



Zwή

La aventura de la vida

Revista de Astrobiología. N.1 - 2011

ENTREVISTA: JAVIER GÓMEZ-ELVIRA | ASTROBIOLOGÍA: UNIVERSO Y VIDA | DEPARTAMENTOS DEL CAB

Presentación

La pregunta “¿Hay vida en otros lugares del Universo?” tenía, hasta hace poco, únicamente implicaciones filosóficas. Pero actualmente se está empezando a abordar desde otros campos de la Ciencia. Precisamente, la Astrobiología aglutina todos los esfuerzos dirigidos a encontrar su respuesta, tratando de entender cómo son los procesos por los que una nube de polvo interestelar llega a transformarse en un sistema planetario en el que alguno de sus cuerpos se desarrolla de tal forma que aparecen microorganismos que lo pueblan y evolucionan. El reto de la Astrobiología es fabuloso y, embarcarse en esa misión, es realmente una aventura: la “aventura de la vida”.

“La divulgación es una obligación que tiene la comunidad científica y tecnológica con la sociedad”: esta es una frase que, desgraciadamente, todavía no ha calado lo suficiente en nuestra comunidad. Quizás el problema esté en nuestra formación: nadie nos ha enseñado a hacerlo y muchos no sabemos cómo se hace, pero nuestra obligación es intentarlo, porque es realmente una obligación para con la sociedad.

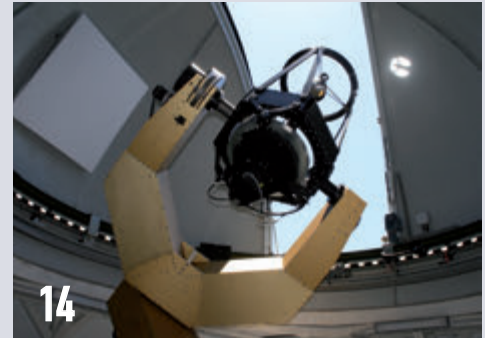
No cabe duda de que la divulgación en Astrobiología es muy atractiva para el gran público por el interés del tema que aborda y porque su multidisciplinariedad atrae a “curiosos” de muchas áreas.

Desde su creación, de la mano de Juan Pérez-Mercader, el Centro de Astrobiología (INTA-CSIC) ha considerado la divulgación como una de sus actividades básicas: esta revista es un intento más en esa dirección. Con ella, no sólo se quiere informar a la sociedad de sus actividades más relevantes, sino que pretende ser un “imán” para atraer hacia la ciencia y la tecnología a todo aquel que sienta curiosidad y quiera satisfacerla.



D. Jaime Denis Zambrana
Director General del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)

Contenidos



2

Presentación

3

Divulgación en el CAB / Staff

4

Entrevista con el Director del CAB

6

Astrobiología: Universo y Vida

10

Instrumentos para buscar vida en otros mundos

14

Estrellas, Planetas y Vida

20

Evolución de los planetas y sus atmósferas

26

Historia e inicio de la vida

32

Contraportada

La divulgación en el Centro de Astrobiología

El Centro de Astrobiología (CAB) es un centro mixto de investigación perteneciente al Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). El CAB se creó con el objetivo de proporcionar un verdadero ambiente científico de tipo transdisciplinar para el desarrollo de la Astrobiología, que aglutina diversas disciplinas científicas para estudiar el origen, evolución y distribución de la vida en el Universo. Actualmente, más de 300 investigadores y técnicos desarrollan en el CAB diferentes proyectos científicos tanto nacionales como internacionales.

Dado el gran interés social de las cuestiones relacionadas con la Astrobiología, entre los objetivos del CAB se hallan, en particular:

- Asegurar la transferencia de conocimiento entre diferentes disciplinas así como con el sector industrial.
- Formar a una nueva generación de astrobiólogos.
- Fomentar la extensión de la cultura científica en nuestro país.

La Unidad de Cultura Científica del CAB (UCC-CAB), dependiente de la Dirección del Centro, posibilita la interrelación entre los investigadores y el público en general, de modo que la Astrobiología sea una ciencia al alcance de la ciudadanía. Los objetivos generales de la UCC-CAB son potenciar la divulgación de los avances científicos en el campo de la Astrobiología, optimizar las vías de comunicación internas y externas con las que cuenta el CAB y posibilitar una interacción fluida entre la comunidad investigadora del CAB y el gran público.

A través de estas amplias líneas de acción se pretende potenciar la función social de la investigación y la difusión del conocimiento, haciendo así del CAB un Centro dinámico y en estrecho contacto con la sociedad y con los medios de comunicación, haciendo accesibles las investigaciones y desarrollos tecnológicos más novedosos y los descubrimientos más recientes a la sociedad.

El CAB ha trabajado desde su creación en el fomento de la cultura científica orientada hacia estos pilares, integrando en la UCC-CAB todas las actuaciones y políticas que tuvieran relación con la difusión del conocimiento, las relaciones públicas, la comunicación institucional, el trabajo y la imagen del Centro.

La edición de Zoé - Revista de Astrobiología es un ejemplo del compromiso del CAB para seguir trabajando en la visibilidad social de la ciencia y la tecnología en general, y de la Astrobiología en particular. Se pretende que esta publicación sirva de vehículo para llevar al lector el esfuerzo y resultado investigador, estimulando su curiosidad e interés por la Ciencia y aumentando la valoración social de la investigación que se realiza en el CAB, como un elemento estratégico para el desarrollo social, cultural y económico de la sociedad.



staff

DIRECTOR

Luis Cuesta Crespo, Responsable de la UCC-CAB.

COORDINACIÓN EDITORIAL

Natalia Ruiz Zelmanovitch y Juan Ángel Vaquerizo Gallego, UCC-CAB.

COORDINACIÓN DE CONTENIDOS

Benjamín Montesinos Comino, Departamento de Astrofísica.

Susanna Cuevas Manrubia, Departamento de Evolución Molecular.

Felipe Gómez Gómez y Fco. Javier Martín Torres, Departamento de Planetología y Habitabilidad.

Javier Martín Soler, Departamento de Instrumentación.

CONSEJO EDITORIAL

Javier Gómez-Elvira Rodríguez, Director del CAB.

José Cernicharo Quintanilla, Vicedirector del CAB.

José Miguel Mas Hesse, Jefe del Departamento de Astrofísica.

Víctor Parro García, Jefe del Departamento de Evolución Molecular.

Ricardo Amils Pibernat, Jefe del Departamento de Planetología y Habitabilidad.

José Antonio Rodríguez Manfredi, Jefe del Departamento de Instrumentación.

DISEÑO

Vicente Aparisi, Proyecto Gráfico y Dirección de Arte.

IMPRESIÓN

Imprenta Nacional del Boletín Oficial del Estado.



Depósito Legal:

NIPO: 078-11-003-6

NIPO en línea: 078-11-004-1



CENTRO DE ASTROBIOLOGÍA
ASOCIADO AL NASA ASTROBIOLOGY INSTITUTE



GOBIERNO DE ESPAÑA



CSIC
Consejo Superior de Investigaciones Científicas



INTA
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

Centro de Astrobiología (INTA-CSIC)

Carretera de Ajalvir, km 4

28850 Torrejón de Ardoz (Madrid)

<http://cab.inta-csic.es>

E-mail: divulgacion@cab.inta-csic.es

Zoé - Revista de Astrobiología es una publicación trimestral del Centro de Astrobiología (INTA-CSIC).

Zoé - Revista de Astrobiología no se hace responsable de las opiniones de los autores de los artículos.

Se autoriza la difusión de los contenidos de esta publicación previo permiso.

Javier Gómez-Elvira

Director del Centro de Astrobiología

Nacido en Madrid, cursa estudios de Ingeniería Aeronáutica en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), alcanzando el grado de Doctor Ingeniero Aeronáutico en 1991. Su carrera profesional ha estado siempre ligada al Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), primero en el Departamento de Materiales y Estructuras, y después, en el Centro de Astrobiología (CAB). En diciembre de 2001 es nombrado Vicedirector y jefe del Departamento de Instrumentación del CAB. Desde octubre de 2010 es Director en funciones del Centro. Su carrera profesional está ligada fundamentalmente al mundo del espacio. Ha participado en el desarrollo de antenas, mecanismos e instrumentos para satélites de comunicaciones y en proyectos aeronáuticos relacionados con la certificación. Ya en el CAB, ha liderado el diseño de prototipos para la exploración del río Tinto y el desarrollo de instrumentos para exploración espacial. Desde 2008 es el Investigador Principal del *Rover Environmental Monitoring Station (REMS)*. Este instrumento, el primero íntegramente desarrollado y construido en España que viajará a otro planeta, es una estación medioambiental que irá a bordo del *rover Curiosity* de la NASA, que será enviado a Marte a finales de 2011. Está en posesión de la Cruz al Mérito Aeronáutico.

¿Cómo y cuándo nace el Centro de Astrobiología?

En julio de 1997 se creó el *NASA Astrobiology Institute (NAI)*, con sede en el *NASA Ames Research Center*, con el objetivo de fomentar los estudios astrobiológicos a través de la financiación de grupos de investigación. En octubre de ese mismo año, el NAI abrió la primera convocatoria de proyectos. Uno de los grupos que presentó un proyecto de investigación estaba formado por científicos españoles y americanos, liderados por el Profesor Juan Pérez-Mercader. En 1998 fueron seleccionados los primeros once equipos investigadores, entre los que se encontraba la propuesta española. Como la normativa que regula la investigación en la NASA impide la subvención a instituciones que no sean estadounidenses, hubo que buscar una solución alternativa que permitiera albergar en el NAI a los investigadores españoles. Así, en 1999 se crea el Centro de Astrobiología (CAB) como un centro de investigación asociado al NAI.

La diferencia fundamental entre el CAB y el resto de los grupos de investigación pertenecientes al NAI está en que el CAB está involucrado en los aspectos científicos pero no en los administrativos, puesto que, como decía antes, no recibe ningún tipo de financiación por parte de NASA.

¿Qué preguntas pretende responder la investigación astrobiológica?

La Astrobiología es una disciplina relativamente nueva que trata de estudiar el origen y evolución de la vida en el universo. Si fuésemos capaces de rebobinar la película de la vida en nuestro planeta, podríamos observar cómo unos microorganismos que se formaron hace alrededor de 4.000 millones de años han ido evolucionando junto con el planeta, agrupándose en organismos multicelulares y aumentando su complejidad hasta límites insospechados; el *Homo Sapiens* es uno de los mejores ejemplos. Todo este proceso no hubiese podido tener lugar si la Tierra no contase con unas condiciones especialmente adecuadas de temperatura, presencia de agua líquida, protección frente a la radiación exterior, actividad geológica, etc., todos ellos elementos necesarios para que esos primeros microorganismos pudieran evolucionar.

Pero la Astrobiología trata no solo de encontrar el origen de la vida, sino también de estudiar su evolución. En los primeros millones de años tras la formación de la Tierra se produjo un proceso, aún sin aclarar, en el que aparecieron los primeros “replicadores”: complejas factorías bioquímicas capaces de autorreplicarse. Los replicadores representan la culminación del proceso de interacción entre todo el repertorio de elementos químicos y moléculas presentes en nuestro planeta en sus primeros miles de años.

Previamente, esas moléculas y elementos químicos constituyen, a su vez, el último paso del proceso de formación del Sistema Solar. Nuestro sistema planetario está formado por un conjunto de planetas rocosos y gaseosos, en el que la Tierra ocupa la posición adecuada respecto al Sol para que se den las condiciones de temperatura, radiación y actividad geológica, así como las necesarias para la existencia de agua, que permitan la aparición y evolución de la vida.


Y remontándonos todavía más en el tiempo, el contenido de las nubes de polvo a partir del cual se forman los sistemas planetarios es el resultado de las transformaciones de la materia que tienen lugar en el interior de las estrellas y de las reacciones químicas que se producen en el medio interestelar.

Es este complejo camino que lleva desde el polvo interestelar hasta la vida en un planeta el que trata de explicar la Astrobiología. Es un camino del que actualmente se conocen algunos tramos, de otros se sabe que no llevan en la dirección deseada y otros se desconocen por completo.

¿Desde cuantos campos diferentes de la Ciencia se aborda la Astrobiología?

Para encontrar el camino que mencionaba antes se necesitan aportaciones procedentes de campos muy diversos: la astrofísica, la biología, la geología, la física y la química son algunas de las ramas de la ciencia involucradas. La ingeniería también juega un importante papel, puesto que la participación en misiones espaciales es uno de los recursos básicos de los astrobiólogos.

La investigación en el Centro de Astrobiología está organizada en cuatro Departamentos: Astrofísica,



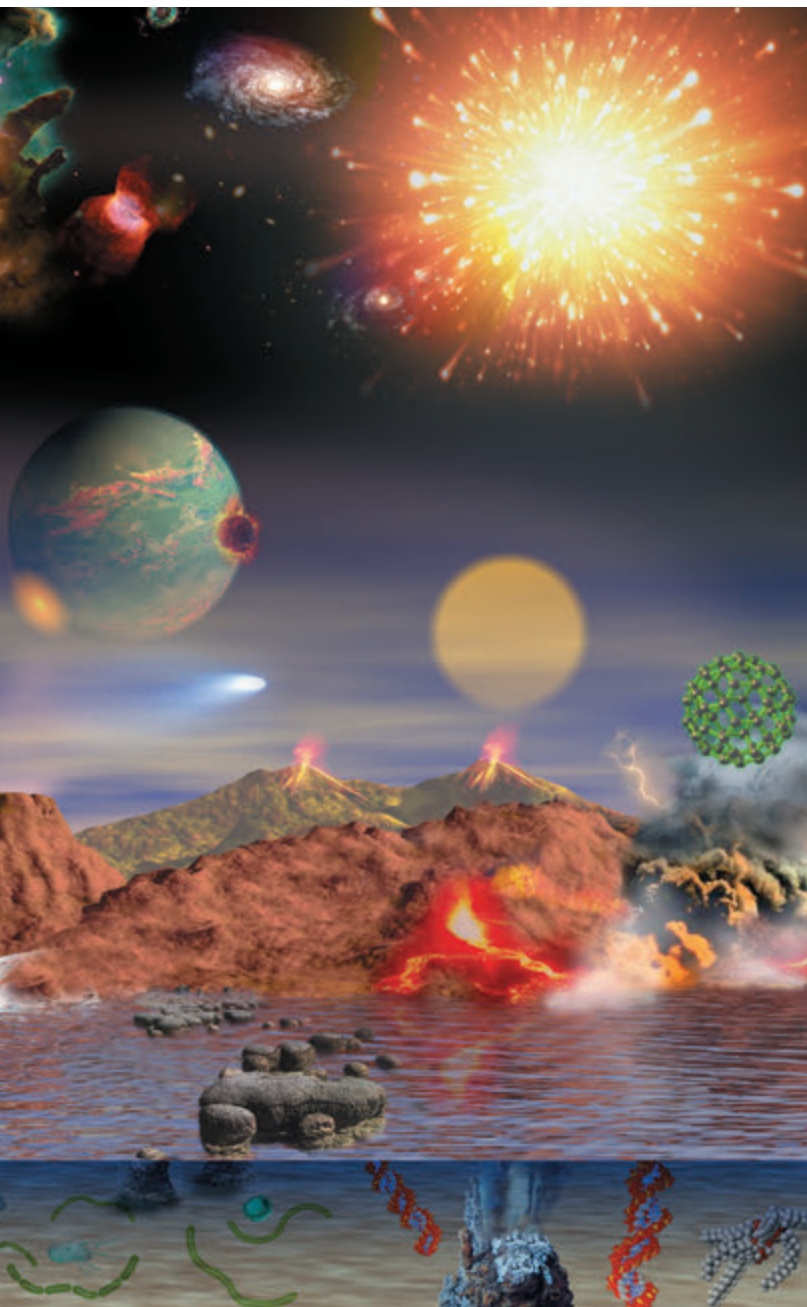
Evolución Molecular, Planetología y Habitabilidad, e Instrumentación. En el Departamento de Astrofísica se estudia el medio interestelar y circunestelar, la formación y evolución de galaxias, la formación y evolución de estrellas, los objetos subestelares y los sistemas planetarios, además de disponer del Observatorio Virtual para facilitar el uso de los datos obtenidos por las misiones espaciales. En el Departamento de Evolución Molecular se estudia la química prebiótica, la evolución molecular y los mecanismos moleculares de adaptación biológica. En el Departamento de Planetología y Habitabilidad se estudia la evolución de los planetas y sus atmósferas, y los ambientes extremos que existen en la Tierra. En el Departamento de Instrumentación se diseñan instrumentos para exploración tanto *in situ* como remota, además de dar apoyo de ingeniería al desarrollo de instrumentos para misiones espaciales. En esta última línea hay que poner de relieve el esfuerzo que se ha hecho en la construcción de cámaras de simulación para reproducir los procesos geoquímicos y geobiológicos que se pueden dar fuera de nuestro planeta. Hay una última línea de trabajo que cubre varios Departamentos y que está enfocada al estudio de biomarcadores, con elementos únicos de demostración de la existencia de vida. **Z**

“La astrofísica, la biología, la geología, la física y la química son algunas de las ramas de la ciencia involucradas en los estudios astrobiológicos. La ingeniería también juega un importante papel, con el diseño y desarrollo de misiones espaciales”.

No cabe duda de que existe vida en el universo pues todos los seres vivos que habitamos la Tierra somos prueba de ello. Sin embargo, por el momento, somos el único ejemplo de vida que se conoce. A la luz de esta evidencia, la investigación biológica ha permitido ampliar enormemente nuestro conocimiento sobre la vida y los seres vivos terrestres, pero quedan aún muchos e importantes interrogantes por responder. Para empezar, desconocemos en qué consiste exactamente el concepto de "estar vivo". Tampoco tenemos respuestas para determinar cómo apareció la vida en la Tierra, ni para explicar cómo evoluciona y se desarrolla. Si ampliamos la perspectiva, no sabemos todavía si hay vida en otros lugares del universo y, en caso de haberla, cómo podríamos detectarla. Para terminar, aún no hay respuesta al interrogante de cuál es el futuro de la vida en la Tierra y en otros lugares. La disciplina científica que busca responder a todas estas cuestiones trascendentales es la astrobiología.



Astrobiología: Universo y Vida



■
Recreación de la evolución del universo y la vida en la Tierra desde el *Big Bang* hasta la actualidad.

Origen y evolución de la vida

Dado que la Tierra es el único lugar donde sabemos que existe vida, sus características nos proporcionan un patrón para rastrear su posible existencia en otros lugares del universo. La búsqueda de vida fuera de nuestro planeta comienza, paradójicamente, en la Tierra. Desde un enfoque biológico, los astrobiólogos se interesan por las formas tempranas de vida, realizan un seguimiento de su evolución en la Tierra y tratan de definir los límites para su supervivencia.

Para saber cómo surge la vida en la Tierra se debe desentrañar el proceso de organización de la materia hasta llegar a la aparición de los seres vivos. Una de las primeras teorías propuestas sobre el origen de la vida fue la de la Generación Espontánea, ya defendida por Aristóteles, según la cual la vida se creaba a partir de materia inerte. Esta teoría también se denominó Abiogénesis, en oposición a la Biogénesis que sitúa el origen de los seres vivos en otros seres vivos. Esta teoría fue finalmente refutada por el químico francés Louis Pasteur en la segunda mitad del S. XIX. En la actualidad, la transición de materia inerte a organismos vivos es explorada desde dos enfoques: de abajo-arriba y de arriba-abajo. El objetivo es comprender cómo se produce el paso de la química a la biología.

En el enfoque de abajo-arriba (es decir, del pasado al presente) la vida se origina a partir de materia inanimada en un proceso de evolución química. El resultado se denomina síntesis prebiótica, término utilizado por el bioquímico ruso Alexander Oparin en su trabajo pionero de 1924. Posteriormente, el genetista británico John Haldane propuso el mismo proceso, de manera independiente: el origen abiótico de los primeros organismos vivos por un proceso de evolución química que tuvo lugar en los océanos de la Tierra primitiva. Este proceso fue reproducido en laboratorio por los estadounidenses Stanley Miller y Harold Urey en un famoso experimento realizado en 1953.

El enfoque de arriba-abajo (del presente al pasado) propone el estudio genético de los organismos actuales para deducir las características de organismos ancestrales. Además, se estudian las huellas que dejan de forma directa los organismos biológicos -sus restos-, o indirecta -en el entorno, y a través de su actividad vital- en el registro fósil, para localizar y datar las formas de vida más antiguas en nuestro planeta.

La definición más aceptada actualmente de astrobiología es la de ciencia que estudia el origen, evolución y distribución de la vida en el universo. Una definición tan amplia como esta da una idea de los múltiples y variados objetivos de los estudios astrobiológicos, que aglutinan aspectos fundamentales de un gran número de disciplinas científicas tan dispares a primera vista como la astrofísica, las ciencias planetarias y atmosféricas, la geología, la química, la biología molecular y la biología evolutiva. Los diferentes puntos de vista y aproximaciones que aporta cada una de esas disciplinas se solapan entre sí, haciendo que la astrobiología sea, por tanto, multidisciplinar.

Las investigaciones astrobiológicas involucran a biólogos, químicos, astrofísicos, geólogos, matemáticos e ingenieros. Todos ellos trabajan coordinadamente para contribuir a un mayor entendimiento de los procesos y condiciones que llevaron a la aparición de la vida en el universo.

En los años 80 del S. XX las investigaciones genéticas permitieron demostrar que todos los seres vivos conocidos provienen de un único ancestro común.

Sabemos que la Tierra se formó, junto con el Sol y el resto del Sistema Solar, hace unos 4.500 millones de años. Se han encontrado restos fósiles de actividad biológica (biomarcadores) en rocas con una antigüedad de hasta 3.500 millones de años, por lo que la vida podría haber surgido en la Tierra hace entre 3.800 y 4.000 millones de años.

En los años 80 del S. XX estas investigaciones demostraron que todos los seres vivos provienen de un único ancestro común. Este organismo se conoce como LUCA, del inglés *Last Universal Common Ancestor* o último ancestro común universal; y es la base del árbol genealógico de todos los organismos que pueblan, o han poblado en el pasado, la Tierra. Es la base del árbol de la vida. Sabemos que vivió hace más de 3.500 millones de años y que era un microorganismo que ya llevaba a cabo, aunque de forma rudimentaria o incipiente, los mecanismos básicos de todo sistema “vivo”: separación del entorno circundante, metabolismo (obtención de energía libre por parte de un organismo) y autorreplicación. Las investigaciones actuales tratan de averiguar el proceso desde la evolución molecular hasta nuestro ancestro común, es decir, la búsqueda se centra en la conexión entre la química prebiótica y el primer organismo “vivo”.

El experimento de Urey y Miller sirvió para demostrar que la formación de las primeras biomoléculas simples pudo tener lugar bajo las condiciones de la Tierra primitiva y como resultado de reacciones químicas sencillas. Sin embargo, en la actualidad se sabe que la eficiencia de la síntesis prebiótica está íntimamente ligada a la composición de la atmósfera primitiva de la Tierra, que todavía no se conoce con exactitud.

A partir de los modelos de evolución estelar se sabe que, en la época de la Tierra primitiva, el Sol emitía aproximadamente un 70% de la energía actual y la temperatura media de la Tierra estaba por debajo del punto de congelación del agua. Sin embargo, como hemos comentado anteriormente, hay constancia de la existencia de océanos y de vida desde hace aproximadamente 3.800 millones de años. Esta “paradoja del Sol débil” se resuelve suponiendo una atmósfera con una concentración de dióxido de carbono mayor que la prevista. Este dióxido de carbono procedería tanto de las emanaciones gaseosas procedentes de la actividad volcánica, como de la desgasificación de meteoritos y cometas que impactaron contra el planeta. Como resultado de ello, se produciría en la Tierra primitiva un efecto invernadero más pronunciado, reteniendo el calor del Sol y dando lugar a las condiciones necesarias para la síntesis prebiótica.

Debido a las incertidumbres sobre las condiciones reinantes en la atmósfera de la Tierra primitiva, se planteó la posibilidad de que la síntesis prebiótica tuviera lugar en lugares más propicios en el universo, como el espacio exterior, y posteriormente las biomolécu-

las fueran transportadas a través de cometas y meteoritos hasta la Tierra. Esta hipótesis se conoce como Panspermia (del griego *pan*, en todas partes, y *sperma*, semilla) o, a veces también, Litopanspermia (del griego *litos*, piedra). El hallazgo en 1969 de aminoácidos idénticos a los obtenidos en el experimento de Urey y Miller en el meteorito Murchinson hallado en Australia vino a apoyar esta idea. La hipótesis de la Panspermia fue enunciada por primera vez por el biólogo alemán Hermann Richter en 1865. Pero fue a comienzos del S. XX cuando el químico sueco Svante Arrhenius usó el término Panspermia para explicar que el origen de la vida en la Tierra se hallaba en el espacio exterior, tal y como ya planteó el filósofo griego Anaxágoras en el S. V a.C.

Los límites de la vida

Los astrobiólogos estudian la evolución de la vida (tanto a nivel molecular como a nivel de organismos y ecosistemas) para averiguar cómo ha evolucionado la biosfera terrestre con el planeta, cuáles son los límites para la vida en función del medio ambiente circundante y la posible existencia de análogos de estas condiciones en otros lugares del universo.

Se trata, asimismo, de establecer lo que puede considerarse como la “firma” de la vida en la Tierra (los denominados “biotrazadores”) y su reconocimiento, para confirmar si hay -o hubo alguna vez- vida en otros lugares del Sistema Solar, como por ejemplo Marte o Europa (una de las lunas de Júpiter).

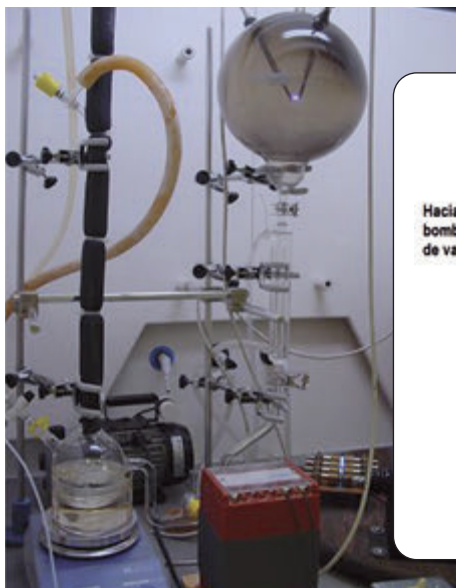
Los astrobiólogos comenzaron a estudiar entornos terrestres con condiciones extremas en los que, a priori, se creía imposible que la vida pudiera estar presente, pero que podían ser considerados como análogos a algunos lugares del Sistema Solar, como el planeta Marte. Los microorganismos encontrados en estos entornos aparentemente hostiles, denominados extremófilos, han resultado ser más frecuentes de lo esperado, siendo capaces de vivir en ambientes con altas temperaturas o presiones, o incluso en lugares con altos niveles de acidez, salinidad o radiación. Las investigaciones sobre extremófilos están ampliando enormemente nuestra comprensión de la naturaleza y los límites de la vida.

¿Cómo buscar vida en otros lugares del universo?

Desde un enfoque astrofísico, los astrobiólogos tratan de desentrañar la evolución química del universo estudiando la presencia de moléculas en el medio interestelar y circunestelar (los espacios aparentemente vacíos que hay entre estrellas y galaxias), y el contenido molecular en regiones de formación estelar. El estudio de la química del universo, la astroquímica, pretende comprender la complejidad química observada en nuestro entorno estudiando cómo se forman moléculas como el agua, el metano, el amoníaco, e incluso

■
Montaje del experimento de Urey y Miller en el Laboratorio Transdisciplinar del CAB.

• Crédito: CAB



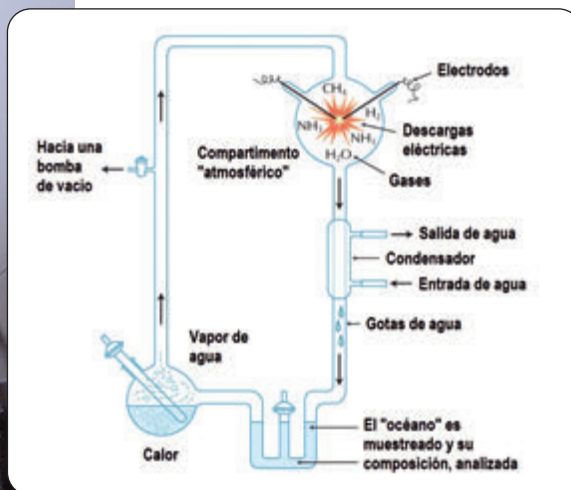
moléculas prebióticas, en el medio interestelar.

También estudian la formación y evolución de estrellas y discos protoplanetarios, incluyendo la formación de sistemas planetarios y la búsqueda y caracterización de planetas extrasolares potencialmente habitables.

Actualmente se conocen cerca de 600 planetas extrasolares y esta cifra no deja de crecer día tras día gracias a los avances tecnológicos en materia de telescopios y de su instrumentación, así como a las novedosas técnicas de observación utilizadas. Gracias a ello, se han llegado a obtener imágenes directas de planetas orbitando alrededor de la estrella central; y también, han permitido detectar la presencia de dióxido de carbono en la atmósfera de algunos planetas extrasolares. Además, algunas misiones espaciales están dedicadas al descubrimiento y caracterización tanto de discos protoplanetarios (*Herschel*), como de planetas extrasolares (*Corot* y *Kepler*).

A través del estudio de los sistemas planetarios podemos averiguar las condiciones astronómicas y geofísicas que posibilitaron que la vida llegase a prosperar en la Tierra. Las investigaciones pretenden averiguar cómo los sistemas planetarios desarrollan y mantienen las condiciones de habitabilidad necesarias para la existencia de vida. Se trata de establecer los rasgos morfológicos, químicos y espectroscópicos característicos de la vida -“biotrazadores”-, que puedan ser identificados tanto en muestras in situ como en la radiación electromagnética procedente de planetas extrasolares.

En el campo de las ciencias planetarias, los astrobiólogos estudian la evolución y caracterización de ambientes habitables en el Sistema Solar con el fin de comprender los procesos planetarios subyacentes que los originan. De este modo, se pretende establecer la historia de los planetas del Sistema Solar y la relación que existe entre la geología, la generación de atmósferas y la vida. Asimismo, se estudia la influencia del Sol joven en las atmósferas planetarias y la evolución de los climas en la Tierra. Esto incluye el estudio de ambientes extremos y análogos de Marte en nuestro planeta (como Ríotinto en Huelva), así como la exploración in situ de otros cuerpos del Sistema Solar, como es el caso del Planeta Rojo. El descubrimiento de hielo en Marte, así como las evidencias halladas de la existencia en el pasado de agua líquida en su superficie, aumentan la posibilidad de encontrar restos de agua líquida en el subsuelo. Hoy por hoy se considera que el agua líquida es un principio esencial necesario, aunque no suficiente, para la aparición de la vida, pues se trata del disolvente ideal para las reacciones bioquímicas y proporciona el caldo de cultivo para que las moléculas prebióticas



■
Esquema del experimento de Urey y Miller.

• Crédito:
Modificado de “Evolution”
(Cold Springs Harbor
Laboratory Press, 2007).

se transformen en microorganismos biológicos. Pero Marte no es el único objeto de estudio en nuestro vecindario solar. En el marco de estas investigaciones, el estudio de Titán, la luna de Saturno, mediante la sonda *Huygens*, ha permitido acceder a un entorno prebiótico donde el papel del agua lo realiza el metano. Y la posibilidad de explorar la luna Europa de Júpiter es un claro objetivo astrobiológico, dado que, bajo su espesa corteza de hielo, es posible, que haya una gran masa de agua líquida.

Desde un enfoque tecnológico, por último, las investigaciones astrobiológicas tratan de determinar qué tecnología, derivada de todos estos conocimientos, es necesaria para dotar a las misiones planetarias de sensores capaces de detectar potenciales formas de vida.

La vida como consecuencia de la evolución del universo

Desde una perspectiva global, podemos decir que la astrobiología pretende encontrar la relación entre la creación del universo y la aparición de la vida en él. Su objetivo último es estudiar y comprender el fenómeno de la vida, considerándola como una parte integrante del universo. Pero, ¿es la vida un fenómeno fortuito o es la consecuencia de la evolución del universo? En otras palabras, ¿el surgimiento de la vida en el universo es fruto del azar o de la necesidad?

Aunque no obtengamos nunca respuesta a esta pregunta, la astrobiología pretende fundamentar científicamente la idea de que el fenómeno de la vida no constituye un caso exclusivo de la Tierra, sino que la vida puede surgir en cualquier lugar del cosmos en el que se den las circunstancias adecuadas. Si nos atenemos estrictamente a las leyes que rigen el universo, muchas de las circunstancias que posibilitaron la aparición de vida en la Tierra pueden haber ocurrido, pueden estar ocurriendo o podrán ocurrir en otros lugares. Es por ello que la exploración de dichas condiciones y la elaboración de modelos para explicar la transición desde la química orgánica del universo hasta la bioquímica de los seres vivos terrestres son las claves para dar con la ansiada respuesta. **Z**

La astrobiología es la ciencia que estudia el origen, evolución y distribución de la vida en el universo.

Para saber más:

Generación Espontánea - Biogénesis - Biogénesis - Síntesis Prebiótica -
Paradoja del Sol débil - Panspermia - Litopanspermia - Extremófilos - LUCA -
biotrazador - discos protoplanetarios - planetas extrasolares

Departamento de Instrumentación

En julio de 1976 la nave *Viking 1* alcanzó la superficie de Marte, constituyendo uno de los hitos más importantes de la exploración planetaria. Ella y su nave gemela, la *Viking 2*, que llegó al planeta rojo dos meses después, transportaban un conjunto de instrumentos que fueron diseñados para recoger y enviar a la Tierra datos sobre la atmósfera y sobre las características mecánicas y magnéticas del suelo con el objetivo de determinar si existía algún tipo de microorganismo en la superficie marciana. Hasta la fecha actual ha sido uno de los pocos instrumentos enviados al espacio con la misión de detectar vida fuera de nuestro planeta.

Este proyecto fue posible gracias a la fructífera colaboración entre biólogos e ingenieros, quienes han sido, probablemente, los precursores de los instrumentos desarrollados con posterioridad para la búsqueda de vida.

El proceso de desarrollo de un instrumento comienza cuando un grupo de investigadores plantea un objetivo científico a resolver. En el caso de la misión *Viking*, el objetivo era responder a la pregunta: ¿existe vida en Marte?

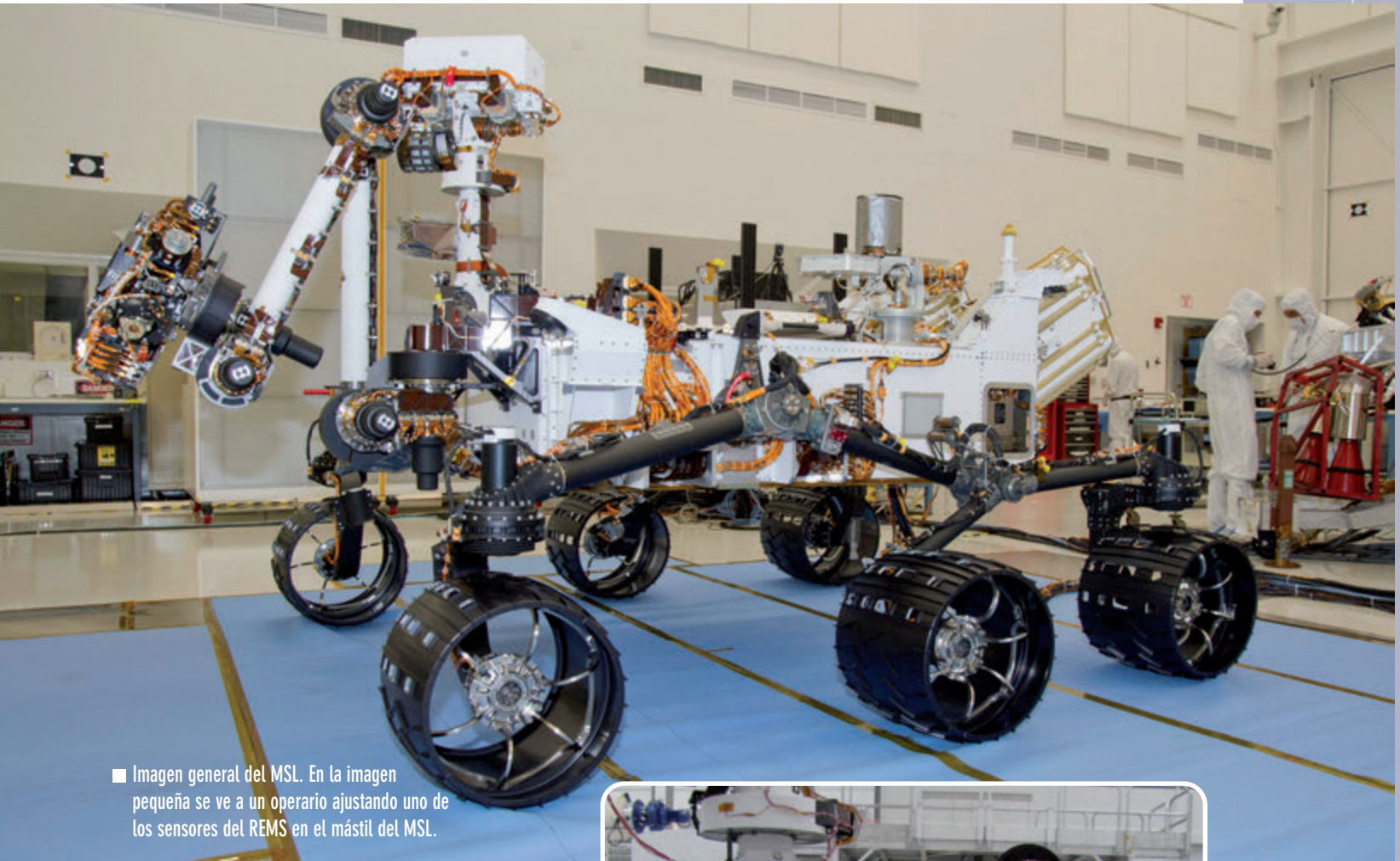
El siguiente paso consiste en determinar el experimento o sensor que puede aportar la información necesaria para contestar esa pregunta. Para la misión *Viking* se diseñaron una serie de experimentos enfocados a identificar una de las funcionalidades básicas de la vida: el metabolismo. La validez del concepto propuesto se demuestra a través de ensayos de laboratorio y, posteriormente, se diseñan y fabrican una serie de instrumentos cada vez más sofisticados, capaces de soportar las condiciones extremas que se dan en toda misión espacial y de ejecutar de forma automática los experimentos diseñados.



■ La *Viking* fue la primera misión espacial con el objetivo de buscar vida fuera de nuestro planeta.

Instrumentos para buscar vida en otros mundos

Actualmente, el CAB está desarrollando un instrumento heredero de *Viking*. Se trata de un equipo que busca responder a la misma pregunta, pero a través de un método diferente. En nuestro caso, se pretenden identificar moléculas de origen biológico en una muestra de suelo marciano. Hay muchas técnicas de laboratorio utilizables, pero el CAB cuenta con un grupo de biólogos con una larga experiencia en una de ellas: las micromatrices de anticuerpos. Al igual que en la *Viking*, se formó un equipo de biólogos e ingenieros para poner en marcha el proyecto. Se hizo un primer prototipo, con el que se demostró que el concepto era el adecuado y que era posible la detección, a partir de una muestra de suelo, de moléculas orgánicas. A continuación se desarrolló un segundo prototipo, completamente automatizado, que fuese capaz de realizar los mismos ensayos del laboratorio, pero en el campo, bajo condiciones de polvo y



■ Imagen general del MSL. En la imagen pequeña se ve a un operario ajustando uno de los sensores del REMS en el mástil del MSL.

temperaturas no controladas. El siguiente paso ha sido preparar un modelo muy similar al que podría usarse en una misión de exploración planetaria para probarlo en condiciones ambientales adecuadas.

La exploración de Marte

Después de la misión *Viking*, debido quizá a unos resultados poco alentadores, la exploración planetaria se paró totalmente y no fue hasta principios de los años 90 cuando volvió a relanzarse con la misión *Pathfinder*. Después, se lanzó la pareja de vehículos de la misión *Mars Exploration Rovers*, que sigue operando actualmente. Ambas misiones no estaban dotadas de una instrumentación básica, puesto que su objetivo primario fue el desarrollo de tecnología.

En los próximos años habrá dos misiones que explorarán Marte *in situ*: el *Mars Science Laboratory* (MSL) de NASA y la nave *ExoMars* de la Agencia Espacial Europea (ESA). El CAB participa en ambas misiones contribuyendo con un instrumento en cada una: la estación meteorológica REMS en el MSL y el espectrómetro Raman en la *ExoMars*. El MSL es un proyecto dotado de una instrumentación mucho más sofisticada que la de sus pre-



• Créditos: NASA/JPL-Caltech

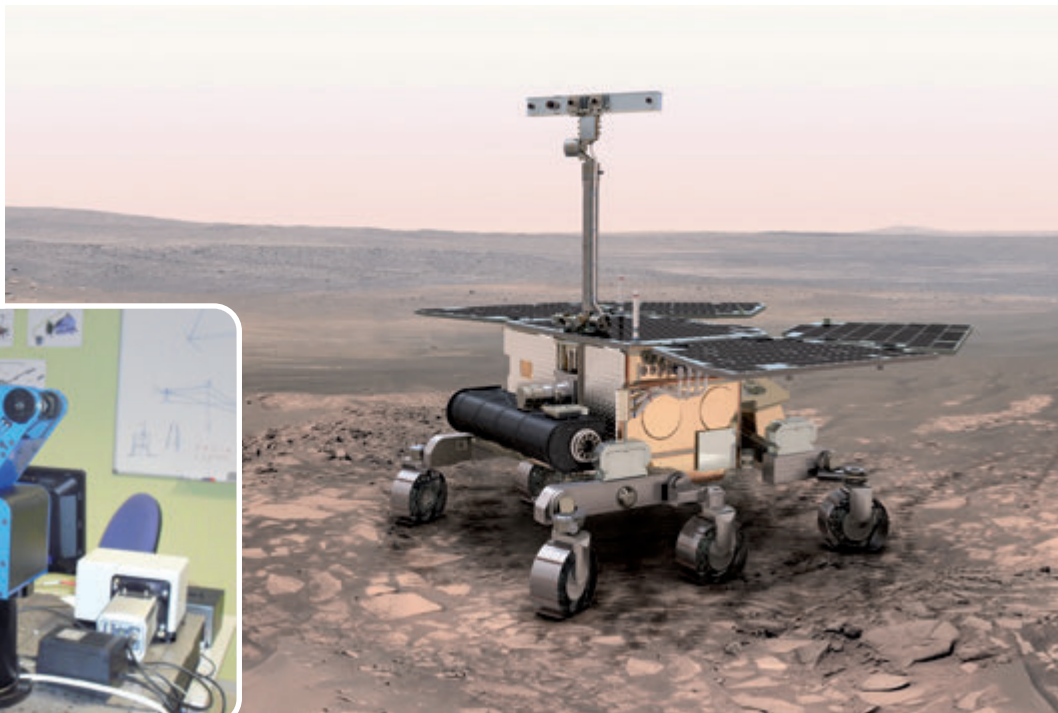
El MSL llevará a bordo el REMS, instrumento desarrollado en el CAB y cuya misión es caracterizar la atmósfera marciana.

decesores. Entre sus objetivos científicos se encuentra el estudio de la habitabilidad de Marte, y uno de los elementos que contribuyen a determinar esa condición ambiental es su atmósfera. Conocer las condiciones de presión, humedad, velocidad del viento, temperatura del aire y del suelo, radiación ultravioleta, etc., es clave para verificar si se dan condiciones favorables para la existencia de vida en Marte.

En este caso, el CAB ha desarrollado un instrumento denominado REMS (*Rover Environmental Monitoring Sta-*

■ Imagen artística del rover *ExoMars*. En primer plano, imagen del espectrómetro Raman sobre el brazo robótico de prueba.

• Crédito: DiCYT



tion) para medir estos parámetros. Forma parte del grupo de instrumentos que el MSL llevará a Marte y su objetivo científico es caracterizar la atmósfera marciana. El procedimiento de desarrollo ha sido un poco diferente, puesto que las técnicas de medida en meteorología son bien conocidas, por lo que el esfuerzo fundamental en este caso ha sido su implementación a un instrumento siguiendo unas severas restricciones en cuanto a peso, volumen y consumo, así como a la necesidad de trabajar a temperaturas del orden de $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

• El espectrómetro Raman de la nave *ExoMars*

¿Se dan condiciones de habitabilidad en el subsuelo de Marte? Sabemos que en la superficie se dan condiciones bastante agresivas para el desarrollo de microorganismos, fundamentalmente debido a los niveles de radiación ultravioleta que llegan a la superficie del planeta, pero unos centímetros por debajo estas condiciones cambian y, por tanto, es muy importante conocerlas.

En este caso la forma de abordar el desarrollo de un instrumento vuelve a ser diferente a los casos anteriores. Al tener un gran desconocimiento del objetivo de exploración el primer paso es, precisamente, tratar de remediar esa falta de información, para lo cual lo mejor es recoger la mayor cantidad posible de datos. Bajo esta premisa, y en colaboración con el grupo de geólogos del CAB, se planteó la posibilidad de incluir en un instrumento el mayor número posible de las técnicas que se utilizan en su laboratorio. El resultado ha sido un primer prototipo que incluye una cámara de video, un sistema de toma de muestras líquidas y tres espectrómetros: infrarrojo, ultravioleta y Raman. Este prototipo está en su fase de prueba en campo y ya ha viajado a la base española de la Antártida y al desierto de Atacama, donde ha recogido sus primeros datos.

Los espectrómetros ultravioleta e infrarrojo ya se han utilizado en diferentes misiones de exploración, pero hay un tipo de espectrometría ampliamente utilizado en los laboratorios de geología y química que nunca ha formado parte de ninguna misión: la espectrometría Raman.

Quizás la razón fundamental sea que, a diferencia de las primeras, que no requieren de ninguna fuente de excitación, en la espectrometría Raman es necesaria la utilización de un láser; una tecnología con ciertos requisitos de estabilidad y consumo. Actualmente, los desarrollos tecnológicos permiten incorporar esta técnica en un instrumento espacial, por lo que un espectrómetro Raman, liderado por un investigador de la Unidad Asociada al CAB de la Universidad de Valladolid, forma ya parte de la instrumentación científica del rover *ExoMars* de la ESA.

Cámaras de simulación y de caracterización

Cámaras de simulación

Desgraciadamente el coste de desarrollo de una misión a Marte, Júpiter o Saturno es lo suficientemente elevado como para que no se lleven a cabo con la periodicidad que le gustaría a la comunidad científica. Muestra de ello es que hoy en día es necesaria la cooperación de diferentes agencias espaciales para llevarlas a cabo. Por lo tanto, la única forma de entender los fenómenos que tienen lugar en los planetas es simularlos a pequeña escala en cámaras especialmente diseñadas.

En la superficie de Marte o Tritón se dan temperaturas extremadamente bajas y a ellas llega fundamentalmente la radiación emitida por el Sol. La cámara de que se dispone actualmente, denominada PASC, puede generar la composición de gases que se desee, al igual que unas condiciones de presión adecuadas. Igualmente se

• Crédito: CAB



■ Cámara de simulación de atmósferas y superficies planetarias, PASC (*Planetary Atmospheres and Surfaces Chamber*).

puede simular irradiación ultravioleta y de partículas de baja energía. Esto permite simular fenómenos en la superficie marciana como, por ejemplo, la posibilidad de existencia de agua líquida en determinadas mezclas de agua y sal, o estudiar las posibilidades que tiene una comunidad bacteriana de sobrevivir en una mezcla de minerales típica de la superficie de Marte, sometida a los ciclos extremos de temperatura a los niveles de radiación ultravioleta que se dan en ella. Una de las ventajas de este tipo de instalación es la posibilidad de acoplar instrumentación de laboratorio para monitorizar los cambios que se producen en la muestra de ensayo durante el experimento. En nuestro caso, se dispone de un espectrómetro infrarrojo que permite monitorizar los cambios mineralógicos.

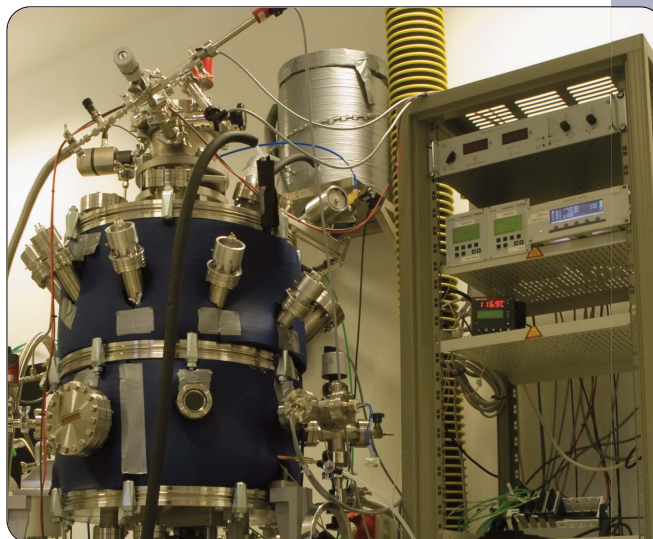
Otra de las cámaras existentes, la HPPSC, es capaz de reproducir las condiciones de alta presión generadas en la corteza de Europa, la luna de Júpiter. Se supone que su interior es un gran océano de agua líquida cubierto por una corteza de hielo de varias decenas de kilómetros de espesor. Dentro de esa capa de hielo, y protegidos de la radiación ultravioleta por el propio hielo, pueden darse condiciones de habitabilidad que es necesario experimentar. En este caso, los procesos que se dan en la cámara de ensayos se monitorizan a través de un espectrómetro Raman.

Las capacidades de simulación se pueden llevar más allá del estudio de los cuerpos del Sistema Solar y poder reproducir las condiciones que imperan en el medio interestelar, que son fundamentalmente: muy baja presión y altos niveles de radiación ultravioleta. Se ha construido una cámara, denominada ISAC, que reproduce estas condiciones, pero en este caso se utiliza un espectrómetro infrarrojo, que permite seguir las transformaciones que se producen en las partículas que forman parte de los experimentos que se llevan a cabo.

Cámaras de caracterización

La simulación de las condiciones planetarias también es necesaria para la calibración de los instrumentos que se van a utilizar en misiones de exploración. No se trata de verificar su capacidad de soportar esas condiciones, sino de analizar los datos que toman en condiciones controladas y utilizarlos como referencias para los da-

• Crédito: CAB



■ Cámara de simulación de la atmósfera de Marte, MARTE (*Mars Simulation Chamber*).

Instrumentos para trabajar a escala molecular

Además de la instrumentación para las misiones espaciales y para la simulación de ambientes planetarios y espaciales, se ha desarrollado un equipo de laboratorio que por su singularidad es necesario mencionar. Se trata de un conjunto de instrumentos que permiten trabajar a escala molecular y así poder analizar los fenómenos que suceden en la superficie de minerales a ese nivel de resolución. Todos ellos tienen en común que deben trabajar en ultravacío y son los siguientes: espectrómetro de fotoemisión de rayos X, espectrómetro de fotoemisión de radiación ultravioleta, microscopio de efecto túnel, espectrómetro de electrones Auger y difractor de electrones de baja energía.

tos que se tomen posteriormente en condiciones reales. En el caso de Marte, se han construido dos cámaras. Una de ellas, denominada MARTE, sirve para verificar el sensor ultravioleta del instrumento REMS, y comprobar la influencia que tiene en sus lecturas la existencia de polvo en el ambiente bajo diferentes condiciones de iluminación. La otra cámara sirve para medir la capacidad del sensor de viento del mismo instrumento REMS en condiciones de baja presión y con una composición atmosférica lo más parecida a la del planeta.

Aunque recientemente se ha lanzado la misión *Herschel*, ya se está estudiando una de sus posibles sucesoras, el observatorio japonés SPICA, con un espectrómetro para el infrarrojo lejano diseñado en Europa. Uno de los elementos críticos de esta misión, y que determinará sus capacidades, son sus detectores de la radiación infrarroja, una radiación extremadamente débil. Estos detectores están todavía en proceso de desarrollo y, por tanto, no están completamente caracterizados.

La contribución del Departamento se realizará precisamente en ese área, aumentando sus capacidades para el ensayo de elementos superconductores, que tienen que trabajar a temperaturas de unos pocos cientos de milikelvin, muy cerca del cero absoluto. **Z**

Para saber más:

Misión Viking - Espectrometría Raman
SPICA - MSL - REMS - ExoMars

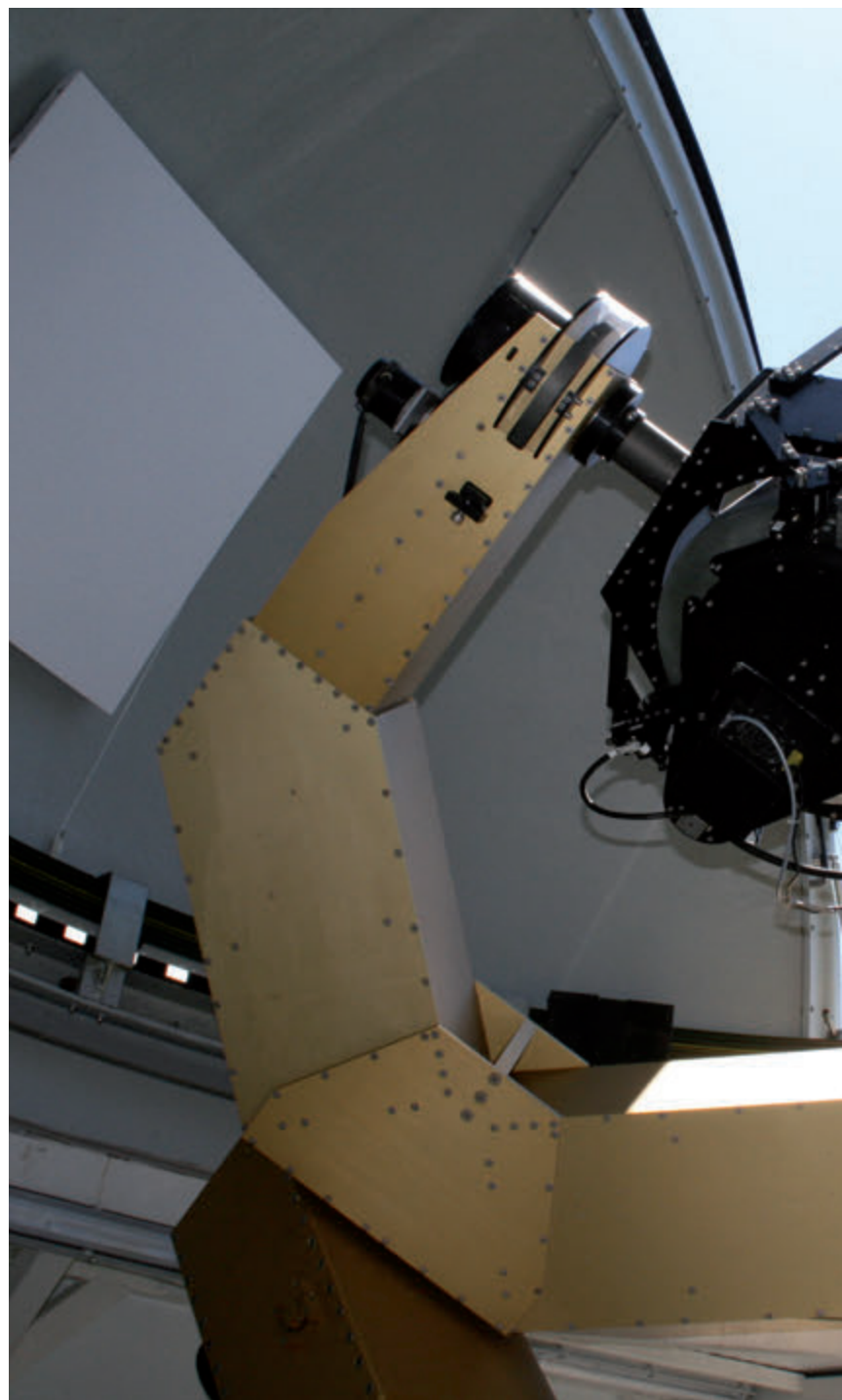
Coordinador de contenidos: Javier Martín Soler

Reportaje

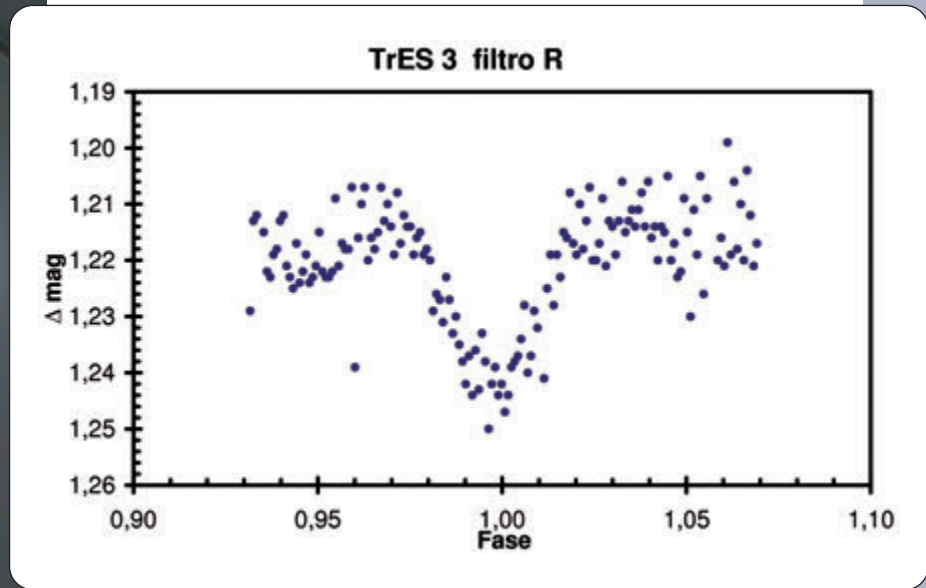
Departamento de Astrofísica

Estrellas, Planetas y Vida

Unos 20 minutos después del Big Bang el universo primitivo tenía una tabla de elementos químicos muy corta: solo había cuatro o cinco casillas ocupadas por hidrógeno, helio, litio, berilio y quizás boro. Hoy, 13.700 millones de años después, la tabla periódica es mucho más rica... ¿de dónde viene el silicio de la arena de los desiertos y las playas?, ¿y el hierro y el cobre, que cambiaron la historia de la humanidad?, ¿y el uranio, que alimenta las centrales nucleares?... Y desde el punto de vista de la Biología, ¿cómo y cuándo se formaron el carbono, el nitrógeno, el oxígeno, el azufre, el fósforo y todos los elementos químicos que componen los seres vivos?... Aunque parezca sorprendente, la vida está íntimamente ligada a los procesos físicos que ocurren en el interior de las estrellas.



Cuando el universo tenía una edad de aproximadamente 600 millones de años tuvo lugar la primera generación de estrellas y comenzaron a formarse las primeras galaxias. Esas estrellas eran muy diferentes a las que conocemos ahora porque su composición era muy simple, de hecho estaban compuestas fundamentalmente de hidrógeno. Las partes centrales de esos objetos primitivos eran inmensos hornos donde el hidrógeno se transformaba en helio, éste en carbono, oxígeno y nitrógeno... Cadenas de complejas reacciones nucleares de fusión hicieron que su composición química fuera cambiando, haciéndose más y más variada con la creación de nuevos elementos químicos. El final de la vida



Curva de luz de la estrella TrES-3 con un planeta en tránsito obtenida con el telescopio robótico del CAB del Observatorio de Calar Alto (Almería).

■ El telescopio robótico del CAB situado en el Observatorio Astronómico Hispano-Alemán de Calar Alto (Almería) está dedicado al estudio de planetas extrasolares.

de cada una de esas estrellas fue una tremenda explosión, una supernova, que arrojó al espacio interestelar gas enriquecido. Las nubes de gas contaminado, mezcladas con otras de hidrógeno primordial, dieron lugar a nuevas generaciones de estrellas; una de ellas es nuestro Sol, en cuyo proceso de formación, hace unos 5.000 millones de años, se creó un sistema planetario en el que la Tierra desplegó un abanico de condiciones adecuadas para que surgiera la vida. Los elementos químicos que se formaron en los hornos estelares anteriores a que el Sistema Solar fuera siquiera un proyecto, son los que ahora componen todo lo que nos rodea, vivo e inerte.

¿Qué sabemos y qué no sabemos?

Tenemos teorías y modelos más o menos detallados de cómo se forman las estrellas y los sistemas planetarios, pero estamos muy lejos de haber resuelto esos problemas en su totalidad. El conocimiento acumulado por las diversas ramas de la Astronomía es comparable a la percepción de un gran rompecabezas en el que muchas piezas están ya colocadas, pero donde hay todavía enormes huecos. El resultado final –el conocimiento del universo, sus leyes y sus componentes– se puede a veces intuir, otras simplemente atisbar, y en otros casos estamos en la más profunda oscuridad. Podemos adivinar qué piezas faltan, pero ignoramos sus detalles, colores y formas. Además, no podemos relajarnos y estar ajenos a sorpresas que cambien lo que ya creíamos bien establecido. Sabemos muchas cosas, pero hay muchas más que desconocemos.

Sabemos cómo son las nubes interestelares, que están compuestas de gas en forma de átomos y de moléculas, y de polvo, que son muy frías, poco densas, (si las comparamos con otros entornos); pero estamos lejos de completar el inventario de sus propiedades y componentes. Se han descubierto muchas moléculas en el medio interestelar, pero debido a las limitaciones de las observaciones, a la opacidad de las nubes, o a que no se ha podido acceder a todos los rangos relevantes del espectro electromagnético, hay aún muchas preguntas por contestar. El material más frío, en forma de polvo, es también un elemento bastante desconocido. La química del medio interestelar, modelada en muchos casos por la radiación de las estrellas en su vecindad, también presenta muchas incógnitas.

Sabemos cómo se forman las estrellas, a partir de condensaciones en las nubes de gas interestelar causadas por ondas de choque u otras inestabilidades. Sabemos que las estrellas más frías y pequeñas forman un disco de gas y polvo a su alrededor, pero no sabemos si ese es un mecanismo universal, es decir, si las estrellas masivas tam-

Los elementos químicos que se formaron en los hornos estelares anteriores a que el Sistema Solar fuera siquiera un proyecto, son los que ahora componen todo lo que nos rodea, vivo e inerte.

bién siguen el mismo patrón de formación. Sabemos que la cantidad de masa mínima para que un objeto pueda ser considerado “estrella” es el 8% de la masa del Sol, pero no sabemos cuál es la masa máxima que puede alcanzar una estrella. Sabemos también que existen objetos subestelares por debajo de esa masa mínima (las enanas marrones y los llamados “objetos aislados de masa planetaria”), pero tampoco estamos muy seguros de cómo se forman y de su abundancia comparada con la de otras estrellas.

Hemos observado directamente discos circunestelares de gas y polvo alrededor de objetos jóvenes, pero no tenemos una teoría clara que explique los procesos por los cuales el gas desaparece en unos pocos millones de años, y el polvo da lugar a objetos más grandes, los planetesimales. La mayoría de esos objetos chocan entre sí y producen polvo reprocesado, mientras que unos pocos a veces tienen éxito y sobreviven a esas condiciones, pudiendo convertirse en planetas: nuestro conocimiento de esos fenómenos es todavía embrionario. Hemos descubierto sistemas planetarios extrasolares, pero no sabemos exactamente cómo se forman. Incluso desconocemos muchas cosas de nuestro propio Sistema Solar.

El Departamento de Astrofísica del CAB aglutina a varios grupos de investigadores cuyo objetivo es colocar nuevas piezas en la parte del “rompecabezas cósmico” que forman todos esos procesos físicos y químicos desconocidos. En este ejercicio los astrónomos se dan la mano con biólogos, bioquímicos, geólogos, científicos planetarios y otros especialistas en una peculiar y apasionante carrera donde el testigo va pasando de unas manos a otras para comprender cómo se formó la vida y en qué entornos, no necesariamente iguales al que rodeó la Tierra primitiva, puede aparecer y mantenerse. La meta es estar preparados para cuando se descubran potenciales indicadores biológicos en algún planeta extrasolar. Será entonces cuando la disciplina Astrobiología, que hoy tiene un significado algo ambiguo, cobre todo su sentido.

¿Qué hacemos en el Departamento de Astrofísica?

El Departamento está organizado en cuatro líneas de investigación, que intentan cubrir, a veces con solapamientos inevitables, cada una de las áreas que hemos descrito anteriormente. Las líneas tienen las siguientes denominaciones y contenidos:

• Medio interestelar y circunestelar

En esta línea se pretende realizar un estudio observacional y teórico de la física y química de las nubes moleculares del medio interestelar, tanto en las regiones más densas con formación estelar, como en las nubes translúcidas del medio más difuso, sin olvidar las envolturas circunestelares alrededor de estrellas evolucionadas. Otro de sus objetivos es la comprensión de la química en discos protoplanetarios alrededor de estrellas jóvenes.

• Formación y evolución de las estrellas

El objetivo fundamental de esta línea es comprender cómo se forman las estrellas y cómo evolucionan. En el marco de la Astrobiología, los procesos de formación estelar son interesantes porque, además del nacimiento de la estrella en sí, las envolturas protoestelares y los discos que se observan en torno a estrellas en formación son las “cunas” donde nacen los planetas. Si conocemos bien los procesos de formación estelar, habremos abierto una vía para estudiar de una manera correcta y orientada la formación de planetas. Por otro lado, la evolución de las estrellas en sus últimas fases es importante porque, como ya hemos

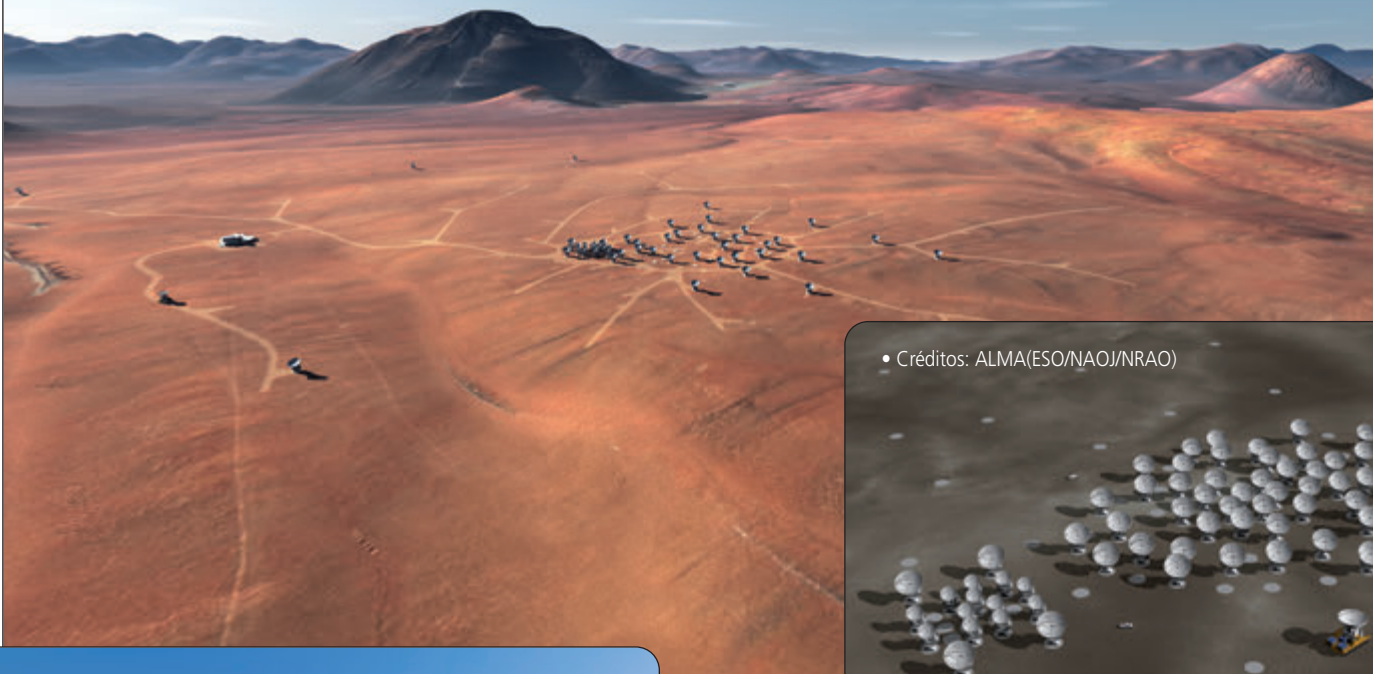
• Créditos: NASA/ESA/L. Ricci (ESO)



■ En esta composición de imágenes obtenida con el Telescopio Espacial *Hubble* se muestran 30 discos protoplanetarios recientemente descubiertos en la Nebulosa de Orión.

• Créditos: ALMA(ESO/NAOJ/NRAO)

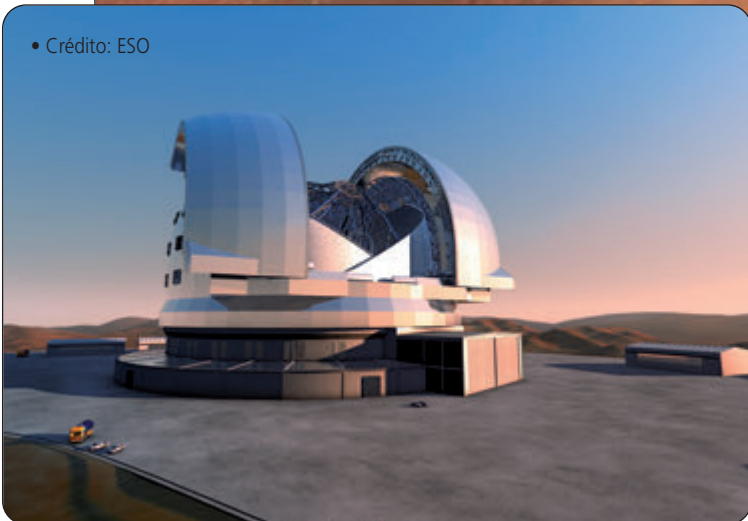
■ Impresión artística de ALMA, con dos posibles disposiciones de antenas. En su configuración compacta (imagen pequeña) todas las antenas están confinadas en un radio de 250 m; mientras que la máxima separación de antenas será de 16 km (imagen grande).



• Créditos: ALMA(ESO/NAOJ/NRAO)



• Crédito: ESO



■ El *European Extremely Large Telescope* (Telescopio europeo extremadamente grande) será el mayor telescopio del mundo, con un espejo principal segmentado de 40 m de diámetro.

apuntado, en ellas se produce el enriquecimiento del medio interestelar, donde nuevos brotes de estrellas surgirán a partir de material procesado.

• Objetos subestelares y sistemas planetarios

En esta línea se exploran regiones jóvenes de formación estelar y asociaciones de estrellas de la Galaxia para la detección directa

de enanas marrones y objetos aislados de masa planetaria, y de objetos en órbita en torno a cuerpos de mayor masa. Se aborda también el estudio y análisis de la evolución y las propiedades físico-químicas de las atmósferas ultrafrías típicas de enanas marrones y planetas de distintas edades y gravedades superficiales y el estudio de las propiedades de las estrellas que albergan planetas y sus interacciones con ellos. La búsqueda y detección de planetas rocosos en zonas de habitabilidad en torno a estrellas de la secuencia principal es uno de los hitos que la investigación en planetas extrasolares viene persiguiendo en los últimos años: su descubrimiento es un paso previo indispensable para intentar buscar en ellos indicadores biológicos.

• Física extragaláctica

Para comprender cómo se originó la vida es preciso estudiar la evolución del universo a gran escala, desde su nacimiento hasta la formación de los discos protoplanetarios, en los cuales se forman sistemas planetarios como el nuestro. Como ya hemos señalado, el gas primordial que se formó tras la Gran Explosión (el *Big Bang*), formado casi en su totalidad por hidrógeno, dio lugar a sucesivas

Para comprender cómo se originó la vida es preciso estudiar la evolución del universo a gran escala, desde su nacimiento hasta la formación de los discos protoplanetarios.

generaciones de estrellas que crearon en su interior todos los elementos más pesados que conocemos. El estudio de los procesos que han determinado la formación y evolución de las galaxias es esencial para comprender el origen de las nubes moleculares, su distribución, y las condiciones necesarias para que se hayan formado planetas similares a la Tierra en otros lugares del universo.

• El Observatorio Virtual

Estas cuatro líneas se complementan con una línea de desarrollo, el Observatorio Virtual, que tiene como principal objetivo garantizar el acceso y el análisis rápido y eficiente de la información existente en archivos astronómicos distribuidos por todo el mundo. Los grandes centros de datos coordinados por agencias u organizaciones como NASA, ESA o ESO (Observatorio Europeo Austral), trabajan desde hace años en la adaptación de sus archivos a los estándares marcados por el consorcio internacional de observatorios virtuales. La cantidad de información disponible en la actualidad es tan enorme que sin el desarrollo de protocolos y herramientas específicas sería imposible una explotación eficiente de todos ellos. Imaginemos simplemente el inmenso esfuerzo que supone la comparación de bases de datos que contengan decenas de millones de objetos astronómicos, estableciendo criterios basados en brillos, colores, morfologías u otras propiedades observacionales o físicas. Otro ejemplo sería la comparación directa de observaciones en todos los rangos de longitudes de onda de un objeto astronómico dado: una mínima experiencia demuestra que los métodos de reducción, almacenamiento, e incluso las unidades físicas en las que cada comunidad (astrónomos de rayos X, ultravioleta, óptico, infrarrojo, radio...) trabaja, son distintos. El Observatorio Virtual está ayudando no sólo a derribar esas barreras y a desarrollar herramientas de análisis, sino a hacer nueva ciencia.

¿Cómo trabajamos?

Los astrónomos son científicos peculiares comparados con los de otras disciplinas. Salvo en unos poquísimos casos (básicamente los meteoritos y las rocas lunares), por razones obvias sus objetos de estudio son inaccesibles: no pueden tocar muestras ni usar laboratorios. La luz es el único elemento que nos proporciona la información sobre el universo, y los telescopios y sus cada vez más sofisticados instrumentos, las herramientas que nos permiten captarla.

En comparación con los astrónomos de hace pocas décadas, hoy somos afortunados por poder observar el universo desde los rayos gamma, los fotones más energéticos, hasta las ondas de radio. Cada rango de longitudes de onda ofrece información sobre un tipo particular de fenómenos o propiedades. En concreto, el universo frío materializado en las nubes interestelares se nos des-

■ La superestructura metálica del GTC asomándose a través de la compuerta de observación de la cúpula.



vela a través de las observaciones en radio y en el infrarrojo lejano; los discos protoplanetarios los vemos además en el infrarrojo próximo y en el óptico. El universo más caliente muestra sus propiedades en longitudes de onda más cortas. En la actualidad es impensable estudiar un objeto astronómico restringiéndose a un rango limitado de energías.

Las técnicas de observación que utilizamos van desde la más obvia, que es la imagen directa y que da una idea de la morfología de los objetos, hasta otras más sofisticadas como la espectroscopia, que permite un análisis en detalle de propiedades como abundancias químicas, movimientos de rotación o con respecto a un sistema de referencia dado, campos magnéticos, o la fotometría, que capta luz en determinadas bandas de color, proporcionando información acerca de la distribución de energía. La interferometría, que combina las observaciones de telescopios individuales, muchas



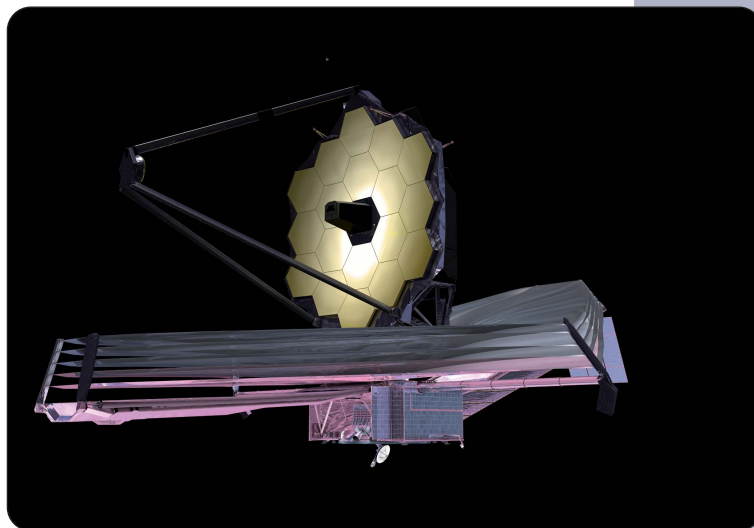
• Crédito: P. Bonet/IAC

veces situados a miles de kilómetros de distancia unos de otros, como sucede en ondas de radio, permite alcanzar niveles de detalle sorprendentes en objetos muy lejanos.

Las observaciones (y ahí la Astronomía ya se une a la metodología de otras disciplinas científicas) se contrastan con hipótesis, modelos teóricos y simulaciones a las que la informática, con sus dispositivos de almacenamiento masivo de datos cada vez más potentes y su capacidad de cálculo, ha dado un impulso enorme.

El presente, con el Observatorio Espacial Infrarrojo *Herschel* en pleno funcionamiento y los grandes telescopios ópticos e infrarrojos en tierra de la “generación de los 10 metros” (refiriéndonos al diámetro de sus espejos principales), entre los que se encuentra el Gran Telescopio Canarias (GTC), y el futuro inmediato, con el lanzamiento del observatorio infrarrojo *James Webb Space Telescope*

■ El JWST será el mayor telescopio en el espacio, con un espejo primario segmentado de 6,5 m de diámetro. Se ubicará en un punto situado a una distancia de 1,5 millones de km de la Tierra, en dirección opuesta al Sol.



• Crédito: NASA



• Crédito: ESA

■ *Herschel* cuenta actualmente con el mayor espejo desplegado nunca en el espacio, de 3,5 m de diámetro.

(JWST), la puesta en funcionamiento del *Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array* (ALMA), y el proyecto del *European Extremely Large Telescope* (E-ELT), auguran una época realmente excitante de trabajo y descubrimientos en las disciplinas a las que se dedican los astrónomos del CAB. Afortunadamente, y esto es lo apasionante de nuestra ciencia, el universo nunca dejará de sorprendernos. **Z**

El futuro inmediato, con el lanzamiento del JWST, la puesta en funcionamiento de ALMA y el proyecto del E-ELT, auguran una época realmente excitante de descubrimientos.

Para saber más:

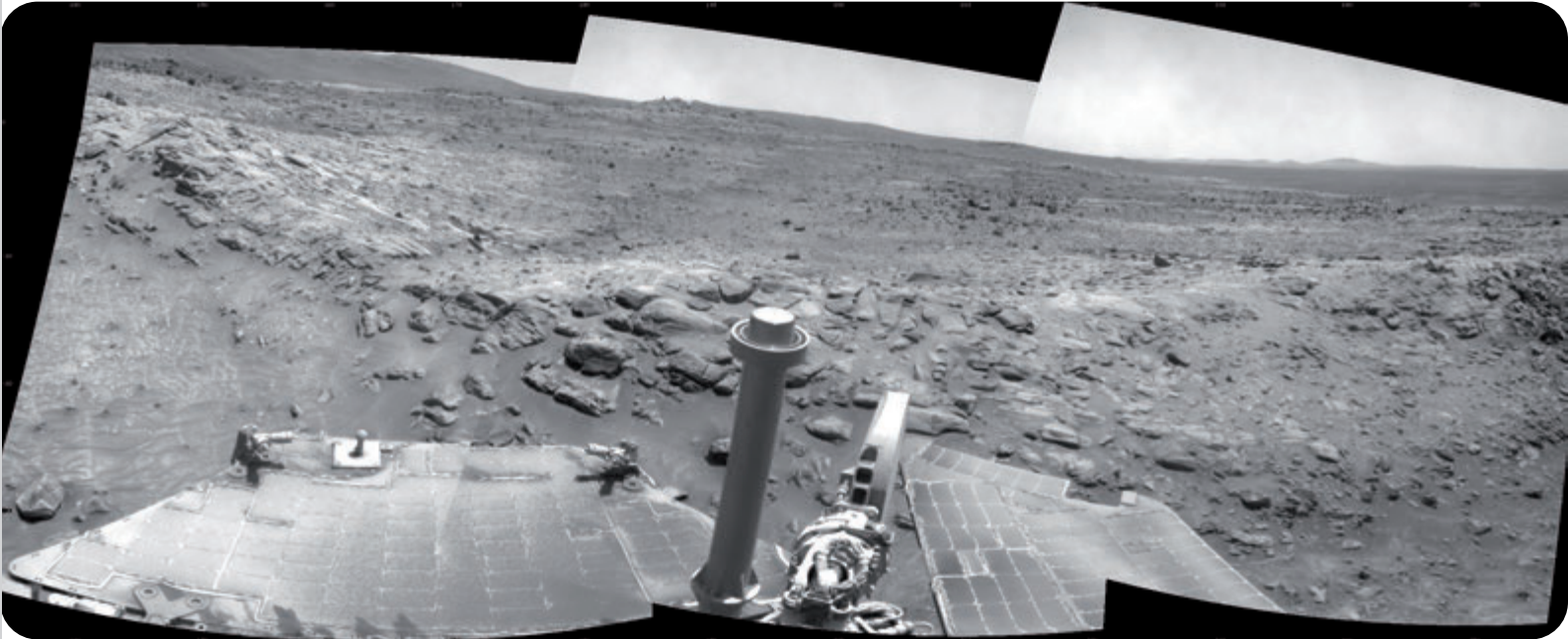
Planetas extrasolares - enanas marrones - discos circunestelares - discos protoplanetarios - GTC - JWST
Herschel - ALMA - E-ELT - Observatorio Virtual

Coordinador de contenidos: Benjamín Montesinos Comino

Reportaje

• Créditos: NASA/JPL-Caltech

■ La superficie de Marte vista desde la cámara del *Mars Exploration Rover Spirit*, uno de los dos *rovers* (el otro es el *Opportunity*) que la NASA tiene actualmente en el planeta rojo.

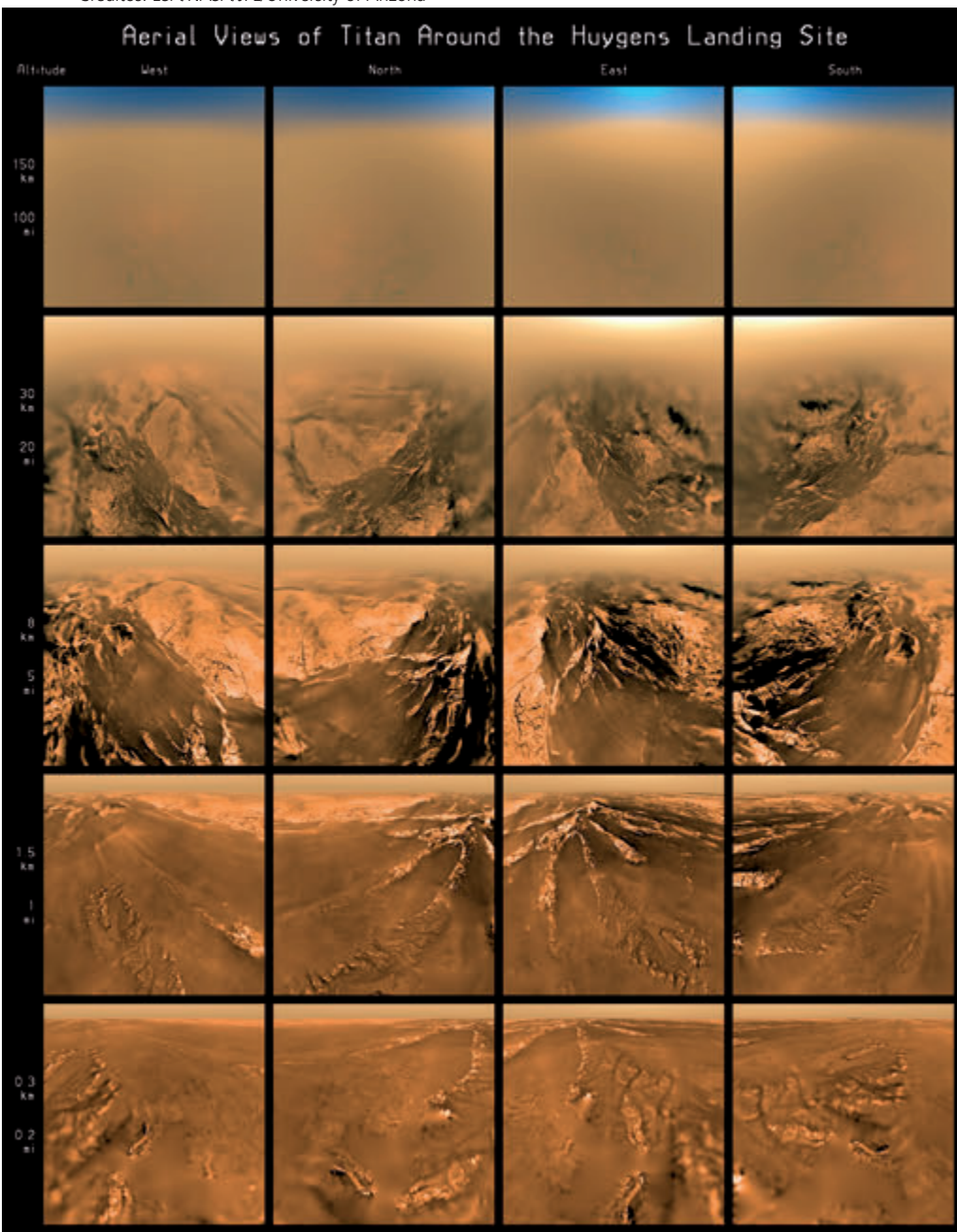


Departamento de Planetología
y Habitabilidad

Evolución de los planetas y sus atmósferas

¿Qué es la vida? Esta es una de las preguntas que el ser humano se ha hecho de forma recurrente a lo largo de la historia de la humanidad y para la que aún seguimos sin tener una respuesta directa. El famoso físico y premio Nobel Erwin Schrödinger ya se preguntó sobre ello en una célebre serie de conferencias divulgativas impartidas en el *Trinity College* de Dublín en febrero de 1943, y que dieron como resultado la publicación, al año siguiente, del libro *"What is life?"* que influyó decisivamente en la ciencia posterior.

Para poder responder algún día a esta pregunta tendremos que haber conseguido entender los procesos que subyacen a la biología en todos sus ambientes y su relación con el sustrato que la rodea en su hábitat.



La interrelación que aparece entre la geología y la biología en cualquier ambiente, ya sea caracterizado por un bajo pH o por elevadas temperaturas, ha sido fundamental en el desarrollo y evolución del proceso físico-químico que conocemos como vida. Pero, para emerger, la vida requiere de la aparición de cuerpos planetarios que la soporten y alberguen. Por tanto, por extrapolación, podemos preguntarnos igualmente por el origen y evolución del único planeta que hasta ahora sabemos que alberga vida o, de forma más genérica, por la formación y evolución de planetas y sus atmósferas y su capacidad para albergar vida. Estas son algunas de las cuestiones clave de la Astrobiología y a las que intentamos dar respuesta en el Departamento de Planetología y Habitabilidad. Iremos, a lo largo de este viaje, desgranando cada una de ellas, describiendo de forma más ex-

■ **Imágenes de Titán, una de las lunas de Saturno, obtenidas por la sonda Huygens en su descenso hacia la superficie el día 14 de enero de 2005. Las imágenes fueron tomadas a cinco alturas diferentes.**

haustiva cada uno de los temas de trabajo que forman parte de este Departamento.

El origen de la vida

Si ya nos es difícil describir qué es la vida, el problema aumenta cuando nos preguntamos por su origen y por los rastros moleculares que ha ido dejando en el registro fósil a lo largo de la historia del planeta Tierra. El estudio de la conservación de la materia en el registro geológico podría ayudarnos de forma determinante a entender el origen de la vida.

¿Cómo fue este origen? ¿Qué características tenía la Tierra cuando se produjo la aparición de este proceso físico-químico que, además, iba a cambiar las condiciones ambientales del planeta donde se originó?

Los fósiles, ya sea como materia orgánica o como componentes de las paredes celulares de bacterias, y los productos minerales a los que hubieran podido dar lugar en su transformación (carbonatos y sulfuros de hierro,

entre otros) se conservan, bajo determinadas circunstancias, en las rocas sedimentarias. Estos compuestos poseen patrones característicos de isótopos estables como resultado de su origen biológico. Los isótopos estables constituyen un grupo de fósiles químicos cuyo estudio puede ayudar a discernir el origen y evolución de la vida temprana en la Tierra.

El estudio del origen y posterior evolución de la vida se complica desde el momento en que es el propio proceso de la vida el que altera las condiciones ambientales del entorno donde se origina, modificando su rastro y, en algunos casos, incluso haciéndolo desaparecer. La aparición del oxígeno como producto metabólico, de gran toxicidad debido a su capacidad oxi-

El estudio de la conservación de la materia en el registro geológico podría ayudarnos de forma determinante a entender el origen de la vida.

dante, constituye un punto de inflexión en la historia del planeta Tierra y de la vida que alberga.

Si aún queremos complicar más esta historia científica podemos preguntarnos por la posible presencia de vida en otros cuerpos planetarios. Sabemos que en algunos lugares del universo se dan condiciones similares a las que debieron estar presentes en la Tierra primigenia en el momento del origen de la vida, como por ejemplo en una de las lunas de Saturno, Titán, donde existen compuestos químicos y condiciones que podrían parecerse a las que reinaban en la Tierra primitiva.

Trataremos detenidamente cada uno de estos temas a lo largo de este viaje a las profundidades de la Planetología y la Habitabilidad.

Río Tinto y los ambientes extremos

La presencia de ambientes extremos con una gran diversidad de formas de vida también supone un reto científico al que dar explicación. Desde hace tres décadas nuestro concepto de los lí-

mites de la vida se ha visto modificado. Ahora, con las investigaciones que estamos haciendo en ambientes extremos, empezamos a vislumbrar los mecanismos que utiliza la vida para adaptarse a distintos ambientes, a distintas circunstancias.

La sorpresa que supuso la gran diversidad microbiana encontrada en el río Tinto fue sólo el comienzo de esta gran aventura que es la investigación en ambientes extremos dentro del Departamento. Un río, de aproximadamente 100 km de longitud desde su nacimiento en la sierra de Aracena hasta su desembocadura en la ría de Huelva, con una media de pH en sus aguas de 2,0 y de un intenso color rojo que le da nombre. Durante mucho tiempo se pensó que las características que atesora este Río eran fruto de la contaminación debida a las minas de río Tinto, una explotación minera a cielo abierto que se sitúa en su origen, en los términos municipales de Minas de Río Tinto y Nerva.

Sus aguas poseen una concentración metálica muy alta.

Así, la concentración de hierro puede alcanzar los 20 gramos por litro, como ejemplo. En sus aguas encontramos disueltos todos y cada uno de los elementos metálicos de la tabla periódica, incluyendo metales pesados. Estos metales son muy tóxicos para la vida pero, aún así, la diversidad encontrada en sus aguas es muy amplia. Nuestro viaje por los ambientes extremos pasa también por lagunas saladas como la de Tínez, un ambiente hipersalino con elevada presión osmótica para los organismos que en ella se desarrollan. Un desierto salino, *El Chott El Jerid*, situado al sur de Túnez, junto con el desierto de Atacama en Chile, son otros lugares de interés para entender las posibilidades de la vida en ambientes con muy baja actividad de agua.

Otro parámetro que determina que un ambiente pueda ser extremo es la temperatura. Los ambientes fríos de los hielos antárticos o de los suelos de permafrost de Alaska o del Ártico son también ambientes donde podemos estudiar la habitabilidad de lugares extraterrestres como la luna Europa de Júpiter o algunos lugares del planeta Marte, donde las sondas de exploración de las agencias espaciales han localizado regiones de permafrost. Otros ambientes extremos debidos a la temperatura son los hidrotermales que



■ Imagen del río Tinto • Crédito: CAB

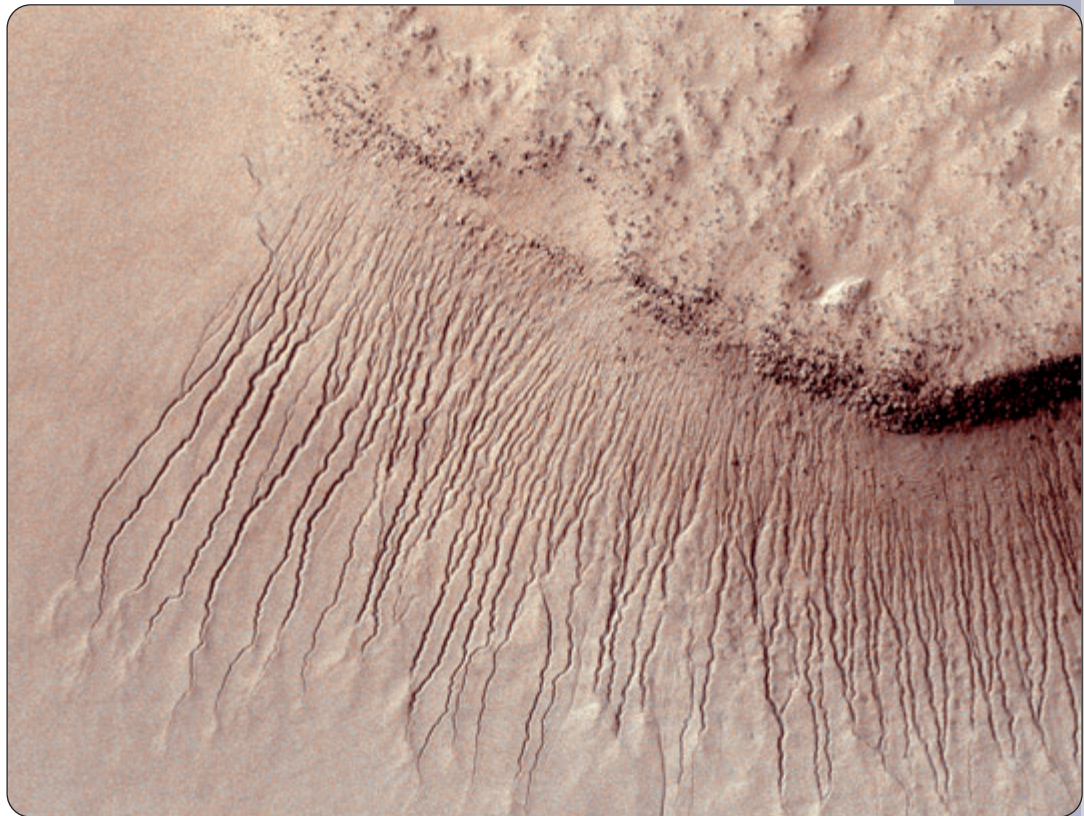
■ Imagen de la *Hellas Planitia* de Marte obtenida por la sonda en órbita marciana *Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)* donde se aprecian numerosos canales (*gullies*) con anchuras comprendidas entre 1 y 10 metros.

podemos encontrar en Islandia, donde los surgimientos de aguas calientes, conocidos como géiseres, presentan diversidad microbiana adaptada a estas circunstancias. Cómo su maquinaria celular se adapta a estas altas temperaturas o cómo los organismos acidófilos que encontramos en ambientes con bajo pH se adaptan a esa acidez, es uno de los retos con los que nos encontramos los científicos del Departamento. Otros ambientes que también se están estudiando desde puntos de vista geológico, mineralógico y geoquímico son los sistemas de mineralización hidrotermales y de metano en análogos terrestres como Jaroso, Islandia, Golfo de Cádiz, Antártida o Canarias.

La Tierra: ambientes extremos y panspermia

Ambiente extremo por excelencia, tomando las condiciones actuales que imperan en nuestro planeta como referencia, fue la Tierra Primitiva. La formación, consolidación y enfriamiento progresivo del planeta dieron lugar a un ambiente extremo, con altas dosis de radiación procedente del espacio exterior y con un gran número de impactos de meteoritos. En este ambiente cambiante fue donde se originó la vida que, a su vez, interactuando con el contexto geológico, consiguió establecerse y evolucionar, modificando este escenario.

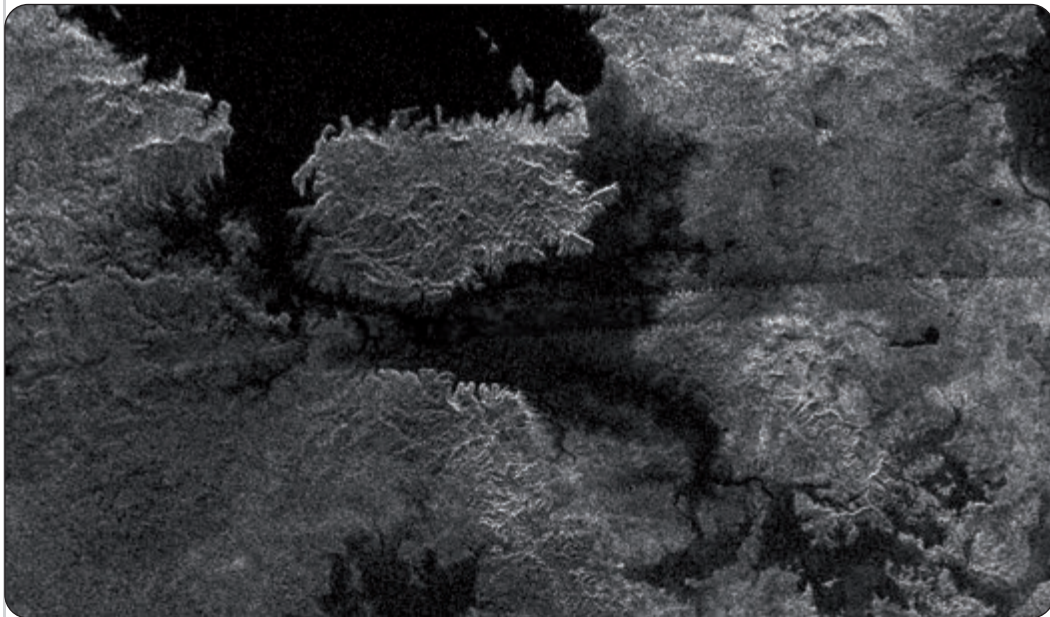
La investigación de este ambiente no resulta fácil porque no existe un análogo directo sobre el que trabajar. Las técnicas de estratigrafía y geoquímica de isótopos estables aplicadas sobre rocas sedimentarias ayudan a los investigadores del Departamento a expandir su conocimiento sobre la vida temprana en la Tierra. Estas mismas técnicas nos ayudan a investigar los eventos de impactos de meteoritos a lo largo de la historia del planeta y sus efectos sobre la biología. En el Departamento existe un gran interés por los estudios de impactos de meteoritos, la química asociada a estos eventos así como por la posibilidad de transferencia de formas de vida entre planetas. Así, por ejemplo, se simulan microimpactos sobre satélites de hielo para estudiar la química asociada mediante el uso de una técnica novedosa conocida como “ablación mediante láser pulsante”, que está siendo usada en el Departamento para ahondar en el conocimiento de estos procesos.



Fue el químico sueco Svante August Arrhenius quien, en 1908, usó la palabra panspermia para explicar el comienzo de la vida en la Tierra. Esta teoría formula el origen de la vida en el planeta Tierra a través de la inoculación de semillas de vida procedentes del espacio exterior transferidas por meteoritos. Algunos experimentos recientes desarrollados en el Departamento dentro del proyecto Lithopanspermia -dedicado a la evaluación de la resistencia de organismos a las condiciones del espacio cercano a la Tierra en un supuesto viaje interplanetario en el interior de meteoritos- reportan la posible veracidad de la teoría al exponer microorganismos endolíticos (que viven en el interior de rocas) a condiciones del espacio exterior sin la protección de la atmósfera terrestre.

Las similitudes de Marte con la Tierra en su origen disparan las comparaciones en su potencial de habitabilidad. En la actualidad varias misiones espaciales, tanto de la NASA como de la Agencia Espacial Europea (ESA), estudian la superficie del planeta rojo. Algunos rasgos morfológicos de su superficie apuntan la posible existencia, al menos en el pasado, de agua líquida. Los famosos *gullies* o rasgos de escorrentía catastrófica que se han identificado en algunos lugares del planeta, son signos inequívocos del desplazamiento de un elemento líquido sobre su superficie, con el acuerdo entre especialistas de que, con gran probabilidad, este elemento fue agua. La presencia de casquetes polares apunta hacia la existencia de un ciclo hídrico que incrementaría ese potencial de habitabilidad. La

• Créditos: NASA/JPL



■ En la imagen de radar de la superficie de Titán, obtenida por la sonda *Cassini*, se aprecian lo que parecen ser lagos de hidrocarburos.

geología del planeta rojo también es punto de interés para varios científicos del Departamento.

A finales de 2011, como colofón a los estudios que se desarrollan en la actualidad en el Departamento, se lanzará la sonda de la NASA *Mars Science Laboratory (MSL)*. Esta misión buscará rastros que pudieran reportar la presencia de vida actual o pasada en el planeta rojo. Uno de los instrumentos que viajarán a Marte en el marco de esta misión es la estación meteorológica REMS, que ha sido construida y liderada por científicos del CAB. Este instrumento medirá parámetros como temperatura y humedad de la atmósfera, temperatura del suelo de Marte, velocidad del viento y la radiación ultravioleta que llega a la superficie. Entre el equipo científico de la misión hay varios miembros del Departamento. La dinámica y naturaleza de la atmósfera, así como el potencial de habitabilidad de este planeta, se estudiarán a partir de los datos que aporte esta misión espacial. Algunos experimentos desarrollados en cámaras de simulación avanzan resultados prometedores sobre la supervivencia de ciertas bacterias en condiciones marcianas. El CAB dispone de varias de estas cámaras que están siendo usadas para hacer simulación en condiciones marcianas así como para calibrar los instrumentos que volarán a Marte en el marco de la misión MSL.

Atmósferas planetarias

Hay muchas interrogantes acerca del origen y evolución de las atmósferas de los planetas del Sistema Solar. Dos de los procesos fundamentales en el origen y evolución de las atmósferas de los planetas terrestres que no terminamos de entender y que este departamento estudia, son el escape hidrodinámico de gases atmosféricos y el papel del campo magnético de un planeta y su interacción con el Sol o la estrella que circunda (planetas

extrasolares) para mantener la atmósfera y contribuir a su habitabilidad.

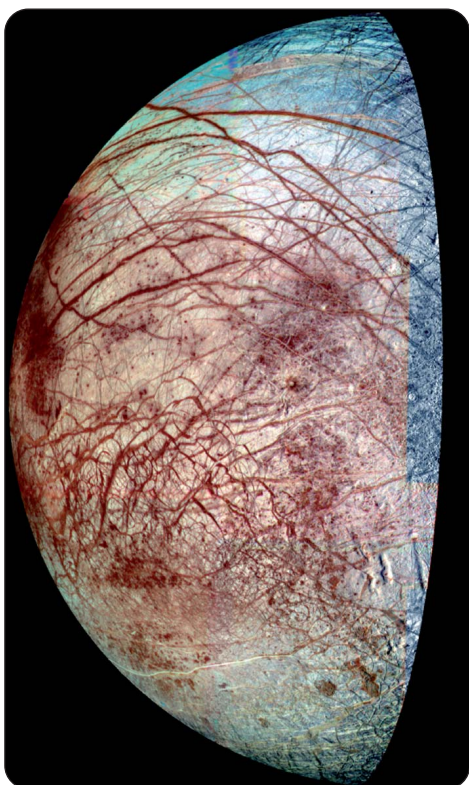
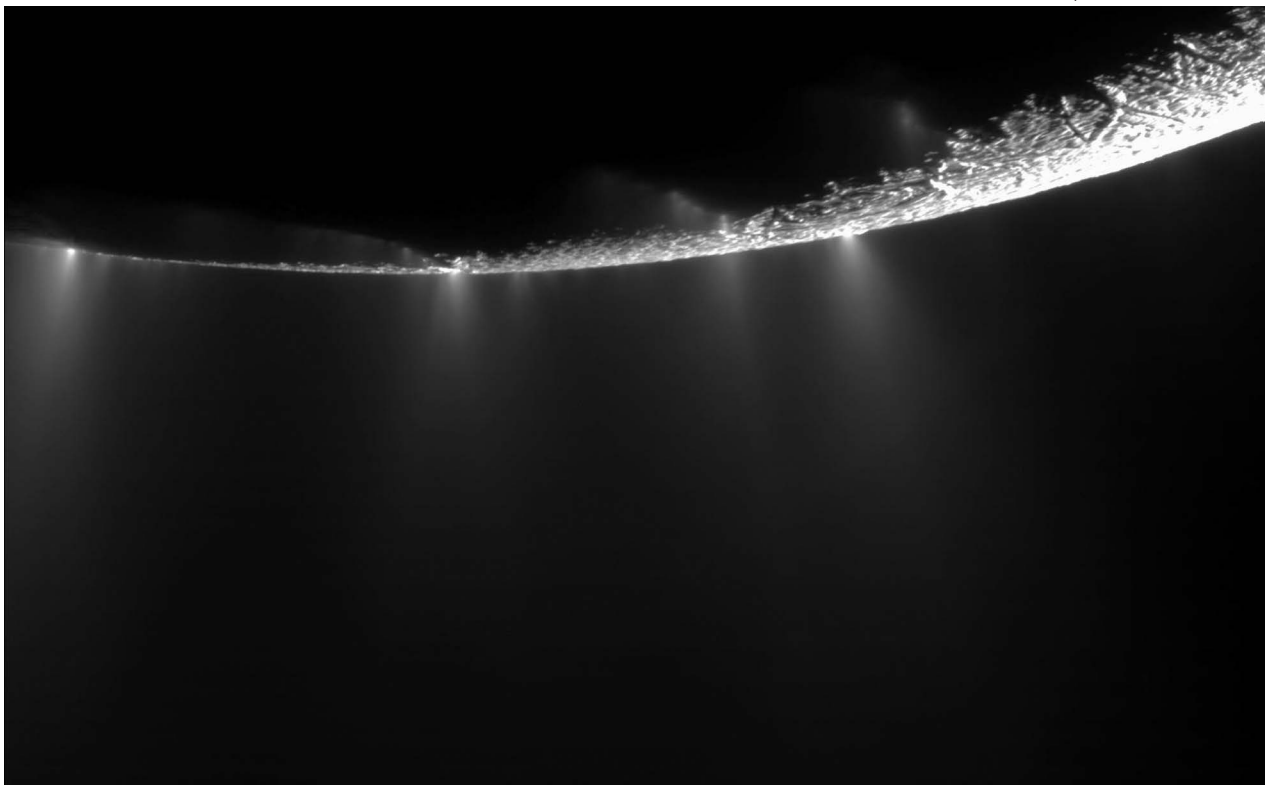
Otros aspectos a estudiar y que pueden determinar la capacidad para albergar vida de un planeta son: su tamaño, el tipo de estrella que circunda, la cantidad de nitrógeno y carbono disponibles en su atmósfera, la presencia de placas tectónicas, la probabilidad de impactos de meteoritos y cometas, y los factores de estabilización de su órbita (por ejemplo, la presencia de satélites).

Así, de forma esquemática, las cuestiones más relevantes relacionadas son las siguientes: la investigación de la presencia de metano (CH_4) en Marte y su origen; el estudio de la presencia de agua bajo la superficie de Marte; la validación de las hipótesis acerca del origen de la vida en la Tierra; la validación de la hipótesis de la etapa de "Bola de nieve" de la Tierra; la búsqueda de solución a la "paradoja del Sol joven y débil"; el origen y evolución de las columnas de agua en Encélado; la evolución de la presión atmosférica en los planetas en general y en la Tierra en particular; el papel de los meteoritos en la evolución atmosférica; la síntesis orgánica en Titán; y la investigación de la habitabilidad y supervivencia en mundos como Titán, Europa o Encélado.

Otro cuerpo celeste de nuestro sistema solar con gran potencial de habitabilidad y que merece mención aparte es la luna Europa de Júpiter. Esta luna está formada por un núcleo rocoso silíceo rodeado por un líquido probablemente con alta concentración en sales y por una corteza de hielo de grosor y naturaleza desconocidos. La misión *Galileo* recogió datos que indicaban un campo magnético en el entorno de Europa con interacción con el Joviano. Este hecho se interpretó como un indicativo de la presencia de un núcleo de hierro así como de la existencia de un océano líquido de agua salada. Las caracterís-

■ Emisiones gigantes de agua surgiendo del interior de la luna de Saturno Encélado en una imagen obtenida por la sonda *Cassini*.

• Créditos: NASA/JPL/SSI; Mosaico: E. Lakdawalla



• Créditos: NASA/JPL/University of Arizona

■ Imagen de la luna de Júpiter Europa, obtenida por la sonda *Galileo*, donde se aprecia claramente su superficie helada y su estructura compleja. Las líneas muestran las zonas de fractura del hielo en la superficie, lo que permite que aflore material procedente del interior (más oscuro en la imagen).

ticas más llamativas de la superficie de Europa son unas bandas o vetas oscuras que aparecen a modo de surcos y que se entrecruzan por la superficie de esta luna. Son semejantes a los hielos marinos terrestres, con rasgos de desplazamiento en los bordes de las placas que forman, lo que confirmaría la existencia de un océano líquido en la sub-superficie que permitiría el desplazamiento de estas placas en superficie.

En el Departamento también se estudia la producción de moléculas complejas como aminoácidos o ácidos carboxílicos sobre Europa. Estas características apuntan a Europa como el siguiente cuerpo celeste con potencial de habitabilidad que será estudiado por las agencias espaciales en un futuro próximo. En la actualidad ya se está diseñando una misión espacial para estudiar el sistema Joviano con especial atención dedicada a la luna Europa. **Z**

Para saber más:

Panspermia - gullies - ambientes extremos
ablación láser

Coordinadores de contenidos: Felipe Gómez Gómez y Fco. Javier Martín Torres

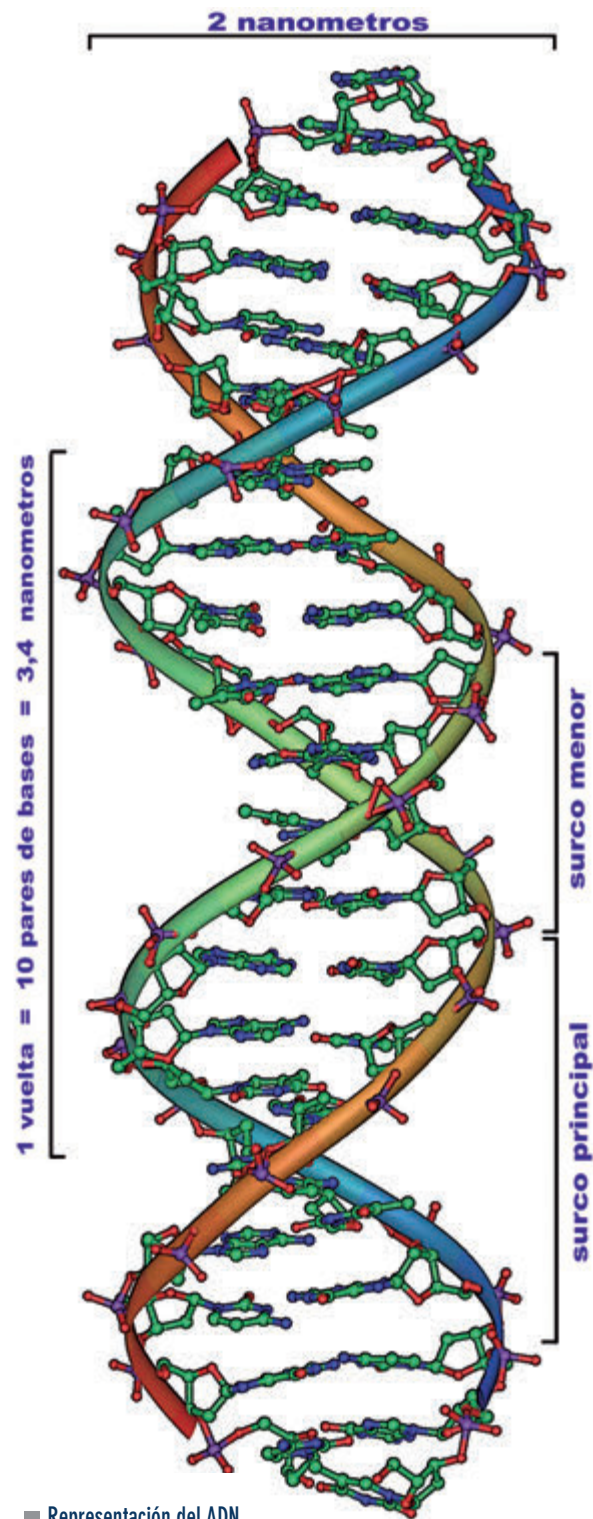
Inicio e historia de la vida

El viaje hacia la evolución molecular parte de lo inanimado. Las propiedades físicas y químicas de la materia inerte dieron lugar a moléculas progresivamente más complejas que, en algún momento temprano, cuando la Tierra aún era un planeta joven, desarrollaron por vez primera la capacidad de hacer copias de sí mismas, de autorreplicarse. Fue el primer paso de un gran viaje que ha explorado muchos caminos. La selección natural es el artífice de la biodiversidad a través de un proceso de prueba y error que ha desembocado en adaptaciones a los ambientes más extremos. La vida es plástica y maleable, y por ello ubicua. Pero esconde aún muchos secretos que desvelar.

La evolución molecular hace referencia a un enorme número de procesos responsables de la aparición de una (bio)química compleja y, más adelante, a los mecanismos que han permitido hallar soluciones a los retos ambientales con los que la vida se ha ido encontrando a lo largo de su historia. ¿Cómo fue posible que moléculas simples como el metano, el dióxido de carbono o el agua, entre otras, generaran las primeras biomoléculas? ¿Qué información nos proporcionan los virus actuales sobre la adaptación de poblaciones a ambientes cambiantes? ¿Cuál es el mecanismo que permite a algunas bacterias sobrevivir en ríos extremadamente ácidos y ricos en metales pesados? ¿Qué huellas moleculares deja la vida y cómo podemos detectarlas? Éstas son algunas de las cuestiones a las que se enfrentan los distintos grupos de investigadores del Departamento de Evolución Molecular.

La chispa de la vida

Hay un buen número de dificultades que jalonan el camino desde la química inorgánica hasta la primera molécula capaz



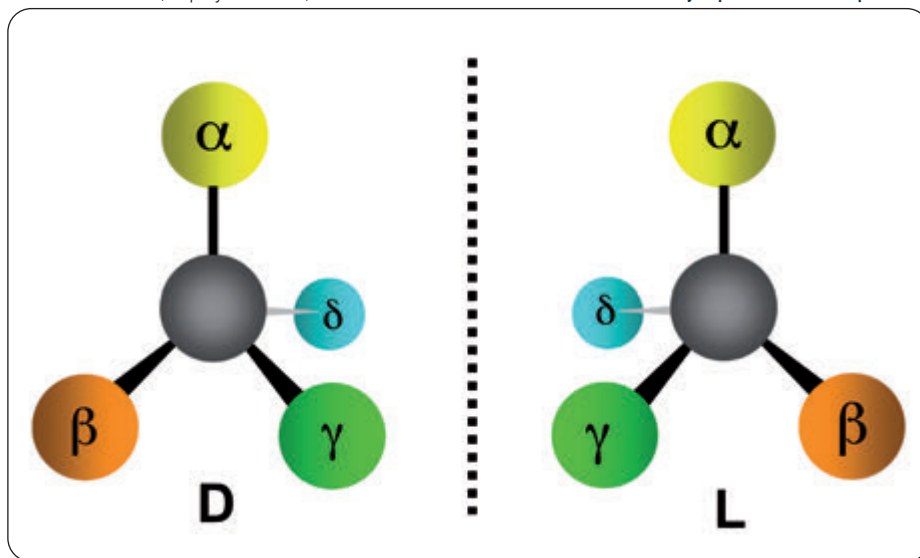
■ Representación del ADN.

de autorreplicarse y, por tanto, capaz de competir con otras formas análogas y evolucionar en el sentido darwiniano. Es el todavía desconocido salto de lo inanimado a lo animado, la chispa de la vida.

Desde los años 50 del siglo XX se realizan experimentos de síntesis prebiótica en condiciones que reproducen la Tierra primitiva. Desde entonces se han explorado distintas condiciones

• Crédito: I. Dunn (biopolyverse.com)

■ Ejemplo de molécula quiral.



donde la química pueda generar productos complejos, como se sabe que ocurre en la superficie de Titán. En los experimentos de síntesis prebiótica desarrollados en tales condiciones se produce una gran cantidad de macromoléculas denominadas tolinas, ricas en nitrógeno y muy difíciles de caracterizar, que pudieron desempeñar un importante papel en la generación de una bioquímica primitiva.

Trabajamos para comprender cómo se forman los polímeros (grandes moléculas formadas por otras más pequeñas) como paso previo al estudio de moléculas capaces de almacenar información genética. Dentro de este tipo de moléculas, destacan los polímeros de cianuro de hidrógeno (HCN) formados en solución acuosa, cuya naturaleza aún no se entiende del todo. Por otra parte, la producción de polímeros largos encuentra grandes dificultades cuando las moléculas que los constituyen alternan en su quiralidad.

La quiralidad es una propiedad que tienen algunas moléculas de idéntica composición atómica de existir bajo dos formas diferentes, siendo una de ellas la imagen especular de la otra (como si la pusiésemos ante un espejo). Por tanto, al intentar superponerlas no encajarían. Los aminoácidos poseen esta cualidad. Cuando se sintetizan, normalmente se genera igual cantidad de moléculas “diestras” (D) que “zurdas” (L), pero para obtener un polímero largo y potencialmente funcional todas deben ser del mismo tipo. Los procesos que conducen a la separación de ambos tipos, o a la generación preferente de una quiralidad frente a otra, se investigan tanto experimental como teóricamente, y ya hemos identificando diversas situaciones en las que la segregación de las dos formas quirales puede ocurrir de forma natural.

Por ejemplo, cuando las moléculas se sitúan en la superficie que separa el agua del aire, la acción de un campo magnético como el terrestre podría haber causado la agrupación selectiva de formas D frente a formas L. Asimismo, cierto estado de desorden, inevitable por otra parte en cualquier sistema natural, podría actuar también en el mismo sentido.

Las superficies de separación entre dos materiales favorecen las reacciones entre moléculas. Aparece así la metáfora de la pizza primitiva (sustituyendo o al menos complementando a la conocida sopa primitiva), donde las reacciones entre moléculas se dan con mayor probabilidad y eficiencia. En tales circunstancias se ha demostrado que se generan las bases nitrogenadas fundamentales: adenina (A), timina (T), citosina (C), guanina (G) y uracilo (U), los bloques básicos de las secuencias de ARN y ADN. También se cree que en la polimerización del ARN podría haber sido esencial la presencia de superficies minerales que actuaran como catalizadores de la reacción.

De las moléculas complejas a la replicación

Desde un mundo con moléculas grandes y complejas queda un largo trecho antes de que la maquinaria de la selección natural se ponga en funcionamiento. La construcción de un sistema metabólico complejo que, entre otras funciones, fuera capaz de replicar secuencias de ARN, pudo haber surgido gracias a la combinación de polímeros aleatorios de ARN que, aun sin poder autorreplicarse, podrían haber dado lugar a las primeras moléculas con capacidad de polimerizar eficientemente.

El mundo de ARN se ha postulado como un posible paso anterior al mundo de ADN y proteínas que conocemos en la actualidad. El ARN tiene la capacidad de almacenar información genética (tarea que en la actualidad lleva a cabo el ADN en todos los organismos, con la excepción de algunos virus) y de catalizar las reacciones bioquímicas que sostienen el metabolis-

Hay un buen número de dificultades que jalonan el camino desde la química inorgánica hasta la primera molécula capaz de autorreplicarse.

• Crédito: CAB



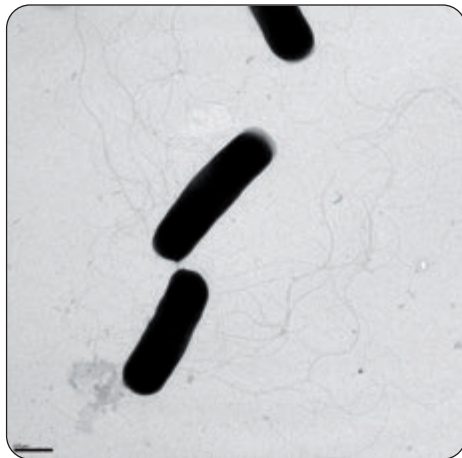
■ En la imagen, selección de plantas de *Arabidopsis thaliana* en tierra con basta (herbicida). Estas plantas han sido "transformadas" con un gen de resistencia al níquel procedente de microorganismos hallados en el suelo de río Tinto.

capacidad de polimerización a partir de pequeños polímeros generados al azar.

Una vez que las primeras moléculas con capacidad autorreplicativa fueron abundantes en el mundo prebiótico, la cooperación y la competencia entre moléculas y la necesidad de adaptación a nuevos ambientes llevaron sin duda a la aparición de formas de organización más complejas. En este contexto, una de las grandes cuestiones es cómo se produce la evolución y la adaptación a nivel molecular; y, por tanto, cómo afectan las inevitables mutaciones a la viabilidad de los organismos.

■ Imagen obtenida con microscopio electrónico de transferencia donde aparecen ejemplares de *Bacillus subtilis*. Son visibles los flagelos peritricos, que salen de los lados del bacilo y no del ápice.

• Crédito: CAB



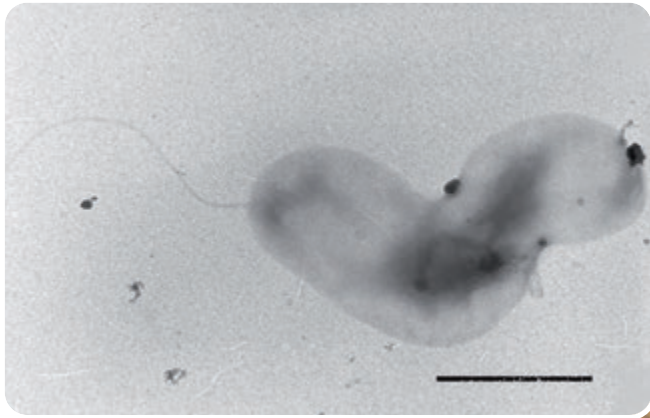
mo (lo cual es ahora, en su mayor parte, tarea de las proteínas). Es pues una cuestión fundamental establecer la capacidad funcional de moléculas simples de ARN y, una vez dotadas de la capacidad de replicarse, estudiar su evolución. En el Departamento se realiza selección y evolución *in vitro* de aptámeros de ARN (moléculas de ARN capaces de unirse a otras) y ribozimas (moléculas de ARN con la habilidad de promover reacciones químicas). Los estudios experimentales se complementan con análisis computacionales de poblaciones de secuencias de ARN en situaciones análogas a las experimentales. Ambas aproximaciones están proporcionando nuevas claves sobre los mecanismos que podrían haber operado en el mundo de ARN, como por ejemplo la forma en que podría emerger una molécula con

La vida imparabile

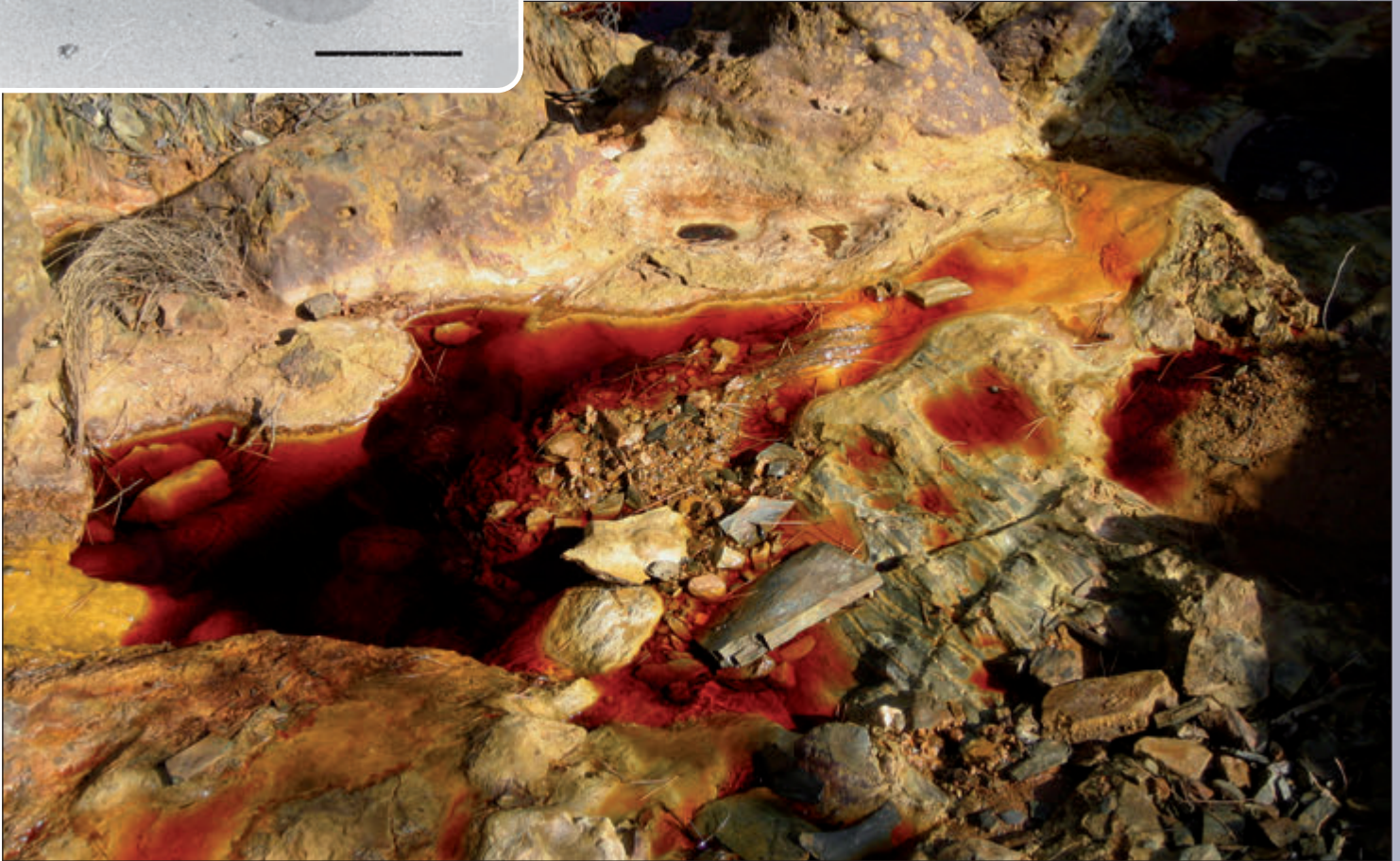
Una vez que la replicación fue eficiente, la aparición de formas más complejas fue un proceso imparabile. Numerosos hitos fueron sucediéndose en los millones de años siguientes: nuevos metabolismos en los microorganismos (como la fotosíntesis oxigénica), la aparición de la célula eucariota y, poco después de los seres pluricelulares, la diferenciación en sexos y la colonización final de prácticamente todos los ambientes terrestres, del agua al aire, de los volcanes submarinos a los hielos, de los ríos ácidos al subsuelo profundo. Las claves para desvelar la evolución molecular detrás de estas adaptaciones las encontramos en modelos sencillos.

Un sistema que nos permite estudiar la evolución *in vitro* en tiempos cortos son los virus de ARN, gracias a que forman grandes poblaciones, se replican rápidamente y sufren frecuentes mutaciones. En el Departamento se trabaja con el fago Q, un virus que infecta bacterias y es, por tanto, inocuo para los animales (nosotros entre ellos). Se puede estudiar con relativa facilidad su adaptación a distintas situaciones ambientales y su respuesta al uso de sustancias mutagénicas que aumentan los errores en la copia de su genoma. A pesar de que esta terapia se ha usado en ocasiones para causar la extinción de la infectividad viral, hemos descubierto que un aumento en la tasa de mutación también puede tener un efecto beneficioso, ya que la generación de mutantes (nuevas propuestas evolutivas, al fin y al cabo) puede promover la adaptación a nuevos ambientes.

Junto con los virus, los microorganismos son los campeones de la adaptación. Las formas en que logran sobrevivir en ambientes



■ En primer plano, imagen de la *Leptospirillum ferrooxidans*. De fondo, imagen de río Tinto (Huelva, España).



que tradicionalmente se habían considerado inhóspitos son conocidas en una mínima parte, así como las complejas relaciones que han establecido con el medio físico. Se está dedicando un gran esfuerzo a la caracterización de sus metabolismos y a la forma en que están organizados, ya que este conocimiento es clave para desentrañar los mecanismos evolutivos que lo han consentido.

El 99% de las bacterias presentes en una muestra ambiental no puede ser cultivado en el laboratorio. Debido a ello, es habitual el uso de organismos tipo, representantes de toda una clase, que son estudiados y explorados desde todos los puntos de vista. Lo habitual es que de ellos se obtenga información sobre muchos otros seres vivos con los cuales comparten historia evolutiva y, por tanto, información genética.

La bacteria *Leptospirillum ferrooxidans* habita en las aguas ácidas y ricas en hierro del río Tinto. Su fascinante genoma es-

tá cediendo al empeño por descubrirlo de los investigadores del Departamento que lo estudian, revelando, por ejemplo, su capacidad para desarrollar un metabolismo aeróbico (consumiendo oxígeno para obtener energía) o para formar, en otras condiciones, biopelículas, dentro de las cuales funciona el llamado *quorum sensing*: el intercambio de señales químicas entre las bacterias capaz de inducir comportamientos colectivos en la población. Hemos estudiado la expresión génica de esta bacteria en su medio natural y hemos comprobado que se trata de un microorganismo “multi-extremófilo”, ya que contiene los mecanismos moleculares para sobrevivir en un medio extremadamente ácido, con una alta concentración de metales y sometido a un fuerte estrés oxidativo.

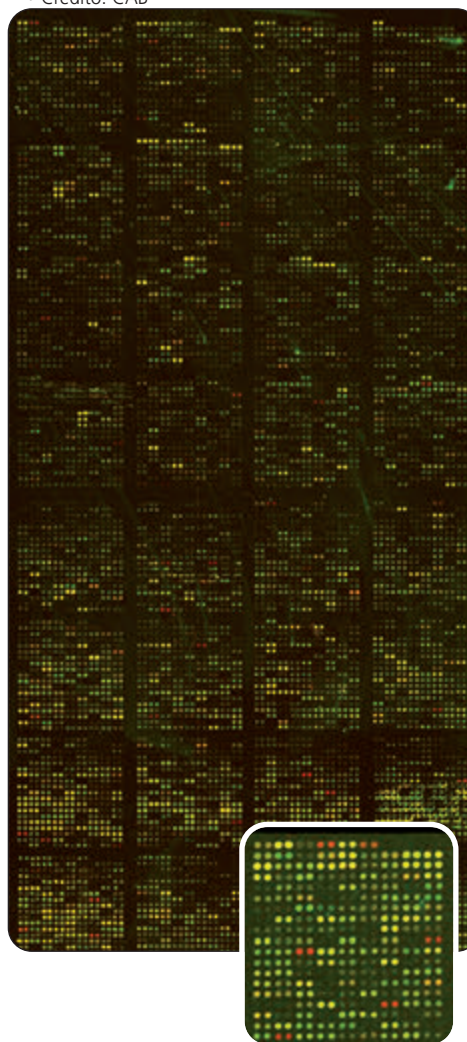
En el Departamento tenemos un gran interés por conocer los mecanismos de interacción entre diferentes organismos que forman verdaderos consorcios para su supervivencia. Un caso particular es la interacción entre microorganismos y plantas, que proporciona a éstas nuevas capacidades de adaptación a condiciones adversas. Nuestras plantas modelo son *Arabidopsis thaliana* y *Erica andevalensis*, cuya resistencia al níquel (ya sea usando variedades naturales o transgénicas) está siendo analizada. La formación de colonias y estructuras multicelulares microbianas en las que se distinguen formas y fisiologías características constituyen modelos interesantes para estudiar el comportamiento multicelular. *Bacillus subtilis* también es un buen modelo para estudiar mecanismos de *quorum sensing*, si bien es interesante además por su capacidad para incorporar en su genoma ADN ambiental, lo cual mejora su capacidad de supervivencia. De hecho, el intercambio de genes entre microorganismos es una forma habitual de adquirir nuevas habilidades y adaptarse a otros ambientes. Este proceso, denominado transferencia génica horizontal, es la forma en la que la biología, desde sus inicios, ha originado organismos transgénicos.

Diversidad en ambientes naturales: genomas y metagenomas

A pesar de la dificultad para cultivar muchos microorganismos en el laboratorio, el desarrollo en años recientes de nuevas técnicas de análisis permite identificar la práctica totalidad de genomas bacterianos presentes en una muestra ambiental. La secuenciación de los genes escogidos y en ocasiones de genomas completos (como en el caso de *L. ferrooxidans*) se lleva a cabo en una unidad específica del Departamento. Una vez las secuencias están disponibles, deben ser analizadas y comparadas con secuencias conocidas de dominio público.

Los expertos en bioinformática ensamblan y anotan los genomas procedentes de la secuenciación y, combinado con los datos proporcionados por *microarrays* de ADN y otras técnicas, reconstruyen y analizan redes metabólicas o la expresión de ciertos genes en función del medio físico. La comparación entre genes o entre las proteínas que estos expresan aporta información sobre la estructura de estas últimas y permite predecir su función en muchos casos. El análisis masivo del contenido genómico de muestras ambientales proporciona el llamado metagenoma del medio estudiado, es decir, el conjunto de los genomas que caracterizan a los

• Crédito: CAB



■ Un *microarray* con 5.000 fragmentos de ADN del genoma de una bacteria extremófila, *Leptospirillum ferrooxidans*. Cada punto del *microarray* contiene decenas de miles de moléculas iguales de un trocito del genoma, y que corresponde a uno o varios genes. Estos *microarrays* se emplean para estudiar qué genes están funcionando preferentemente en dos condiciones ambientales distintas. El color amarillo indica que el gen o genes allí presentes están funcionando en las dos condiciones por igual, mientras que el verde o el rojo indican que predominan en una u otra condición. De esta forma es posible identificar funciones metabólicas implicadas en resistencia y adaptación a factores ambientales como la extrema acidez, alcalinidad, salinidad, temperatura, etc.



• Crédito: CAB

■ Un *microarray* con 200 anticuerpos diferentes frente a especies microbianas, proteínas, extractos bioquímicos naturales, etc. Cada punto contiene hasta un millón de moléculas de anticuerpo capaz de reconocer el antígeno frente al cual fue creado. Tras incubar y revelar con un cóctel de anticuerpos fluorescentes, los puntos brillantes (rojo) indican que el antígeno (bacteria, proteína, alérgeno, etc.) está presente en la muestra testada. La intensidad de la señal puede ser cuantificada y representada en forma de histogramas.

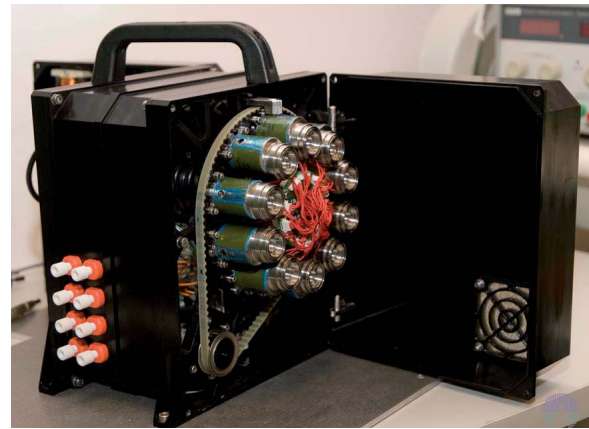
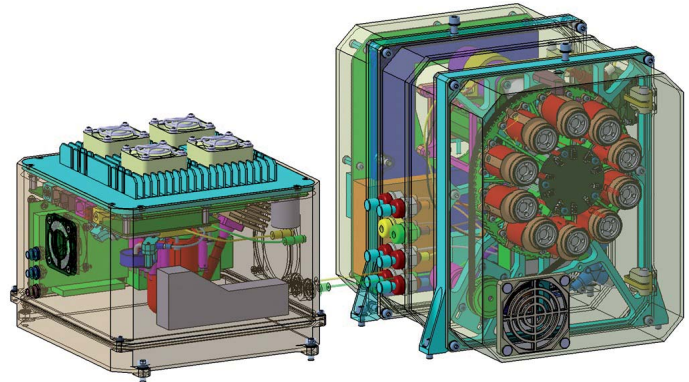
■ Hace varios años se inició en el CAB el desarrollo de SOLID (*Signs Of Life Detector*). Se trata de un proyecto multitransdisciplinar donde biólogos, geólogos, químicos e ingenieros han concentrado sus esfuerzos con un objetivo común: el desarrollo de instrumentación para la exploración planetaria.

SOLID es un instrumento robotizado que permite la detección de biomarcadores (moléculas orgánicas y macromoléculas de origen biológico) de muestras sólidas o líquidas. En SOLID se extrae la materia orgánica de la muestra, se pone en contacto con los anticuerpos y al final se toma una imagen que muestra los resultados del análisis. En cada análisis se pueden detectar simultáneamente cientos de moléculas diferentes.

Actualmente existen dos prototipos de campo, el SOLID2, de 15 kg de peso; y el SOLID3, de 6,5 kg. Ambos han sido ya probados con éxito en varias campañas desarrolladas en río Tinto (Huelva, España), en el desierto de Atacama (Chile) y en la Antártida.

La parte esencial del detector es el biochip LDCHIP (*Life Detector CHIP*), que utiliza microarrays de anticuerpos. El SOLID2 disponía inicialmente del LDCHIP200, con 200 anticuerpos. El SOLID3 dispone ya del biochip LDCHIP400.

El estudio de este tipo de muestras mediante campañas *in situ* es fundamental para entender cómo se preservan las moléculas procedentes de los microorganismos que viven en esas condiciones tan extremas y ayudan a entender o evaluar la posibilidad de procesos similares en otros lugares del Sistema Solar.



organismos presentes en el ambiente. Así es posible identificar genes concretos implicados, por ejemplo, en la resistencia a metales como el zinc, el níquel o el arsénico. Estos genes pueden ser aislados y transferidos a otros organismos, que incorporan así la capacidad de sobrevivir en ambientes extremos o contaminados.

Estudios metagenómicos en colaboración con la Universidad de Alicante han permitido asimismo analizar el metaviroma del ambiente extremo (por su alto contenido en sal) de la salina de Santa Pola. El estudio de los virus que infectan organismos extremófilos está en sus inicios: si el conocimiento de las bacterias y arqueas que colonizan ambientes extremos no deja de sorprendernos, en igual medida lo hará el de los virus que a sus metabolismos extremófilos se han adaptado.

Estudio de los biomarcadores

El Departamento desarrolla varias estrategias encaminadas a la detección de biomarcadores. Los biomarcadores son huellas que los organismos dejan en el ambiente como resultado de su actividad biológica. Pueden ser fósiles, donde las partes biológicas han sido sustituidas por minerales, o tejidos o moléculas que se han conservado de manera excepcional. Incluso las acumulaciones de minerales debido a la actividad metabólica hablan de la biología del pasado. También en el presente se puede

detectar la actividad de comunidades biológicas a través de biomarcadores. El estudio de biomarcadores pasados y presentes es de gran relevancia cuando nos planteamos la detección de vida fuera de la Tierra, uno de los objetivos de la Astrobiología.

El estudio de los biomarcadores tiene por objetivo caracterizar muestras de formaciones geológicas de distintas edades en la Tierra, estudiar el clima en el pasado o detectar una posible actividad biológica que haya desembocado, por ejemplo, en la acumulación de depósitos minerales. En el Departamento también se diseñan biosensores capaces de reaccionar directamente con biomoléculas presentes en los organismos actuales. Entre ellos contamos con distintos *microarrays* de ADN, así como con sondas de PNA (*Peptide Nucleic Acid* -ácido nucleico peptídico- un polímero sintetizado artificialmente en los años 90 del S. XX y análogo a los ácidos nucleicos ADN y ARN). Por último, disponemos de biosensores inmunológicos, utilizados en exploración planetaria para el análisis de muestras *in situ*. El instrumento SOLID3 (*Signs Of Life Detector*), incorpora *microarrays* de anticuerpos y una tecnología sofisticada capaz de analizar muestras ambientales de forma automática. **Z**

Para saber más:

Microarray - Química prebiótica - Quiralidad -
Genoma - Metagenoma - Biomarcador

Coordinadora de contenidos: Susanna Cuevas Manrubia



INSTITUTO NACIONAL DE TÉCNICA AEROSPAACIAL

Fundado en 1942, el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial -INTA- es un organismo público especializado en la investigación y desarrollo tecnológico aeronáutico y espacial. El Instituto está adscrito al Ministerio de Defensa de España a través de la Secretaría de Estado de Defensa.

Dotado de una importantísima infraestructura de instalaciones y laboratorios de investigación, desarrollo, medida y ensayo, algunos de los cuales son únicos en Europa, el INTA contribuye de un modo relevante al avance de numerosos programas aeroespaciales y, muy especialmente, a la potenciación del I+D+i en España.

El INTA abandera programas de alta tecnología, como la serie de pequeños satélites y los desarrollos de los aviones no tripulados SIVA,

Diana y Milano, participando también en grandes programas aeronáuticos como el avión de combate EF2000, el EJ200, el A400M, etc.

Desde las estaciones espaciales de seguimiento, propiedad del INTA u operadas por él, y al amparo de convenios internacionales, el Instituto participa en proyectos de observación de la Tierra, seguimiento y control de vehículos espaciales, sistemas de alerta y salvamento, y observación y estudio del Sistema Solar y el espacio profundo.

Desde el comienzo del siglo XXI, el INTA cuenta asimismo con un centro de excelencia mundial: el Centro de Astrobiología (CAB). Ubicado en el campus del INTA, el CAB es un centro mixto INTA-CSIC, asociado al NASA Astrobiology Institute (NAI).

www.inta.es

