

EL ORIGEN DE LA VIDA DESDE DIVERSAS PERSPECTIVAS

Josep M^a Trigo i Rodriguez

«Un acercamiento a la astrobiología desde un punto de vista interdisciplinar»

JOSEP M^a TRIGO i RODRIGUEZ
Depto. Astronomía y Astrofísica, Universidad de Valencia)

El pasado octubre tuvo lugar en la sede de Valencia de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo el curso «Origen de la vida: en la Tierra y en otros planetas», en homenaje al Dr. Joan Oró en su 75 aniversario. Químicos, astrofísicos y biólogos disertaron sobre el origen de la vida en nuestro planeta y, a la luz de nuestro conocimiento actual, sobre las posibilidades de vida en otros mundos.

Madrid en reconocimiento a su enorme trabajo en pro del conocimiento del origen de los seres vivos.

El objetivo del curso era dar una visión actual del estado de la materia a finales de una década que tantas aportaciones ha recibido de los diversos campos del saber que abordan este intrincado problema. Tanto la Química prebiótica como la biología y la astrofísica han sido enriquecidas enormemente en los últimos años, tanto por abordar ciertos problemas desde un punto de vista interdisciplinar como por tratarlos con nuevas téc-

incluso si este hecho tuvo lugar varias veces en un planeta sometido en sus primeros tiempos a colosales impactos fruto al remanente de planetesimales constitutivos de los planetas que todavía persistía hace 4.000 millones de años. También más complejo resulta sintetizar las primitivas reacciones que dieron lugar a la vida cuando en realidad fue un proceso que tuvo lugar en un medio desconocido y en una escala de tiempo tan grande.

Sin embargo, a la luz de nuestro conocimiento actual del Universo, este curso planteaba la posibilidad de que



De izquierda a derecha. De pie el director de la UIMP (sede de Valencia) José Sanmartín junto a Juli Peretó y Ricardo Amils. Sentados: Joan Oró, Antonio Lazcano, Stanley Miller, Lynn Margulis y Francisco Montero. (Foto: UIMP)

En los últimos años la Universidad Internacional Menéndez Pelayo ha organizado en sus diversas sedes cursos relacionados directa o indirectamente con el origen de la vida. En el año 1994 sobre este intrincado tema fue organizado en Valencia un curso en el centenario del nacimiento de Aleksandr I. Oparin, un pionero en el intrincado estudio de la generación de la vida en la Tierra. En octubre de 1998, coincidiendo con el 75 aniversario del nacimiento de uno de nuestros científicos más consagrados, el Dr. Joan Oró, se celebró un nuevo curso en Valencia, nuevamente con la magnífica labor organizadora del Dr. Juli Peretó (Dept. Bioquímica y Biología Molecular, Universidad de Valencia) que dirigió el curso junto a la Dra. Lynn Margulis, recientemente nombrada doctora Honoris Causa por la Universidad Autónoma de

nicas instrumentales y computacionales.

Así, en los últimos tiempos la ciencia ha evidenciado un acercamiento en las diversas disciplinas, antaño monóticamente distanciadas. Al abrigo de esta nueva ciencia multidisciplinar se han podido afrontar nuevos retos, como por ejemplo estimar que el origen de la vida en la Tierra ocurrió hace más de 3.800 millones de años. Existen evidencias innegables de que la vida existía hace tiempos tan remotos, basadas tanto en el registro de microfósiles como en la presencia en todo el planeta de estromatolitos, grandes rocas calcáreas formadas como consecuencia de las reacciones metabólicas que las primitivas comunidades microbianas desarrollaron a lo largo de millones de años.

Mucho más controvertido resulta responder a la velocidad en que este paso de la química a la biología tuvo lugar, o

este fenómeno antaño único y milagroso quizá no fuese más que una repetición del acontecido en otros mundos. Aunque en nuestro Sistema Solar la exploración todavía ínfima hace difícil encontrar otras formas de vida, el descubrimiento de los primeros planetas extrasolares, aunque de momento sean en general de características bastante anómalas, ha hecho recobrar la esperanza de hallar nuevos mundos capaces de generar o, al menos, albergar vida. Por el momento, casi todos coinciden en el hecho que plantear la presencia de otros mundos habitables no es tan sólo una posibilidad sugerente. Quizá quepa una nueva revolución en nuestra visión del planeta Tierra. Al principio de los tiempos fue visto como centro del Universo, un planeta único e irrepetible. Gradualmente, el conocimiento adquirido nos ha permitido comprobar que la Tierra gira alrede-

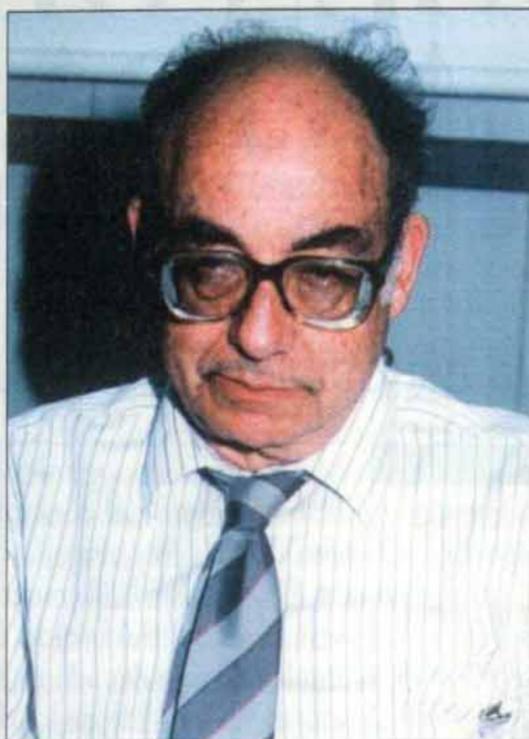
dor de nuestro Sol, una estrella común en una gigantesca galaxia de los miles de millones que llenan el Universo. Este conocimiento de las dimensiones del Universo, unido con la comprensión de los procesos fisicoquímicos que comenzamos a conocer, nos sugiere que ni siquiera la vida sea un patrimonio único de la Tierra.

El congreso ha contado con la participación de renombrados especialistas. El primer día, el Dr. Juli Peretó realizó una presentación del curso mencionando aquellas etapas y aportaciones más brillantes de los más de 50 años que ha dedicado a la ciencia el Dr. Joan Oró. Posteriormente, un gran amigo suyo, el célebre químico experimental Stanley L. Miller (Dept. Chemistry, Univ. California) realizó un balance de su carrera científica, sintetizando a grandes rasgos los eslabones encontrados de la Química Prebiótica y señalando las interesantes líneas futuras de investigación. Para el Dr. Miller la vida parte de la síntesis orgánica que gradualmente proporcionaría una complejidad química capaz de generar los más primitivos organismos. De este modo, las reacciones abióticas ocurridas sobre la Tierra, desarrollarían una química orgánica prebiótica que daría pie a la aparición de polímeros y, posteriormente, al llamado mundo del RNA.

El origen de la vida es el origen de la evolución darwiniana, basada en la replicación, mutación y selección de los organismos vivos. En este sentido, a pesar de las dificultades existentes en conocer la evolución química más primitiva y el origen de la vida, la aportación como químico experimental del Dr. Miller ha sido extraordinaria. En sus célebres experimentos dados a conocer en 1953, partiendo de una mezcla relativamente simple que contenía H_2 , H_2O , CH_4 y NH_3 , obtuvo exponiéndola a descargas eléctricas más de un quince por ciento de compuestos orgánicos complejos, algunos de especial valor por ser esenciales en la estructura celular. Junto con el Dr. Oró han podido explicar en esos experimentos la síntesis de grandes cantidades de ciertas bases púricas, componentes fundamentales de los ácidos nucleicos. Por ejemplo, la adenina y guanina, componentes esenciales de los ácidos nucleicos y de algunas coenzimas. También subrayó la importancia que podrían haber tenido los ácidos péptido-nucleicos⁽¹⁾ o PNA como posibles precursores del RNA. Esta molécula central en el flujo de información biológica parece muy antigua pero tiene poco de primitiva. De hecho es químicamente muy compleja y no es prebióticamente plausible. Uno de los problemas centrales lo constituye la incorporación de la ribosa,

(1) Polímeros formados por una columna vertebral peptídica cuyas cadenas laterales son las bases nitrogenadas típicas de los ácidos nucleicos

PIONERO DE LA QUÍMICA PREBIÓTICA



El Dr. Stanley Miller (Foto: UIMP)

Mundo Científico: ¿Cuál sería la composición química de la atmósfera terrestre primitiva?

Stanley Miller: Hay una gran disputa al respecto entre los investigadores. Los geofísicos en general prefieren hablar de CO_2 y N_2 , mientras que los químicos experimentales preferimos una atmósfera más reductora de NH_3 y H_2 . La necesidad que vemos en este tipo de atmósfera para la Tierra primitiva es debida a que parte de la producción de compuestos orgánicos se debe producir en este contexto. Sino fuese así deberíamos hablar de una importante fuente exógena para los compuestos orgánicos. Subrayo las necesidades reductoras puesto que cada vez existen más evidencias de un gran número de moléculas como HCN, HC_3N , H_2CO , etc., presentes en diferentes entornos del Universo bajo estas condiciones reductoras.

M.C.: ¿Cuál cree que ha sido el papel de condritas y cometas en la aportación de compuestos orgánicos a la Tierra primitiva?

S.M.: Sin duda pienso que ha habido aportación la pregunta a responder en el futuro es sobre la cantidad y la forma en que esta materia ha llegado a la Tierra primitiva. De todos modos, pienso que no debe haber sido mayor de un 5%. Si hay que depender de un aporte extraterrestre la cantidad es claramente insuficiente.

M.C.: Ha mencionado la inestabilidad de la ribosa en el medio primitivo, ¿esto supone cambios en nuestra visión de las condiciones prebióticas?

S.M.: En efecto, hemos comprobado experimentalmente que bajo un amplio rango de condiciones presumibles en la Tierra primitiva muchos de los azúcar-fosfatos se descomponen con una vida media de 40 a 70 minutos. Este hecho parece mostrarnos claramente que la ribosa no debe de haber estado presente en el origen de la vida. Por otra parte, esta ausencia impone fuertes limitaciones al escenario propuesto por el mundo del RNA.

M.C.: ¿Qué aspecto subrayaría de sus futuras investigaciones sobre ácidos péptido-nucleicos (PNA)?

S.M.: Lo que hemos demostrado es que los componentes de los PNA parecen ser compuestos prebióticos. Hemos encontrado estructuras alternativas, no basadas en azúcar-fosfatos como verdaderos portadores de información genética. El siguiente paso es tratar de polimerizarlos y mostrar que son capaces de autorreplicarse. No hay buenos ejemplos de polimerizaciones prebióticas, demasiados artículos con pocas pruebas sostenibles y ese es un campo que deseamos abordar con detalle.

el azúcar que forma el esqueleto del RNA, la cual no sólo es muy difícil de sintetizar abióticamente sino que, como ha demostrado el propio Miller, es una molécula tremendamente inestable.

Pese a que los modelos del medio primitivo son muy simples pueden sintetizar grandes cantidades de compuestos químicos prebióticos

Las ideas de Miller están siendo corroboradas por los descubrimientos de una química orgánica compleja en los meteoritos y también en el medio interestelar. Precisamente en este último hay pruebas de una química orgánica compleja (véase p.e. Turner *et al.*, 1998) en nubes moleculares bajo unas condiciones aún más extremas, en medios a muy baja densidad y sometidos a radiaciones de alta energía. Como el propio Miller señala, «aunque desconocemos

muchas cosas sobre las propiedades físico-químicas del medio donde se originó la vida y pese a que nuestros laboratorios no pueden modelizar un entorno tan rico y complejo, es grato comprobar que podemos sintetizar en tan poco tiempo tan enormes cantidades de compuestos químicos prebióticos. Una clara muestra de que, aunque largo y tedioso, éste es el camino a seguir».

Especialmente importante es el papel en el enriquecimiento químico de la superficie terrestre que ha tenido la caída de cometas y meteoritos condriticos. Esta idea ya sugerida y analizada de manera pionera por el homenajeado, viene apoyada por el Dr. Miller como una posible fuente de material volátil existente en la Tierra primitiva, aunque le confiere ciertamente un papel menos relevante. Sin embargo, el mismo sugiere que la extraordinaria diversidad química existente en cometas famosos como el P/Halley, el West o el reciente Hale-Bopp deben hacernos reflexionar sobre este punto.

Posteriormente participó Antonio Lazcano (Depto. Biología, Univ. Nacional Autónoma de México) que habló de la búsqueda del llamado cenancestro, antepasado común a todos los seres vivos actuales, a partir de datos bioquímicos y genéticos. Este investigador propone retroceder en el tiempo mediante las

comparaciones de las secuencias genéticas y las características metabólicas de las células modernas para tratar de definir el fenotipo del antepasado común a todas ellas. Por lo que sabemos, este último ancestro común en realidad ya se parecía mucho a los seres vivos actuales, no era un organismo descendiente

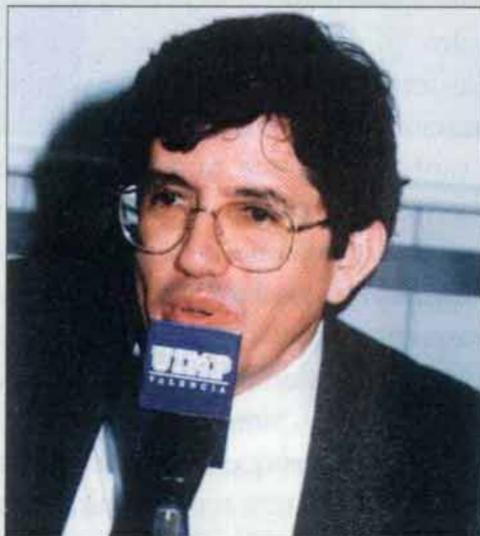
directo del mundo del RNA. El cenancestro poseería por tanto, genes comunes a todos los seres vivos. Un estudio filogenético molecular permitirá obtener por tanto una visión más clara de la evolución de la vida. Los tres grandes grupos de organismos conocidos: arqueobacterias, eubacterias y eucariotas deben por tanto tener rasgos comunes que deben haber sido heredados del cenancestro. Profundizar en la evolución de los genes de tales organismos es una de las tareas complejas que se han marcado los biólogos moleculares.

Una sesión entera del curso estuvo dedicada a las condiciones físico-químicas de nuestro Universo. Precisamente en las últimas décadas la cosmoquímica y la astrofísica están enriqueciendo nuestra visión sobre la aparición de la vida en un contexto más amplio. Primeramente, el Dr. Enric Macià (Depto. Física de Materiales, Universidad Complutense de Madrid) analizó el origen cosmoquímico de los bioelementos, haciendo especial énfasis al papel del



De izquierda a derecha: Antonio Lazcano, Josep Maria Trigo, Joan Oro, Enric Macià y Jordi Llorca. (Foto: M^a V. Hernández)

LA BIOLOGÍA MOLECULAR EN EL ORIGEN DE LA VIDA



Antonio Lazcano (Fuente: UIMP)

Mundo Científico: ¿Qué aspecto subrayarías más de su campo de investigación en biología molecular?

Antonio Lazcano: Lo que llama la atención es que nadie hubiera predicho jamás que la fusión de la informática y la biología molecular hiciera nacer una nueva disciplina. En este sentido somos una comunidad nueva beneficiada de la Red. El proyecto básico que tengo es unir el análisis

de secuencias con lo que sabemos de química fundamental para conocer el origen de las enzimas.

M.C.: ¿Qué campo futuro de investigación puede ser más fructífero en el estudio del origen de la vida?

A.L.: Pienso que en las teorías sobre el origen de la vida se ha comentado mucho es el origen de la replicación, del código genético, membranas, etc... Sin embargo, el origen de las rutas metabólicas está muy olvidado y debe analizarse con detenimiento.

M.C.: ¿Quiénes son las personas que más influyen en el trabajo de Antonio Lazcano?

A.L.: Ciertamente mantengo una gran colaboración con Stanley Miller, Renato Fani (Univ. Florencia) y Fredj Tekaia (Inst. Pasteur).

M.C.: ¿Qué compuestos moleculares pueden haber tenido un papel más significativo en el desarrollo de la vida?

A.L.: Todo el mundo interpreta las propiedades catalíticas con el RNA. Tal y como comentan mis colegas, hubo una etapa temprana en la evolución donde el RNA fue sumamente importante. Los genes más conservados en los organismos son los de síntesis, degradación y metabolismo en general del RNA. Todo esto tiene enormes aplicaciones porque cuanto más sepamos del RNA (el patito feo de la biología molecular) podremos atacar el mundo de los virus, por ejemplo.

M.C.: En este sentido, ¿qué opina del primitivo mundo del RNA que según diversos autores habría acontecido en la Tierra primitiva?

En 1967 Woese y en 1968 Orgel y Crick apuntaron que el hecho que el

RNA tenga actividad catalítica lo señala como una molécula central en el origen de la vida. Pero es un tema complejo, el mismo Crick en su libro *Life itself* (1981) se encuentra con problemas en el medio primitivo tales como la composición de la atmósfera primitiva y la relación funcional entre el DNA y las proteínas. Por ello se propuso la idea que la vida llegó del espacio exterior. Al año siguiente Tom Cech y S. Altman descubren que el RNA tiene propiedades catalíticas (se comporta como si fuera una proteína). Por ello, en vez de buscar el origen de las proteínas en el DNA en una sola molécula encontramos ambas propiedades. Esto llevó a la idea del mundo del RNA, en donde en la sopa primordial aparece una molécula del RNA que tiene propiedades catalíticas y replicativas. Ahora hemos descubierto que el RNA era mucho más frágil de lo que se pensaba entonces. Los trabajos actuales intentan encontrar un nexo entre el mundo del pre-RNA y el del RNA a partir de las evidencias genéticas que pueden habernos llegado en forma de genes comunes a todos los organismos vivos.

M.C.: ¿Cómo cree que transcurrió el nacimiento de la vida en la Tierra?

A.L.: Soy bastante ecléctico en esto ya que los experimentos realizados pese a su sencillez han sido capaces de obtener compuestos orgánicos ciertamente complejos. Es remarcable que aunque estos modelos son imperfectos se obtienen resultados. Si pensamos que en la Tierra primitiva no sólo había rayos sino ciclo día-noche, actividad geológica, etc..., nos damos cuenta que nuestras ideas van por buen camino. Los grandes clásicos de origen de la vida son científicos que trabajan constantemente, incorporando nuevas ideas de la multitud de cosas que hemos ido preguntando y aprendiendo de nuestros experimentos. Evidentemente nunca sabremos como se originó la vida realmente pero el hecho que tengamos una historia coherente es un gran avance.

M.C.: Nuestras ideas sobre la evolución, ¿han cambiado significativamente?

A.L.: Es necesario un cambio que nos hable de lo ocurrido en los primeros cuatro mil millones de años, por lo que debemos recorrer un largo camino recurriendo a todo nuestro ingenio. El descubrimiento de las arqueobacterias ha permitido que a partir de la biología comparada, podamos obrar en términos evolutivos. Una vez hecho esto aparecerá y se extenderá esa nueva visión en libros y publicaciones. Lo importante es que estamos encontrando un balance multidisciplinar en el que astrofísicos, químicos y biólogos hablan un idioma común, una lengua práctica de gran significado epistemológico. Pienso que el origen de la vida debe ser siempre un punto de partida para diversas disciplinas.

fósforo por su especial importancia en diversas funciones de los organismos vivos. Curiosamente, hay una abundante presencia del fósforo en la materia viva pero una aparente escasez de este bioelemento en los lugares donde tiene lugar la evolución química. Precisamente en el origen astrofísico de los bioelementos trabaja en la actualidad con el Dr. Joan Oró. Su exposición partió del origen de los bioelementos en las estrellas, su posterior emisión al medio interestelar en etapas estelares tardías y su paulatina incorporación a

cometas y meteoritos en condiciones de la nebulosa primitiva. Comenzó su exposición subrayando la gran intuición del Dr. Oró al buscar, analizar e identificar compuestos orgánicos en meteoritos. Según indican los modelos de formación planetaria, en un planeta como la Tierra, tan próximo a la estrella central, las temperaturas primigenias fueron capaces de hacer perder a nuestro planeta una parte de su contenido en elementos volátiles. Sin embargo, posteriormente a lo largo de los primeros cientos de millones de años durante la fase de acreción intensa la aportación exógena de cometas y meteoritos fue muy importante.

Sólo en la Vía Láctea unos 40.000.000.000 de estrellas pueden poseer planetas habitables

Destacable es el papel que deben haber desempeñado las condritas carbonáceas que contienen hasta un 5% (o más) en peso de carbono o las diminutas Partículas de Polvo Interplanetario (Interplanetary Dust Particles o IDPs) que se depositan en la atmósfera y llegan casi intactas por sedimentación gravitatoria a la superficie. Por tanto, es de esperar que todas estas fuentes externas acumulasen materia orgánica en la Tierra primitiva y por ello quizás desempeñasen un papel importante en la aparición de la vida. Mucha gente confunde este enriquecimiento químico prebiótico de la Tierra primitiva con la panspermia aunque, evidentemente, no tiene nada que ver pues la materia orgánica no significa vida, sino la base para engendrarla. Las condritas carbonáceas tienen extraordinario interés como ya hemos mencionado, tanto para conocer cuándo nació nuestro sistema Solar como para establecer de qué estaba hecha la nebulosa que engendró al Sol y los planetas. De hecho, estas condritas posiblemente se formaran en la nebulosa solar por condensación de la mezcla del gas nebular a temperaturas entre 350 y 500 K cuando las presiones eran entre 10^{-5} y 10^{-6} atmósferas, incorporando pequeñas partículas de materiales refractarios de origen interestelar. Precisamente de algunas de ellas hay pistas sobre el estallido de una (o varias) supernova en el entorno inmediato a la nube que originó nuestro sistema solar, quizás inductora del colapso de la nebulosa protosolar. El Dr. Llorca también disertó sobre los complejos procesos de síntesis de moléculas orgánicas que se producen

en el Universo, tanto en el medio interestelar como en nubes moleculares densas y oscuras. Este último caso es especialmente importante puesto que en el seno de estas nubes de gas es posible la formación de compuestos de extraordinaria complejidad, ayudados por la ausencia de radiación de alta energía y la existencia de una extraordinaria abundancia y densidad de elementos como el C, O, N, etc., base de la química orgánica interestelar.

Posteriormente Josep M^a Trigo (Deppto. Astronomía, Universidad de Valencia) presentó su conferencia «vida en sistemas planetarios: una perspectiva astrofísica» en la cual hizo una revisión de la formación de estrellas y planetas además de una visión sintética de nuestro conocimiento de planetas extrasolares. Este investigador actualmente trabaja con el Dr. Joan Oró sobre la formación de sistemas planetarios y la posibilidad de otros planetas en ellos con condiciones adecuadas para desarrollarse la vida. De un estudio detallado del Diagrama de Hertzsprung-Russell concluyó que sólo aquellas estrellas entre aproximadamente 1,25 y 0,75 masas solares pueden poseer una zona de habitabilidad continua suficiente para permitir una evolución de la materia viva comparable a los cerca de 4.000 millones de años de la Tierra. Ello supone unos cuarenta mil millones de estrellas adecuadas en nuestra Vía Láctea que, de tener un planeta en esta zona de habitabilidad con la masa, riqueza química y campo magnético suficientes, podría desarrollar seres vivos eucariotas de similar complejidad a la terrestre. Aunque todavía no conocemos planetas de tipo terrestre alrededor de otras estrellas de la Secuencia Principal (es decir en condiciones de poseer vida cobijada por una emisión de energía estable), deben existir en esos sistemas planetarios. Recientemente Wayne S. Holland et al. (1998) han apuntado hacia la existencia de planetas de tipo terrestre alrededor de Beta Pictoris, apoyados en el hecho de la presencia de una cavidad central del tamaño de la órbita de Neptuno en el disco circumestelar que rodea esta estrella. Las imágenes en longitudes de onda submilimétricas ha permitido este detallado análisis de las regiones centrales de esta estrella y de otras como Vega, Fomalhaut y también HR4796A (Mannings, 1998) con resultados similares. Esta confirmación de que la zona más interna del disco protoplanetario tiene baja densidad es una prueba directa de que posiblemente la formación de planetas o, al menos, de sus embriones ya ha tenido lugar. En todos estos discos ha sorprendido que aparezca una zona de mayor densidad de material justo donde es de esperar la for-



El homenajeado, Dr. Joan Oró. (Fuente: UIMP)

nubes moleculares de las que se formarán por colapso gravitatorio estrellas y sistemas planetarios. Existe un gran desconocimiento de los procesos químicos que tienen lugar en el medio interestelar, especialmente en el caso del fósforo, por lo que indagar al respecto permite conocer las vías por las que los bioelementos se han incorporado a éste y otros planetas (Macià et al., 1997). Los procesos acontecidos en y entre las estrellas, pueden ser una magnífica vía para conocer los escenarios en los que la vida puede aparecer.

Con posterioridad, el Dr. Jordi Llorca (Deppto. Química Inorgánica, Universidad de Barcelona), disertó sobre el papel que el material orgánico llegado desde cometas y meteoritos ha podido tener en el origen de la vida. Precisamente este investigador estudia la formación de moléculas orgánicas en

Agradecimientos: A los doctores M^a Victoria Hernández, Jordi Llorca, Enric Macià, Juli Peretó y Ricard Guerrero por sus sugerencias en la redacción de este reportaje.

mación del cinturón de Kuiper y la nube de Öort de cometas. Por el momento, quizás debamos esperar cerca de una década para que los nuevos interferómetros espaciales (DARWIN, ExNPS) nos faciliten las primeras imágenes de estos mundos similares a la Tierra. También trató sobre la evolución físico-química de otras atmósferas planetarias, mencionando la posibilidad de que, en un futuro no demasiado lejano, el análisis espectral más detallado de estrellas próximas permita descubrir evidencias de vida en planetas a su alrededor. Tal descubrimiento

compuestos orgánicos a la Tierra primitiva, cuando en los primeros tiempos de formación del sistema solar estos compuestos habían sido eliminados por las altas temperaturas y el fuerte viento T-Tauri de la región más interna ocupada por los planetas de tipo terrestre. En opinión del Dr. Oro a lo largo de los primeros 500 millones de años de vida de la Tierra millones de cometas impactaron con nuestro planeta, proporcionando la mayor parte del agua y compuestos orgánicos que encontramos en la biosfera.

El Dr. Ricard Guerrero (Depto. Micro-

ras horas gastaba el fotosistema I siendo capaz de transformar el sulfídrico en sulfato. Posteriormente cuando la cantidad de sulfídrico ya había disminuido eran capaces de utilizar el fotosistema II. Esta es una evidencia de un eslabón perdido de organismo anoxigénico y anaeróbico que pasa por si mismo a un sistema fotosintético moderno en unos pocos minutos, autorregulado el medio donde viven. Otros tipos de bacterias pueden vivir en medios sulfurosos e incluso en fosas oceánicas a presiones entre 250-300 atmósferas. Curiosamente en los lagos a bajas profundidades puede haber mucho menos O_2 que en los lechos marinos por lo que es un buen lugar para estudiar este tipo de organismos.



Lynn Margulis. (Fuente: UIMP.)

se basaría en la aparición de líneas de absorción de ozono u oxígeno superpuestas en el espectro de tales estrellas.

El Dr. Joan Oro (Univ. of Houston) desarrolló una extensa conferencia divulgadora sobre las condiciones cósmicas y planetarias que son a priori necesarias para el origen y evolución de la vida. Ésta tuvo lugar en la Sala de conferencias de la *Fundació Bancaixa* en Valencia, donde fue presentado por otro ilustre investigador, el Dr. Alfred Giner Sorolla (Univ. of South Florida). La exposición del Dr. Oro fue fácilmente seguida por todo el público, marcada por sus magníficas dotes divulgadoras. En ella disertó sobre las fuertes restricciones que cabe considerar a la hora de pensar en la habitabilidad de otros mundos. Factores hasta hace poco subestimados, han sido reconsiderados como de extrema importancia. Por ejemplo, el efecto gravitatorio de nuestra Luna ha permitido que el interior terrestre se mantenga fluido, potenciando el campo magnético tan fundamental para evitar el paso de radiaciones de alta energía que tan perjudiciales hubieran sido para la evolución de la biodiversidad. Otro aspecto que trató con especial profusión es el papel tan importante que, al parecer, los cometas han tenido en la aportación de agua y

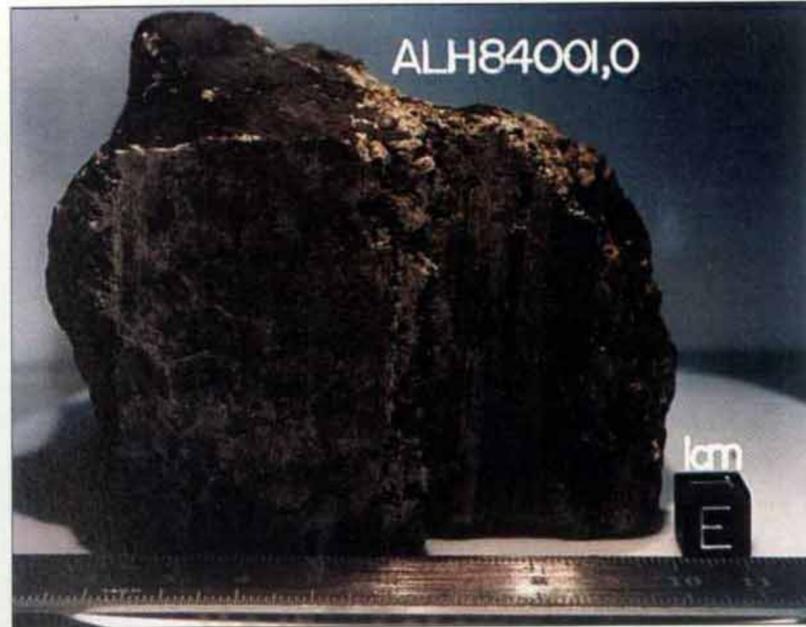
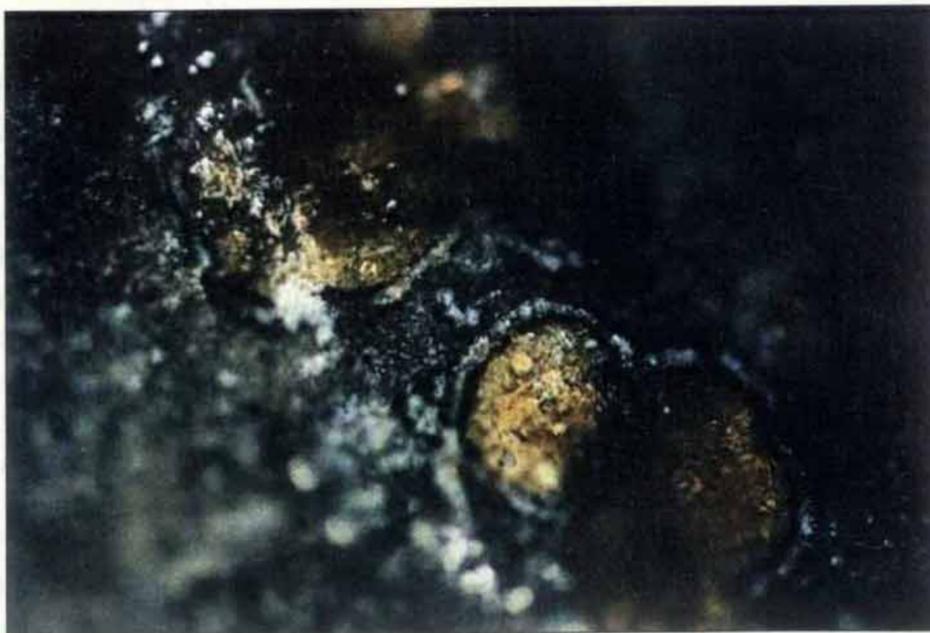
biología, Univ. Barcelona) explicó el origen y evolución de los ecosistemas, partiendo de la idea de que las primeras formas de vida eran procariotas. Según su teoría basada en la formación del ecosistema mínimo los primeros microorganismos aparecidos en la Tierra tenían diferentes fuentes de autosustento, basadas en el aprovechamiento de los substratos que el metabolismo de los demás seres iba creando o en aquel que la propia naturaleza les había brindado. Recordemos en este sentido la existencia de bacterias en nuestro planeta capaces de alimentarse del hierro, aprovechándose de la capacidad de este elemento como aceptor y donador de electrones. En general, los microbios nos sirven para darnos cuenta que la vida tiene rangos de parición amplios: existen bacterias que comen roca, no necesitan luz, pueden vivir en medios a altas presiones, etc...

El Dr. Guerrero subrayó la gran capacidad adaptativa de algunos tapetes microbianos. Por ejemplo, Jorgensen y Cohen estudiaron la cianobacteria *oscillatoria limnetica* en un lago del Sinaí. Comprobaron que a primeras horas de la mañana se acumulaba una capa de sulfídrico que posteriormente desaparecía. Cuando estudiaron lo que ocurría comprobaron que esta cianobacteria a prime-

El papel de la Luna es clave en el mantenimiento del campo magnético terrestre, protector de la vida

Según el Dr. Guerrero, la vida en la Tierra primitiva apareció en diversas capas de organismos, especializados para un medio diferente (eso sí con una sustancia en éste de poder reductor en la que se base su metabolismo). Cada capa utilizaría los productos de desecho de las colindantes para autosustentarse. Esta teoría del ecosistema mínimo se basa en las observaciones de matas microbianas actuales y nace de que, por definición, si aparece un organismo por muy eutrófico que sea agotará rápidamente el medio al excretar productos venenosos para él. Por ello, es de esperar que si retrocediésemos a la Tierra primitiva encontraríamos este tipo de ecosistemas.

La Dra. Lynn Margulis (Depto. Geociencias, Un. Massachusetts, Amherst) ha dedicado su vida a investigar la teoría sobre el origen simbiótico de la célula eucariótica, pese a que sus ideas encontraran grandes barreras en la comunidad científica en un principio. La simbiogénesis que postula la Dra. Margulis se basa en la incorporación y fusión del cuerpo celular por simbiosis, en un fenómeno que transcurrió muy probablemente en la Tierra primitiva. Su conferencia versó sobre el papel de la simbiosis en el proceso evolutivo. En los años 70 Margulis inició un estudio sistemático de las estructuras celulares que se encuentran en los eucariotas (animales, plantas, hongos y otros organismos colectivamente llamados protoctistas) y propuso que orgánulos como la mitocondria (la central energética de las células cuando respiran oxígeno) y el cloroplasto (lugar donde se producen los fenómenos bioquímicos asociados a la



El meteorito proveniente de Marte ALH84001 (derecha) contiene presumibles muestras de primitivas formas de vida que pudieron existir en Marte hace 3.600 millones de años. A la izquierda vemos ampliadas estructuras de carbonatos cuya forma y química sugiere que pueden haber sido producidas por microorganismos algunos de los cuales parecen haberse detectado en estas muestras en forma de microfósiles. Todo ello ha despertado un interés creciente en el estudio de Marte y en el desarrollo de la astrobiología. (Foto NASA.)

fotosíntesis) son de origen bacteriano. Aunque Margulis no fue la primera en proponer una idea de este tipo (antes ya había sido sugerido por científicos de diversos países, especialmente de Rusia) sí que tiene el mérito de haber acumulado y sistematizado la información biológica al respecto (su libro «Symbiosis in Cell Evolution» es ya un clásico traducido a varios idiomas, pero no al castellano) así como el haber extendido el concepto de simbiogénesis. Efectivamente, la asociación física de miembros de especies diferentes puede ser crucial en la aparición de las novedades evolutivas. De hecho, fue de extraordinaria importancia en la incorporación de las capacidades fotosintéticas y respiratorias por las células eucariotas al asociarse con bacterias que disfrutaban ya de estas propiedades. Esto ha sido corroborado por una enorme cantidad de datos bioquímicos y genéticos. Pero, según Margulis, la asociación con bacterias de tipo espiroqueta también dio lugar a la capacidad de movilidad eucariótica y, todavía más sorprendente aún, a la mitosis (mecanismo por el cual se separan y reparten los cromosomas durante la reproducción celular). Esta última propuesta es la más controvertida de la teoría de la simbiogénesis y es la que está recibiendo más esfuerzo por parte de Margulis y sus asociados para poder comprobarla. Durante la conferencia, que fue ilustrada con numerosas diapositivas y videos de su propia producción, la profesora Margulis hizo gala de su amplísimo conocimiento de la biosfera y de su sensibilidad hacia los organismos que nos parecen más insignificantes o perniciosos (las bacterias) pero que sin su contribución no estaríamos aquí.

Ya en el último día del curso, el Dr. Francisco Montero (Depto. Bioquímica y Biología Molecular, Un. Complutense) habló de la evolución prebiótica, enten-

dida como aquel conjunto de eventos primigenios que tuvieron lugar desde la aparición de las primeras moléculas capaces de someterse a un proceso de evolución y selección natural, hasta la aparición de las primitivas protocélulas. La vida cabe considerarla como consecuencia de un proceso selectivo y evolutivo, teniendo muy en cuenta que el origen de la vida viene delimitado por el origen de la propia evolución. Según mostró este investigador, determinados sistemas moleculares, en condiciones prebióticas, se pudieron ver sometidos a tales procesos de evolución y selección.

El Dr. Ricardo Amils presentó sus estudios sobre la evolución funcional de ribosomas partiendo del estudio comparativo de la sensibilidad de distintos sistemas de síntesis de proteínas bacterianos, arqueanos y eucarióticos a cuarenta inhi-

bidores con diferente estructura y especificidad funcional y de dominio. Los resultados evolutivos obtenidos sugieren que el análisis funcional comparativo del ribosoma posee un gran valor filogenético. Según este investigador, este método tiene la ventaja sobre los métodos convencionales de comparación de secuencias que genera datos sobre la evolución de la función ribosomal.

Finalmente Jaume Bertranpetit (Facultad de Biología, Univ. Pompeu Fabra) en su conferencia «Fósiles y moléculas: estado de la cuestión en la evolución humana» disertó sobre nuestro conocimiento actual de la evolución humana. Este se basa entre otros aspectos en el estudio evolutivo detallado de los restos fósiles que han llegado hasta nosotros y el análisis del código molecular.

J.M.T. ■

Para más información

- Guerrero R. *et al.*, «Spirosymplokos deltaeiberi nov. Gen., nov. Sp.: variable-diameter composite spirochete from microbial mats», *Archives of Microbiology* 160, pp.461-470, Springer Verlag, 1993.
- Guerrero R., J. Urmeneta & G. Rampone, «Distribution of types of microbial mats at the Ebro Delta, Spain», *Biosystems* 31, pp.135-144.
- Hernández M. V., E. Macià, «Cosmochemistry: An interdisciplinary study of the origins of chemical elements and of life», in *The Science Teacher*, october 1997, pp. 37-41.
- Holland W.S. *et al.*, «Submillimetre images of dusty debris around nearby stars», *Nature*, vol. 392, pp.788-790, april 1998.
- Llorca J., «Organic material in meteorites: implications for the origin of life», *Actas del Curso «El origen de la vida: ¿en la Tierra y en otros planetas?»*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Valencia, 1998.
- Macià E., M.V.Hernández & J. Oró, «Primary sources of phosphorus and phosphates in chemical evolution», in *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 27, pp. 459-480, Kluwer Academic Publishers, the Netherlands, 1997.
- Mannings V., «Grainy pictures of new worlds», *Nature*, vol. 393, pp.117-118, mayo, 1998.

- Margulis L., «Symbiotic Planet. A New View of Evolution», Basic Books, Nueva York, 1998.
- Montero, F, Sanz, J.C., Andrade, M.A., *Evolucion prebiotica: el camino hacia la vida*, Eudema, Madrid, 1993.
- Moran F., Peretó J., Moreno A., eds. *Orígenes de la Vida: en el centenario de A.I. Oparin*, Ed. Complutense, Madrid, 1995.
- Peretó J., *Orígenes de la evolución biológica*, Eudema Biología, Madrid, 1994.
- Turner B.E., Ho-Hsin Lee & E. Herbst, «The physics and chemistry of small translucent molecular clouds: IX. Acetylenic chemistry», *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 115, pp.91-118, 1998.
- Trigo i Rodriguez J.M^a, «Vida en el Universo», *Mundo Científico*, nº 186, págs.15-19, RBA Revistas, Barcelona, 1998.
- Bertranpetit J., C. Junyent, *Viatge als orígens*, Premio Europeo de Divulgación científica Estudi General de la Universitat de València, Col.lecció Sense Fronteres, Ed. Bromera.
- Beust H., A.M. Lagrange, I.A. Crawford *et al.*, 1998, «The b Pictoris circumstellar disk: XXV. The Ca II absorption lines and the Falling Evaporating Bodies model revisited using UHRF observations», *Astronomy & Astrophysics* 238, pp.1015-1030.