva de los organismos se basa en la comparación de estructuras macromoleculares, proteínas o ácidos nucleicos. Aplicando un modelo matemático –la estadística geométrica- a la comparación de las secuencias de RNA de transferencia, M. Eigen y sus colaboradores del Instituto Max Planck de Química Biofísica en Göttingen han evaluado la antigüedad del código genético. Si las hipótesis matemáticas formuladas son correctas el código genético usado por los seres vivos actuales es casi tan antiguo como la Tierra: $3,8 \pm 0,6$ Ga.

Como se resume en la figura 3, los datos paleontológicos, geoquímicos y bioquímicos sugieren que la vida sería un fenómeno común en este planeta al principio del Arcaico. ¿Cuál es el límite temporal que podríamos establecer contando desde la formación del planeta? En otras palabras ¿en qué momento se darían las condiciones fisicoquímicas adecuadas para iniciarse los procesos implicados en el origen de la vida? Aunque estos procesos pueden ser muy diversos y teorías diferentes exigen condiciones diferentes, hay un requisito mínimo imprescindible: la existencia de agua líquida.

La exploración de la Luna y de otros planetas ha sido esencial para construir los modelos actuales sobre el origen y la evolución del sistema solar. El estudio de la geoquímica y de los cráteres de la Luna, así como la comparación de las superficies craterizadas lunares, de Marte y de Mercurio nos informa que durante la época siguiente a su formación, la superficie de la Tierra estaba bombardeada intensamente por meteoritos, cometas y asteroides. Con una frecuencia relativamente alta, la energía disipada por los impactos podría ser suficiente para evaporar el agua de los océanos. Se ha propuesto que el impacto de un asteroide de unos 10 kilómetros de diámetro fue el desencadenante de la extinción de los dinosaurios hace 65 millones de años. No obstante, el calentamiento global en esta ocasión debió ser muy leve. Ahora bien, el choque de un objeto de 60 kilómetros de diámetro liberaría suficiente energía para hacer hervir todos los océanos del planeta. Cualquier proceso relacionado con el origen de la vida se vería entonces frustrado. Los modelos en boga permiten calcular que el último gran impacto de estas características que sufrió la



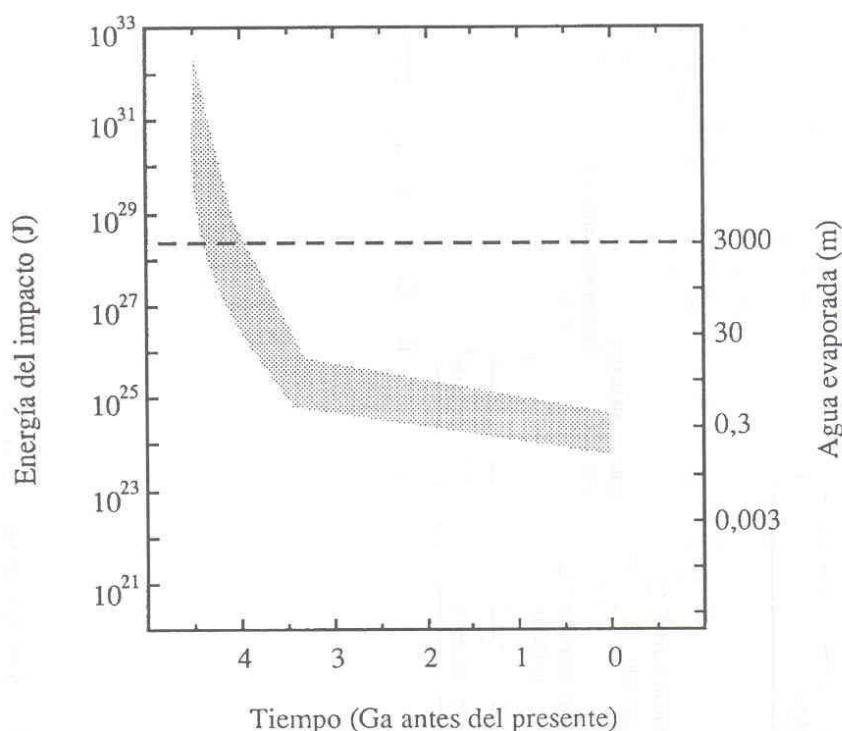


Figura 4. La energía liberada por los impactos sufridos por la Tierra y la Luna ha disminuido con el tiempo. Se representa también la profundidad de los océanos evaporados. La línea discontinua corresponde a un impacto capaz de evaporar todos los océanos. Adaptado de Sep *et al.* (1989).

Tierra fue hace 4 Ga y que el bombardeo declinó muy rápidamente hasta alcanzar el nivel actual, afortunadamente bajo, hace 3,5 Ga (véase la figura 4). Por otra parte, los datos geológicos indican que en los últimos cuatro mil millones de años el planeta ha mantenido una temperatura media entre 0 y 58 °C. Es decir, que tras el último gran impacto que provocó la ebullición de todos los océanos, en la Tierra siempre hubo agua líquida. Los datos compatibles con los fenómenos biológicos más antiguos –hace 3,8 a 3,5 Ga- y la posibilidad de la existencia de agua líquida –desde hace unos 4 Ga- son casi solapantes en el tiempo. Así pues, tendremos que aceptar que la transición de la materia inerte a las comunidades bacterianas de Warrawoona ocurrió en menos de 500 millones de años.

¿Más tiempo para los orígenes?

A algunos este periodo de tiempo les puede parecer suficiente y a otros, sin embargo, fastidiosamente corto. Esta última opinión ha llevado a propuestas radicales del estilo de la de F. Crick, del Instituto Salk de San Diego, con su *panspermia dirigida*. En pocas palabras, la vida no se habría originado en este planeta sino que habría sido transportada por naves espaciales diseñadas por una civilización superior, procedentes de otros rincones del universo donde las condiciones físicas y el tiempo hubieran sido más favorables para el inicio de la vida.

Sin embargo, para aquellos que todavía confían en encontrar respuestas científicas al origen terrestre de la vida, pero les parece muy temprano un origen anterior a 3,8 Ga antes del presente, existe la posibilidad de encontrar explicaciones alternativas a los vestigios más antiguos anteriormente mencionados. En otras palabras, ¿se puede explicar el origen de los estromatolitos, de las desviaciones isotópicas, e incluso de los microfósiles mediante procesos puramente inorgánicos? La respuesta es afirmativa. El problema fundamental es el establecimiento de unos criterios sólidos que permitan discernir, con el mínimo margen de error posible, aquellos vestigios de vida auténticos de los que no lo son.

El caso de los microfósiles es especialmente interesante ya que constituyen para la mayoría de los científicos las pruebas más fiables de la existencia de vida. J. M. García-Ruíz, del Instituto Andaluz de Geología Mediterránea (CSIC-Universidad de Granada), dispone de recetas para «sintetizar» prácticamente todas las morfologías que habitualmente se toman como microfósiles prefanerozoicos. Es decir, mediante procedimientos químicos se produce el crecimiento cristalino con simetrías que tradicionalmente se ha pensado que eran patrimonio exclusivo de la materia viva: hélices, esferas separadas o como en división, a veces con extensiones a la manera de pseudópodos, agrupaciones diversas como rosarios y mórulas, etc. La figura 5 muestra algunos ejemplos. Lo más llamativo de todo esto es que las condiciones utilizadas para obtener dichas morfologías son idénticas a las que prevalecieron durante la formación geológica del sílex, material donde se ha encontrado la mayoría de los microfósiles prefanerozoicos.

Los experimentos de García-Ruíz nos muestran que no hay una *morfología biológica* totalmente diferenciada y separada de una *morfología mineral*. A pesar de la pulcritud y exquisitez con que se han realizado los

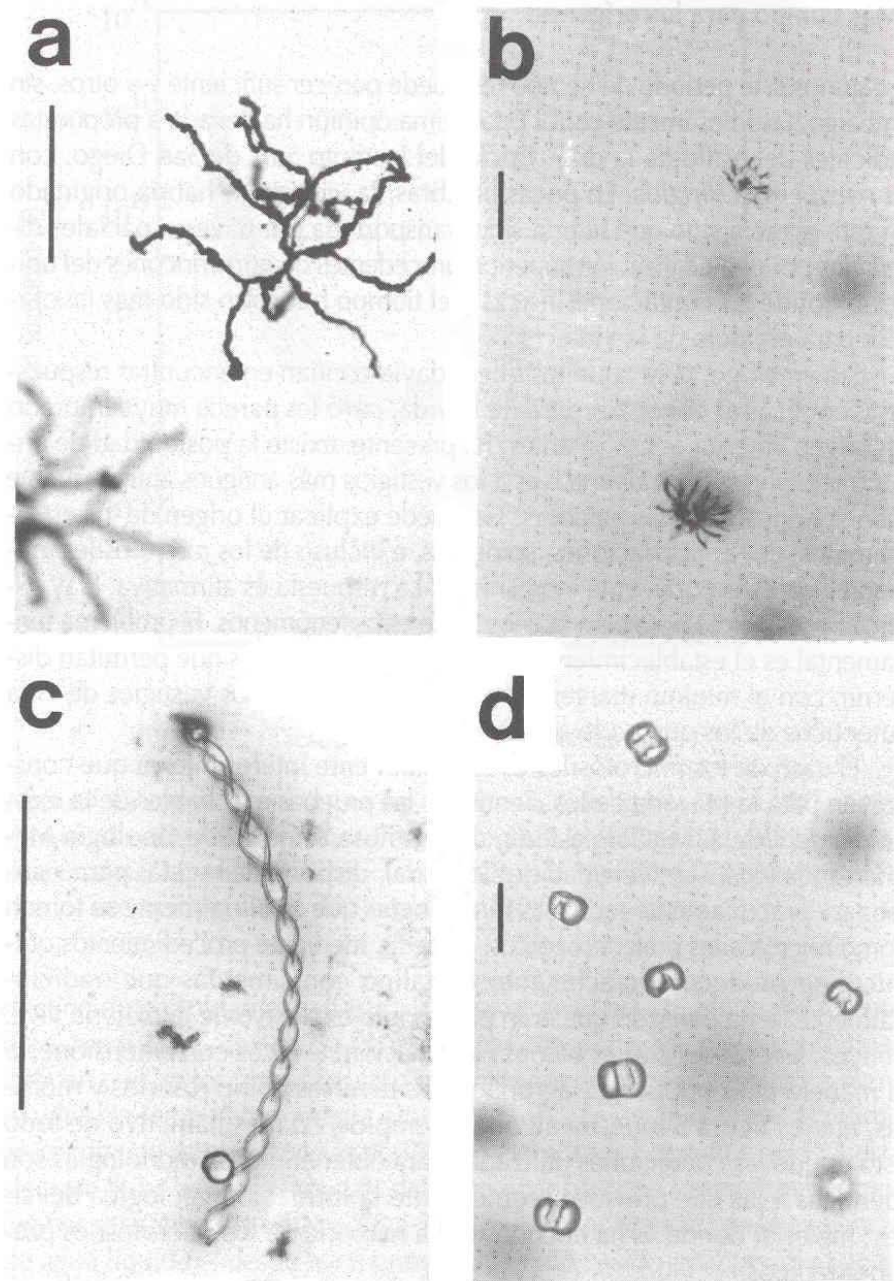


Figura 5. Biomorfos silíceos. La barra corresponde en todos los casos a 100 μm (gentileza del Dr. García-Ruíz).

estudios micropaleontológicos, que ha llevado a descartar una infinidad de formas catalogadas como «dubiofósiles» -y, en cualquier caso, ¿cuál es el origen de estos falsos microfósiles?- hemos de convenir que todavía hay un amplio margen de error si no se considera la posibilidad de un origen inorgánico para estructuras habitualmente tomadas como *únicamente* de origen biológico. Obviamente, este problema trasciende la cuestión de la antigüedad de la vida terrestre. Son evidentes las implicaciones a la hora de establecer los criterios exobiológicos que permitan reconocer vestigios de vida en Marte, en el caso de que la próxima expedición al planeta rojo incluya una exploración paleontológica.