

En recuerdo de Federico Uruburu

Agradecimientos

Hemos recibido de M^a Dolores García, viuda de Federico Uruburu, unas líneas que quieren ser, al mismo tiempo, un emocionado recuerdo personal de su marido y unas palabras de agradecimiento a todos los amigos, socios de la SEM, que le habeis mostrado vuestro afecto.

Las reproducimos con el mismo cariño y emoción con que han sido escritas:

Queridos amigos:

Además de mi tristeza, siento timidez al empezar a hablar de las bondades de Federico. Él es parte de mí y no quiero que parezca presunción lo que yo pueda decir.

Pero yo sé que era un santo y ahora tiene que estar entre los Bienaventurados. Si recordamos las bienaventuranzas que cita el evangelio (y que de pequeños tuvimos que aprendernos) Federico puede incluirse en muchas de ellas.

Era pacífico, limpio de corazón, misericordioso (siempre procuró ayudar a aquellos que se lo pidieron), manso en el sentido más celestial de la palabra ya que nunca manifestó agresividad, de espíritu sencillo y sin ambiciones mundanas lo que le permitió vivir con honradez y sinceridad. No pretendía ser simpático para obtener algún provecho. Sus amigos lo eran por su forma de actuar, no por lo que decía.

Podríamos incluirle en alguna otra bienaventuranza, además de las bíblicas... porque también era bienaventurado por saber disfrutar de las pequeñas grandes alegrías de la vida y por hacernos disfrutar a todos los que estábamos con él. Entre estas alegrías sé que estarían las cartas y muestras de cariño que estoy recibiendo de tantos y tanto compañeros y amigos. Yo sé lo que él hubiese disfrutado con ellas y en su nombre y en el mío os doy las gracias.

Loli

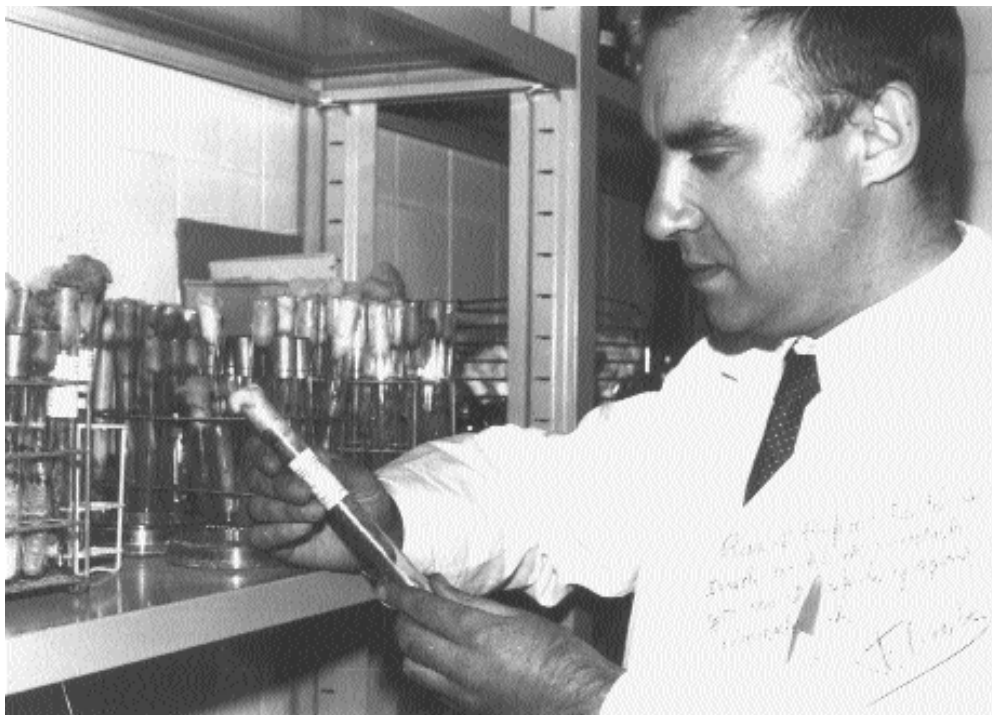


La personalidad y obra de Federico Uruburu

Recuerda uno al Prof. Federico Uruburu Fernández con gran afecto y cariño. Una sonrisa perpetua era su carta de presentación. Era la expresión de su amabilidad para con todos. Tal vez era esa su característica mas destacada, junto a su honradez. No tenía doblez y todo lo hacía con la intención de cumplir con su deber. Se podía confiar plenamente en él. Era lo que se define como una bella persona. En estos momentos le recordamos como Federico era, un profesor y un amigo, siempre entusiasta y amable con verdaderas ganas de agradar.

A título biográfico, nació y estudió en Granada. Después, en Madrid, hizo la carrera de Farmacia (1957-63) que coronó en 1964 con la Licenciatura y la concesión del Premio Extraordinario. Realizó también un curso de Microbiología en el Instituto Pasteur de París. Le conocimos al acabar su carrera, cuando se incorporó como becario al grupo que, al regresar nosotros de Cambridge, habíamos empezado a organizar en el Instituto Jaime Ferran de Microbiología, en el Centro de Investigaciones

Biológicas del CSIC, en Madrid. Allí hizo su tesis doctoral "Ultraestructura de la levadura *Pichia polymorpha*", bajo mi dirección, doctorándose con la calificación de "sobresaliente *cum laude*", e inició su formación en microscopia electrónica, campo en el que se especializó tras su estancia postdoctoral en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de la Escuela Politécnica Federal de Zurich (Suiza) bajo la dirección de los Profs. Frey Wyssling y F. Mühlehaler. Precisamente en esta Universidad Suiza asistió a un curso de iniciación a la Microscopía electrónica bajo la dirección del Dr. H. Moor, donde adquirió muchos de los conocimientos que le convirtieron en uno de los pioneros en España en el campo de la Microscopía elec-



casi diez años más tarde Decano de Biología en la Universidad de Valencia y Director del Servicio de Microscopía Electrónica hasta 1988.

Federico Uruburu colaboró con nosotros en la docencia en Microbiología en la Universidad de Salamanca a lo largo de muchos años desde 1968. Su entrega a la enseñanza era total, tanto en la práctica como en la teoría. Su trabajo lo hacía con gran entrega e ilusión, disfrutaba con los alumnos y siempre estaba a disposición para aclarar dudas o para añadir información complementaria o ayudar

trónica en el área de la Microbiología, aplicando las técnicas más diversas y novedosas.

En 1967, cuando fuimos a ocupar la Cátedra de Microbiología de la Facultad de Ciencias de Salamanca, Federico Uruburu fue uno de los becarios del grupo que se trasladó con nosotros y que colaboró en la ardua tarea de organizar un nuevo departamento e iniciar una enseñanza nueva en una Facultad de Ciencias Biológicas recién creada, aunque fuese en una Universidad tan antigua como la de Salamanca, fundada en 1218. A su regreso de Suiza trabajó en las tareas docentes e investigadoras de nuestro grupo y empezó a preparar la oposición que le permitió incorporarse a la Universidad Española, primero como Prof. Agregado en Bilbao y luego como Catedrático en la Universidad de Valencia. Aquí ha transcurrido la época más fructífera de su actividad docente-investigadora, formando en Microbiología a varias generaciones de jóvenes y dirigiendo varias tesis doctorales a la vez que establecía en Valencia, concretamente en el Campus de Burjassot, la Colección Española de Cultivos Tipo (CECT), que había sido creada por nuestro grupo en Madrid, viajó a Salamanca y finalmente fue encomendada al Prof. Uruburu y a la Dra. Dolores García López. Como investigador y como universitario ha desempeñado importantes actividades a las que se entregaba con ilusión y máxima dedicación. Podemos resumir diciendo que ya en 1973-76 fue director del Departamento de Biología en la Universidad de Bilbao, así como vicedecano de la misma Facultad de Biología y

con la bibliografía o la ampliación de datos de libros o revistas. Disfrutaba con los estudiantes y mejoraba sus actuaciones cada año, colaborando en la cátedra y con las investigaciones sobre levaduras, especialmente en lo referente a la aclaración de estructuras celulares en las microfotografías del microscopio electrónico. En 1973, participando yo en un Simposio Internacional sobre Levaduras en la Universidad de Bratislava, Checoslovaquia, presentamos una colección de microfotografías realizada por el Dr. Uruburu que fue seleccionada adjudicándonos el primer premio internacional. Cuando conoció este resultado se alegró mucho y disfrutó con la distinción.

Su colaboración con la Sociedad Española de Microbiología fue total, poniendo en marcha el Boletín Informativo de la SEM en 1972 durante su periodo de estancia en la Universidad de Salamanca, siendo además miembro de la Junta Directiva de la Sociedad por elección. Sin embargo, donde desempeñó una actividad realmente impresionante, siempre secundado por su esposa la Dra. María Dolores García López, a quien conoció durante su estancia en nuestro laboratorio en Madrid, fue en el establecimiento y potenciación de la CECT, con una localización realmente envidiable en el Campus de Burjassot, en el Edificio de Investigación de la Universidad de Valencia. Precisamente en este mismo lugar, hace sólo unos meses, organizó un simposio internacional de enorme éxito con participación de destacadas figuras europeas y americanas que presentaron su actividad en sus respectivas colecciones inter-

nacionales. A este simposio, patrocinado por la Fundación Ramón Areces, asistieron un destacado número de docentes e investigadores de todo el país y se desarrolló bajo el título "Conservación y Control de Cepas Microbianas". El simposio alcanzó gran reconocimiento con el beneplácito de todos los participantes.

En la misma línea de lo mencionado, un poco más tarde, concretamente el pasado mes de julio, organizó y dirigió el 7º Curso de Iniciación a la Investigación en Microbiología de la SEM actuando de coordinador y alcanzando un decidido éxito. Sinceramente había que ver la ilusión que ponía el Prof. Uruburu en todas estas actividades y el aprecio de los alumnos participantes llegados de las diferentes universidades españolas y no pocos centros de investigación del CSIC. En el Curso participaron como conferenciantes un buen número de profesores e investigadores de diferentes universidades españolas.

En otros campos merece la pena destacar de nuevo su papel en el desarrollo de la Microscopía electrónica en España, área en la que ha sido un refinado especialista desde sus tiempos de formación en la Universidad Técnica de Zurich. Su entrega y actividades le valieron el reconocimiento de la Sociedad Española de Microscopía Electrónica que le nombró en 1993 Socio de Honor, colaborando con esta Sociedad de 1980 a 1993 y participando en numerosas reuniones internacionales. Estando en la Universidad de Valencia, que es testigo de las numerosas actividades de la Fundación Valencia de Estudios Avanzados, merece la pena subrayar que entre 1983 y 1986 el Profesor Uruburu fue miembro del Consejo Científico de dicha Fundación, colaborando en algunas de sus actividades. Nos interesa poner de manifiesto no sólo la actividad científica en la Universidad de Valencia sino, sobre todo, su ilusión y entrega como docente y organizador de actividades.

Federico disfrutaba con todo. Le encantaba viajar y planeaba los viajes con todo detalle. Sabía lo que tenía que ver en cada sitio, cual era el hotel o residencia más recomendable, donde disfrutar de las delicias gastronómicas... Federico era un *gourmet* muy refinado. Con la servilleta protegiendo su corbata, atacaba con placer sus manjares preferidos. Sólo unos meses antes, con ocasión del ya mencionado Simposio Internacional sobre Colecciones de Cultivos, patrocinado por la Fundación Areces, organizó en Valencia una cena memorable. El último de sus viajes también lo había preparado con ilusión: Oporto, luego un hotel estupendo en Guarda, para llegar después a Santiago de Compostela y asistir al Congreso de

Microbiología. Falleció antes de alcanzar su último destino, mientras asistía a la reunión de Directores de Colecciones de Microorganismos que se celebraba en la Universidad de Oporto. Murió en acto de servicio.

Desde otro punto de vista se podrá decir que en todos los congresos y reuniones científicas, actuaba de excelente fotógrafo y su generosidad le llevaba a enviar luego copias fotográficas a cada uno de los que aparecían en la foto, gesto poco habitual. Era muy meticuloso, muy ordenado y poseía una gran memoria. Exigente consigo mismo, luego era tolerante y comprensivo con los demás. Disculpaba todo, encontraba la faceta positiva de cada uno.

Debido a su amabilidad y a su proverbial honradez solíamos encargarle también de la tesorería. Sus cuentas eran impecables. Todo quedaba registrado y justificado en un cuaderno primoroso, con su letra menuda, limpio y claro. Todas sus cuentas eran al céntimo y sirva de ejemplo las que nos enviaba con los sellos que ambos coleccionábamos. Encargarle algo a Federico era desentenderse de ello, en la seguridad de que se realizaría a la perfección.

Fue un gran discípulo, compañero y amigo cuando convivimos en el laboratorio primero del Instituto Jaime Ferran de Microbiología del CSIC y después del Departamento de Microbiología de la Facultad de Ciencias en la Universidad de Salamanca. Más tarde, en Bilbao, como Profesor Agregado y finalmente en su cátedra de Microbiología de la Facultad de Ciencias en la Universidad de Valencia, fue también un buen profesor, muy apreciado y querido de los alumnos.

En todas sus actividades científicas, especialmente en la organización y cuidado de la CECT, contó siempre con la valiosa colaboración de su esposa Loli, la Dra. Dolores García López, madre de sus cuatro hijos, Alberto, Eduardo, Luis y Jorge. La CECT ha constituido siempre una garantía de suministro de cultivo para todos los laboratorios clínicos, universitarios e industriales, facilitando cepas microbianas a todos los interesados que las solicitaban. El catálogo de la CECT, elaborado por los Profesores Uruburu y García López, ofrece un servicio de un valor impagable. Con ellos, la CECT quedó plenamente integrada en la red internacional de este servicio y adquirió un gran desarrollo y prestigio. Muchas gracias, Federico, por tu trabajo, tu entrega y tu amistad. Muchas gracias a todos los que se han volcado en homenajes a un profesor dedicado y ejemplar.

**Isabel García Acha
Julio R. Villanueva**

In memoriam

Tuve la fortuna de conocer a Federico, cuando ambos éramos alumnos de la Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense, y, a partir de aquellos años de juventud, el trato frecuente hizo que la amistad entre nosotros fuera cada vez más intensa.

Fede, como le llamábamos todos sus amigos, fue un excelente alumno, muy popular y apreciado por sus compañeros. Eran célebres y muy solicitados sus apuntes, en los que anotaba con su letra apretada y minúscula, pero con suma claridad y de forma ordenada, lo esencial de las explicaciones de los profesores.

La amistad entre nosotros creció al coincidir ambos en el laboratorio del profesor Julio Rodríguez Villanueva en el Instituto Jaime Ferrán de Microbiología durante la realización de la tesis doctoral, y se consolidó definitivamente cuando ya casados ambos y después de estancias postdoctorales en centros de investigación europeos, volvimos a encontrarnos en el recién creado Departamento de Microbiología de la Universidad de Salamanca.

El privilegio que me supuso el trato frecuente, en familia, con Fede, Loli y sus hijos durante los años en que convivimos en Salamanca, me permitió conocerle no sólo como compañero de trabajo, sino en la intimidad. Así pude conocer y apreciar muchas facetas humanas de Fede, su carácter extrovertido y alegre, su tesón, que junto a su gran corazón y extraordinaria bondad explican que todos los que tuvimos la oportunidad de conocerlo lo apreciáramos.

Fede vivió la vida intensamente. Además de su vocación docente e investigadora a la que se dedicó con entusiasmo, tenía numerosos *hobbies*. Era un gran coleccionista, afición que iba muy bien con su carácter metódico, ordenado. Recuerdo, por citar un ejemplo, su interés por la filatelia, entre otras de sus muchas colecciones. Además era un lector apasionado y un gran aficionado al séptimo arte y poseía una notable biblioteca sobre cinematografía.

Un rasgo de su carácter vitalista fue su afición a la gastronomía y siempre probaba los platos y vinos típicos de las zonas por las que viajaba. En los últimos años, ese gusto por la gastronomía le llevó a meterse en la cocina, donde disfrutaba tanto como en todas las actividades que realizaba.

Otra de sus grandes aficiones fue la fotografía, y así no había reunión en la que Fede, con amabilidad y buen humor, no hiciera unas cuantas fotografías que después enviaba a los asistentes. Gracias a esa afición conservamos imágenes de



muchas agradables reuniones pasadas en su compañía, junto con otros amigos.

Fede, además de un excelente científico y de un profesor dedicado a sus alumnos, fue un hombre bueno siempre dispuesto a ayudar a quien se lo pidiera e incapaz de rencor o enemistad. Todos los que tuvimos la fortuna de conocerle y, más aún los que disfrutamos con su amistad, lo tendremos siempre presente en nuestro corazón.

Descanse en paz.

Carlos Hardisson Rumeu

Cuando sea mayor quiero ser como Federico

Quizás alguno me hayáis oído decir esa frase, porque la he repetido muchas veces, pero no es mía. Yo se la oí por primera vez a César Nombela, y me pareció tan acertada que la adopté como propia. Pensando ahora sobre ella, creo que su acierto reside tanto en el tono como en el contenido. Era una forma cariñosa (la forma de Federico, la forma de acercarse a Federico) de expresar cierta admiración y una clara envidia por su manera de ser. Aunque ¿sabemos realmente como era Federico? Su desaparición nos ha enfrentado a muchos con ese problema porque, ahora, lo que quede de él entre nosotros será no sólo el recuerdo de su memoria, sino sobre todo la asimilación de sus buenos ejemplos y la continuación de su trabajo en la buena dirección por él escogida.

Hay dos aspectos de la vida de Federico sobre los que he pensado bastante estos días, que me han parecido particularmente ejemplares, y sobre los que os quiero hablar ahora a todos los socios de la SEM. El primero tiene que ver con una característica de Fede reconocida y envidiada por

todos: su bondad. Creo que en eso pensábamos y eso envidiábamos al repetir la frase del título. Pero yo creo que muchos, y desde luego yo, considerábamos esa bondad como un don innato, adquirido sin esfuerzo. La envidia la teníamos de no haber nacido así, tan buenos como él. Ahora, hoy, después de recordar muchos momentos pasados juntos, ya no pienso así. Porque he recordado algunos, bastantes silencios, algunas, bastantes sonrisas un poco tristes y he reconocido, sólo ahora, el esfuerzo personal que implicaba por su parte perdonar, comprender y en el peor de los casos, simplemente aceptar. Indudablemente Federico era bueno, pero con bondad de la buena, de la que cuesta. Consiguió comportarse y dejar siempre, incluso en circunstancias difíciles, una imagen de caballerosidad. Pero probablemente a costa de esfuerzos que quizá sólo Loli conoce. No solo fue un caballero. Como ese otro español tan conocido e incompreso, fue un esforzado caballero. Y eso se puede intentar imitar.

El segundo aspecto tiene que ver con su labor profesional. Federico se formó como científico en una de las pocas escuelas de microbiología con reconocimiento internacional que había en España en su juventud. Perteneció, desde el principio, a una reducida élite de microbiólogos que conseguían publicar sus trabajos en revistas que ahora llamaríamos de alto índice de impacto. Y sin embargo nunca fue elitista, un científico encerrado en su laboratorio, sino que se empeñó con enorme esfuerzo y cada vez más para que la microbiología, a cuyo desarrollo contribuía con el rigor de siempre, se difundiera, se aplicara, se incardinara en la sociedad española, en la vida cotidiana. La Colección Española de Cultivos Tipo es el mejor ejemplo. Inspirada por su maestro, el Prof. Villanueva, él la desarrolló hasta la sólida y pujante realidad actual. Y con el mismo espíritu creó los cursos para manipuladores de microorganismos e hizo de la CECT un organismo de referencia y consejo para tantos microbiólogos que trabajan diariamente en la importante rutina del análisis microbiológico. Ese espíritu está ya recogido en los estatutos fundacionales de la SEM. Si repasáis el Art. 3, el de los objetivos, llegareis a la conclusión, como yo, de que debe ser el único socio SEM que ha contribuido y de forma sobresaliente a todos sus objetivos, desde el primero al sexto. Federico desde luego es el socio modelo. Esto también se puede (y se debe, nos obligan los estatutos) imitar. Pero hay que reconocer que Fede nos lo ha puesto difícil.

José Martínez Peinado

La huella de Federico Uruburu en la Universidad del País Vasco

Federico Uruburu, Fede para todos, tuvo su primer contacto con esta Universidad, que entonces era sólo de Bilbao, durante el curso 1972-73. Venía desde Salamanca a dar clase de Biotecnología a los estudiantes de 5º curso de Biología. Para los que entonces éramos sus alumnos, era un profesor amable, serio, y uno de los pocos estables que tuvimos en ese curso. Éramos un tanto contestatarios y no hicimos orla, pero si la hubiéramos hecho, él habría figurado en lugar destacado, seguro.

El curso siguiente se incorporó ya como Profesor Agregado a esta Universidad. Tras él se vino su *ménage à trois*: Loli y "la Colección". Rápidamente puso en marcha una línea de investigación sobre el Dimorfismo Fúngico, en la que los dos ayudantes de Microbiología recién contratados comenzamos nuestras tesis doctorales. Consiguió infraestructura y financiación y nos dio impulso y mucha libertad para dedicarnos a la tesis. Nos estimuló a salir y aprender: un curso en Salamanca, otro en Oeiras, y todo en el primer año de tesis. Lo mismo hizo un poco más tarde con los nuevos colaboradores que se fueron incorporando a la línea de Dimorfismo o a la de Microbiología de las Aguas, cuyo nacimiento también estimuló.

En el curso 1980-81 se trasladó a Valencia, dejando una cosecha de tres doctores, unas cuantas tesinas y dos líneas de investigación en marcha; y sobre todo un gran recuerdo y un montón de buenos amigos, en el departamento y fuera de él, a los que saludaba cada vez que volvía, trayendo y llevando recuerdos.

Durante todo este tiempo, su trato con nosotros, sus discípulos, fue siempre casi familiar y lleno de afecto. Su bonhomía era proverbial. Sólo una vez le vimos francamente enfadado, ante nuestra insistencia en que hiciera algo que él no consideraba apropiado, imposible recordar qué.

A pesar del dolor que nos causa su ausencia, y de la emoción que nos produce su recuerdo, no deja de ser reconfortante expresar nuestro cariño hacia él ante todos vosotros.

Sus discípulos de la Universidad del País Vasco,

**Isabel Barcina
Juan Iriberry
María Jesús Sevilla**

Federico y la "Colección"

La historia de la CECT ha estado ligada a la vida de Federico y Loli. En un principio, se trataba de una modesta colección que poco a poco y con mucho esfuerzo fue creciendo y afianzándose, cuyo objetivo siempre fue ayudar, facilitar y favorecer las labores de investigación y docencia, así como el trabajo en laboratorios de análisis microbiológico. Todos los que estamos y hemos pasado por la CECT hemos tenido el privilegio de haber estado al lado de Federico y lo único que nos queda es seguir desde aquí la línea que él comenzó y de la que nos sentimos tan orgullosos.

En estos momentos no podemos hacer otra cosa más que constatar lo que ya se ha dicho en numerosas ocasiones sobre Federico, lo maravillosa persona que era. Para todos nosotros ha sido como un padre, en el más amplio sentido de la palabra.

A nivel profesional ha sido nuestro maestro, nos ha transmitido su sabiduría, serenidad, sencillez y otras muchas buenas cualidades. Con el paso del tiempo hemos sido testigos de su amabilidad para con todo el mundo. No había persona que no recibiera una respuesta amable y desinteresada por su parte. Tenía una increíble capacidad para encontrar soluciones sencillas a problemas complejos. Muy optimista, Federico siempre sabía qué decir y como decirlo. Si algo le podía molestar era la indiferencia de las personas. Siempre decía que con decir las cosas una sola vez debería ser suficiente y por supuesto actuar en consecuencia. En el trabajo diario, codo con codo, nos transmitía su felicidad, con cosas tan sencillas como ver el auge que adquirían los ordenadores, él que siempre fue fiel a su vieja máquina de escribir.

Al pensar en Federico hay una frase que siempre nos viene a la mente: "no dejes para mañana lo que puedas hacer hoy". Cuando se le pedía algo era prioridad absoluta y a nosotros nos transmitía toda su vitalidad. Su eficacia y rapidez en resolver cualquier situación junto con su capacidad de trabajo nos desbordaba a todos.

A nivel personal, también fue como un padre, porque lo compartíamos todo, desde acontecimientos personales hasta el desvivirnos por la colección, siempre intentando mejorarla con ilusión e iniciativas nuevas.

Hemos vivido momentos entrañables todos juntos, una pequeña familia que se ha creado en torno a Loli y Federico y todos con un objetivo común: la CECT. Son tantas las cosas que tendrí-

amos que escribir sobre él que no terminaríamos nunca. Es por ello que no nos queda más que expresarle sinceramente nuestro gran cariño, admiración y gratitud: "Gracias Federico".

El equipo de la CECT

¡Hasta siempre profesor!

La pérdida del Profesor Federico Uruburu supone el adiós a un gran científico, pero ante todo a una gran persona; me atrevo a asegurar que todos los que conocimos a Federico aprendimos de él no sólo la lección científica sino también la humana.

Los alumnos participantes en el "VII Curso de Iniciación a la Investigación en Microbiología" que tuvo lugar en Valencia durante el pasado mes de Julio nos consideramos afortunados por haber conocido al profesor Uruburu. Desde entonces y para siempre consideraremos a Federico un ejemplo a seguir por su sencillez, bondad, vigor, sabiduría y profesionalidad. Buen hacer científico en el laboratorio, amenidad en las clases y afabilidad en el trato son algunas de las muchas cualidades de tan inolvidable persona.

El Profesor Uruburu era un gran apasionado por la Microbiología; disfrutaba hablando de su trabajo y hacía disfrutar a quienes le escuchaban pues sus palabras estaban llenas de entusiasmo y sin darnos cuenta nos contagió su pasión por la Microbiología, pero no contento con contagiarnos de ciencia Federico también nos infectó con grandes dosis de amabilidad, cariño y humildad.

La visión que el Profesor Uruburu nos aportó de la Microbiología es una visión conservadora, con vistas a los fundadores de esta ciencia en España, la historia de la SEM, la importancia de la adecuada utilización de las técnicas clásicas y de la investigación básica. El apoyo del Profesor Uruburu a los jóvenes que comenzamos nuestra trayectoria investigadora resulta muy reconfortante en los siempre difíciles comienzos y sus lecciones de humildad serán muy tenidas en cuenta para nuestro futuro profesional.

Habría resultado muy difícil escribir estas líneas en memoria del Profesor Federico Uruburu si no se hubiera tratado de un gran profesional dentro del laboratorio y una gran persona fuera de él.

Por todo ello, gracias y hasta siempre, Profesor.

**Alumnos participantes en el
"VII Curso de Iniciación a la
Investigación en Microbiología"**

Temas de actualidad

El planeta simbiótico: Contribución de los microorganismos al equilibrio de los ecosistemas

Ricardo Guerrero¹ y Mercedes Berlanga²

¹Departamento de Microbiología y ²Departamento de Microbiología y Parasitología Sanitarias, Universidad de Barcelona.

E-mail: guerrero@retemail.es

La visión global de la Tierra

El 21 de diciembre de 1968, a bordo de la nave espacial *Apollo VIII*, tres astronautas, James A. Lowell, Frank Borman y William Anders, iniciaban el primer vuelo orbital de la Luna. Mientras sus compañeros fijaban su atención en nuestra hija del espacio, objetivo de la misión, el jefe de la tripulación, Lowell, observaba en cambio el punto desde donde habían partido, su casa. Con su pulgar tapaba la vista desde la escotilla y observaba cómo todas las cosas que él quería, todas las que le preocupaban, toda la conflictiva sociedad del 68, con sus esperanzas y posteriores renunciadas, quedaban ocultas por un simple movimiento de su mano. Tres días después, el mismo Lowell tomó la fotografía más impresionante que jamás se haya realizado: no era la "salida del Sol", ni siquiera "la salida de la Luna", sino otra "salida" nunca vista antes por un humano, *su* propia Tierra -la nuestra, la única que tenemos- suspendida en el espacio y emergiendo sobre el horizonte lunar (Fig.1).

La superficie de nuestro planeta ha cambiado como respuesta a la vida que se desarrolla sobre ella, del mismo modo que la propia vida ha cambiado en respuesta a la evolución de la Tierra. La biosfera es muy antigua. La Tierra viva tiene casi cuatro mil millones de años, sólo unos setecientos millones de años menos que el propio planeta como entidad independiente de su (m/p)adre, el Sol (es decir, hace unos 3.850 millones de años). El origen de la vida, o biopoyesis, pudo producirse en nuestro planeta, varias veces, hace unos 3.850 millones de años. Las características de los dos planetas más cercanos al nuestro, Venus y Marte, podrían haber permitido el desarrollo de vida en esa época. Si la biopoyesis se produjo en Venus y Marte en algún momento de su historia "geológica", posiblemente no continuó en ninguno de los dos. Lo que hizo posible el mantenimiento de la vida en la Tierra fue el desarrollo de los ecosistemas, o ecopoyesis, que evitó el agotamiento de los elementos biogénicos de la superficie del planeta, cosa que habría pasado en un tiempo

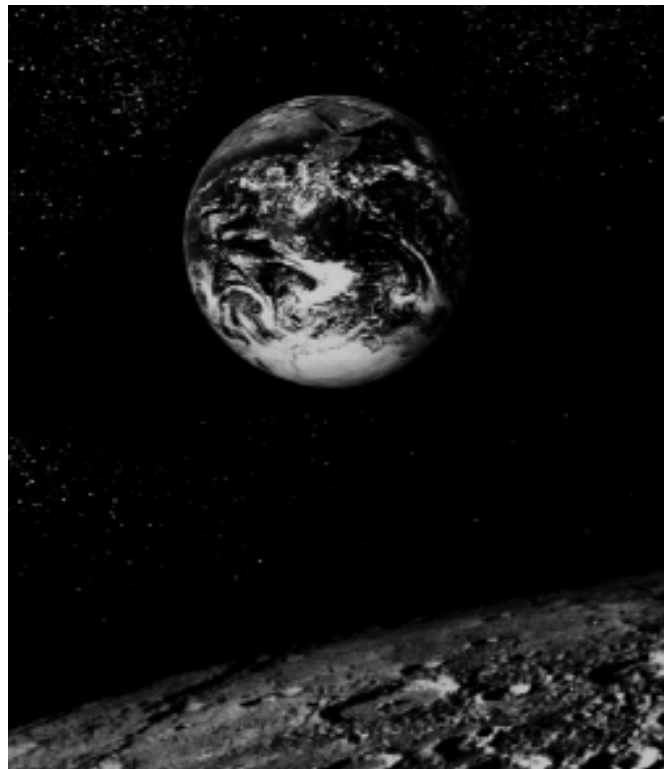


Figura 1. La Tierra vista desde la Luna.

máximo de 200 o 300 millones de años y que habría provocado la extinción primigenia de la vida (es decir, hace unos 3.550 millones de años). La actividad de estos ecosistemas determinó la evolución posterior del planeta, que hasta aproximadamente 1.800 millones de años tuvo como únicos habitantes los procariontes (Guerrero *et al.*, 2002) (Fig. 2).

Desde el punto de vista de la termodinámica, un ecosistema es un sistema abierto, muy alejado del equilibrio, y tiene tres componentes: los seres vivos, los productos químicos de su metabolismo y el ambiente fisicoquímico, que es modificado por la actividad de los propios (micro)organismos. Los organismos se necesitan unos a otros para obtener alimento y eliminar los residuos sólidos, líquidos o gaseosos. Ninguna especie puede reciclar los productos de su metabolismo. Todos los seres

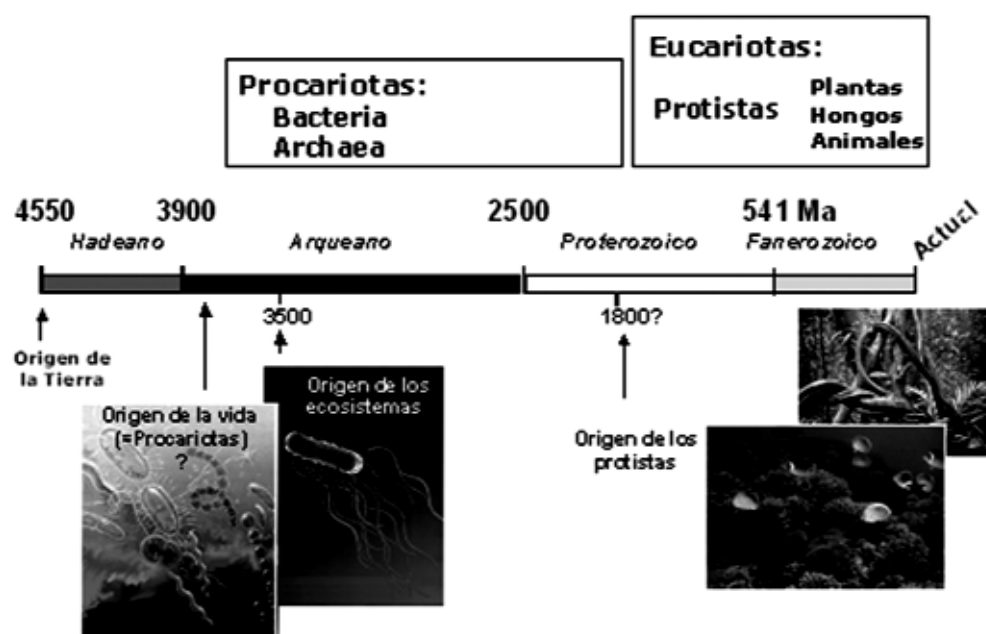


Figura 2. Historia de la Tierra y de la vida.

vivos extraen uno o más gases de la atmósfera y emiten otros. Estos fenómenos producen un efecto global acumulativo en el planeta.

Un rasgo distintivo de la Tierra es la presencia de agua líquida en abundancia, algo que no se observa actualmente en Venus y Marte. La composición química de las atmósferas de los planetas Venus, Tierra y Marte sería similar cuando los tres eran jóvenes. Las de Venus y Marte continúan siendo similares entre ellas en la actualidad. Las

anomalías observadas en la Tierra son el resultado de la presencia de vida durante unos 3.850 millones de años. La atmósfera actual de la Tierra contiene un 21% de oxígeno. Dicha proporción es constante y adecuada para la vida: si descendiese hasta el 15%, la vida de animales y plantas sería imposible; y si aumentase hasta el 25%, se produciría la combustión espontánea de muchos bosques. El CO₂, que en Venus y Marte constituye cerca del 95% de la atmósfera, casi ha desaparecido de la atmósfera terrestre, donde se

encuentra en un 0,036% (Tabla 1). El CO₂ se encuentra principalmente en la Tierra disuelto en el agua o en forma sólida (dando carbonato cálcico, o caliza).

La energía fluye a través de todos los ecosistemas de la Tierra, pero la materia es reciclada por los miembros de las poblaciones residentes. Aunque la Tierra funciona de manera bastante similar desde el principio de la vida, obviamente ha habido cambios. Por ejemplo, la aparición de

Tabla 1. Algunas características fisicoquímicas de tres planetas interiores del Sistema Solar.

	Venus	Tierra (sin vida) ^a	Tierra (con vida)	Marte
Diámetro (×10 ³ km)	12,104	12,756	12,756	6,794
Masa (×10 ²⁷ g)	4,8689	5,9742	5,9742	0,64191
Densidad (g × cm ⁻³)	5,24	5,52	5,52	3,93
Distancia media del Sol (×10 ⁶ km)	108,2	149,6	149,6	227,9
Período sideral (días)	224,7	365,3	365,3	686,9
Presión (atm)	90	60	1	0,0064
Temperatura media (K)	750	563	286	220
Agua (m) ^b	0,003	0,01	3000	0,00001
Dióxido de carbono, atmósfera (%)	98	98	0,03	95
Nitrógeno, atmósfera (%)	1,7 ^c	1,9	79	2,7 ^d
Oxígeno, atmósfera (%)	Trazas ^c	Trazas	21	0,13 ^d
Satélites	0	1	1	2 (muy pequeños)

(a) Diversos datos de esta columna son estimaciones aproximadas.

(b) Estima de la profundidad en metros de agua sobre el planeta si todo el agua se encontrara en estado líquido.

(c) Vehículo espacial *Venera* (ex URSS).

(d) Vehículo espacial *Viking* (EE UU).

oxígeno en la atmósfera que, aunque de origen biológico (fue debido al fotosistema II de las cianobacterias) causó la extinción en masa de muchas especies anteriores. Pero las estrategias ecológicas han sido similares a lo largo de la vida; lo que ha cambiado han sido los taxones que las realizan. G. Evelyn Hutchinson (1903–1991) observó que los actores (en nuestro caso, los microorganismos), pueden cambiar de un teatro (hábitat) a otro, pero que la representación en el escenario (procesos fisiológicos) será igual para la misma obra (un ambiente determinado, unas relaciones específicas).

La tenacidad de la vida

El origen de las células (de la vida) a partir de compuestos químicos inertes podría haber tenido lugar una o varias veces. En cualquier caso, las primeras células de nuestro linaje fueron sistemas proteicos limitados por membranas, basados en el RNA y DNA y dotadas de autopoyesis (automantenimiento). Intercambiaban constantemente sus materiales constituyentes con el medio externo. Daban salida a los residuos a medida que adquirían alimento y energía. Nuestro DNA proviene, a través de una secuencia ininterrumpida, de las mismas moléculas que están presentes en las células primitivas que se formaron en las orillas de los primeros océanos de aguas cálidas y poco profundas. Existe un lazo íntimo entre la evolución y los organismos. La evolución conecta la vida a través del tiempo, y como en todo proceso evolutivo, los organismos y sistemas posteriores no pueden prescindir de los organismos y sistemas que los han precedido.

La vida en la Tierra adopta múltiples formas y tamaños, desde los microorganismos y plantas microscópicas hasta las secuoyas, ballenas, o los seres humanos. El conjunto de organismos y su dotación genómica constituyen la biodiversidad del planeta. El investigador Bruce Paster (del *Forsyth Institute* de Boston) ha calculado que en la boca de una persona puede haber ¡hasta 700 especies de bacterias o incluso más! (Paster *et al.*, 2001). La diversidad microbiana es todavía poco conocida, en primer lugar porque sólo se ha identificado (o cultivado) una mínima parte (entre el 1% y el 0,01%) de las especies de microorganismos existentes. En segundo lugar, porque en los microorganismos procariontes los criterios para su identificación no se basan solamente en características morfoquímicas, sino que intervienen otras de tipo molecular y ecológico (Moreno *et al.*, 2002). En cualquier caso, el estudio de la biodi-

versidad de un determinado ecosistema (un bosque, un lago, un mar) estaría incompleto sin la inclusión de los microorganismos, ya que ellos contribuyen de manera esencial al funcionamiento global del planeta y al desarrollo sostenible de la biosfera.

A lo largo de sus más de 3.800 millones de años de historia, la vida se ha enfrentado al menos con treinta grandes catástrofes ecológicas. Los principales cambios en la superficie del planeta y en la composición de su atmósfera han causado la extinción en masa de muchas especies. Desde tiempos tan recientes como el principio del Cámbrico (hace sólo 541 millones de años) ha habido cinco grandes extinciones. Sin embargo estas extinciones no han sido nunca una amenaza para el conjunto de la biosfera. La vida, especialmente la vida bacteriana, es en extremo resistente y ha demostrado un gran poder de adaptación, nutriéndose desde el principio del desastre y la destrucción, y recuperándose de cada crisis con renovado vigor. El "éxito" de los microorganismos se basa en tres características principales: tamaño pequeño, que les permite una elevada capacidad de dispersión; variabilidad y flexibilidad metabólica, que les permite tolerar y adaptarse rápidamente a condiciones ambientales desfavorables; y plasticidad genética (o capacidad de transferencia horizontal de genes), que les permite recombinar y recoger caracteres positivos y persistir durante largo tiempo adaptándose a las condiciones ambientales cambiantes. La vida microbiana podría ser una ineludible consecuencia de la evolución planetaria, una continuación del desarrollo físico del Universo. Desconocemos lo que nos depara el futuro. Pero mientras que todas las especies tienden a extinguirse, las grandes agrupaciones (reinos, dominios) perduran. No hay ninguna razón para pensar que nuestra especie no desaparezca del planeta, lo que si se puede asegurar es que la vida, la vida microbiana, sobrevivirá hasta que el Sol se convierta en una estrella gigante roja y su fotosfera macilenta alcance la órbita de Marte, antes de extinguirse (Guerrero, 1998). Pero para eso faltan unos 5.000 millones de años.

Los microorganismos, componentes imprescindibles de los ecosistemas

Dos enzimas esenciales para la vida, la rubisco y la nitrogenasa son exclusivamente procariontes y cumplen una función primordial en los ciclos biogeoquímicos (Fig. 3). La rubisco (ribulosa bisfosfato carboxilasa oxilasa), enzima responsa-

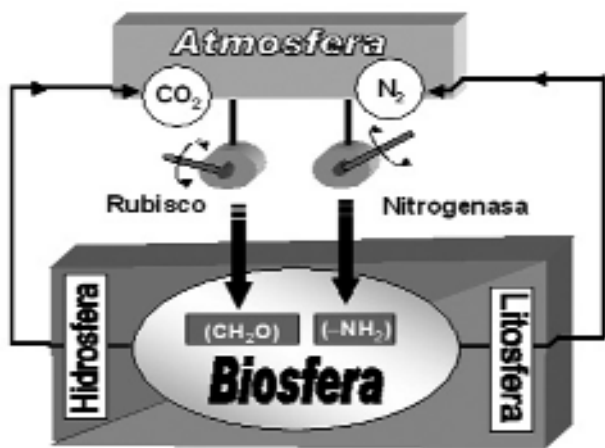


Figura 3. Dos enzimas procarióticas esenciales, rubisco y nitrogenasa, controlan la entrada del carbono y del nitrógeno, respectivamente, en la biosfera.

ble de coger el CO_2 de la atmósfera o del agua y juntarlo a una pentosa, para fabricar nuevo alimento. La encontramos en las bacterias fotosintéticas oxigénicas, las fotosintéticas anoxigénicas rojas del azufre, muchos quimiolitotrofos y en unos corpúsculos de la célula eucariótica, los cloroplastos de las algas y plantas. Los cloroplastos tienen DNA, RNA y ribosomas propios. Su DNA presenta una homología del 95% con algunos grupos de cianobacterias (o cianoprocariontas, término propuesto por el Prof. Xavier Llimona, del Departamento de Botánica de la Universidad de Barcelona). Los cloroplastos son cianobacterias que han establecido una endosimbiosis permanente. Sin lugar a dudas, la rubisco es un enzima procariótica que ha pasado a la célula eucariota por endosimbiosis. Posiblemente, es una de las enzimas más abundantes en la naturaleza.

La nitrogenasa utiliza el nitrógeno atmosférico para la formación de aminoácido. Esta enzima sólo funciona en condiciones anóxicas, y es exclusiva del mundo procariótico (bacterias y arqueas). Desgraciadamente, no ha pasado por

endosimbiosis a la célula eucariota. Este hecho seguramente se debe a que la nitrogenasa no puede funcionar en presencia de la gran cantidad de oxígeno que hay habitualmente en la célula eucariótica. Los procariotas que tienen nitrogenasa activa han desarrollado diferentes estrategias para evitar que el oxígeno inhiba la acción de la enzima.

Los microorganismos fijadores de nitrógeno pueden ser de vida libre o formar simbiosis, por ejemplo con plantas leguminosas, principalmente (también lo hacen con plantas no leguminosas, como *Coriaria* o *Alnus*, el aliso). En el ciclo del nitrógeno es imprescindible la presencia de un procariota que fije N_2 .

Otra contribución imprescindible de los procariotas en el ciclo del nitrógeno recientemente observada es la oxidación anaeróbica del amonio (metabolismo denominado anamox). La anamox implica la oxidación de amoníaco con nitrito como aceptor de electrones, obteniendo nitrógeno gaseoso. *Brocadia anammoxidans* es el organismo que cataliza la anamox mejor conocida (Fig. 4) (Jetten *et al.*, 2002). Los análisis filogenéticos de rRNA 16S muestran que estas bacterias están muy relacionadas con el filum *Planctomycetes*. Los planctomicetes son una rama especial del dominio Bacteria, que carecen de peptidoglicano y que contienen en el citoplasma compartimentos rodeados por membranas, entre los que se encuentra

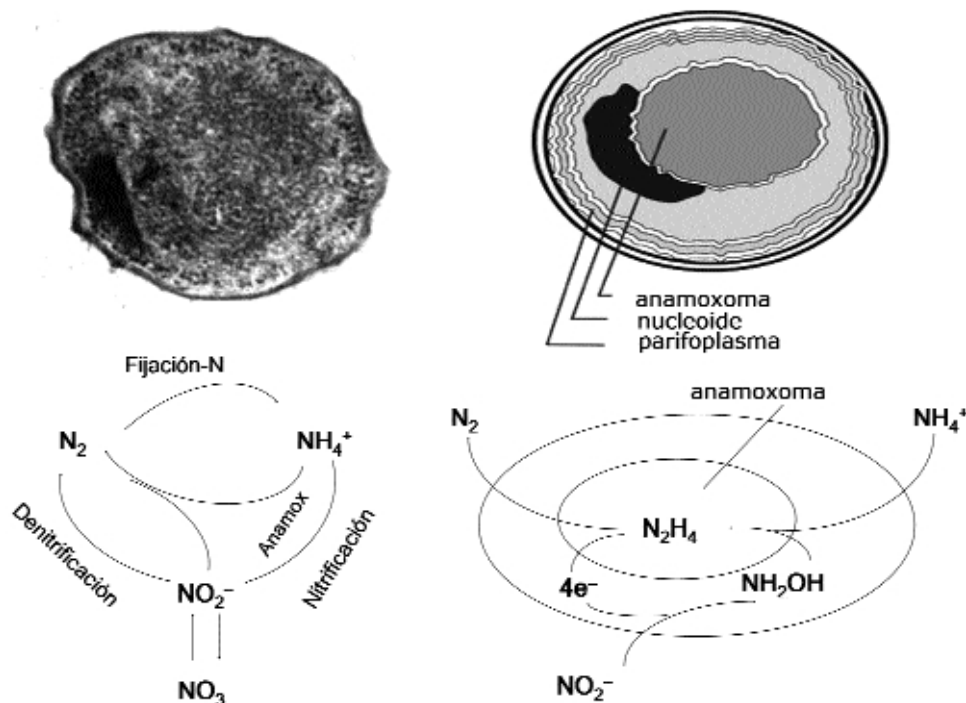


Figura 4. Un nuevo metabolismo procariótico: la oxidación anaeróbica del amonio, o anamox. La bacteria de la izquierda es *Brocadia anammoxidans*.

una estructura análoga al núcleo de las células eucariotas (Lindsay *et al.*, 2001). La disponibilidad de nitrógeno fijado (nitrato, nitrito y amonio) limita la productividad en muchas zonas oceánicas. La conversión de nitrato a N_2 por las bacterias heterotróficas (desnitrificación) se creía que era la única vía de metabolización importante del nitrógeno inorgánico fijado. Sin embargo, en el mar Negro (que, recordemos, es uno de los pocos mares con abundante anoxia en la Tierra actual) se ha observado el nuevo fenómeno de la anamox. El importante consumo de amonio en las zonas subóxicas, indica que la anamox puede ser muy importante en el ciclo del nitrógeno en los océanos (Kuypers *et al.*, 2003).

Ecosistemas mínimos

Ecosistema es un término acuñado por el botánico inglés Arthur Tansley (1871–1955) en 1935, como una unidad organizada que comprende todos los organismos vivos presentes en un área definida, además de los factores fisicoquímicos ambientales (Guerrero *et al.*, 2002). Los ecosistemas presentan un gradiente de potencial redox. Este gradiente está asociado con la distribución vertical de variables tanto ambientales

como biológicas. En aquellas partes del ecosistema en que la luz es la principal fuente de energía, las comunidades biológicas normalmente están estratificadas horizontalmente, debido a la extinción de la luz con la profundidad. Los bosques tropicales, las comunidades fotosintéticas planctónicas de lagos estratificados y los tapetes microbianos se pueden considerar formas análogas a diferente escala (metros en los bosques, centímetros en lagos, milímetros en los tapetes microbianos) (Fig. 5). En todos ellos encontramos organismos autótrofos y heterotróficos. Los autótrofos, productores, utilizan la energía bien de la luz (fotótrofos), bien de las reacciones químicas (quimiofótrofos), y fabrican los nutrientes a partir de sustancias inorgánicas como CO_2 y NO_3^- . Los organismos heterótrofos son consumidores y utilizan los productos sintetizados por los autótrofos. La clasificación ecológica de los componentes bióticos de un ecosistema se expresa en términos de fisiología y metabolismo si hablamos de organismos procariotas (la clasificación depende de la función que desempeñan en el ambiente [gremios] más que en la especie), mientras que en los eucariotas se expresa en términos de estructura y comportamiento (Nealson *et al.*, 2002).

Los tapetes microbianos son los ecosistemas más antiguos de la historia de la vida. Aparecen en los bordes de los continentes y en muchas zonas húmedas interiores desde hace 3.500 millones de años. Un tapete microbiano es una comunidad microbiana multilaminada. La laminación es resultado de la extinción de la luz y de los gradientes fisicoquímicos, principalmente los de sulfuro y redox. Estos ecosistemas están constituidos por organismos fototróficos y quimiotróficos aeróbicos y anaeróbicos, junto con numerosos microorganismos heterótrofos (Guerrero y Mas, 1989). Son comunidades coordinadas funcionalmente. De hecho, los tapetes se parecen a los tejidos de células eucariotas de un “macroorganismo” por la cooperatividad

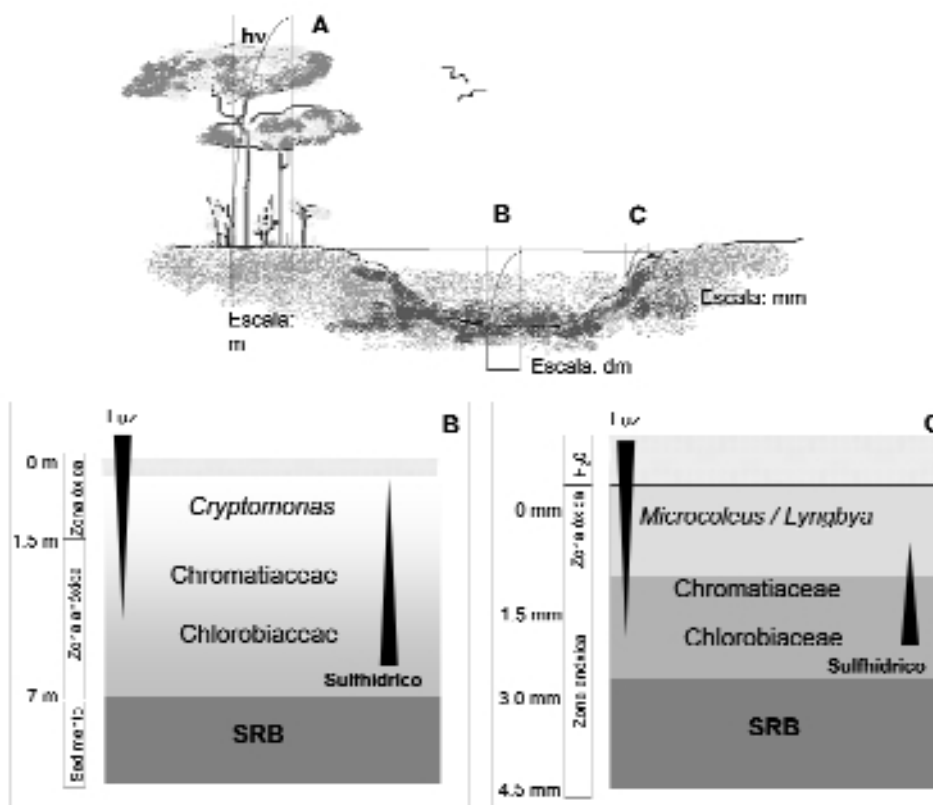


Figura 5. Ecofisiología comparada: diferentes ecosistemas pero igual estrategia: (A) bosque, (B) lago cárstico, (C) tapete microbiano costero (Guerrero *et al.*, 2002).

funcional y además por estar protegidos de las "condiciones variables" ambientales mediante una primitiva homeostasis proporcionada por una matriz de exopolisacárido (Costerton *et al.*, 1995).

Sus restos calcificados originaron las estructuras conocidas como estromatolitos, que, junto con las formaciones de hierro en bandas (BIF, las mayores de las cuales aparecieron hace unos 2.300 millones de años), constituyen las estructuras sedimentarias dominantes de los eones Arqueano y Proterozoico. Los estromatolitos son estructuras sedimentarias laminadas constituidas principalmente de carbonato cálcico. Durante el siglo XIX diversos geólogos citaron estructuras similares, pero sin reconocer su origen biológico. Los estudios realizados a partir de 1954 demostraron que los precursores de los estromatolitos eran unas comunidades constituidas por procariotas. Aunque los estromatolitos son generalmente fósiles, en algunos casos, como en Shark Bay (en la costa noroccidental de Australia) y en las Bahamas (en el Atlántico), continúan activos y puede observarse su crecimiento en la parte superior (cianobacterias), presentando niveles de fotosíntesis y calcificación elevados.

La fuerza de la cooperación

La visión de la evolución como una lucha crónica y encarnizada entre individuos y especies, distorsión popular de la idea darwiniana de la "supervivencia de los mejor dotados", se desvanece con la nueva imagen de cooperación continua, estrecha interacción y mutua dependencia entre formas de vida. La vida no ocupó la Tierra tras un combate, sino extendiendo una red de colaboración por su superficie. Anton De Bary (1831–1888), botánico alemán experto en micología, observó que los líquenes consistían en la unión de un hongo y un alga con mutuo beneficio para ambos. Acuñó la palabra simbiosis (1873) como la vida en común de tipos diferentes de organismos. Actualmente engloba el parasitismo (uno de los organismos sale beneficiado y el otro perjudicado), comensalismo (uno se beneficia, el otro "ni gana ni pierde") y mutualismo (asociación beneficiosa para ambos organismos, como en los líquenes).

El Prof. Douglas E. Caldwell (de la Universidad de Saskatchewan, Canadá) a partir del estudio por ordenador del texto completo del *Origen de las especies* de Darwin (1859), ha analizado un total de 200.000 palabras y ha anotado el número de veces que sale una determinada. Algunos ejemplos: especie (1803), selección (540), individuo (298), perfección (274), raza (132), destrucción

(77), exterminio (58), matar (21). Sin embargo, no sale ninguna vez cooperación, asociación (lo que ahora denominaríamos simbiosis, siguiendo a De Bary), colaboración, interacción, y similares.

La teoría simbiótica del origen y evolución celular se apoya en dos principios biológicos: (i) El mundo vivo está dividido entre organismos procarióticos y eucarióticos (es decir, bacterias-arqueas y el resto de organismos con células nucleadas, protistas, animales, hongos y plantas). (ii) Algunas partes de la célula eucariótica se formaron directamente a partir de asociaciones permanentes de organismos procarióticos distintos. Tres clases de orgánulos (cilios, mitocondrias y cloroplastos) pudieron ser alguna vez bacterias de vida libre (véase Actualidad SEM nº 33 pp. 10–14). La coevolución simbiótica bacteriana condujo a los protistas (célula eucariota). Los animales evolucionaron a partir de algunos protistas (los zoomastigóforos), las plantas a partir de otros (las clorofitas), y los hongos de otros (los quítridos).

Los descendientes de las bacterias que hace tres mil millones de años nadaban en las aguas primitivas respirando oxígeno se hallan actualmente presentes en nuestro cuerpo en forma de mitocondrias. En algún momento, las bacterias ancestrales debieron de combinarse con otros microorganismos, instalándose en su interior y proporcionándoles un sistema de energía procedente del oxígeno a cambio de alimento y protección. Los organismos resultantes de esta unión habrían evolucionado hacia formas de vida más complejas, incorporando la respiración del oxígeno. Este sería un mecanismo evolutivo más brusco que la mutación: una unión simbiótica que llega a ser permanente. La unión de distintos organismos para formar seres colectivos, ha resultado ser la más importante fuerza de cambio sobre la Tierra. La simbiosis como fuente de novedad evolutiva podría explicar la teoría del "equilibrio saltatorio" (*punctuated equilibrium*) propuesta por Niles Eldredge y Stephen J. Gould, en el que mantienen que el registro fósil muestra que la evolución permanece estática la mayor parte del tiempo y que actúa súbitamente: durante breves lapsos de tiempo, dando origen a cambios rápidos en el registro fósil.

Conclusiones finales

Los procariotas son miembros esenciales de la biosfera, componentes indispensables de los ecosistemas que hacen posible el funcionamiento de todos los ciclos biogeoquímicos. Los procariotas están presentes en todos los lugares donde puede existir la vida, ocupando un amplio abanico

co de condiciones ambientales, desde ambientes "ideales" para el crecimiento (ideales para los animales y plantas), hasta ambientes extremos (impensables para los "macroorganismos más evolucionados"). Durante los primeros 2.000 millones de años de evolución fueron los únicos habitantes de la Tierra y prepararon el terreno para el asentamiento posterior de otras formas de vida más complejas. Fueron los inventores de todas las estrategias metabólicas que conocemos. Un error metabólico, la producción de oxígeno, originó la vida aeróbica; uno estratégico, la endosimbiosis, originó la célula eucariota. La evolución avanza siempre por mecanismos necesarios pero indeterminados.

El mantenimiento de la biodiversidad es imprescindible porque, unas veces de forma evidente, otras menos notoria, hay una interacción constante entre las diferentes especies que poblamos el planeta. El mantenimiento de la diversidad de los microorganismos, a veces olvidado, es esencial para la sostenibilidad del planeta y para la diversidad de los "macroorganismos", que seguramente eran los que le preocupaban más a Lowell cuando, a miles de kilómetros distancia, podía tapar la esfera azul de la Tierra con su pulgar.

Referencias

1. Costerton JW, Lewandowski Z, Caldwell DE, Korber DR, Lappin-Scott HM (1995) Microbial biofilms. *Annu Rev Microbiol* 49:711–745.
2. Guerrero R (1998) Crucial crises in biology: life in the deep biosphere. *Int Microbiol* 1:285–294.
3. Guerrero R, Mas J (1989) Multilayered microbial communities in aquatic ecosystems: growth and loss factors. En: Cohen Y, Rosenberg E (Eds.) *Microbial mats: physiological ecology of benthic microbial communities*. American Society for Microbiology, Washington, DC, pp 37–51.
4. Guerrero R, Piqueras M, Berlanga M (2002) Microbial mats and the search for minimal ecosystems. *Int Microbiol* 5:177–188.
5. Jetten MSM y treinta y dos autores más (2002) Improved nitrogen removal by application of new nitrogen cycle bacteria. *Rev Environ Sci Biotech* 1:51–63.
6. Kuypers MMM, Sliemers AO, Lavik G, Schmid M, Jørgensen BB, Kuenen JG, Damsté JSS, Strous M, Jetten MSM (2003) Anaerobic ammonium oxidation by anammox bacteria in the Black Sea. *Nature* 422:608–611.
7. Lindsay MR, Webb RI, Strous M, Jetten MSM, Butler MK, Forde RJ, Fuerst JA (2001) Cell compartmentalization in planctomycetes: novel types of structural organization for the bacterial cell. *Arch Microbiol* 175:413–429.
8. Moreno E, Cloeckert A, Moriyón I (2002) *Brucella* evolution and taxonomy. *Vet Microbiol* 90:209–227.
9. Nealson KH, Tsapin A, Storrie-Lombardi M (2002) Searching for life in the universe: unconventional methods for an unconventional problem. *Int Microbiol* 5:223–230.
10. Paster BJ, Boches SK, Galvin JL, Ericson RE, Lau CN, Levanos VA, Sahasrabudhe A, Dewhirst FE (2001) Bacterial diversity in human subgingival plaque. *J Bacteriol* 183:3770–3783.

El rincón de la lengua

por Ricardo Guerrero y Mercè Piqueras, de la revista INTERNATIONAL MICROBIOLOGY

La evolución del lenguaje científico. II. De la fotosíntesis a la percepción de quórum

En la primera parte de este artículo (véase Actualidad SEM 35:26–27) mencionábamos que el significado del término fotosíntesis ha ido modificándose desde que fue acuñado en 1893. Sin embargo, el descubrimiento del proceso que designaba dicho término es muy anterior. El médico holandés Jan Ingen-Housz (1730–1799), durante una estancia muy fructífera en Inglaterra en el verano de 1799, realizó más de 500 experimentos y analizó los resultados en el libro *Experiments upon vegetables*; en él se describía tanto lo que después se llamaría fotosíntesis como la respiración de las plantas. Hasta 1893, el proceso que dependía de la luz y mediante el cual las plantas convertían el CO₂ en materia orgánica se conocía como “asimilación”. Pero ese mismo término se usaba también para describir el metabolismo anabólico de los animales, lo cual podía causar confusión. En una sesión de la Sección Botánica de la *American Association for the Advancement of Science* (la AAAS, que publica la revista *Science*) celebrada en Madison (Wisconsin, EE UU) en agosto de 1893, Charles R. Barnes (1858–1910) propuso dos nuevos términos para designar el proceso de biosíntesis de las plantas verdes: *photosyntax* y *photosynthesis*, dando preferencia al primero. La ponencia fue publicada el mismo año en la revista *Botanical Gazette*. En 1894, en la traducción inglesa del libro alemán *Pflanzenphysiologische Versuche*, ya aparece el término “fotosíntesis” en vez de “asimilación” [1].

El actual concepto de fotosíntesis no es el mismo que cuando Barnes lo acuñó, ya que él lo aplicaba a la botánica y se refería exclusivamente a la fotosíntesis de las plantas. Los vegetales son organismos generalmente de ambientes **óxicos** (que contienen oxígeno) y tienen una **fotosíntesis oxigénica** (que produce oxígeno). Pero ahora se sabe que hay muchas **bacterias** propias de ambientes **anóxicos** capaces de llevar a cabo **fotosíntesis anoxigénica** (que no produce oxígeno). (Nótese el uso de los vocablos **óxico** y **anóxico**, que hacen referencia a la presencia o ausencia de oxígeno molecular en el ambiente. Los términos **aerobio/anaerobio** y **aeróbico/anaeróbico** debe-

rían reservarse para calificar tipos de organismos o de metabolismos.) En 1900, Alfred J. Ewart (1872–1937), por aquel entonces en la Universidad de Oxford (posteriormente se trasladó a Australia, donde fue el primer catedrático de Botánica de la Universidad de Melbourne), ya consideró la ampliación del concepto de fotosíntesis. Ewart dirigió una de las ediciones inglesas de un exhaustivo manual de fisiología vegetal escrito por Wilhem Pfeffer (1845–1920) [*Pflanzenphysiologie: ein Handbuch der Lehre vom Stoffwechsels und Kraftwechsels in der Pflanze*, 1881, W. Engelmann, Leipzig]. Dicha edición inglesa presenta notas del propio Ewart. En una de ellas (p. 302) se lee: «*The term “photosynthetic assimilation” is a perfectly general one, and would include the assimilation of other compounds by the aid of light, should any such processes be discovered in the future.*» [1]. Aunque la ampliación del concepto de fotosíntesis que predijo Ewart no fue propuesta hasta 1963 por Martin Kamen (1913–2002), la existencia de un tipo de metabolismo que aprovechaba la energía de la luz solar y no liberaba oxígeno ya se conocía desde hacía tiempo. Kamen definió la fotosíntesis como una serie de procesos mediante los cuales la energía electromagnética se convierte en energía química libre que puede utilizarse para la biosíntesis. Treinta años más tarde, Howard Gest (de la Universidad de Indiana) propuso una nueva definición basada en la de Kamen: «la fotosíntesis es una serie de procesos mediante los cuales la energía electromagnética se convierte en energía química que es utilizada para la biosíntesis de materia orgánica celular; un organismo fotosintético es aquél que obtiene de la luz la mayor parte de la energía que necesita para los procesos de síntesis celular» [2].

Por otro lado, hay términos que con el tiempo se quedan anticuados, bien porque el concepto que designaban era erróneo, bien porque otro término más adecuado los ha sustituido. Por ejemplo, las cianobacterias (también denominadas

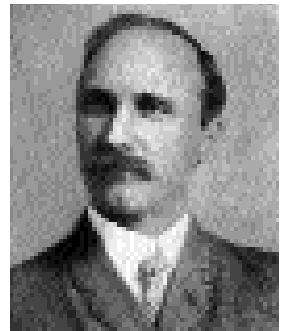


Figura 1. Charles Reid Barnes (1858–1910), el botánico que acuñó el término “fotosíntesis” en 1893.

cianofíceas, cianófitos o algas azules [no “verde-azuladas”, como pone en muchas traducciones del inglés]) son organismos procariotas que tradicionalmente habían sido considerados algas. Hoy en día su situación taxonómica es muy clara, y se tendría que dar preferencia al término cianobacteria. (El Prof. Xavier Llimona, del Departamento de Botánica de la Universidad de Barcelona, propone el término **cianoprocariota**.)

Muchos diccionarios generales y enciclopédicos no siempre están atentos a los cambios en los conceptos y en el lenguaje científico. Es frecuente encontrar términos como “flora intestinal” y “microflora vaginal”, en vez de las denominaciones **microbiota intestinal** y **microbiota vaginal**, que son más adecuadas. Y cuando una entrada hace referencia a los **microorganismos**, especialmente a los patógenos, es posible que incluya, de manera impropia, la palabra “gérmenes”. Asimismo, quizás sólo encontremos la definición clásica de **fotosíntesis**, que no tiene en cuenta la **fotosíntesis anoxigénica** ni el hecho que la **fotosíntesis oxigénica** la realizan también procariotas, las **cianobacterias** (que no son algas). Convendría que, al preparar nuevas ediciones, los diccionarios y otras obras de referencia, además de añadir nuevas entradas, revisasen detalladamente las existentes. Y, por su gran importancia para el buen uso del castellano, uno de los primeros diccionarios que deberían actualizarse desde el punto de vista científico es el de la Real Academia Española.

En cuanto a términos nuevos más recientes, mencionaremos uno ligado a un fenómeno que origina varios tipos de respuestas en la célula bacteriana. En inglés se denomina *quorum sensing*, y describe un fenómeno mediante el cual la acumulación de **moléculas señalizadoras** permite a una bacteria “saber” el número de bacterias de determinadas especies que se encuentran en su entorno (la densidad poblacional) y saber también cuándo dicha densidad ha alcanzado un valor crítico que permite generar una respuesta fijada genéticamente. Algunas de esas respuestas pueden ser las siguientes: la emisión de luz, en el caso de las bacterias luminiscentes; la secreción de sustancias viscosas que favorecen la adherencia de unas bacterias con otras y con el sustrato, en el caso de las que forman **biofilmes** (o **biopelículas**); o la producción de exotoxinas, en el caso de algunas bacterias patógenas.

En 1966, el biólogo norteamericano J. Woodland Hastings, de la Universidad de Harvard, y sus colaboradores, entre ellos Kenneth H. Nealson, descubrieron ese fenómeno en la bacteria luminiscente *Vibrio fischeri* en el transcurso de

sus investigaciones sobre simbiosis luminosa entre bacterias y peces. Hastings se dio cuenta de que era necesario un número mínimo de bacterias para producir luciferasa, la enzima que regula la reacción que causa la luminiscencia, y denominó el proceso *autoinduction*. Ahora se sabe que se trata de una forma de comunicación muy primitiva entre bacterias, que emiten unas moléculas señalizadoras que son reconocidas por otras bacterias. Esto permite optimizar la producción de determinados metabolitos. Pero el término **autoinducción** no describía completamente todos los aspectos del fenómeno. En cambio, la expresión *quorum sensing*, acuñada en 1994, se ha extendido mucho más y es la que se emplea normalmente en artículos y libros de microbiología en inglés. Esas dos palabras se le ocurrieron a una persona ajena al mundo de la biología, un abogado a quien su cuñado –el microbiólogo norteamericano Steve Winans, que trabajaba con Peter Greenberg, en la Universidad de Cornell– explicó, durante una reunión familiar, el tipo de investigación en la que trabajaba. El abogado sugirió la expresión *quorum sensing* (“detectar que se ha alcanzado el número mínimo para alguna cosa”) para describir aquella manera peculiar de actuar de las bacterias [3]. Diferentes lenguas han transcrito literalmente la expresión. En algunos textos en castellano se ha empleado también el equivalente **percepción de quórum**, que puede definirse de la siguiente manera: «modalidad de comunicación intercelular bacteriana en la que se produce una respuesta fijada genéticamente cuando la densidad de bacterias de un cierto tipo alcanza un valor crítico».

Vemos pues que el lenguaje científico no está fijado, sino que puede cambiar según avanzan los conocimientos. Y recordar estos cambios puede ayudarnos a comprender mejor el campo concreto al que se ha aplicado. Pero eso ya es materia de un tercer artículo sobre el tema.

Bibliografía

1. Gest H (1997) A “misplaced chapter” in the history of photosynthesis research; the second publication (1796) on plant processes by Dr Jan Ingen-Housz, MD, discoverer of photosynthesis. *Photosynthesis Research* 53:65-72
2. Gest H (2002) History of the word *photosynthesis* and evolution of its definition. *Photosynthesis Research* 73:7-10
3. Greenberg EP (1997) Quorum sensing in Gram-negative bacteria. *ASM News* 63:371-379