

# AmbioCiencias

REVISTA DE DIVULGACIÓN



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES. UNIVERSIDAD DE LEÓN



AmbioCiencias nº 13  
Diciembre 2015

★ 1968 ★



★ 2015 ★

## Consejo de Redacción

### Director:

Juan Manuel Nieto Nafría

Catedrático de Universidad del Área de Zoología

### Secretario:

Francisco Javier Rúa Aller

Vice-Decano de la Facultad de CC. Biológicas y Ambientales

### Miembros:

José Luis Acebes Arranz

Profesor Titular del Área de Fisiología Vegetal

María Luz Centeno Martín

Profesora Titular del Área de Fisiología Vegetal

Delia Fernández González

Profesora Titular del Área de Botánica

Andoni Gómez Moreno

Alumno del 4º curso del Grado en Biotecnología

Estanislao Luis Calabuig

Catedrático de Universidad del Área de Ecología

Luis Mariano Mateos Delgado

Profesor Titular del Área de Microbiología

Juan Antonio Régil Cueto

Profesor Titular del Área de Zoología

Luis Enrique Sáenz de Miera

Profesor Titular del Área de Genética

Carnicer

**Edita:** Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León

**Colabora:** Área de Publicaciones de la Universidad de León.

**Maquetación:** Ana Alonso Simón.

© **Universidad de León**

© **Los autores**

**ISSN:** 1988-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa)

**Dep. Legal:** LE-903-07



universidad  
de león



Facultad de Ciencias  
Biológicas y Ambientales

**En portada:**

Fotografía de Las Médulas, León. Este paraje ha recibido el título de Patrimonio de la Humanidad, siendo considerada toda la zona como un Paisaje Cultural, por causa de su origen antrópico, y no un paisaje natural. En la sección Baúl de la Ciencia (p. 66) se analiza el papel del patrimonio geológico en la conservación de la naturaleza. Foto: Rodrigo Castaño de Luis.

## ÍNDICE

<b>Editorial</b> .....	3
<b>A fondo</b>	
<b>Agua</b>	
Estanislao de Luis Calabuig.....	5
<b>Los microbios que comemos</b>	
Alfonso V. Carrascosa Santiago .....	24
<b>Poniendo en claro</b>	
<b>Drogas marinas: los animales marinos como fuentes de compuestos antitumorales</b>	
Antonio José Laborda Navia, Manuel Martín San Sebastián .....	34
<b>Siguiendo la pista</b>	
<b>Aproximación a la histología foliar de <i>Bryonia</i>, <i>Malva</i>, <i>Plantago</i>, <i>Rubus</i> y <i>Taraxacum</i></b>	
Brisamar Estébanez-González, Rafael Álvarez Nogal.....	52
<b>Baúl de la Ciencia</b>	
<b>El papel de los elementos geológicos en la conservación de la naturaleza</b>	
Esperanza Fernández-Martínez .....	66
<b>Uno de los nuestros</b>	
<b>Paul Ehrlich: pionero de la quimioterapia</b>	
José M. Castro González, Hilda Sandoval Hernández.....	83
<b>Ambiólogos de aquí</b>	
<b>Gestión de empresas biotecnológicas con un enfoque internacional</b>	
Marcos José Fernández Fernández.....	96



**Mi proyecto de tesis**

**Efectos de la recurrencia y severidad en la recuperación de ecosistemas propensos al fuego**

Víctor Fernández García .....100

**Comentando lo publicado**

**Comentando “A Higher Level Classification of All Living Organisms” y su “Correction”, de Ruggiero *et al.* 2015**

Juan M. Nieto Nafría, Eloy Bécares Mantecón, José A. Gil Santos, Félix Llamas García, Luis E. Sáenz de Miera Carnicer, Arsenio Terrón Alfonso....102

**De todo un poco**

**Noticias de actualidad** .....124

## EDITORIAL

*Ambiociencias* llega a su décimo quinto número con éste que, lector, tiene en la pantalla, o quizás en unas hojas impresas. Y el decir «décimo quinto» no es un juego dialéctico o cual trampa en el solitario para no mentar 13 —ique está en la portada!—; se debe a que hubo un número 0 y un número extraordinario entre los que llevan los números 5 y 6.

El pequeño galimatías de nuestra numeración se incrementa al poner en el tablero que éste es el volumen correspondiente al noveno año de la revista, porque se fueron publicando dos números por año (o 4 en el conjunto 2009-2010) hasta que en 2013 la frecuencia disminuyó.

Al igual que los anteriores, este volumen se debe al esfuerzo de los autores de los artículos que lo componen, y también —dicho sea sin su permiso— al denuedo de los miembros veteranos del consejo de redacción de la revista.

Autores que han preparado sus artículos con la intención de que los lectores puedan asomarse a alguna pequeña parcela de los territorios de las ciencias en las que se forman los estudiantes de nuestra facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León.

En ocasiones anteriores los párrafos del editorial con el que habitualmente comienzan los números de esta revista han estado dedicados a la presentación del número, alguno dedicado a un asunto concreto. En otros ha sido de hecho un artículo más de la revista.

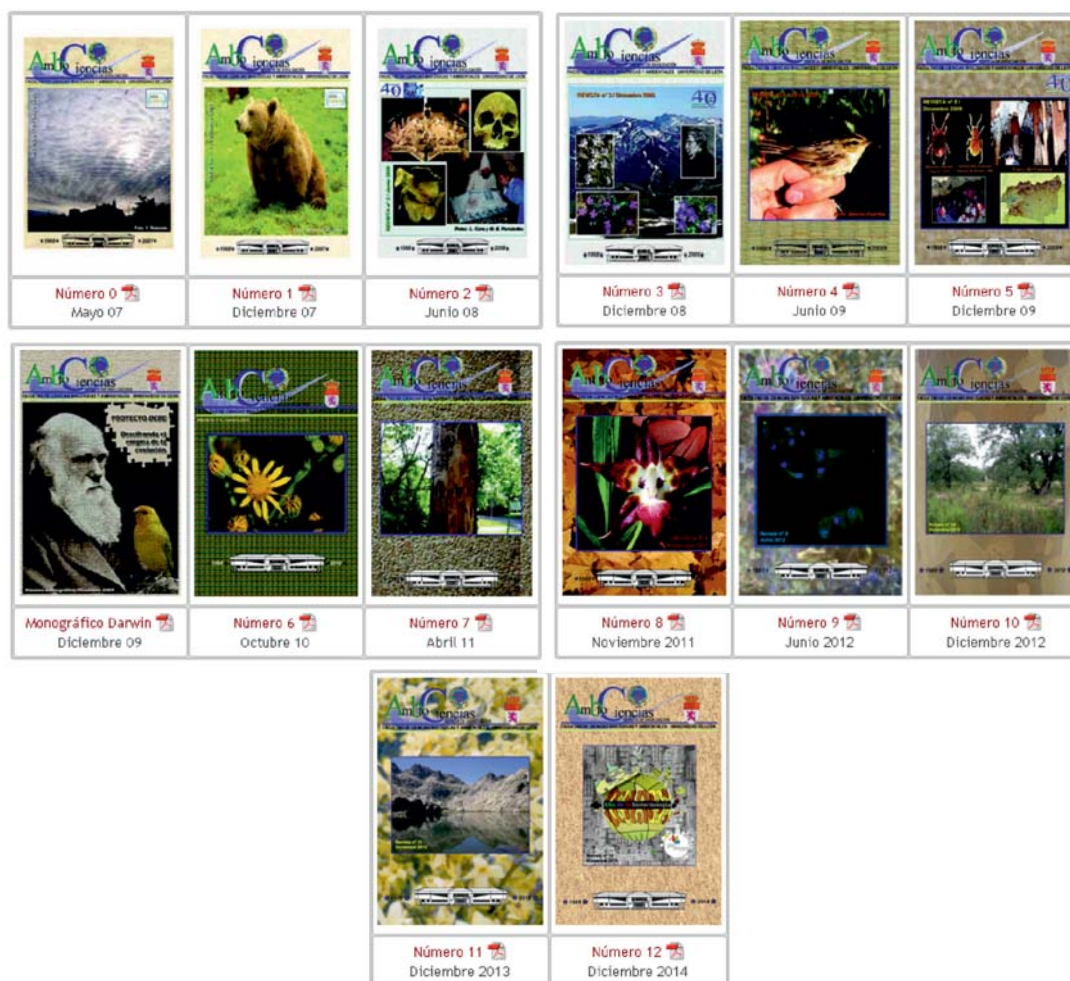
En este caso, este editorial quiere ser, por una parte, un manifiesto de agradecimiento triple. Agradecimiento en muy alta voz a todos los firmantes de artículos publicados en esta revista, que han dado ejemplo de altruismo, de colaboración y de conocimientos. Agradecimiento a quienes han formado parte del Consejo de redacción de la revista —al que su director se incorporó el pasado año cuando el número 12 estaba ya en prensa— durante todos o algunos de estos años. Agradecimiento a las autoridades de la Facultad y su Junta que la han impulsado y sostenido.

Por otra parte, quiere ser una declaración de intenciones del Consejo de redacción mencionado para seguir en la tarea emprendida, y en lo posible ampliar la difusión de la revista y por lo tanto su influencia.

*Ambiociencias* forma parte ya de modo casi irrevocable de las revistas de publicación virtual —con algunos ejemplares impresos con destino a autores y un reducido número de instituciones, bibliotecas incluidas— y parece adecuado

Forma de mencionar este artículo: 2015, Editorial. *AmbioCiencias*, 13, 3-4. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

pensar en introducir cambios de formato, quizás de periodicidad, puede que de contenidos. En tal sentido, nos gustaría poder añadir a nuestros agradecimientos a aquellos que nos hagan saber sus ideas al respecto, pues sus aportaciones sin duda ayudarán al Consejo en la toma de mejores decisiones.



**Figura 1.** Portadas de los números de AmbioCiencias publicados hasta la actualidad.

## A FONDO

### Agua

Estanislao de Luis Calabuig

Catedrático de Ecología. Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental.  
Fac. CC. Biológicas y Ambientales. Universidad de León. E-24071.

[eluc@unileon.es](mailto:eluc@unileon.es)

*Conferencia impartida en la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, con motivo de la festividad de San Alberto en noviembre de 2014.*

### Orígenes del agua en el planeta

En aquellos primeros días, hace unos 4.600 millones de años, “*la Tierra no era un buen destino de vacaciones*”, dice Philip Ball (1999) en tono jocosos en su biografía del agua. Hacía referencia al calor despedido durante su proceso de formación a partir de los planetésimos en colisión creando un infierno global. Además, unos 100 millones de años después, chocó nuestro planeta con uno del tamaño de Marte que arrancó suficiente material para formar la Luna, provocando la evaporación de toda la atmósfera que la Tierra poseía entonces, y dejando al planeta durante millones de años como una bola de ardiente magma y su superficie totalmente barrida.

Esas colisiones no sólo fueron destructivas. Al contrario, proporcionaban al planeta una atmósfera y agua. Muchos meteoritos llevaban una costra de hielo y algunos de ellos, como los condritos carbonáceos, ricos en compuestos de carbono, podían contener hasta un 20% de agua en forma de hielo o encerrada en las estructuras cristalinas de los minerales. Por su parte, los condritos ordinarios pueden llegar a tener en torno al 0,1% de su masa. Fue tal el número de meteoritos que colisionaron con nuestro planeta que habrían sido más que suficientes para llenar los océanos si la Tierra se hubiera formado primariamente a partir de planetésimos con esa composición. Pero los meteoritos no eran los únicos objetos que deambulaban entre los planetas del sistema solar. También los cometas podrían haber suministrado a la Tierra y sus planetas vecinos enormes cantidades de agua en un relativo breve periodo de tiempo.

Cuando la roca fundida se enfrió y solidificó, los gases fueron liberados originando una atmósfera compuesta en su mayor parte por dióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua. Entonces toda el agua estaba en la atmósfera, pero en algún momento la temperatura descendió lo suficiente como para que el agua se condensara y los diluvios originaron los océanos, pintando de azul la faz de la Tierra.

Forma de mencionar este artículo: Luis, E., 2015, Agua. AmbioCiencias, 13, 5-23. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

El agua líquida apareció por primera vez en nuestro planeta hace unos 3.800 millones de años y, por otra parte, las pruebas geológicas sugieren que la temperatura media no ha variado más allá de los límites entre 7 y 27 °C. Esas condiciones del gran nicho ecológico terrestre parece que han sido relativamente estables durante mucho tiempo. En tales situaciones la temperatura media global de la superficie ha jugado un papel de trascendental importancia porque determinó el estado del agua.

Por supuesto que también ha influido la posición de la Tierra en el sistema solar, que podría calificarse como una feliz, pero estadísticamente poco probable situación de suerte, que ha permitido la presencia de agua en el planeta. Lo que James Lovelock (1979) ha descrito como “*una extraña y hermosa anomalía en nuestro sistema solar*”. Los expertos parecen estar de acuerdo en que los tres planetas terrestres (Venus, La Tierra y Marte) comenzaron del mismo modo y se piensa que las atmósferas actuales son el resultado de una pérdida de gases por parte del manto, incluyendo los escapes de gases volcánicos y la vaporización producida por impactos de meteoritos.

La temperatura de Venus era lo suficientemente alta (87 °C) como para mantener el agua en forma de vapor. Desde esos mismos instantes, la atmósfera de Venus debe haber estado atrapando radiación infrarroja, produciendo con el tiempo un efecto invernadero fugitivo que ha convertido a ese planeta en el desierto caliente que es actualmente. Más alejado del Sol, en el planeta Marte (-28 °C) el agua no lograba derretirse, por lo que su atmósfera se mantuvo como una fina capa con masas de agua en reservas congeladas bajo la superficie. Recientemente, los resultados de una publicación en la revista Nature Geosciences (Ojha *et al.*, 2015) muestran la presencia de sales hidratadas, que permiten que el agua permanezca líquida a temperaturas muy bajas, de hasta 70 grados bajo cero, y que fluya ladera abajo de alguno de los cráteres de Marte durante las estaciones más cálidas (**Fig. 1**).

**Figura 1.** Arroyos de agua líquida mantenida a muy baja temperatura por elevadas concentraciones de sales en algunas laderas de cráteres de Marte. Fotografía de la NASA, 2015.



En la Tierra, por el contrario, las cosas evolucionaron de forma muy diferente. La posición intermedia de nuestro planeta se tradujo en temperaturas que aseguraron la condensación del vapor de agua liberado a la atmósfera, for-



mando grandes áreas oceánicas, permitiendo la disolución de enormes cantidades de dióxido de carbono y llegando a la formación de rocas sedimentarias cuando la lluvia llevó los materiales erosionados hacia el mar.

### **Importancia del agua**

El agua, que es trascendental para muchos de los procesos físicos, químicos y biológicos, también controla la temperatura de la Tierra, en parte por el efecto invernadero asociado al vapor de agua, ya que si no fuera por ese efecto la temperatura media de nuestro planeta sería 30 °C inferior, pero también por el grado en que la nieve, el hielo o las nubes cambian la reflectividad del planeta. Todos esos procesos, junto al resto de los componentes de la atmósfera, han asegurado que la Tierra se haya mantenido, de forma global y hasta el momento, con temperaturas medias cercanas a los 17°C, permitiendo que el agua líquida dominara sobre la superficie y ofreciendo un acogedor ambiente para el desarrollo de la vida.

Estamos en un planeta azul, al que más coherentemente deberíamos llamar Planeta Agua, aunque el capricho subjetivo de la especie humana lo bautizara como Planeta Tierra. Seguramente hemos invertido parte de nuestro tiempo de ocio al juego de los barcos, en el que precisamente el 80% de las casillas son precisamente agua, y eso hace que el juego se dilate un poco en el tiempo. Pues bien, en nuestro planeta el porcentaje de agua es del 71%, y dispuesto de tal forma, que visto desde determinados ángulos, la superficie del globo terráqueo, es casi toda mar.

### **El agua y el origen de la vida**

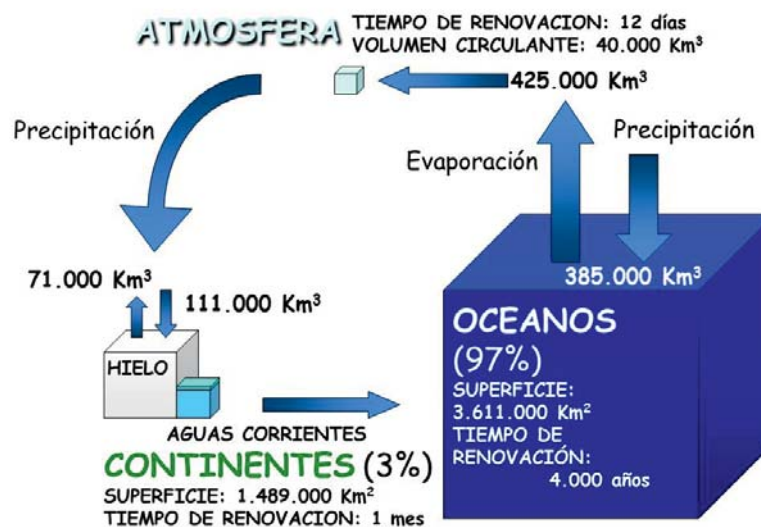
Las aguas de la Tierra probablemente constituirían un caldo que contenía todos los compuestos necesarios para las primeras formas precelulares. De acuerdo con las teorías más aceptadas, la vida se originó en las masas de agua somera, donde estaba protegida de la fuerte radiación ultravioleta que en aquellas condiciones llegaba hasta la superficie del planeta. Teniendo en cuenta las variables fundamentales que implicaron la evolución, se llega a la evidente conclusión de que la temperatura sólo pudo mantenerse gracias a la acción del efecto invernadero, llevando a cabo constantes reajustes en los gases que componen la atmósfera siempre con la presencia del agua y, de forma curiosa y por ventura, entre márgenes que hoy conocemos como necesarios para el comienzo y mantenimiento de la vida. Parece, por otra parte, que la Tierra ha evitado extremos no adecuados. Lovelock y Margulis (1974) han sugerido que la vida ha jugado un papel trascendental en los procesos de retroalimentación, permitiendo precisamente esa regulación que puede sintetizarse en dos premisas. 1) La vida existe únicamente porque las condiciones ambientales en la Tierra son las adecuadas

para su existencia. 2) La vida define las condiciones naturales necesarias para su supervivencia y se asegura de que se mantengan. Efectivamente, la vida se ha mantenido en un extraordinario esfuerzo de equilibrio durante cientos de millones de años. Si la temperatura, humedad o cualquier otra característica ambiental se hubiera salido de un estrecho margen de valores, la vida hubiese sido aniquilada.

### Ciclo hidrológico

El agua es el agente de cambio geológico, medioambiental y global. El agua es lo que hace único a nuestro planeta. Constantemente el agua está en movimiento aunque a velocidades muy diferentes. Se evapora; se congela; los ríos fluyen; los océanos circulan lentamente con giros precisos; las nubes navegan por los cielos, rompiéndose en lluvias y otros fenómenos meteorológicos que conforman las intemperies; las plantas transpiran. Es un flujo continuo, es el ciclo hidrológico.

El ciclo del agua presume de una contabilidad estricta, hasta el momento (**Fig. 2**). Cada tres mil cien años, un volumen de agua equivalente al de todos los océanos del mundo pasa a través de la atmósfera, llevado hasta allí por evaporación y luego es expulsado por precipitación. Sin embargo, en cada momento, sólo hay en la atmósfera la milésima parte del 1% del agua total del planeta, lo equivalente para cubrir la Tierra con tres centímetros de lluvia si toda esa agua cayera de golpe sobre el mundo. Al final, en este balance de agua entre los diferentes compartimentos del planeta, sólo el 1% del 3% del total es agua dulce en la superficie. La propia existencia del ciclo del agua es una consecuencia de la capacidad única del agua para existir en más de un estado físico (sólido, líquido o gaseoso). Y no es difícil poder apreciar los tres estados formando parte de un mismo paisaje al mismo tiempo.



**Figura 2.** Contabilidad del ciclo global del agua.

El agua es, asimismo, el vehículo y el lubricante de los ciclos biogeoquímicos. Al ser un disolvente tan eficaz, fluyendo constantemente, ayuda a transportar las sustancias de un lado a otro, entre diferentes ecosistemas y diferentes climas.

Todos los océanos del mundo están interconectados. Las masas continentales y las elevaciones del fondo marino modulan el grado de conexión, lo que permite diferenciar distintas masas de agua; cuencas separadas por plataformas poco profundas. Las aguas de esas masas oceánicas no están sencillamente allí asentadas, en reposo, subiendo y bajando su nivel, sino que se mueven constantemente, desplazándose horizontal y verticalmente. Los vientos impulsan la circulación oceánica hasta profundidades no superiores a los cien metros, con grandes implicaciones para la especie humana, en actividades que suponen fuertes beneficios económicos. En las profundidades, el movimiento es impulsado principalmente por diferencias en la temperatura del agua. Esta fluctuación, que influye en profundidades entre uno y cinco kilómetros, transporta agua caliente a los mares fríos, redistribuyendo el calor por todo el planeta. La circulación de las aguas profundas crea una corriente en forma de cinta transportadora que enlaza todos los océanos del planeta. Pero al mismo tiempo también hay que tener en cuenta que la evaporación de la superficie marina hace que sus aguas sean más saladas, aumentando también la densidad del agua. Esas diferencias en la temperatura y la salinidad hacen que los océanos profundos no sean una masa homogénea de agua. Esa cinta transportadora global de la circulación de las profundidades se conoce con el nombre de circulación termohalina.

### **El agua en la filosofía y en las ciencias**

El agua, tan globalmente presente, tan común en la mayoría de los fenómenos que ocurren en la Tierra, sigue siendo, sin embargo, un misterio. Después de casi dos milenios y medio de pesquisas filosóficas y científicas, la sustancia más vital de cuantas existen en el mundo sigue estando rodeada de profundas incertidumbres. Lo que nadie ignora es que el agua parece única. Cualquier otra sustancia o elemento del mundo pueden ser extraordinariamente variados, pero siempre son comparables (una hoja, una roca, un animal), normalmente opacos y con cierta constancia. Sin embargo el agua es el opuesto a todo eso: dúctil, móvil, transparente, insípida. Es una categoría aparte, aunque parezca tener un aspecto único.

El agua ha sido el hilo conductor para llegar a la física moderna, que trata de explicar la composición de la materia y su transformación; a la química, que describe la manera en que se combinan los elementos; y es también la llave maestra para entender los fenómenos de la biología y de las ciencias geológicas. Explorando el agua los filósofos y los científicos de las generaciones anteriores pudieron explorar el mundo. Una gota de agua es el principio de la mayoría de nues-

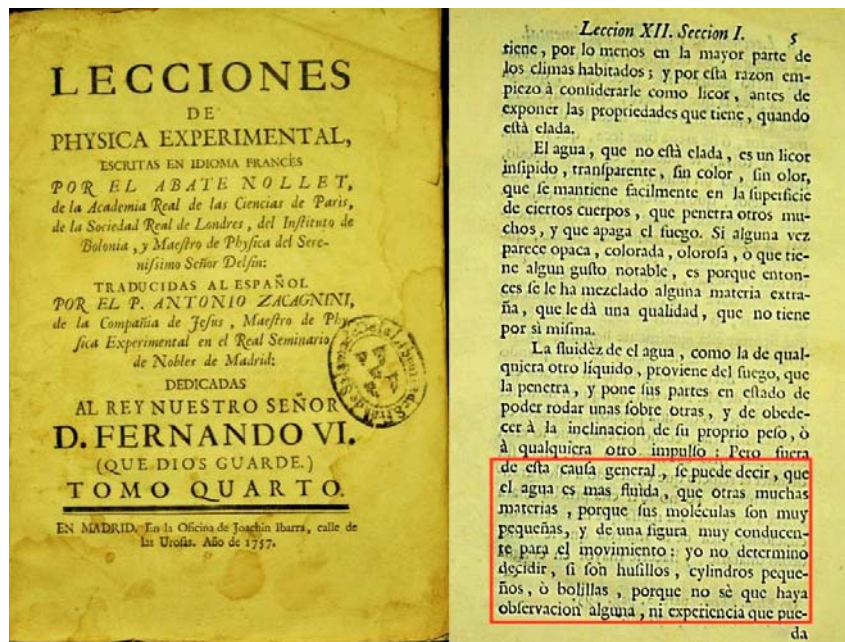
tros conocimientos. No es difícil entender cómo el agua llegó a tener una profunda significación simbólica y emocional que todavía se mantiene en la actualidad. La categorización aristotélica de los elementos (tierra, aire, fuego y agua), propuesta de Empédocles (495-435 a.C.), no fue la única en la cultura occidental, hubo otras propuestas en diferentes épocas, desde los primeros tiempos de la historia documentada hasta el advenimiento de la química moderna. Sin embargo, la sustancia común a todos esos esquemas era el agua.

Tales de Mileto (s VII-VI a.C.) aseguraba que toda la realidad se derivaba de una única sustancia elemental: “*el agua es el origen de todas las cosas*”. Su razonamiento era sencillamente lógico y se basaba en el hecho de que el agua era un elemento central, tanto para los seres vivos como para el mundo geológico. Se percató igualmente de que podía evaporarse y solidificarse, concluyendo de todo ello que ella sola era suficiente para servir de base a toda la materia. Era una conclusión comprensible para aquellas épocas.

El agua, aparte de su composición química, que entretuvo durante bastante tiempo a insignes científicos, desde su consideración como un elemento simple hasta que se llegó por fin a la bien conocida representación de la molécula como  $H_2O$ , es el más extraño de los líquidos. Una unión de dos átomos de hidrógeno con uno de oxígeno, que ha significado un largo camino desde la idea de Demócrito de Abderea (460-370 a.C.) de “un elemento compuesto por partículas redondas, viscosas e indivisibles”.

Más de mil cien años después todavía podía leerse en diferentes compendios de física experimental descripciones como esta: “el agua es más fluida que otras muchas materias porque sus moléculas son muy pequeñas, y de una figura muy conducente para el movimiento: yo (por el autor, en este caso concreto el Abate Nollet (1757), de la Real Academia de las Ciencias de París, de la Sociedad Real de Londres, del Instituto de Bolonia y Maestro de Física del Serenísimo Señor Delfín de Francia), no determino decidir, si son husillos, cilindros pequeños, o bolillas, porque no sé que haya observación alguna, ni experiencia que pueda asegurar esta decisión...” (**Fig. 3**).

La mayoría de las sustancias son más densas cuando se solidifican que cuando están en estado líquido. El agua no, se congela de arriba hacia abajo, el hielo flota y por eso tenemos paisajes helados que esconden sistemas llenos de vida en soporte líquido. Qué hubiera ocurrido si el agua se hubiera comportado como la mayoría de esas otras sustancias. ¿Podría imaginarse un lago con el hielo en el fondo? (**Fig. 4**). El Titanic no se habría hundido, ya que el hielo no flotaría en el agua y no habría icebergs. Y puede que tampoco hubiera podido existir el Titanic, ni la especie humana, ni quizá la propia vida, al menos tal y como la concebimos.



**Figura 3.** Descripción del agua en 1757, por el Abate Nollet, en su traducción al español por Zacagnini.



**Figura 4.** El agua se congela de arriba hacia abajo. Paisaje de Invierno de Pieter Bruegel, 1565.

Otra de las anomalías más proclamadas del agua hace referencia a que se necesita más calor para elevar su temperatura –capacidad calorífica-, más que la que necesitan la mayoría de las sustancias restantes para elevar la temperatura en una cantidad igual. Pero eso también tiene sus beneficios, porque el agua se enfría muy despacio, lo que a nivel global significa que las corrientes oceánicas calientes pueden transportar una cantidad fenomenal de calor, como ocurre con la corriente del Golfo, que mueve cada día dos veces más calor del que se produ-

ciría quemando todo el carbón extraído de las minas del mundo en un año.

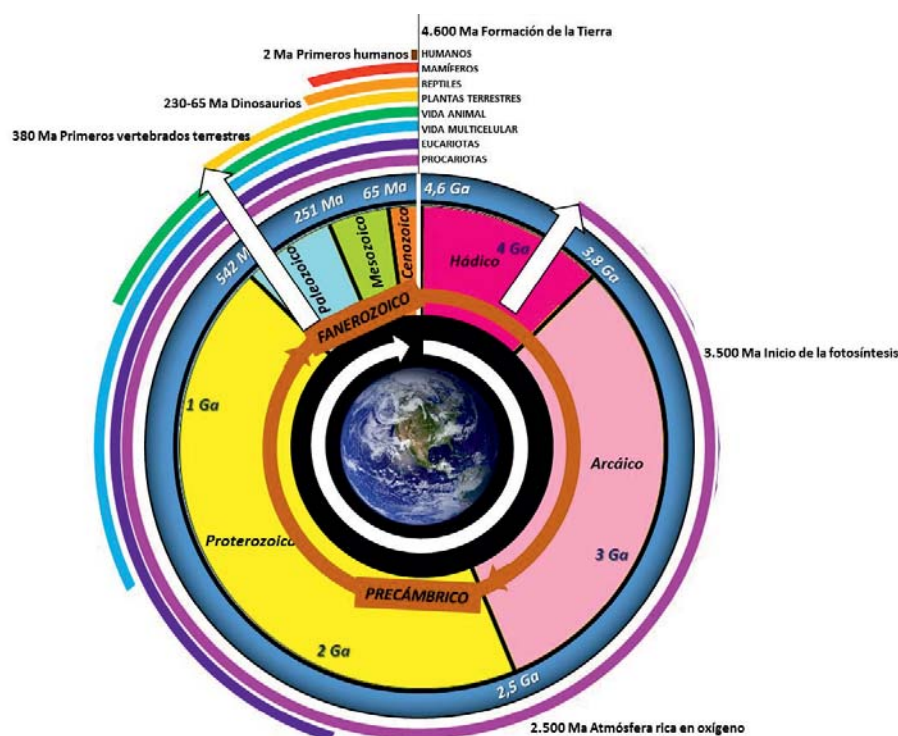
Quizá esa y todas las demás peculiaridades se deban a la forma de la molécula del agua, algo así como un tetraedro con el átomo de oxígeno centrado, dos de hidrógeno en dos de los vértices y los otros ocupados por pares de electrones libres. Eso significa que una molécula de agua puede formar cuatro puentes de hidrógeno: los dos átomos de hidrógeno con átomos de oxígeno vecinos, mientras que los dos pares libres de la molécula interactúan con átomos de hidrógeno. El número de puentes aumenta del estado gaseoso hasta el sólido, conformando en este último una estructura hexagonal que es la que se transmite a los copos de nieve.

Y todo eso en continuo movimiento. El agua líquida es todo menos estática. Sería interesante tener la tecnología adecuada y suficiente para seguir la pista a enormes cantidades de moléculas de agua cuando estas despliegan sus tácticas en el líquido real. Quizá pueda conseguirse con el paso siguiente al nanoscopio merecedor del Premio Nobel de Química en 2014 (Betzig, Moerner y Hell). En la actualidad se recurre a la simulación por ordenador. El espectáculo de su detallado movimiento debe de ser fantástico.

Si la vida, tal y como la conocemos, tuviera que comenzar alguna vez en cualquier planeta, necesitaría ciertamente del carbono, pero aun antes que eso, necesitaría agua corriente. El agua es el medio único y verdadero de la vida. Sin agua la vida simplemente no podría sostenerse. Es el fluido que lubrica los mecanismos de la célula, el que transporta los materiales y toda la maquinaria molecular de un lugar a otro, facilitando las reacciones químicas que mantienen la vida. El agua es el fluido del sustento y la limpieza, lleva los nutrientes hasta donde son necesarios y elimina los desechos.

De los cuatro mil seiscientos millones de años de historia, la Tierra ha albergado vida por unos tres mil ochocientos millones y la colonización terrestre es de tan sólo cuatrocientos cincuenta millones para acá (**Fig. 5**). Si la vida fuera un libro, la evolución estaría escrita con las letras de las moléculas, en los alfabetos de las proteínas y en tantas lenguas como fuese capaz de expresarse la Babel de estructuras de ADN, pero las hojas en las que se habría plasmado todo ese maravilloso texto serían de agua. Pero el agua no fue solamente el medio en el que se desarrolló la vida, fue también una materia prima y fundamental del éxito biológico. El agua es la sustancia dominante en todos los organismos vivos, conforma dos tercios de nuestro propio cuerpo, y es aún mayor en otras muchas especies. El versículo del Génesis “*Pulvis es et in pulverem reverteris*”, mas bien debería decir “*Agua eres y en agua te convertirás*”. El biólogo y premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1937, Albert von Szent-Györgyi, la describió como la “*matriz de la vida*”. El medio fluido existente en el interior de las células, el citoplasma, es en su mayor parte agua. Un cóctel de azúcares, sales, ácidos grasos, hormonas, proteínas y ADN, con base de agua. Sin el agua las

biomoléculas perderían su función biológica. En realidad la biología trata de las interacciones de esas moléculas dentro del agua y con ella. Los biólogos Mark Gerstein y Michael Levitt (1999), galardonado este último con el No-bel de Química en 2013, lo han descrito de forma muy gráfica: “cuando los científicos publican en revistas modelos de moléculas biológicas, dibujan usualmente sus modelos en colores brillantes y los colocan contra un fondo liso y negro. Ahora sabemos que ese fondo – el agua – en el que existen esas moléculas es tan importante como ellas”. Lo que equivale a decir que las estructuras y los procesos biológicos sólo pueden entenderse en términos de las propiedades físicas y químicas del agua. La biología, desde el punto de vista histórico, ontológico y pedagógico, comienza en el agua.



**Figura 5.** Representación esquemática de la historia de la Tierra. Modificado de Viseras, 2011.

Siempre ha existido esa preocupación por conocer la importancia del agua en los organismos. Van Helmont en 1648 plantó un joven sauce en una maceta con unos noventa kilos de tierra, secada en un horno que humedeció con agua de lluvia. Cubrió la maceta con una lámina de metal para evitar que se le añadiera polvo a la masa de tierra, y durante cinco años añadió agua de lluvia o agua destilada y observó el crecimiento del árbol. Finalmente, secó de nuevo la tierra del recipiente y la pesó, y también pesó el árbol. A la tierra le faltó poco más de cincuenta gramos de los noventa kilos originales, mientras que el árbol había ganado unos cuarenta y cinco kilos, lo cual, según la propia conclusión del científico, “sólo provenía del agua”.

## El agua y la especie humana

¿Y cuál es la relación de las especie humana con el agua? En principio hay que señalar que es un recurso básico y fundamental de uso variado y con implicaciones importantes, como consecuencia de la contaminación, de la escasez, o todo lo contrario, como ocurre en las catástrofes relacionadas con inundaciones o tsunamis.

El tratamiento como recurso básico ha sido considerado en todas las civilizaciones, dejando constancia de ello en muchos casos. Quizá el mensaje del jefe Seattle (1854), por su halo de romanticismo, es uno de los que más ha calado en nuestra época (**Fig. 6**).



El agua cristalina que corre por los ríos y arroyuelos no es solamente agua sino también representa la sangre de nuestros antepasados... ..Deben recordar que es sagrada y a la vez recordar a sus hijos que es sagrada... El murmullo del agua es la voz del padre de mi padre.

Los ríos son nuestros hermanos; son portadores de nuestras canoas y alimentan a nuestros hijos... ustedes deben recordar y enseñar a sus hijos que los ríos son nuestros hermanos y también lo son suyos, y por lo tanto deben tratarlos con la misma dulzura con que se trata a un hermano...

Contaminan sus lechos y una noche perecerán ahogados en sus propios residuos...

Pero ustedes caminarán rodeados de gloria hacia su destrucción.

**Figura 6.** Extracto de la respuesta del jefe Seattle(1854), de la tribu Suwamish, dirigida al presidente de los Estados Unidos, Franklin Pierce, tras la oferta de comprarle los territorios de sus ancestros, prometiendo a cambio crear una reserva para el pueblo indígena.

Por otra parte, son muchas las manifestaciones internacionales que tratan de resaltar la importancia del agua para el planeta, para la vida y para las personas, así como las referencias que recuerdan nuestra continua conexión con ella. Sirva como ejemplo el glosario sobre los “*Paisajes del Agua*” (1992) del Prof. González Bernáldez (1933-1992), uno de los más insignes profesores de Ecología de nuestro país, que recoge algo más de 600 términos relacionados con ambientes dominados por el agua; o también el trabajo sobre topónimos de los ríos en los paisajes del Duero del Prof. Morala (2006) de nuestra Universidad. Y como no, los cientos de refranes que en casi todas las lenguas tienen al agua como clave de certezas o presagios. En este caso con el cercano ejemplo sobre refranes del tiempo en León del profesor de esta Facultad Rúa Aller (2014).

Es necesario volver a recordar que solamente puede considerarse como aprovechable menos del 0,3% del volumen total del planeta, es decir unos



100.000 km<sup>3</sup> que se encuentran en ríos, lagos y acuíferos, susceptibles de ser utilizados como recurso. Ese volumen ha sido suficiente, hasta hace poco tiempo, para mantener las necesidades de toda la humanidad y como tal fue considerada, al igual que el aire, como recurso inagotable. Una prueba testimonial de ello queda recogida en las partidas del Rey Alfonso X el Sabio del siglo XIII. (**Fig. 7**).

L E Y III  
***Quales son las cosas que  
 comunalmente per-  
 tenecen a todas las criaturas.***



Las cosas que comunalmente pertenecen a todas las criaturas (1) que bien en este mundo, son estas; el ayre, e las aguas de lluvia, e del mar, e su ribera. Ca qualquier criatura que biua, puede vsar de cada vna destas cosas, segunt quel fuere menester. E porende todo ome se puede aprouechar de la mar (2).

**Figura 7.** Ley tercera del título veintiocho de la tercera de las Partidas del Rey Alfonso X El Sabio.

Sin embargo, la situación actual es muy diferente y así se pone de manifiesto en la mayoría de los reglamentos y normas referidas a la gestión del agua de los países desarrollados. Como ejemplo basta leer el preámbulo de la Ley de Aguas española de 1985 (**Fig. 8**).

Era esa Ley un claro reflejo de la tendencia marcada a nivel europeo, con expresión de referencia en la Carta Europea del Agua, aprobada por el Consejo de Europa en mayo de 1968, en la que podía leerse que “Sin agua no hay vida posible. Es un bien preciado indispensable a toda actividad humana. Constituye un patrimonio común cuyo valor debe ser reconocido por todos. Tenemos la obligación de utilizarla con cuidado y no desperdiciarla. Alterar la calidad del agua es perjudicar la vida del hombre y de los otros seres vivos que de ella dependen. Cuando las aguas después de utilizarlas se reintegran a la naturaleza no deberían comprometer el uso ulterior, público o privado, que de esta se haga.”

Por otra parte, el agua no está disponible por igual para todos. La escasez en las personas puede ser física o económica. Alrededor de dos mil ochocientos millones de personas en todos los continentes del mundo tienen problemas de escasez de agua durante al menos un mes cada año. Más de 1,2 millones de personas no tienen acceso a agua potable salubre.

**16661** LEY 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

JUAN CARLOS I,  
REY DE ESPAÑA

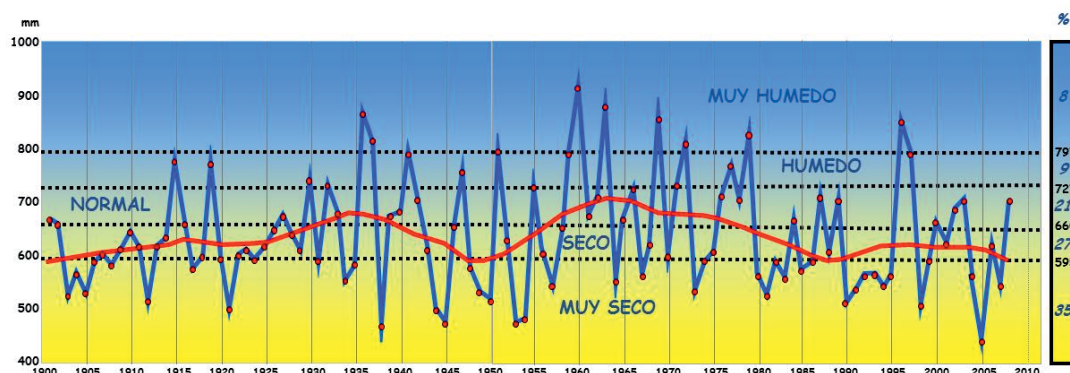
A todos los que la presente vieren y entendieren.  
Sabed: Que las Cortes Generales han aprobado y Yo vengo en sancionar la siguiente Ley:

PREAMBULO

El agua es un recurso natural escaso, indispensable para la vida y para el ejercicio de la inmensa mayoría de las actividades económicas; es irremplazable, no ampliable por la mera voluntad del hombre, irregular en su forma de presentarse en el tiempo y en el espacio, fácilmente vulnerable y susceptible de usos sucesivos. Asimismo el agua constituye un recurso unitario, que se renueva a través del ciclo hidrológico y que conserva, a efectos prácticos, una magnitud casi constante dentro de cada una de las cuencas hidrográficas del país.

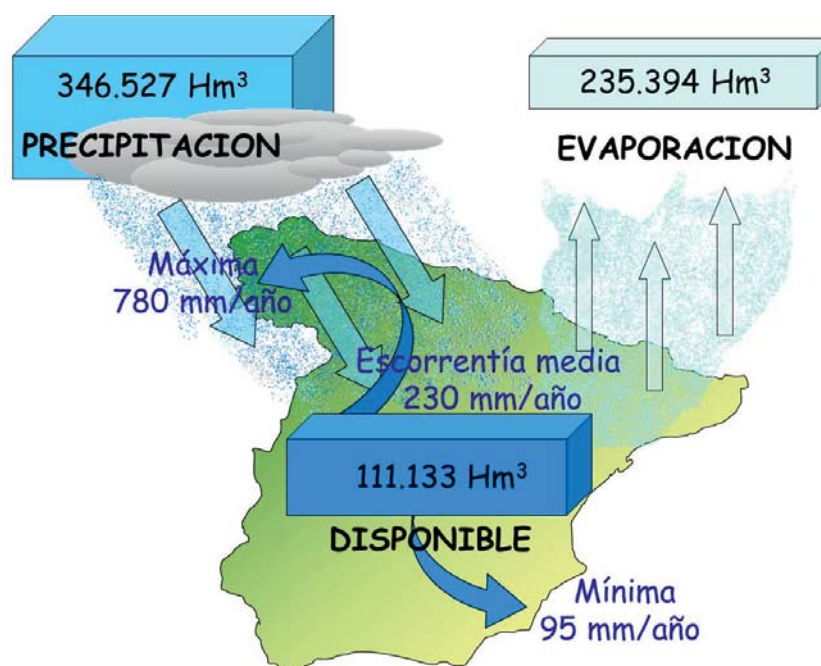
**Figura 8.** Los dos primeros párrafos del preámbulo de la Ley de Aguas de 1985.

Además, como característica importante hay que tener en cuenta que los recursos hídricos no se distribuyen uniformemente sobre la superficie terrestre, ya que la lluvia cae de forma irregular tanto espacial como estacionalmente. Esa variabilidad de los recursos de agua es algo natural en nuestro planeta y explica en gran parte los problemas del agua y de su uso. A menor escala, el caso de España es muy significativo al tratarse de un clima típicamente mediterráneo. Se puede apreciar un claro gradiente entre el norte y el sureste. La distribución temporal es extraordinariamente variable. La evolución de las precipitaciones medias anuales en algo más de un siglo muestra que lo normal no es lo más frecuente, siendo incluso evidente para valores promediados (**Fig. 9**).



**Figura 9.** Precipitaciones anuales medias caídas en España peninsular en el periodo 1900-2008.

Cuando se añade la información de lo que se pierde por evapotranspiración, las diferencias se hacen mucho más patentes. El balance global, precipitaciones menos evapotranspiración, define el agua total renovable. Pero ese valor de escorrentía media es engañoso, ya que los extremos definen un rango extraordinariamente amplio (**Fig. 10**). Además habrá que tener en cuenta, como complemento de esa heterogeneidad espacial y temporal, la irregularidad en la distribución de la población humana, ya que es bien cierto que no hay más habitantes donde hay mayor disponibilidad de agua como puede deducirse en un simple análisis de España o, a menor escala, en nuestra comunidad de Castilla y León, lo que supone un problema suplementario.



**Figura 10.** Balance medio del agua en el territorio peninsular español.

Con esas fluctuaciones naturales habrá también que tener en cuenta cómo se usa el agua y los servicios que proporciona, en muchos casos relacionados con la influencia humana y los cambios producidos en sus actividades económicas: agricultura, industria, usos domésticos, asociados al aumento de población, apertura de nuevos territorios, gran crecimiento de las extracciones de agua, transformaciones y alteraciones de la cubierta vegetal. Todas ellas pueden suponer un gran impacto en la cantidad y en la calidad. Los usos del agua cambian con el grado de desarrollo humano, pero la constante en ese cambio radica fundamentalmente en un mayor consumo, rodeado en muchos casos de grandes proporciones despilfarradas, y una mayor degradación. La cantidad de agua

puede mantenerse en equilibrio históricamente, pero su calidad se ha reducido de forma extraordinaria. El problema se podría minimizar si se acelerara la recuperación de las aguas usadas, pero sobre esta cuestión se añaden otras deficiencias notables de la gestión del agua. Por una parte el enorme desfase histórico entre la disponibilidad de agua y la aplicación de procedimientos efectivos para la depuración tras su uso degradativo. Bastaría como ejemplo conocer el tiempo transcurrido entre el momento de disponibilidad generalizada de agua en los hogares de cualquier ciudad y la fecha de resolución de la depuración de las aguas residuales, que categóricamente puede calificarse como una asignatura pendiente en muchas de las zonas desarrolladas. En España, por ejemplo, aún queda un porcentaje significativo de no conformidad con lo establecido en las directivas europeas (**Fig. 11**).



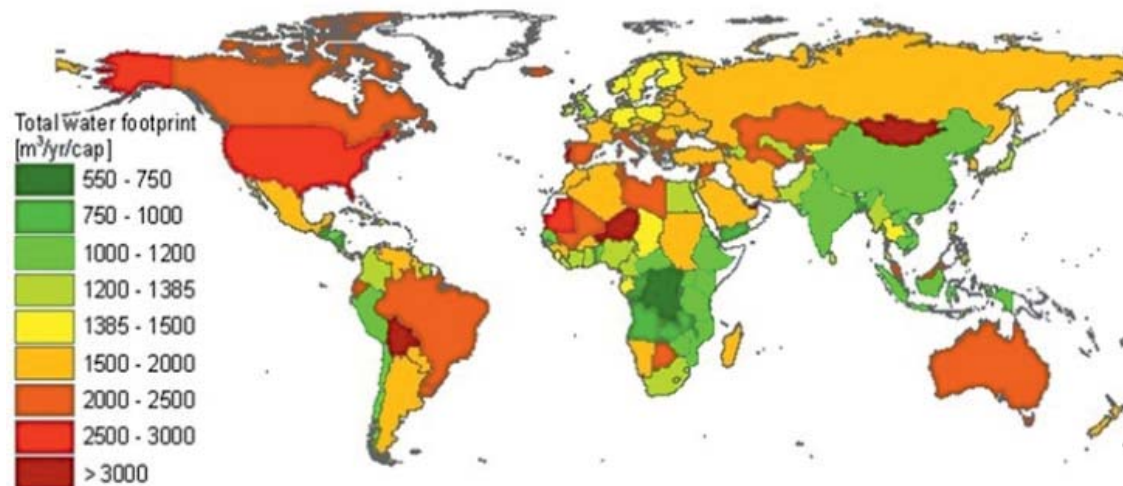
**Figura 11.** Grado de conformidad del estado de depuración de aguas residuales en España con la Directiva 91/271/CEE. 1995-2010, de acuerdo con el informe de la OSE de 2012.

Cuando el tema de depuración de aguas residuales se analiza en detalle el problema puede agravarse. En el caso de la provincia de León casi el 25% de los puntos de vertido de aguas usadas no tiene ningún nivel de tratamiento de depuración; solamente un tercio de las depuradoras tiene un funcionamiento adecuado; y los principales problemas son causados por la falta de mantenimiento, e incluso el abandono. La otra deficiencia notable hace referencia a la gran variabilidad del coste de uso integral por provincias o comunidades autónomas, que además no se acomoda normalmente a su justiprecio. Habría que valorar los costes reales de almacenamiento, potabilización, distribución y depuración. En definitiva, garantizar la devolución a los cauces naturales con las mismas o me-

jores condiciones en que se tomó. En muchos casos los costes se elevan por el derroche en cualquiera de los pasos del ciclo humano del agua. Se hace por lo tanto necesario conseguir un ahorro eficaz y al mismo tiempo un uso racional y eficiente en cualquiera de las actividades.

Resulta interesante aplicar en el cómputo de gasto lo que técnicamente se conoce como “*agua virtual*”, es decir el volumen de agua requerido para la producción de bienes o servicios. Ese término fue propuesto en 1993 por John Anthony Allan, Premio Estocolmo del Agua en 2008, cuando estudiaba la opción de computar agua virtual, en lugar de agua real, a través de la importación de productos a países de Oriente Medio. Hoy día hay mucha información sobre este tema. En algunos casos son datos curiosos que pueden servir para concienciar sobre la importancia del agua.

**Figura 12.** Huella hídrica del consumo nacional en un informe de



Mekonnen y Hoekstra para la UNESCO en 2011.

En 2002 se desarrolló el concepto de huella hídrica, como un indicador que sirviera para relacionar el uso del agua con el consumo humano. Puede aplicarse a una única persona, a una colectividad o a cualquier unidad administrativa o territorial, y expresarse por unidad de tiempo, normalmente un año (**Fig. 12**). Se distinguen tres componentes para el cálculo de la huella hídrica: Agua Azul, expresada como volumen de agua dulce consumida de los recursos hídricos del planeta (aguas superficiales y subterráneas); Agua Verde, con referencia al volumen de agua evaporada de los recursos hídricos del planeta (agua de lluvia almacenada en el suelo como humedad); y Agua Gris para cuantificar el volumen de agua contaminada que se asocia con la producción de los bienes y servicios. Valor que puede ser estimado como el volumen de agua que se requiere

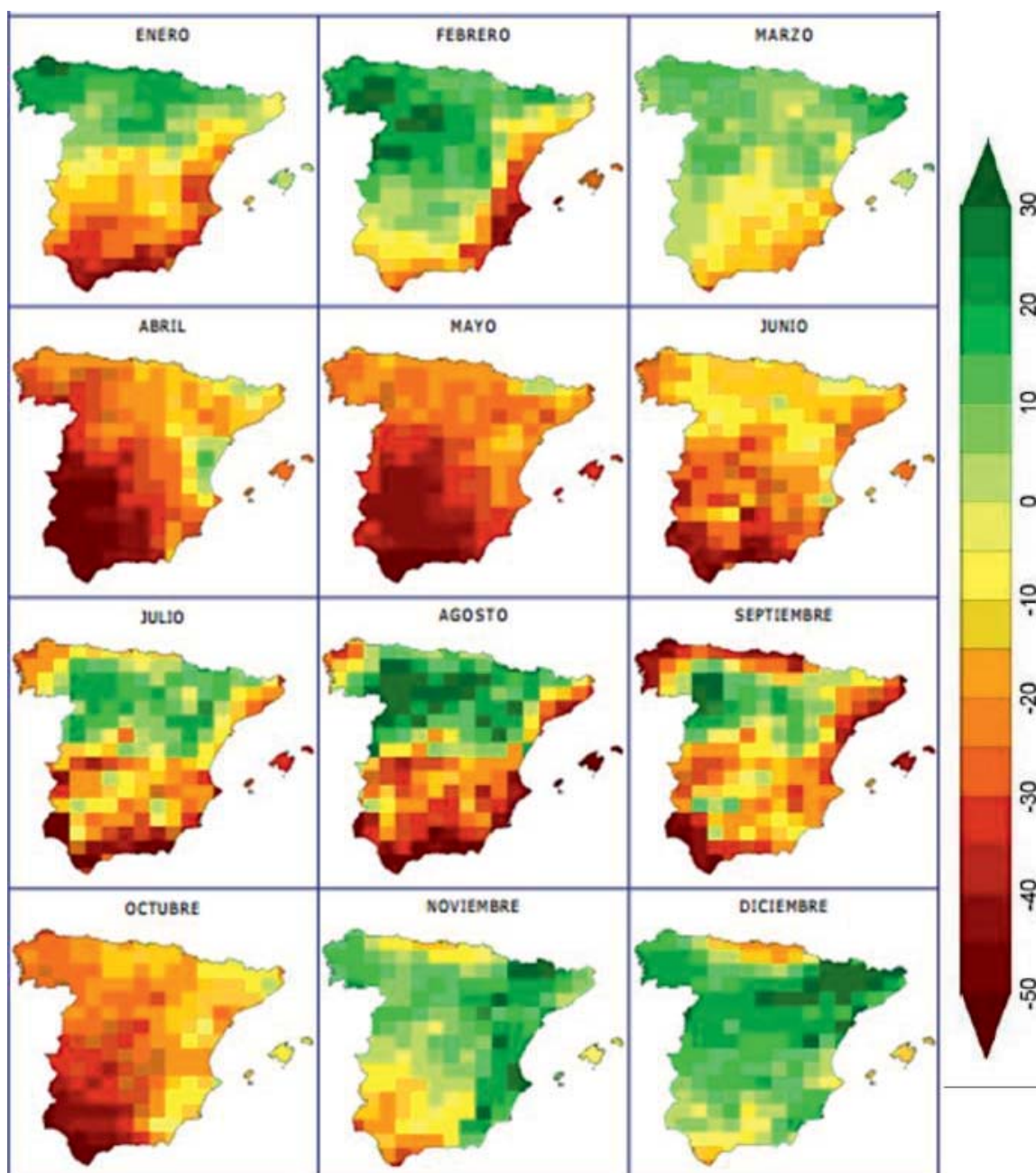
para diluir los contaminantes hasta el punto de que la calidad del agua cumpla con las normas acordadas.

### Agua y cambio global

Actualmente estamos inmersos en un cambio global que está tensando las condiciones de equilibrio del planeta. Muchas de ellas son de vital importancia y afectan directamente al agua. El último informe del IPCC es tajante en alguna de ellas: 1) El calentamiento de los océanos domina sobre el incremento de la energía almacenada en el sistema climático representando más del 90% de la energía acumulada en el último tercio del siglo pasado y hasta la actualidad; 2) Es prácticamente seguro que la capa superior del océano (entre la superficie y los 700 metros de profundidad) se haya calentado durante ese periodo; 3) En los dos últimos decenios, los mantos de hielo de Groenlandia y la Antártida han ido perdiendo masa; 4) Los glaciares han continuado menguando en casi todo el mundo; 5) El hielo del Ártico y el manto de nieve en primavera en el hemisferio norte han seguido reduciéndose en extensión. Desde mediados del siglo XIX, el ritmo de la elevación del nivel del mar ha sido superior a la media de los dos milenios y durante el período 1901-2010, el nivel medio global del mar se elevó 19 centímetros. Es igualmente muy probable que la influencia humana haya sido la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX.

El ejemplo para España (**Fig. 13**) es suficiente para poner de manifiesto esta situación crítica. Según las previsiones del AEMET (2009), aplicando un modelo global para un escenario de emisión en condiciones similares a las actuales, serán muy significativos los cambios en la distribución mensual de precipitaciones en su proyección para el último tercio de este siglo, respecto al periodo de referencia del siglo pasado, fundamentalmente por la disminución de la precipitaciones en el cuadrante suroccidental de la península durante los meses de abril y mayo, por lo que ello supone en relación a la pérdida de producción agrícola potencial.

Con todo esto cabe una última conclusión: El agua de nuestro planeta está pasando por momentos críticos como consecuencia de los impactos humanos, pero la apreciación a una escala de mayor detalle puede ser todavía más apremiante. *“Nuestros ríos y arroyos son en la actualidad ecosistemas en grave peligro de extinción”*. Hagamos algo para evitarlo.



**Figura 13.** Cambio de distribución mensual de precipitación (%) para el periodo (2071-2100) respecto al periodo de referencia (1961-1990,) para el modelo global HadAM3H , regionalizado con el método de análogos (INM) con el escenario de emisión A2. Informe de 2009 del AEMET.

## Bibliografía

- AEMET. 2009. Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Apartado 6.3. *Cambio en la precipitación*: 92-101.
- Ball, P. 1999. H<sub>2</sub>O. Una biografía del agua. Turner Publicaciones S.L.
- Gerstein, M. and Levitt, M. 1999. El agua y las moléculas de la vida. *Investigación y Ciencia* 268: 58-63.
- González Bernáldez, F. 1992. *Los paisajes del agua. Terminología popular de los humedales*. Ed. J.M. Reyero.
- Lovelock, J. 1979. *Gaia: A New Look at Life on Earth*. Oxford University Press.
- Lovelock, J. and Margulis, L. 1974. Atmospheric Homeostasis by and for the Biosphere: The Gaia hypothesis. *Tellus*. 26:2-10.
- Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. 2011. *National water Footprint Accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption*. Value of Waters Research Report Series nº 50. UNESCO-IHE. Delft the Netherlands.
- Morala Rodríguez, J. R. 2006. *Los ríos y los paisajes del Duero en la toponimia*. Actas del Congreso Internacional Homenaje al Douro/Duero y sus ríos. Memoria, cultura y porvenir. Zamora. Publicado en línea: <http://www.unizar.es/fnca/duero/docu/p306.pdf>
- Observatorio de Sostenibilidad de España. 2012. Depuración de aguas residuales. En: *Sostenibilidad en España*. Capítulo 5º calidad Ambiental: 176-177.
- Ojha, L., Beth Wilhelm, M., Murchie, S.L., McEwen, A.S., Wray, J.J., Hanley, J., Massé, M and Chojnacki, M. 2015. Spectral evidence for hydrated salts in recurring slope lineae on Mars. *Nature Geoscience. Letter*. Published online 28 september 2015.
- Rúa Aller, F.J. 2014. *Refranes del tiempo en León*. Eolas Ediciones.
- Viseras Alarcón, C. 2011. *¿Tiene edad la Tierra?* En: *El planeta Tierra*. Biblioteca BenRosch de divulgación científica y tecnológica. 47-55.



Licenciado (1972) y Doctor (1976) en Biología por la Universidad de Salamanca. Especializado en Ecología de Sistemas en el Departamento de “Range Science” y en el Laboratorio del “Natural Resource Ecology Laboratory” de la Universidad del Estado de Colorado (USA). Desde 1983 es Catedrático de Ecología, actualmente en el Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales (Universidad de León). Igualmente ocupa una Cátedra Libre como Titular G5 en el Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales (IECA) de la Universidad de la República de Uruguay en Montevideo. Ha sido Director del Instituto de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Biodiversidad y Vicepresidente de la Asociación española de Ecología Terrestre.

Sus trabajos de investigación más relevantes se orientan al estudio de la evaluación ambiental y de recursos naturales, así como de los procesos funcionales de regeneración tanto en medios acuáticos como terrestres. Ha publicado 300 artículos, ha dirigido 27 tesis doctorales y participado en más de 50 proyectos, financiados en convocatorias públicas, en 35 de ellos como investigador principal. Ha colaborado en numerosos contratos de I+D con empresas y administraciones.

Premio Castilla y León a la Protección del Medio Ambiente de 2004 a título personal y a los Valores Humanos en 2011 a título colectivo.



## Los microbios que comemos

Alfonso V. Carrascosa Santiago

Dpto. Biodiversidad y Biología Evolutiva, Museo Nacional de Ciencias Naturales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). 28006 Madrid.

Comer alimentos que no nos causen enfermedades es el objetivo de la seguridad alimentaria, la cual tiene un importante componente microbiológico. Todos recordamos la crisis del pepino iniciada en Alemania y de la que se acusó a España, cuando el origen del problema fue precisamente un descuido de los alemanes, porque no mantuvieron adecuadamente las barreras encargadas de contener la amenaza microbiana. Un repaso a los microbios malos y buenos que comemos nos ayudará a aclarar las cosas y a no temer más que lo justo a esos maravillosos seres vivos.

### Palabras clave:

seguridad alimentaria, microbios, mohos, enterobacterias, virus

### Introducción

Lo primero es lo primero. El término seguridad alimentaria se ve muy afectado por la latitud. Mientras que para los países en vías de desarrollo la seguridad alimentaria es comer lo suficiente para no morir, para nosotros es comer alimentos que no nos causen enfermedades, es decir, exentos de sustancias tóxicas o microbios patógenos. La población sub-nutrida o malnutrida es, según la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), de unos mil millones de personas, o sea uno de cada seis habitantes del Planeta.

En los alimentos puede haber microbios. Esto en principio no tiene por qué ser malo, pues hay alimentos como el yogur que tienen millones de microbios y forman parte de nuestra dieta habitual. Pero ¿qué hacen los microbios en los alimentos? Pues comer, si les damos oportunidad, ya que muchos de ellos comen lo mismo que nosotros. Para evitar la presencia o la proliferación excesiva de los microbios en los alimentos usamos el frío, el calor (fuego), la sal, etc. Pero aún así, en ocasiones, hay microbios vivos que pueden entrar al interior de nuestro organismo al comer alimentos. El aparato digestivo nos protege de ellos mediante diversas barreras. El epitelio que lo recubre es una barrera física, la más efectiva de todas frente a los microbios que comemos. La saliva contiene la lisozima y la lactoperoxidasa, enzimas que matan microbios y que representan barreras químicas. En el estómago está la principal barrera antimicrobiana del tubo digestivo, el ácido clorhídrico, que da muerte a la mayor parte de los mi-

Forma de mencionar este artículo: Carrascosa, A.V., 2015, Los microbios que comemos. AmbioCiencias, 13, 24-33. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

microbios malos de los alimentos. La siguiente barrera química la constituyen las sales biliares, que forman parte de la bilis, secreción del hígado que se almacena en la vesícula biliar y que tiene capacidad antimicrobiana. Finalmente, en el intestino grueso, donde no hay ácido y sí buena temperatura y mucho alimento, se establecen también relaciones de competitividad entre los microbios que, junto con sustancias de origen alimentario, ejercen de barrera que modula su desarrollo. A pesar de ello, la tercera parte de la masa de las heces son microbios.

### **¿Cuáles son los microbios malos?**

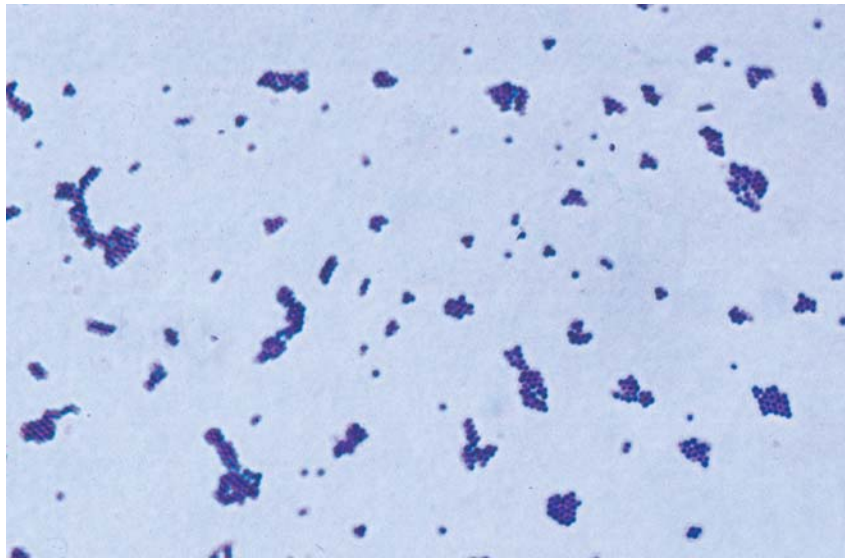
Llamamos microbios malos a aquellos que pueden causar daño a quien se los coma. Según el modo en que pueden causarnos daño, los microbios que comemos se pueden agrupar en dos grandes categorías: los que intoxican y los que toxiinfectan. Los primeros producen sustancias químicas denominadas enterotoxinas en el transcurso de su crecimiento y multiplicación, y reciben el nombre de toxinogénicos (productores de enterotoxina). Algunos de ellos no llegan a alterar el alimento pues solo se desarrollan y producen la toxina en el intestino, cuando el alimento ya ha sido ingerido. Otros, sin embargo, sí se desarrollan y producen la toxina en los alimentos. En estos casos comemos directamente la toxina del microbio malo, que no tiene por qué estar vivo para provocar la intoxicación.

Los microbios toxiinfectivos sin embargo se introducen siempre vivos en nuestro organismo normalmente por vía digestiva, producen en él sustancias tóxicas que dañan el epitelio intestinal y favorecen así su desarrollo dentro del consumidor, lo que produce la enfermedad que se llama toxiinfección.

### **Microbios productores de intoxicaciones**

#### *Staphylococcus aureus*

*Staphylococcus aureus* es característico de los alimentos de origen animal, esto es, de carne y productos cárnicos, así como de leche y productos lácteos. La estafiloenterotoxicosis se debe a una manipulación no higiénica de un alimento, sumada a un periodo posterior de conservación en condiciones no adecuadas, durante el transcurso del cual se produce la toxina que persiste y acaba produciendo el daño en el consumidor. Quien come la toxina puede presentar en ocho horas un cuadro de vómitos y diarrea que remite en unos días.



**Figura 1.** *Staphylococcus aureus* en típica formación de racimos (Imagen a microscopía óptica tras tinción Gram +). Autor: Dr. A.V. Carrascosa.

### *Bacillus cereus*

Es abundante en alimentos de origen vegetal. Puede estar presente también en ciertos productos cárnicos como los embutidos, a través de las especias que se les añaden, o contaminando directamente el sustrato. Los grupos de alimentos más peligrosos son las comidas cocidas o listas para su uso, ya que *Bacillus cereus* puede haber sufrido un tratamiento térmico y/o culinario somero durante el cual haya esporulado y, posteriormente, se haya desarrollado lo suficiente como para producir la toxina diarreica termolábil. Otra posibilidad es que la toxina emética (vomitiva), que es termorresistente, haya sido producida antes del tratamiento culinario.

### *Clostridium perfringens*

Su reservorio es el suelo y puede formar la toxina en el alimento, al esporular en él; pero normalmente desencadena la intoxicación una vez que alcanza el intestino delgado en número elevado, cuando forma la spora por la acidez reinante. Al finalizar su formación es cuando se libera la enterotoxina. Se asocia a alimentos preparados que, tras ser cocinados, se dejan a temperaturas inadecuadas, sin enfriarlos rápidamente, y en cuyo interior los clostridios pueden desarrollarse y aumentar su concentración. Si se ingieren bacterias suficientes ( $>10^8$ ), éstas esporulan al llegar al estómago y luego la toxina ya sintetizada se libera al exterior y desencadena la enfermedad gastrointestinal.

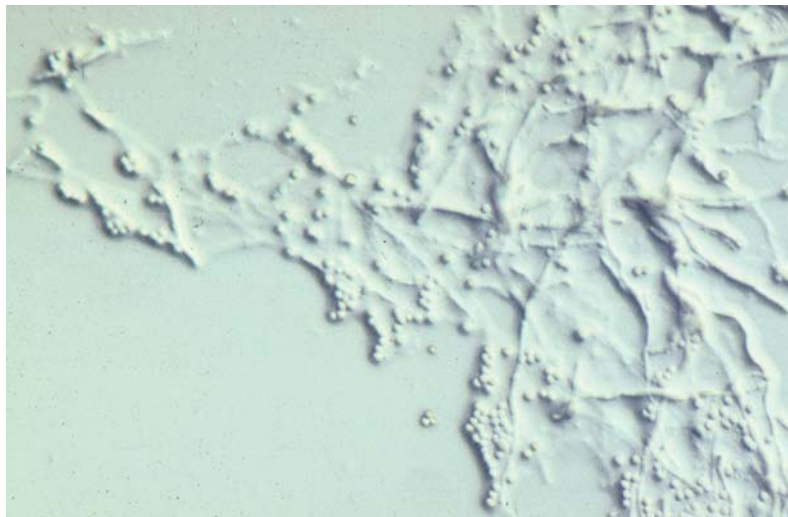
### *Clostridium botulinum*

Produce el botulismo por la ingesta de la toxina botulínica preformada por *Clostridium botulinum* en el alimento. La toxina botulínica pasa por ser la sustancia más venenosa conocida. Un miligramo es suficiente para matar a un millón de cobayas. Ejerce una toxicidad neurológica que acaba con parálisis respiratoria y muerte. No obstante la gravedad de la enfermedad, la fatalidad del botulismo viene siendo disminuida por la existencia de antitoxinas muy efectivas que evitan la muerte del paciente, en la ya de por sí muy baja incidencia de casos existentes.

### Mohos micotoxinogénicos

Las micotoxinas son producidas por ciertos mohos y dañan sobre todo al hígado y al riñón, aunque también producen inmunodeficiencias extremas y neurotoxicidad o cáncer. Muchas de ellas, ingeridas en pequeñas pero crónicas dosis, causan cáncer principalmente de hígado. Los mohos toxinogénicos que habitualmente tienen relación con los alimentos pertenecen a los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*.

El desarrollo del moho se realiza sobre p. e.- maíz, frutos secos, semillas oleaginosas como la colza, cereales, legumbres, café, arroz... antes, durante o después de su cosecha, y allí queda la micotoxina que será ingerida y acumulada en el organismo humano.



**Foto 2.** Moho *Penicillium*. Hay especies productoras de toxinas y otras usadas para producir alimentos fermentados. Autor: Dr. A.V. Carrascosa.

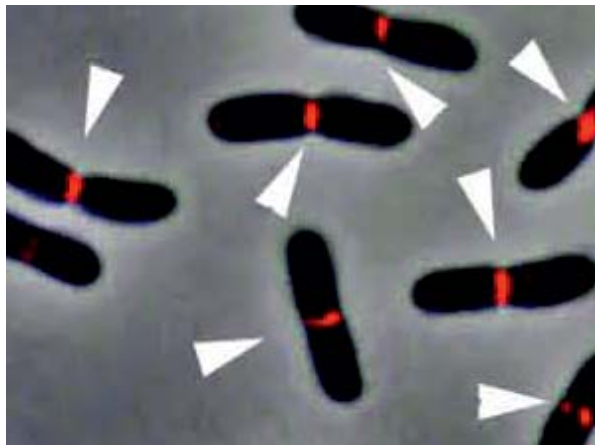
## Microbios productores de toxiinfecciones

Los microbios malos que comemos, causantes de toxiinfecciones, han de ingerirse vivos para desarrollar su patología. Después, en nuestro interior pueden sintetizar sustancias tóxicas que atacan a las células intestinales o enterocitos causando daño al consumidor.

### Las enterobacterias

Con el nombre de enterobacterias se conoce el grupo de microbios causante de toxiinfecciones alimentarias más famoso de los que trata este artículo. Agrupa a las bacterias pertenecientes a la familia Enterobacteriaceae o de enterobacteriáceas, que incluye a los géneros *Escherichia*, *Salmonella* y *Shigella*, algunas de cuyas especies son las causantes de la mayor parte de las enfermedades gastrointestinales.

*Escherichia coli*. Tal vez sea la especie microbiana mejor conocida por el ser humano y es el más numeroso endocomensal de nuestros intestinos: vive dentro de nosotros en número muy elevado. Ocurre que algunas cepas, es decir, algunos individuos de esta especie, desencadenan distintos tipos de patología gastrointestinal, desde suave hasta aguda y muy severa, conociéndose las variantes enteropatógena, enterotoxigénica, enteroinvasiva y enterohemorrágica. Su tiempo de incubación va desde 8 horas a 9 días y persiste en el organismo desde horas hasta varias semanas. Causan desde diarrea leve a profusa, acompañada de vómitos y fiebre, dolor de cabeza, calambres (retortijones) o dolor agudo intestinal, con heces con o sin mucosidad intestinal (es el tejido epitelial dañado) y sanguinolentas. Pueden provocar incluso hemorragia severa acompañada de fiebre con trastornos neurológicos del sistema central. Esta última sintomatología es producida concretamente por la cepa *E. coli* O157:H7, que sintetiza una verotoxina con efectos fulminantes en el colon, y que si el individuo es de edad avanzada o inmunodeficiente puede tener un desenlace fatal. Causó la famosa crisis



del pepino alemán en la que murieron el 10% de los afectados.

**Figura 3.** *Escherichia coli*, la especie más numerosa de nuestro intestino. Autor: Dr. M. Vicente.

*Salmonella*. Son varias especies. *S. typhimurium* causa la fiebre tifoidea, también llamada salmonelosis. La ingesta de 10<sup>5</sup> gérmenes/gramo de alimento desencadena tras 5 horas- 5 días la típica gastroenteritis que produce diarrea, náuseas, dolor abdominal, fiebre, vómitos, anorexia... y dura de dos a cinco días.

La clásica mayonesa casera hecha con huevo contaminado en su cáscara o interior con *S. enteritidis*, *S. pullorum* o *S. gallinarum*- especie que vive en la cloaca de las gallinas ponedoras, que son en muchos casos portadoras asintomáticas de tal microbio - y que acompaña a una ensaladilla veraniega, puede ser causa de gastroenteritis aguda si la mayonesa no se acidifica convenientemente con limón o vinagre.

*Shigella*. Puede causar desde la denominada disentería bacilar hasta enteritis aguda. Son bacterias pertenecientes a las especies *Shigella dysenteriae*, *S. flexneri*, *S. boydii* y *S. sonnei*. La disentería típica que producen consiste en diarrea más calambres abdominales tras 1-4 días de incubación. Su dosis infectiva es baja (10-100 células). Portadores enfermos pueden contaminar los alimentos durante su procesado, de ahí que se prohíba su trabajo hasta la total remisión de la enfermedad.

*Yersinia*. *Yersinia enterocolitica* es una enterobacteria que se encuentra en los intestinos de mamíferos y contamina la carne y la leche de los mismos. Produce la yersiniosis. Desarrolla la típica gastroenteritis enterobacteriana que se puede ver acompañada o no por infección de ganglios linfáticos. Uno de cada cien casos puede entrar en la tercera fase produciendo un desarrollo de inflamación crónica que se ve acompañado de fiebres reumatoides.

*Campylobacter*. *Campylobacter jejuni* o *Campylobacter coli* producen la campilobacteriosis que, a día de hoy, es la enfermedad gastrointestinal más frecuente en el mundo desarrollado. Generan dolor abdominal, fiebre y diarrea, profusa, acuosa y en ocasiones sanguinolenta, a veces acompañada de vómito. Tampoco se han descrito bacteremias (infección de la sangre tras diarrea prolongada) producidas por ellos.

*Campylobacter* sobrevive con dificultad a los tratamientos utilizados en tecnología de los alimentos. El calor, la salazón, la desecación, la acidificación... suelen eliminarlo con facilidad de la cadena alimentaria humana, por lo que su puerta de acceso son los alimentos muy poco procesados.

*Vibrio*. Entre otras enfermedades, produce nada menos que el cólera, concretamente la especie *Vibrio cholerae*, que suele transmitirse en zonas subdesarrolladas y de catástrofes naturales donde se destruye el saneamiento y la posibilidad de beber agua potable descontaminada. Pero también se transmite a

través de aquellos alimentos donde la bacteria acaba estando, principalmente pescados contaminados que se ingieren crudos o casi y en los que el tratamiento culinario no ha eliminado al microbio.

*Listeria*. La especie de interés es la *Listeria monocytogenes* que produce la listeriosis, enfermedad que se caracteriza entre otras cosas porque la bacteria infecta un tipo de glóbulos blancos de la sangre humana denominados monocitos. En adultos es particularmente tediosa cuando hay problemas de inmunodepresión por edad avanzada o SIDA, pudiendo llegar a un 20% de mortandad.

*Brucella*. *Brucella melitensis*, *B. abortus* y *B. suis* causan en humanos la brucelosis o fiebres de malta, felizmente poco frecuentes en la Unión Europea gracias al férreo sistema de control sanitario del ganado. Las fuertes fiebres, que suelen ser recurrentes y producir serias recidivas tales como artritis generalizada, lesiones cardíacas, etc., llegan al hombre incluso por contacto con animales de granja infectados que pueden padecer mastitis, pero sobre todo a través de productos elaborados con leche de estos animales, insuficientemente calentada, o cremas, natas, etc., derivados de las mismas.

*Aeromonas hydrophila*. Su reservorio natural es el agua, desde donde por contacto accidental puede alcanzar alimentos de origen animal (carnes, huevos, leche) o menos frecuentemente verduras..., teniendo la capacidad de reproducirse en ellos rápidamente, incluso en condiciones de refrigeración. A partir de su presencia en alimentos, accede al interior del intestino mediante la ingesta del alimento contaminado y, si su concentración es suficiente para superar la barrera estomacal, se desarrolla y provoca desde una diarrea suave a una severa, dependiendo de las condiciones del paciente: si está inmunodeprimido las consecuencias son más graves. Para desarrollar su patogenicidad sintetiza enterotoxinas que vierte fuera de sus células y dañan a los enterocitos.

### Virus

Los virus son caso aparte. Su nombre proviene del latín y significa toxina o veneno. No entrarían en el grupo de los microbios (visible sólo al microscopio electrónico) más que por su pequeño tamaño (invisibles al ojo humano desnudo, incluso al microscopio óptico), aunque no son seres vivos, no. Los virus son virus: una molécula de material genético (ácido desoxirribonucleico, ADN, o ácido ribonucleico, ARN) protegida por una estructura denominada cápside (cápsula, como las espaciales) de naturaleza proteica... ¡y poco más! Total: no tienen capacidad de crecer y multiplicarse –características comunes de todo ser vivo- a no ser que infecten células p. e.- humanas, y pongan toda la potencialidad biológica de las mismas a su servicio.



Los *Hepatovirus* se llaman así por afectar al hígado. El más famoso en alimentos es el virus de la hepatitis A o digestiva, que atacando a las células del hígado o hepatocitos acaba lisándolas, esto es, rompiéndolas, motivo por el cual liberan al organismo los pigmentos que encierran, presentando quien la padece un típico color amarillento en la piel que se denomina ictericia.

El vehículo de transmisión de los virus suele ser el agua. Los alimentos mayormente involucrados son bivalvos, que filtran enormes cantidades de agua, concentrando así en su interior los viriones necesarios para desencadenar el proceso. También pueden jugar un importante papel los manipuladores de alimentos que estén incubando pero no padeciendo la enfermedad, si no tienen costumbre de seguir las estrictas pautas higiénicas a las que les obliga la ley. Otra fuente de virus pueden ser los vegetales, carne... que hayan estado en contacto con agua fecal contaminada.

El *Enterovirus* más famoso que puede ingerirse a través de los alimentos, típicamente a través del agua, es el de la polio, llamado poliovirus. Gracias a la vacuna del mismo nombre ya no nos causa daño. Los viriones infectan a neuronas y, debido al daño que producen en ellas y a la expansión del virus por el sistema nervioso, afectan a las conexiones nerviosas de modo irreversible en la mayor parte de los casos, dada la escasa capacidad de las neuronas para reproducirse. Su transmisión oral-fecal es similar en términos generales a la de los *Hepatovirus*. En el caso del poliovirus, se registraron brotes asociados a la ingesta de leche contaminada.

Los virus Norwalk son virus que producen gastroenteritis pero que no remiten con antibióticos. Solemos comentar cuando alguien lo padece "...será un virus...", y precisamente lo es. Sus modos de transmisión son similares a *Hepatovirus* y *Enterovirus*, aunque su acción lesiva se circunscribe al intestino.

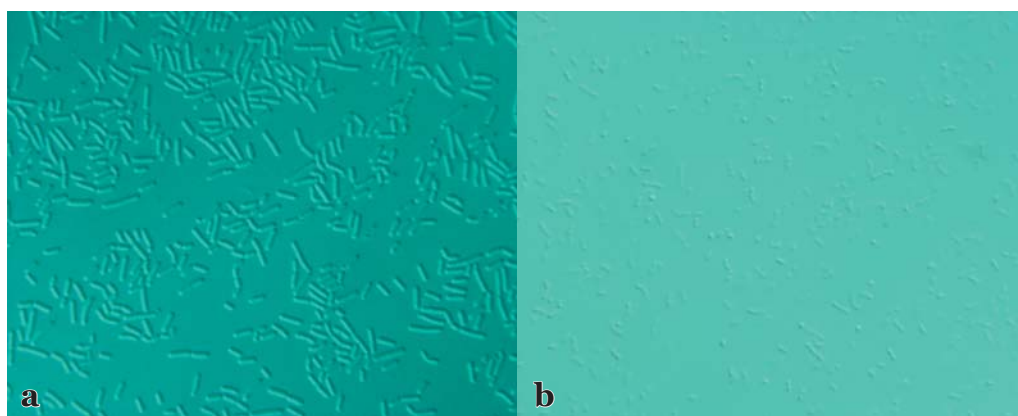
### **¿Cómo se evita que haya microbios malos en los alimentos?**

Mediante sistemas de seguridad alimentaria como el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC), reglamentado por la Unión Europea (Directiva 93/43/ECC sobre higiene de los alimentos) y que posteriormente pasó a incluirse en la legislación de los países miembros, entre ellos España (Real Decreto 2207/1995 de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas de higiene relativas a los productos alimenticios). El sistema APPCC vigila los obstáculos u operaciones tecnológicas que destruyen los microbios malos de los alimentos (aplicación de calor, refrigeración, congelación, salazón, desecación, acidificación, fermentación...).

### ¿Hay microbios buenos en los alimentos?

Sí claro, y muchísimos más que malos. Los alimentos que más microbios encierran son los alimentos fermentados. De origen vegetal, el pan tiene millones de levaduras, la mayor parte muertas por la cocción que sufre al fabricarlo. El vino y la cerveza han sido elaborados también con levaduras, pero no están en ellos: se han eliminado para que no enturbien.

Donde más microbios vivos hay es en los alimentos fermentados de origen animal. Los productos lácteos como el yogur, el kéfir, el queso....tienen miles de millones de bacterias lácticas que nos comemos vivas y no nos hacen ningún daño, es más, algunas de ellas pueden venirnos bien: son los probióticos, que se quedan a vivir en nuestro intestino eliminando antinutrientes y sintetizando vitaminas que mejoran nuestra salud.



**Figura 4.** Dos microbios buenos: a) *Lactobacillus casei*, probiótico y b) *Oenococcus oeni*, bacteria láctica que produce la fermentación maloláctica en vinos. Autor: Dr. A.V. Carrascosa.

### Bibliografía

- Carrascosa, A.V., Muñoz, R. y González, R. 2005. Microbiología del vino. AMV Ediciones, Madrid.
- ICMSF. 1996. Microorganisms in Foods 5: Characteristics of Microbial Pathogens. Ed. Blackie Academic & Professional, Londres.
- Juárez, M., Olano, A. y Morais, F. 2005. Alimentos funcionales. Ed. FECYT-MEC, Madrid.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M. y Parker, J. 2006. Brock. Biología de los microorganismos. Ed. Pearson, Prentice Hall, Madrid.
- Mayo, B. y Van Sinderen, D. 2010. Bifidobacteria. Ed. Academic Press, Norfolk.
- Mortimore, S. y Wallace, C. 2001. HACCP: Enfoque práctico. Ed. Acribia, Zaragoza.
- Querol, A. y Fleet, G. 2006. Yeasts in foods and beverages. Ed. Springer, Berlin.
- Ramón, D. 1999. Los genes que comemos. Ed. Algar, Alzira.



Alfonso V. Carrascosa Santiago (Madrid, 1961) es doctor en Ciencias Biológicas por la Universidad Complutense de Madrid e investigador científico del CSIC, con destino en el Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN). Ha colaborado con importantes instituciones relacionadas con la seguridad alimentaria tales como ENAC o AENOR, así como de gestión de la investigación industrial como CDTI, habiendo sido profesor de la Universidad Autónoma de Madrid. Coautor de varias patentes transferidas a empresas, de más de 100 artículos científicos en revistas SCI, y de varios libros, recibió, junto a sus compañeros, el Premio Candia 1991, la Medalla de Oro al Mérito de la Investigación Enológica 2007, el Premio de la Real

Academia Gallega de Ciencias 2009 y el Premio Internacional en Enología OIV en 2011. En su actual destino, el MNCN, forma parte del grupo "Historia y documentación de las Ciencias Naturales en España". Además coordina el Grupo de "Historia de la Microbiología Española" de la Sociedad Española de Microbiología (SEM), es director de la revista *Arbor* y miembro de la Comisión Mujeres y Ciencia del CSIC.

## PONIENDO EN CLARO

### Drogas marinas: los animales marinos como fuentes de compuestos antitumorales

Antonio José Laborda Navia<sup>1</sup>, Manuel Martín San Sebastián<sup>2</sup>

1. Área de Zoología. Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales. Universidad de León. 24071 León.

2. Instituto Español de Oceanografía (Santander), Planta de investigación en acuicultura. Barrio Corbanera s/n. 39012, Monte, Cantabria.

La evolución ha dotado a muchos organismos marinos con un arsenal de productos químicos que emplean para fines defensivos o sociales. Gracias a esto, las formas de vida marinas constituyen una fuente importante de compuestos bioactivos, implicados hoy en el descubrimiento de nuevas drogas para tratar diversas enfermedades. Miles de esos compuestos han sido ya descubiertos y están siendo evaluados en diversos ensayos biológicos, muchos de ellos en el campo de la oncología. En él, los avances en la determinación de la estructura molecular, síntesis, etc., han permitido que algunos de ellos como citarabina, halaven y yondelis, entre otros, hayan pasado ya a formar parte del mercado farmacéutico. Sin embargo, aún existen limitaciones para explotar todo el potencial de estos compuestos y, en la actualidad, la investigación está dirigida al descubrimiento de nuevas rutas del metabolismo secundario y de novedosas formas de producción sostenible. Además, resulta prioritario el conocimiento de la biodiversidad marina y su conservación, para proteger moléculas de posible interés en el futuro.

**Palabras clave:** Biotecnología marina, cáncer, descubrimiento de fármacos, productos naturales marinos.

#### Introducción

La célula eucariota posee estrictos mecanismos de control que la inducen a replicarse bajo condiciones muy específicas. Por diferentes causas, estos controles pueden perderse y como resultado la célula se reproduce descontroladamente originando un tumor que puede ser el origen de un cáncer (Cooper y Hausman, 2000). El cáncer es una patología de tipo clonal que comprende a un conjunto de enfermedades de origen genético, debidas a un cúmulo de alteraciones o mutaciones de genes encargados de controlar el crecimiento, la proliferación, la división o la muerte fisiológica celular.

Básicamente, existen tres tipos de genes que se alteran: los *oncogenes*, cuya mutación provoca un aumento desmesurado del crecimiento celular, los *genes supresores de tumores*, que son la causa de la división celular incontrolada

Forma de mencionar este artículo: Laborda, A.J., San Sebastián, M.M. 2015, Drogas marinas: la fauna marina como fuente de compuestos antitumorales. *AmbioCiencias*, 13, 34-51. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

en caso de mutación, y los *genes de reparación del DNA*, cuya mutación determina la acumulación de células con aberraciones en el DNA. Dada su complejidad, en los procesos neoplásicos es muy frecuente que las alteraciones se produzcan en uno o más de estos genes y, dado que la proliferación anormal puede afectar a cualquier célula, hay más de cien tipos distintos de tumores que difieren en su comportamiento y respuesta al tratamiento. Es importante distinguir entre tumores benignos y malignos: los primeros permanecen confinados en su localización original, sin invadir el tejido sano adyacente ni propagarse a lugares distantes del cuerpo; sin embargo, un tumor maligno es capaz de invadir el tejido normal adyacente y de propagarse por el cuerpo (metástasis), mediante los sistemas circulatorio o linfático. Solo a los tumores malignos se les denomina propiamente como cánceres.

Tanto los tumores benignos como los malignos se clasifican de acuerdo al tipo de célula del que proceden, incluyéndose la mayoría en tres categorías principales: carcinomas, sarcomas y leucemias o linfomas. Los carcinomas, que constituyen aproximadamente el 90% de los cánceres humanos, son alteraciones de las células epiteliales. Los sarcomas, raros en humanos, son tumores sólidos de tejidos como el músculo, hueso, cartílago y tejido fibroso. Las leucemias y los linfomas, que contabilizan aproximadamente el 8% de los casos en humanos, surgen a partir de las células hematopoyéticas y de las células del sistema inmune, respectivamente. A su vez, dentro de dichas categorías, se clasifican atendiendo al tejido de origen y al tipo de célula involucrada; por ejemplo, los fibrosarcomas surgen a partir de los fibroblastos y las leucemias eritroides a partir de los precursores de los eritrocitos.

Mientras que los benignos suelen eliminarse mediante cirugía, la difusión de los tumores malignos suele hacerlos resistentes a este tratamiento local y, por tanto, las armas para luchar contra la enfermedad neoplásica son, principalmente, la cirugía, la radioterapia y la quimioterapia. Estos tratamientos no son mutuamente excluyentes y, a menudo, en función del caso y del paciente, se pueden utilizar simultánea o secuencialmente.

La quimioterapia es un procedimiento de carácter sistémico (Perry, 2008) basado en la administración de fármacos citotóxicos; es el tratamiento más común para pacientes con cáncer (Lai *et al.*, 2012) y el más indicado en procesos metastásicos (AECC web). Sin embargo, su acción puede provocar fuertes efectos secundarios, ya que los fármacos antitumorales no tienen la capacidad de distinguir las células sanas de las enfermas y, además, algunos de ellos son cada vez menos efectivos, debido a la resistencia genética que se produce en determinados individuos. Se ha observado que, aunque las terapias pueden ser altamente específicas, la resistencia es intrínseca al cáncer y a medida que las tera-

pías son más efectivas, la resistencia adquirida también lo es (Gottesman, 2002). Este hecho conlleva la necesidad de buscar nuevas fuentes de moléculas bioactivas, entre las que se encuentran las de origen marino.

Hasta los años 50, la búsqueda de compuestos bioactivos se dirigió hacia los ecosistemas terrestres, ya que el ecosistema marino era de difícil acceso fuera de la zona intermareal. Con el avance de las técnicas (buceo, principalmente), en los años 70, las algas y los invertebrados marinos ocuparon ya los stands de los laboratorios de química y farmacología (Lesser *et al.*, 2009). Por tanto, la farmacología basada en productos naturales de origen marino lleva bastantes años desarrollándose y, a finales de la primera década del siglo XXI, se ha estimado que se habían investigado 21.800 productos (Blunt *et al.*, 2011). Aun con todo, se puede afirmar que representan solo una pequeña fracción de los compuestos naturales que albergan los animales marinos y, por ello, dichos organismos constituyen un arsenal de novedosas sustancias, de sofisticadas y potentes herramientas bioquímicas y fisiológicas, que utilizan para su defensa química y para desarrollarse y sobrevivir en un medio muy exigente y competitivo, en particular para los organismos sésiles (Jha y Zi-Rong, 2004).

De algunos de estos compuestos, de su historia, de sus mecanismos de acción y de sus usos, en relación con el cáncer, se hablará en las siguientes líneas, tras haber llevado a cabo una amplia revisión bibliográfica.

### Aislamiento y caracterización molecular

Alrededor del 60% de las moléculas aprobadas para su uso terapéutico, en los últimos veinte años, son productos naturales o derivados de los mismos. Para conseguir poner un compuesto marino natural en el mercado, es necesario llevar a cabo un procedimiento de aislamiento y caracterización de la sustancia bioactiva, siguiendo las siguientes etapas:

<b>Selección de la fuente</b>	Se siguen criterios químicos, taxonómicos, ecológicos o etnofarmacológicos.
<b>Recolección y cultivo</b>	Las muestras se congelan con nieve carbónica. Síntesis química o acuicultura, siempre que sea posible.
<b>Extracción y/o fraccionamiento</b>	Separación de los metabolitos secundarios y agrupamiento por propiedades físico-químicas semejantes.
<b>Separación y aislamiento</b>	Por métodos cromatográficos se obtienen productos naturales puros.
<b>Determinación estructural</b>	Estudio espectroscópico y bibliográfico.
<b>Búsqueda de aplicaciones</b>	Por análisis farmacológicos y otros se buscan aplicaciones y se evalúan la actividad y la toxicidad.
<b>Producción industrial</b>	Obtenidos resultados positivos y los permisos necesarios.

### **Producción sostenible de recursos marinos**

La producción industrial del compuesto siempre ha supuesto un problema en la historia de los productos naturales, llegando a ralentizar o impedir su entrada en el mercado. Su enorme potencial económico y la escasa cantidad en que aparecen en los organismos, exigen desarrollar métodos de producción que aseguren el suministro durante el proceso de investigación del producto y su comercialización, sin alterar las poblaciones ni los ecosistemas. Las técnicas de producción masiva más utilizadas (acuicultura, producción *in vitro* y producción transgénica) tienen sus ventajas y sus limitaciones, por lo que no pueden ser aplicadas con carácter general (Pomponi, 1999). La elección de la adecuada para cada caso se basa en una serie de factores: complejidad de la molécula, abundancia del organismo en la naturaleza, fuente del compuesto (macro o microorganismo asociado), condiciones de crecimiento, etc.

### **Variación intraespecífica de la actividad**

En un principio, se pensó que los diferentes metabolitos aislados presentaban características únicas y distintivas de cada especie; sin embargo, muchos estudios sugieren que hay una gran variabilidad incluso dentro de un mismo organismo. En efecto, la biosíntesis se puede ver influenciada por factores externos, como las condiciones ambientales o la presencia de depredadores (Le Lann *et al.*, 2010); o también por factores internos, tales como el estado de desarrollo o la masa corporal (Ronning *et al.*, 2009). En cualquier caso, las causas de la variación intraespecífica son aún poco conocidas, pero, hasta el momento, parece ser que la más determinante es la heterogeneidad ambiental (Armstrong *et al.*, 2011). De ello, se puede deducir que el contenido químico de las especies marinas varía frecuentemente dependiendo de dónde, cuándo, e incluso cómo ha sido recolectado el organismo. Esto revela la posibilidad de encontrar metabolitos nuevos en especies previamente estudiadas y, además, sacar una conclusión muy optimista: que la gran cantidad de organismos diferentes, multiplicada por la variabilidad geográfica y ambiental, proporciona una diversidad química muy elevada.

### **Microorganismos asociados**

El avance de las técnicas de investigación ha demostrado que el origen de algunos de los compuestos marinos, aislados primero en macroorganismos, proceden realmente de microorganismos que mantienen algún tipo de relación con el animal, como simbiosis o parasitismo (Piel, 2009). Pero, a veces, resulta difícil

demostrar si la síntesis se debe al hospedador o al microorganismo simbiote, por lo que se suele considerar que si el producto aislado es estructuralmente similar a algún metabolito de origen microbiano, o bien se encuentra en especies filogenéticamente más o menos distantes, el producto deriva del microorganismo. Esto es importante desde el punto de vista de la sostenibilidad mencionada con anterioridad, pues el uso de microorganismos es, a priori, más sencillo y menos lesivo con el medio a la hora de producir material suficiente para el desarrollo de los fármacos y su comercialización (Jensen *et al.*, 2005).

### **Mecanismos de acción de los antitumorales marinos**

La gran diversidad química encontrada en la fauna marina, se traduce en una amplia heterogeneidad de acción de los bioactivos descubiertos, siendo los principales mecanismos antineoplásicos los siguientes:

- Inhibición del proceso de angiogénesis.
- Inducción del proceso de muerte celular programada o apoptosis.
- Inhibición de proteínas específicamente destinadas a regular el ciclo celular.
- Inactivación de topoisomerasas.
- Inhibición de la formación de microtúbulos.

En la actualidad, las líneas de investigación no se dirigen únicamente al descubrimiento de nuevos productos antitumorales, sino también a la búsqueda de aquellos que presentan novedosos mecanismos de actuación.

### **El desarrollo de un fármaco**

Una vez superadas las etapas de aislamiento, caracterización del compuesto y validada claramente la diana frente a la que actúa, se posee un compuesto líder, que es el punto de partida para desarrollar moléculas relacionadas que serán candidatas para las fases preclínicas y clínicas. El desarrollo de un fármaco dura una media de 12-15 años y se estima que de cada diez mil moléculas analizadas, solo unas doscientas cincuenta pasan a los ensayos preclínicos sobre modelos experimentales de laboratorio. Una vez completado el desarrollo preclínico, previa autorización de las autoridades sanitarias, comienzan los ensayos en humanos. El periodo de desarrollo clínico se divide en cuatro fases que, en ocasiones, pueden superponerse:



<b>Fase I</b>	Se pretende demostrar la seguridad del compuesto y orientar sobre la pauta de administración.
<b>Fase II</b>	Estudios terapéuticos exploratorios, que proporcionan información preliminar sobre la eficacia del producto y establecen la relación dosis-respuesta.
<b>Fase III</b>	Estudios terapéuticos de confirmación, para evaluar la eficacia y seguridad del tratamiento.
<b>Fase IV</b>	Fase de fármaco-vigilancia durante la utilización rutinaria del producto, una vez que ha sido comercializado.

El resultado del proceso es un medicamento que ha demostrado su seguridad, eficacia y calidad a través de los ensayos clínicos, correctamente identificado y con la información apropiada, cuya comercialización ha sido autorizada por las autoridades sanitarias.

### **Algunos antitumorales extraídos de fauna marina**

Sin duda, hasta el momento, las esponjas, tunicados y moluscos se revelan como las fuentes más ricas de productos naturales en el medio marino (Mayer *et al.*, 2010). En su mayoría, se trata de organismos estructuralmente sencillos, poseedores de sistemas inmunitarios rudimentarios, sésiles o con poca movilidad, que habitan nichos ecológicos complejos y que producen numerosas sustancias químicas para interactuar con su entorno; entre ellas se incluyen compuestos citotóxicos para defenderse de sus depredadores o de infecciones, por lo que constituyen una fuente muy importante de nuevos antitumorales.

A continuación se presentan algunos de los compuestos bioactivos que, por su actividad o mecanismo de acción antitumoral, han alcanzado mayores cotas de investigación en oncología.

#### Halicondrina B y Eribulina

La halicondrina B (**Fig. 1, A**) es un macrólido de poliéter que se aisló inicialmente de la esponja *Halichondria okadai* por Uemura *et al.* (1985), pero, posteriormente, se encontró en otras esponjas, lo que sugiere que el bioactivo puede derivar de un microorganismo asociado.

Se trata de un potente inhibidor de la despolimerización de la tubulina (Jordan y Wilson, 2004), lo que causa la detención del ciclo celular entre las fases G2 y M (Dabydeen *et al.*, 2004). A pesar de su complejidad, se completó la síntesis total en 1990 y se descubrió que su acción mejoraba modificando la macrolactona en una cetona macrocíclica, dando lugar a la eribulina (Yeung,

2011). Esta, inhibe la fase de acortamiento, secuestra la tubulina en agregados no productivos y ejerce sus efectos a través de un mecanismo antimitótico que da lugar al bloqueo del ciclo celular G<sub>2</sub>/M, la disrupción de los husos mitóticos y la apoptosis celular después del bloqueo mitótico prolongado. La indicación aprobada para Halaven (nombre comercial del producto), es en monoterapia para el cáncer de mama localmente avanzado o metastásico (Menis y Twelves, 2011).

### Citarabina

La citarabina (**Fig. 1, B**), también denominada arabinósido de citosina y Ara-C, es un nucleósido pirimídico sintético desarrollado a partir de la espongotimidina, un nucleósido aislado originalmente de la esponja *Tethya cripta* (Newman *et al.*, 2009). Se trata de un agente citotóxico que afecta a las células que se encuentran en fase S del ciclo celular, tras convertirse, en el interior de la célula, en citarabina trifosfato, que es el metabolito activo. Este compite con el CTP y el resultado es la inhibición de la DNA polimerasa y, por extensión, de la síntesis de DNA (Mayer *et al.*, 2010).

La citarabina está actualmente disponible como citarabina convencional (Cytosar-U1) y como formulación liposomal (Depocyt-1). Las indicaciones marcadas por la Food and Drug Administration (FDA) para la citarabina convencional son el tratamiento de la leucemia linfocítica aguda, leucemia mieloide aguda y las fases de crisis blástica de la leucemia mieloide crónica y la leucemia meníngea (Thomas, 2009). La formulación liposomal está indicada para el tratamiento de la meningitis linfomatosa (Micromedex web).

### Aplidín (Plitidepsin)

Aplidín (**Fig. 1, C**) es un depsipéptido macrocíclico de la familia de las didemninas aislado del tunicado *Aplidium albicans* (Rinehart, 1994), que tiene licencia de PharmaMar. En su acción, induce la vía apoptótica mitocondrial mediante la activación rápida y permanente del receptor de EGF (EGFR), la tirosina kinasa Src y las serina-treonina kinasas JNK y p38, ambas pertenecientes a la familia de MAP kinasas, que se activan en respuesta a distintos tipos de estrés celular. Además, activa la proteína kinasa C (PKC)-delta, que parece jugar un papel efector importante mediando la muerte celular inducida por la droga (Cuadrado *et al.* 2003). Como parte de su acción antitumoral, inhibe la actividad de la ornitina descarboxilasa (ODC), enzima responsable de la biosíntesis de poliaminas e implicada en la transformación celular (Iwata *et al.*, 1999), e interfiere en el bucle autocrino VEGF-VEGFR-1, involucrado en el proceso de vascu-

larización y crecimiento de ciertos tumores sólidos (Broggini *et al.*, 2002).

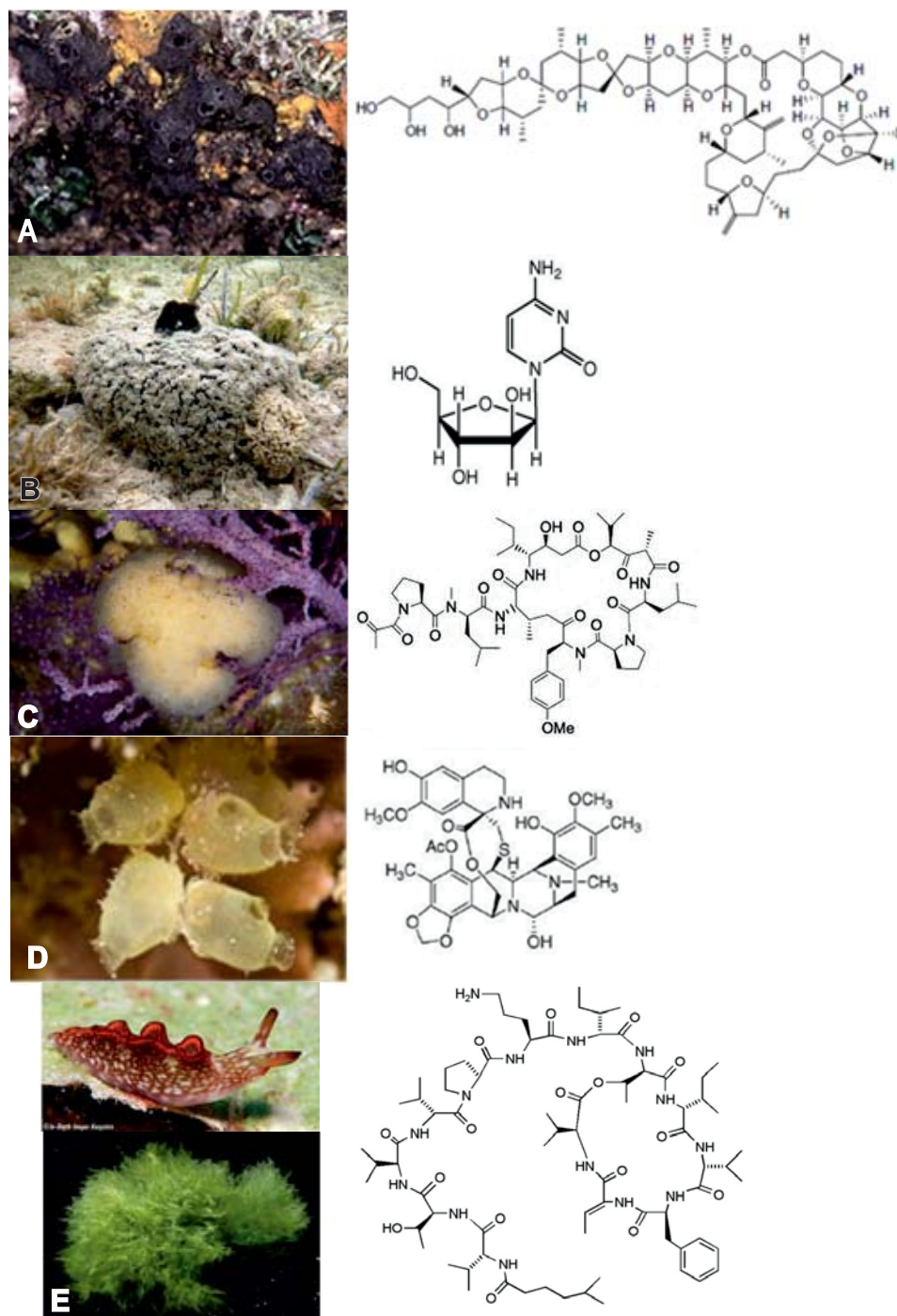
Aplidín demostró una potente actividad *in vivo* frente a xenoinjertos de tumores de próstata, gástrico, de vejiga y linfoma de Burkitt. Los resultados obtenidos en fase I, han permitido evaluar que proporciona beneficio clínico (reducción objetiva de la masa tumoral) en carcinoma renal y medular de tiroides, así como en otros tumores neuroendocrinos, en cánceres de pulmón no microcítico, de cabeza y cuello y colorrectal (Mauroun *et al.*, 2001; Ciruelos *et al.*, 2002). Por todo ello, es un valioso agente quimioterapéutico contra numerosos tipos de cánceres que ahora son difíciles o imposibles de tratar, especialmente los neuroendocrinos. Actualmente está en ensayos clínicos de fase II para neoplasias malignas sólidas y hematológicas, como linfoma de células T, y en fase III para mieloma múltiple. Ha sido designado fármaco huérfano por la Comisión Europea (CE) y la FDA para mieloma múltiple.

### Yondelis

Yondelis (**Fig. 1, D**) es el nombre comercial que ha recibido el antitumoral, cuyo principio activo es ecteinascidina-743 (ET-743), extraído de la ascidia *Ecteinascidia turbinata* (Rinehart, 2000). Tiene un mecanismo de acción totalmente novedoso (Jimeno *et al.*, 1996), ya que se une al surco menor del DNA e interfiere con la división celular, los procesos de transcripción genética y la maquinaria de reparación del ADN (PharmaMar web). Además, desorganiza los microtúbulos y la red de microfilamentos intermedios, provocando, primero, una disminución de la organización de los microtúbulos de la porción distal, que se continúa, como efecto tardío, con la aparición de microtúbulos colapsados alrededor del núcleo celular.

En condiciones de laboratorio, mostró una elevada actividad frente a tumores de pulmón, mama, ovario y melanomas, muy superior a la de otros fármacos; siendo las células en la fase G1 del ciclo celular y las células de sarcoma de tejidos blandos en particular, extremadamente sensibles a la muerte inducida por ET-743.

En 2007, Yondelis recibió la autorización de comercialización por la CE para el tratamiento del sarcoma de tejidos blandos avanzado o metastático y, en 2009, para el tratamiento del cáncer de ovario recurrente platino-sensible, en combinación con DOXIL/Caelyx. Actualmente, se están llevando a cabo ensayos en fase II para cáncer de mama y para tumores pediátricos, así como un ensayo en fase III para sarcoma de tejidos blandos en primera línea (PharmaMar web).



**Figura 1.** Organismo del que proceden y fórmula de los antitumorales: **A)** *Halichondria okadai*, Halichondrina B; **B)** *Tethya cripta*, Citarabina; **C)** *Aplidium albicans*, Aplidín; **D)** *Ecteinascidia turbinata*, Yondelis; **E)** *Elysia rufescens* (arriba) y *Bryopsis pennata* (abajo), Kahalalido F.

### Kahalalido F

Kahalalido F (**Fig. 1, F**) es un depsipéptido aislado originalmente del molusco *Elysia rufescens* (Hamann & Scheuer, 1993) y, más tarde, en otro del mismo género, demostrándose que este bioactivo deriva realmente de *Bryopsis pennata*, un alga verde que forma parte de la dieta de dichos moluscos (Becerro et al., 2001).

Kahalalido F no presenta resistencia cruzada con múltiples antitumorales de uso frecuente, lo que sugiere que podría tener un nuevo mecanismo de acción. Se ha propuesto que puede alterar la función lisosómica, generando una acidificación intracelular y la consiguiente muerte celular sin paradas específicas del ciclo. También se ha propugnado, que el cambio en el balance osmótico de la célula puede deberse a daños que provoca sobre la membrana. Ha mostrado una potente actividad frente a gran variedad de tipos de células tumorales, con cierta selectividad hacia las de origen prostático no hormono-dependientes, tanto *in vitro* como *in vivo* (Medina et al., 2001). Se ha conseguido desarrollar un proceso de síntesis total en fase sólida (López-Macià et al., 2001) y se ha probado en dos estudios clínicos de fase I, uno orientado específicamente a cáncer de próstata y otro a tumores sólidos en general.

### Dolastatina-10, Soblidotina y Brentuximab Vedotín

Dolastatina-10 (**Fig. 2, A**) es un pentapéptido lineal aislado originalmente del nudibranquio *Dolabella auricularia* (Pettit et al., 1987), aunque, desde un principio, se atribuyó su presencia a cianobacterias asociadas al molusco; hecho que se confirmó cuando se aisló directamente dolastatina-10 de colecciones de la cianobacteria *Symploca* sp (Luesch et al., 2001).

Se pensó que tendría aplicaciones frente a diversos tumores, pero dejó de ser objeto de estudio, como agente simple, debido a que provocaba una neuropatía periférica en el 40% de los pacientes. Sin embargo, ha servido como punto de partida para la producción de drogas de diseño como el TZT-1027 o soblidotina (Tabla 1, G), que difiere estructuralmente por la ausencia del anillo de tiazol, pero mantiene la potente actividad antitumoral del compuesto original y reduce su toxicidad (Miyazaki et al., 1995). Soblidotina es un agente de alteración vascular (VDA) que interactúa con el factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF), lo que origina una acumulación significativa de los eritrocitos y causa un daño importante a la vascularización del tumor (Watanabe et al., 2007).

Otro derivado de la dolastatina-10 es Brentuximab Vedotin (**Fig. 2, A**), que se produce como resultado de la unión entre el monometil auristatín E y un

anticuerpo que reconoce CD30, proteína de membrana presente en la superficie de las células del linfoma de Hodgkin (Katz *et al.*, 2011). En 2011, la FDA aprobó este compuesto para su aplicación frente a linfoma de Hodgkin y linfoma anaplásico de células grandes.

#### Dolastatina-15 y Sintadotina

Dolastatina-15 (**Fig. 2, B**) es un depsipéptido lineal aislado también del nudibranquio *Dollabella auricularia*, por el mismo equipo investigador que el producto anterior, pero igualmente se ha descubierto que este producto deriva de cianobacterias asociadas al molusco (Cruz-Monserrate *et al.*, 2003). Se trata de una molécula compleja, de escasa solubilidad en agua y con bajo rendimiento de sus derivados sintéticos, lo cual impulsó el desarrollo de diversos compuestos con propiedades químicas mejoradas, como es la sintadotina.

La sintadotina (**Fig. 2, B**) es un análogo sintético de la dolastatina-15, que tiene un resto terbutilo en lugar de la dolapirrolidona. El mecanismo principal por el cual inhibe la proliferación celular es único, ya que lo hace mediante la supresión dinámica de los microtúbulos del huso. Es metabólicamente estable, puede emplearse por vía oral y, actualmente, se encuentra en fase II de ensayos clínicos.

#### Zalypsis

Zalypsis (**Fig. 2, B**) es un alcaloide relacionado con el compuesto natural marino Jorumycina, aislado del nudibranquio *Joruna funebris*, y con la familia de las Renieramycinas, aisladas de diferentes esponjas y tunicados (Scott & Williams, 2002; PharmaMar web). Zalypsis se une a restos de guanina en tripletes de DNA dando lugar a roturas en la cadena y, finalmente, detiene la fase S del ciclo celular y promueve la apoptosis de las células tumorales (Mayer *et al.*, 2010).

En estudios preclínicos ha demostrado una fuerte actividad frente a cáncer de mama, de próstata y renal; así como un perfil antitumoral moderado frente a cáncer de colon. Actualmente está en fase II en mieloma múltiple, vejiga y sarcoma de Ewing y, de forma simultánea, se encuentra en evaluación farmacológica primaria en líneas celulares y modelos animales contra distintos tipos de tumores sólidos y hematológicos. Según PharmaMar es uno de los agentes más potentes que se han evaluado contra el mieloma múltiple.

### Briostatina-1

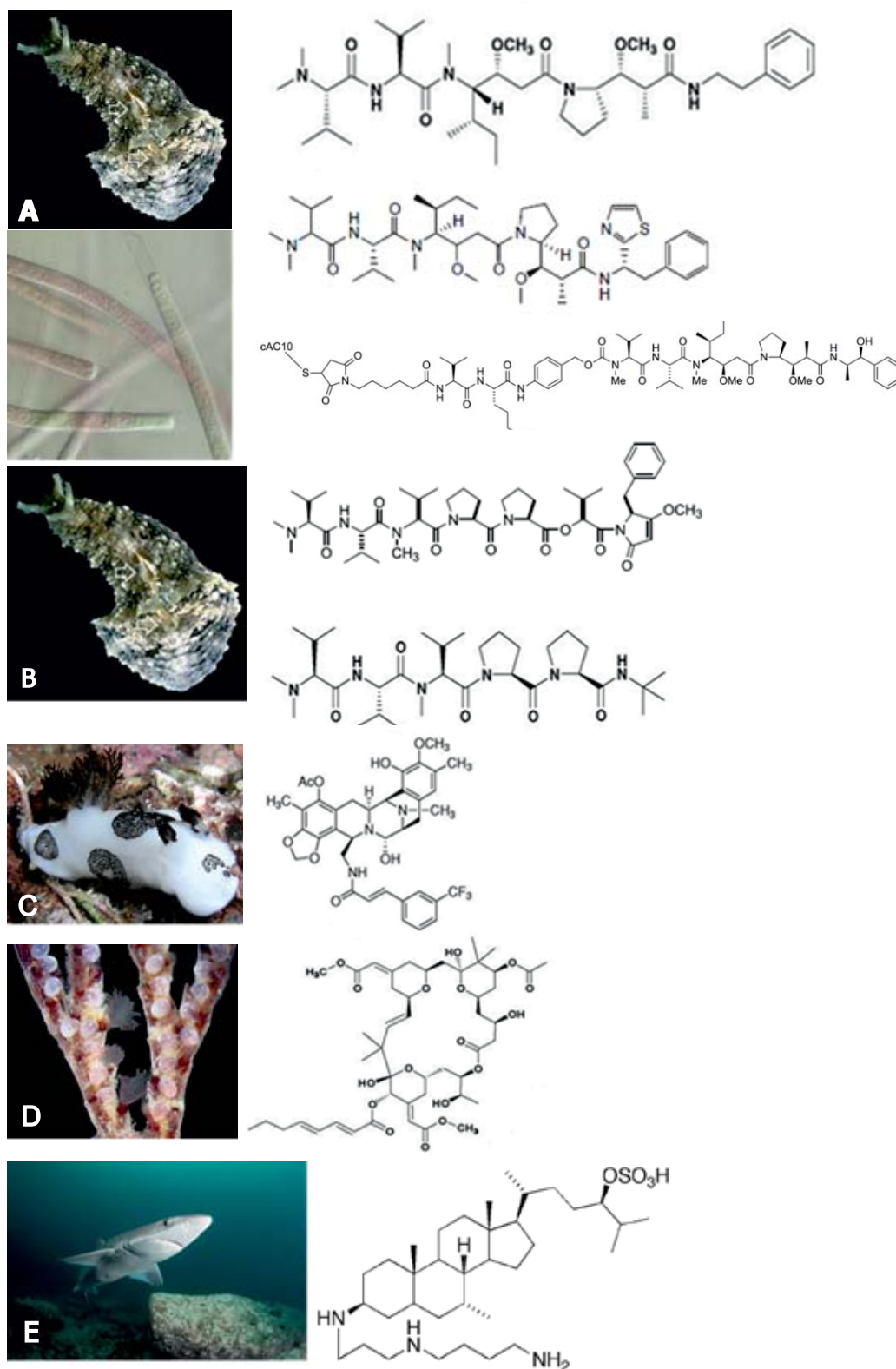
Briostatina-1 (**Fig. 2, D**) es una lactona macrocíclica aislada originalmente del briozoo *Bugula neritina*; sin embargo, en la actualidad, se sabe que es realmente el simbiote *Candidatus Endobugula sertula*, una  $\gamma$ -proteobacteria, la verdadera fuente (Davidson *et al.*, 2001). Las briostatinas se caracterizan por ser inhibidores de la proteína quinasa C (PKC), un estimulador del sistema inmune e inductor de la diferenciación celular; por lo que en numerosas líneas celulares y en tumores sólidos inhibe la proliferación y promueve la apoptosis.

Hasta la fecha, la briostatina-1 ha participado en más de ochenta ensayos clínicos para varios tipos de cáncer, pero tiene una limitada actividad como monoterapia. Sin embargo, se ha demostrado que puede mejorar la actividad de otros antitumorales (Barr *et al.*, 2009) y alguno de los análogos sintetizados, como Neristatin-1, presenta una potente actividad frente a varias líneas celulares tumorales. Hoy en día, los experimentos con briostatina-1 para el tratamiento del alzhéimer tienen mayor interés que los relacionados con el cáncer.

Por último, aunque los peces cartilaginosos no son un grupo prioritario en la búsqueda de compuestos bioactivos, se ha aislado de ellos una molécula interesante.

### Escualamina

La escualamina (**Fig. 2, E**) es un aminoesterol sulfatado aislado originalmente del hígado del tiburón *Squalus acanthias* (Moore *et al.*, 1993) y, posteriormente, también identificado en leucocitos de la lamprea *Petromyzon marinus* (Yun & Li, 2007). Se sintetizó en 1995 y se ha demostrado que actúa sobre células endoteliales, inhibiendo varios procesos dependientes del factor de crecimiento (angiogénesis, migración y proliferación), tanto *in vitro* como *in vivo* (Sills *et al.*, 1998). En estudios *in vitro*, interrumpe la proliferación y progresión tumoral, mientras que en estudios preclínicos, ha mostrado beneficios aditivos en el retraso del crecimiento tumoral, al combinarse con cis-platino, paclitaxel, ciclofosfamida, genisteína o radioterapia (Martínez-Ezquerro y Herrera, 2006). Actualmente, se encuentra en fase II para cáncer de pulmón no microcítico y cáncer de ovario, y ha recibido el estatus de fármaco huérfano para el tratamiento de cáncer de ovario por la FDA.



**Figura 2.** Organismo del que proceden y fórmula de los antitumorales: **A)** *Dollabella auricularia* (arriba) y *Symploca* sp. (abajo), Dolastatina-10, Soblidotina y Bentroximab Vedotín (de arriba a abajo); **B)** *Dollabella auricularia*, Dolastatina-15 (arriba) y Sintadotina (abajo); **C)** *Joruna funebris*, Zylapsis; **D)** *Bugula neritina*, Briostatina-1 y **E)** *Squalus acanthias*, Escualamina.



## Conclusiones

Si se suman los compuestos que han llegado a superar los ensayos clínicos, con aquellos que se encuentran en fases preclínicas y clínicas de desarrollo, se puede concluir que el medio marino es una gran fuente de nuevos medicamentos, pero no solo frente al cáncer sino también para otras muchas patologías humanas, entre ellas el tratamiento del dolor, el VIH o las enfermedades neurodegenerativas.

Las investigaciones realizadas durante los últimos años han permitido mejorar los procesos de aislamiento y caracterización de los bioactivos marinos, sin embargo, se necesitan avances en el campo de la biotecnología para superar diversas limitaciones. Por ello, los estudios actuales están orientados, además de al descubrimiento de nuevas moléculas, al conocimiento de las rutas que determinan su biosíntesis y a la consecución o perfeccionamiento de herramientas para el cultivo o producción masiva, principalmente de microorganismos marinos.

Sin duda hoy, la tasa de éxito en el descubrimiento de drogas marinas supera con creces el promedio del resto de la industria farmacéutica, por lo que es prioritario conocer en profundidad la biodiversidad marina por razones de conservación y manejo de zonas litorales, de potencial genético y como fuente de nuevos productos naturales.

A la vista de los resultados, no debería sorprender el hecho de que bajo la superficie del mar, la naturaleza tenga ya solucionados muchos de los problemas que la humanidad intenta resolver y, por esta razón, entre otras, es importante proteger el patrimonio biológico submarino. Para ello, las empresas que utilizan sustancias naturales procedentes de este medio, como fuente de inspiración para el desarrollo de fármacos, deberían involucrarse más activamente en su salvaguarda, ya que, debido a diversas actividades antrópicas, moléculas que en un futuro podrían resultar útiles, no tienen asegurada su persistencia en él.

## Bibliografía

- Armstrong, J. D., Millidine, K. J. y Metcalfe, N. B. 2011. Ecological consequences of variation in standard metabolism and dominance among salmon. *Freshwater Fish*, 20: 371–376.
- Barr, P. M., Lazarus, H.M. y Cooper, B.W. 2009. Phase II study of bryostatin 1 and vincristine for aggressive non-Hodgkin lymphoma relapsing after an autologous stem cell transplant. *American Journal Hematology*, 84: 484-487.

- Becerro, M. A., Goetz, A., Paul, V. J. & Scheuer y P. J. 2001. Chemical defenses of the sarcoglossan mollusk *Elysia rufescens* and its host alga *Bryopsis* sp. *Journal of Chemical Ecology*, 27:2287-2299.
- Blunt, J. W., Copp, B. R., Munro, M. H. G., Northcote, P. T. y Prinsep, M. R. 2011. Marine natural products. *Natural Product Reports*, 28:196–268.
- Broggini, M., Marchini, S., Galliera, E., Borsotti, P., Taraboletti, G., Erba, E., Sironi, M., Jimeno, J., Faircloth, G. y D'Incalci, M. 2002. Aplidin, a new anticancer agent of marine origin, inhibits VEGF secretion and blocks VEGF-VEGFR-1 (flt-1) autocrine loop in human leukemic cells MOLT-4. *Leukemia*, 17: 52-59.
- Ciruelos, E. M., Twelves, C., Dominguez, M. J., McKay, H., Anthony, A., Castellanos, D., Bezares, S., Ruiz, A., Lopez-Lazaro, L., Jimeno, J., Celli, C., Cortes-Funes, H. y Paz-Ares, L. 2002. Phase I clinical and pharmacokinetic study of the marine compound Aplidine (APL) administered as a 3 hour infusion every 2 weeks. *American Society of Clinical Oncology* 20: 422.
- Cooper, G. y Hausman, R. 2000. The cell. Edit: ASM Press and Sinauer Associates, Washington D.C.
- Cruz-Monserrate, Z., Mullaney, J., Harran, P., Pettit, G.R. y Hamel, E. 2003. Dolastatin 15 binds in the vinca domain of tubulin as demonstrated by Hummel-Dreyer chromatography. *European Journal of Biochemistry*, 270: 3822-3828.
- Cuadrado, A., García-Fernández, L.F., González, L., Suárez, Y., Losada, A., Alcaide, V., Martínez, T., Fernández-Sousa, J.M., Sánchez-Puelles, J.M. y Muñoz, A. 2003. Aplidin induces apoptosis in human cancer cells via glutathione depletion and sustained activation of the epidermal growth factor receptor, Src, JNK and p38 MAPK. *The Journal of Biological Chemistry*, 278: 241-250.
- Dabydeen, D., Florence, G., Paterson, I. y Hamel, E. A. 2004. Quantitative evaluation of the effects of inhibitors of tubulin assembly on polymerization induced by discodermolide, epothilone B, and paclitaxel. *Cancer Chemotherapy Pharmacology*, 53:397–403.
- Davidson, S.K., Allen, S.W., Lim, G.E., Anderson, C.M. y Haygood, M.G. 2001. Evidence for the biosynthesis of bryostatins by the bacterial symbiont '*Candidatus Endobugula sertula*' of the bryozoan *Bugula neritina*. *Applied and Environmental Microbiology*, 67: 4531–4537.
- Gottesman, M.M. 2002. Mechanisms of cancer drug resistance. *Annual Reviews of Medicine*, 53:615–627.

- Hamann, M. T. y Scheuer, P.I. 1993. Bioactive peptides from a marine mollusk *Elysia rufescens* and its algal diet *Bryopsis* sp. *The Journal of Organic Chemistry*, 61:6594-6600.
- Iwata, S., Sato, Y., Asada, M., Takagi, M., Tsujimoto, A., Inaba, T., Yamada, T., Sakamoto, S., Yata, J., Shimogori, T., Igarashi, K. y Mizutani S. 1999. Antitumor activity of antizyme which targets the ornithine decarboxylase (ODC) required for cell growth and transformation. *Oncogene*, 18:165-172.
- Jensen, P.R., Mincer, T.J., William, P.G. & Fenical, W. 2005. Marine actinomycete diversity and natural product discovery. *Antonie van Leeuwenhoek*, 87:43-48.
- Jha, R.K. y Zi-Rong, X. 2004. Biomedical compounds from marine organisms. *Marine Drugs*, 2:123-146.
- Jimeno, J.M., Faircloth, G., Cameron, L., Meely, K., Vega, E., Gómez, A., Fernández-Sousa, F. y Rinehart, K. 1996. Progress in the acquisition of new marine derived anticancer compounds: Development of Ecteinascidin 743 (Et 743). *Drugs from the future*, 21(11):1155-1165.
- Jordan, M. A. y Wilson, L. 2004. Microtubules as a target for anticancer drugs. *Nature Reviews Cancer*, 4:253-265.
- Katz, J., Janik, J.E. y Younes, A. 2011. Brentuximab Vedotin (SGN-35). *Clinical Cancer Research*, 17:6428-6436.
- Lai, D., Visser-Grieve, S. y Yang, X. 2012. Tumour suppressor genes in chemotherapeutic drug response. *Bioscience reports*, 32:361-374.
- Le Lann, C., Wardziak, T., Van Baaren, J. y Van Alphen, J. J. M. 2010. Thermal plasticity of metabolic rates linked to life-history traits and foraging behaviour in a parasitic wasp. *Functional Ecology*, 25:641-651.
- Lesser, M. P., Slattery, M. y Leichter, J.J. 2009 Ecology of mesophotic coral reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 375:1-8.
- López-Macià, A., Jimenez, J. C., Royo, M., Giralt, E. & Albericio, F. 2001. Synthesis and structure determination of kahalalide F (1,2). *Journal of the American Chemical Society*, 123:11398-11401.
- Luesch, H., Moore, R.E., Paul, V.J., Mooberry, S.L. y Corbett, T.H. 2001. Isolation of dolastatin 10 from the marine cyanobacterium *Symploca* species VP642 and total stereochemistry and biological evaluation of its analogue symplostatin 1. *Journal of Natural Products*, 64:907-910.
- Martínez-Ezquerro, J.D. y Herrera, L.A. 2006. Angiogénesis: VEGF/VEGFRs como blancos terapéuticos en el tratamiento contra el cáncer. *Cancerología*, 1: 83-96.

- Mauroun, J. A., Goel, R., Stewart, D. J., Tomiak, E., Belanger, K., Soulieres, D., Charpentier, D., Seymour, L., Matthews, S., Jimeno, J. y Guzman, C. 2001. Phase I study of Aplidine in a 5 day bolus Q 3 weeks in patients with solid tumors and lymphomas. *American Society of Clinical Oncology*, 20:2082.
- Mayer, A.M., Glaser, K.B., Cuevas, C., Jacobs, R.S., Kem, W., Little, R.D., McIntosh, J.M., Newman, D.J., Potts, B.C. y Shuster, D.E. 2010. The odyssey of marine pharmaceuticals: a current pipeline perspective. *Trends in pharmacological sciences*, 31(6):255-265.
- Medina, L. A., Gomez, L., Cerna, C., Faircloth, G., Yochmowitz, M. & Weitman, S. 2001. Investigation of the effects of kahalalide F against human tumor specimens taken directly from patients. *American Association for Cancer Research*, 42:1139.
- Menis, J. y Twelves, C. 2011. Eribulin (Halaven): a new, effective treatment for women with heavily pretreated metastatic breast cancer. *Journal of Breast Cancer: Targets and Therapy*, 3:101–111.
- Miyazaki, K., Kobayashi, M., Natsume, T., Gondo, M., Mikami, T., Sakakibara, K. y Tsukagoshi, S. 1995. Synthesis and antitumor activity of novel dolastatin 10 analogs. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 43:1706–1718.
- Moore, K.S., Wehrli, S. y Roder, H. 1993. Squalamine: an aminosterol antibiotic from the shark. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90(4):1354-1358.
- Newman, D.J., Cragg, G.M. y Battershill, C.N. 2009. Therapeutic agents from the sea: biodiversity, chemo-evolutionary insight and advances to the end of Darwin's 200th year. *Diving and Hyperbaric Medicine Journal*, 39:216–225.
- Perry, M.C. 2008. The chemotherapy source book. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.
- Pettit, G.R., Kamano, Y., Herald, C. L., Tuinman, A.A, Boettner, F.E., Kizu, H., Schmidt, J.M., Baczynskyk, L., Tomer, K.B. y Bontems, R.J. 1987. The isolation and structure of a remarkable marine animal antineoplastic constituent: dolastatin-10. *Journal of the American Chemical Society*, 109:6883–6885.
- Piel, J. 2009. Metabolites from symbiotic bacteria. *Natural Product Reports*, 26:338–362.
- Pomponi, S.A. 1999. The bioprocess-technological potential of the sea. *Journal of Biotechnology*, 70: 5-13.

- Rinehart, K. L. 1994. Pharmaceutical compositions containing didemnins. US Patent No. 5294603:1-25.
- Rinehart, K. L. 2000. Antitumor compounds from tunicates. *Medicinal Research Reviews*, 20:1-27.
- Rønning, B., Mortensen, A. S., Moe, B., Chastel, O., Arukwe, A. y Bech, C. 2009. Food restriction in young Japanese quails: effects on growth, metabolism, plasma thyroid hormones and mRNA species in the thyroid hormone signalling pathway. *The Journal of Experimental Biology*, 212:3060–3067.
- Scott, J.D. y Williams, R.M. 2002. Chemistry and biology of the tetrahydroisoquinoline antitumor antibiotics. *Chemical Review*, 102:1669–1730.
- Sills, A.K., Williams, J.L. y Tyler, B.M. 1998. Squalamine inhibits angiogenesis and solid tumor growth in vivo and perturbs embryonic vasculature. *Cancer Research*, 58:2784-2792.
- Thomas, X. 2009. Chemotherapy of acute leukemia in adults. *Expert Opinion on Pharmacotherapy*, 10:221–237.
- Uemura, D., Takahashi, K., Yamamoto, T., Katayama, C., Tanaka, J., Okumura Y. & Hirata, Y. 1985. Norhalichondrin A: an antitumor polyether macrolide from a marine sponge. *Journal of the American Chemical Society*, 107:4796–4798.
- Watanabe, J., Natsume, T. y Kobayashi, M. 2007. Comparison of the antivasular and cytotoxic activities of TZT-1027 (Soblidotin) with those of other anticancer agents. *Anticancer Drugs*, 18:905–911.
- Yeung, B.K.S. 2011. Natural product drug discovery: the successful optimization of ISP-1 and halichondrin B. *Current Opinion in Chemical Biology*, 15:523–528.
- Yun, S.S. y Li, W. 2007. Identification of squalamine in the plasma membrane of white blood cells in the sea lamprey *Petromyzon marinus*. *The Journal of Lipid Research*, 48:2579-2586.

<https://www.aecc.es/Paginas/PaginaPrincipal.aspx> [Consultada: 28/09/2015]

[www.pharmamar.com](http://www.pharmamar.com) [Consultada: 10/08/2015]

[www.micromedex.com](http://www.micromedex.com) [Consultada: 16/09/2015]

## SIGUIENDO LA PISTA

### Aproximación a la histología foliar de *Bryonia*, *Malva*, *Plantago*, *Rubus* y *Taraxacum*

Brisamar Estébanez González<sup>1</sup>, Rafael Álvarez Nogal<sup>2</sup>

1. Facultad de CC. Biológicas y Ambientales. Universidad de León. Alumna de 4<sup>o</sup> curso de Biología.

2. Dpto. Biología Molecular, Área de Biología Celular. Facultad de CC. Biológicas y Ambientales. Universidad de León. E-24071. León.

1. [bestegoo@estudiantes.unileon.es](mailto:bestegoo@estudiantes.unileon.es); 2. [ralvn@unileon.es](mailto:ralvn@unileon.es)

El presente trabajo ofrece una aproximación a la morfología foliar de *Bryonia dioica*, *Rubus ulmifolius*, *Malva sylvestris*, *Plantago lanceolata* y *Taraxacum officinale*. Se tomaron muestras en el campus de la Universidad de León, que se fijaron. Se incluyeron en parafina y se obtuvieron cortes en micrótopo. Los cortes fueron estudiados en microscopio de campo claro, de polarización y de epifluorescencia. Se analizaron las características generales de las hojas y las de la lámina foliar, nervio central y porción distal. Se observó que *B. dioica*, *M. sylvestris* y *T. officinale* presentaron estructura dorsiventral, mientras que *R. ulmifolius* y *P. lanceolata* mostraron estructura homogénea de parénquima en empalizada y aerífero, respectivamente; todas las especies presentaron haz vascular colateral, excepto *B. dioica*, que mostró haz vascular bicolateral; *P. lanceolata* presentó nerviación paralela, frente a la nerviación reticulada característica de la mayoría de las dicotiledóneas; se observaron láminas foliares hipoesotómicas en *R. ulmifolius* y *B. dioica*, y anfiestomáticas en el resto de especies.

#### Palabras clave:

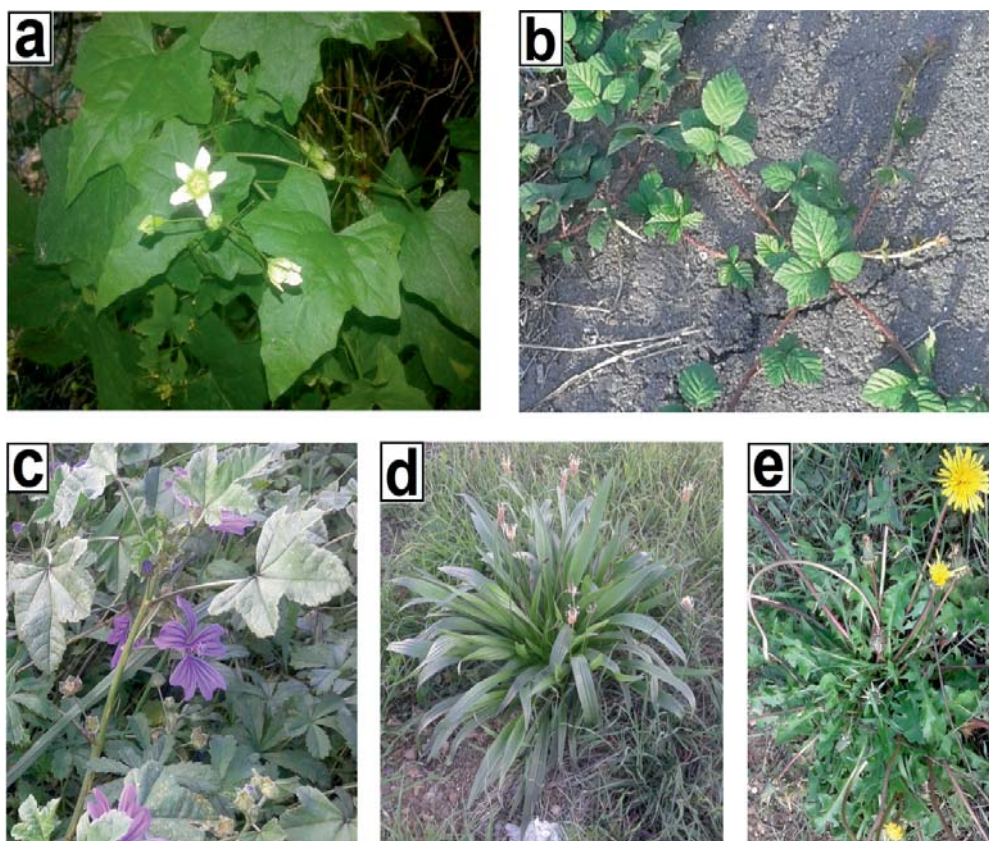
Asteraceae, Cucurbitaceae, estudio microscópico, Malvaceae, Plantaginaceae, Rosaceae

#### Introducción

Las 5 especies objeto de estudio son dicotiledóneas, herbáceas y perennes, todas ellas con hojas pecioladas. *Bryonia dioica* Jacq. (Cucurbitaceae) (**Fig. 1a**) presenta hojas alternas y con tricomas, tanto en el haz como en el envés (Catalán, 2005). *Rubus ulmifolius* Schott (Rosaceae) (**Fig. 1b**) muestra hojas alternas y compuestas por 3 o 5 folíolos, cuyo haz puede carecer o no de tricomas (Monasterio-Huelin, 2001). *Malva sylvestris* L. (Malvaceae) (**Fig. 1c**) presenta dos tipos de hojas. Las hojas basales tienen escasos tricomas en ambas superficies, mientras que las hojas caulinares presentan escasos tricomas en el haz y

Forma de mencionar este artículo: Estébanez, B., Álvarez, R. 2015, Aproximación a la histología foliar de *Bryonia*, *Malva*, *Plantago*, *Rubus* y *Taraxacum*. AmbioCiencias, 13, 52-65. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

abundantes en el envés (Nogueira y Pavía, 2005). *Plantago lanceolata* L. (Plantaginaceae) (**Fig. 1d**) tiene hojas que nacen a ras del suelo en una o varias rosetas basales, y pueden presentar escasos o abundantes tricomas (Pedrol, 2009). *Taraxacum officinale* F. H. Wigg (Asteraceae) (**Fig. 1e**) posee numerosas hojas dispuestas en roseta basal respecto de un tallo muy corto. Pueden presentar escasos tricomas en el envés o no tenerlos (Aizpuru, 1999).



**Figura 1.** Fotografías de las plantas objeto de estudio, tomadas en el campus de la Universidad de León. **a** *B. dioica*; **b** *R. ulmifolius*; **c** *M. sylvestris*; **d** *P. lanceolata*; **e** *T. officinale*.

### Material y métodos

Se tomaron hojas de las especies *B. dioica*, *R. ulmifolius*, *M. sylvestris*, *P. lanceolata* y *T. officinale* la última semana del mes de septiembre, en el Campus de la Universidad de León (42° 36' 35.68" N / 5° 33' 35.57" W). De *B. dioica* no se tomaron los zarcillos (hojas modificadas), de *R. ulmifolius* se utilizaron los foliolos terminales, en adelante tratados como hojas. Las muestras se fijaron en FAA (24 h). Se incluyeron 3 muestras de cada especie: se deshidrataron en serie creciente de alcoholes y se impregnaron en Paraplast®. Se obtuvieron cortes seriados, de 12 µm de grosor, en microtomo de parafina LEITZ 1512. Los cortes se sometieron a dos tratamientos: 1/tinción de rutina Safranina-Verde Rápido, y

2/sin teñir, y se montaron permanentemente utilizando Entellan® como medio de montaje. Las muestras se observaron en microscopio Nikon E600 bajo condiciones de campo claro, luz polarizada y epifluorescencia con bloque de filtro UV-2A.

### Resultados

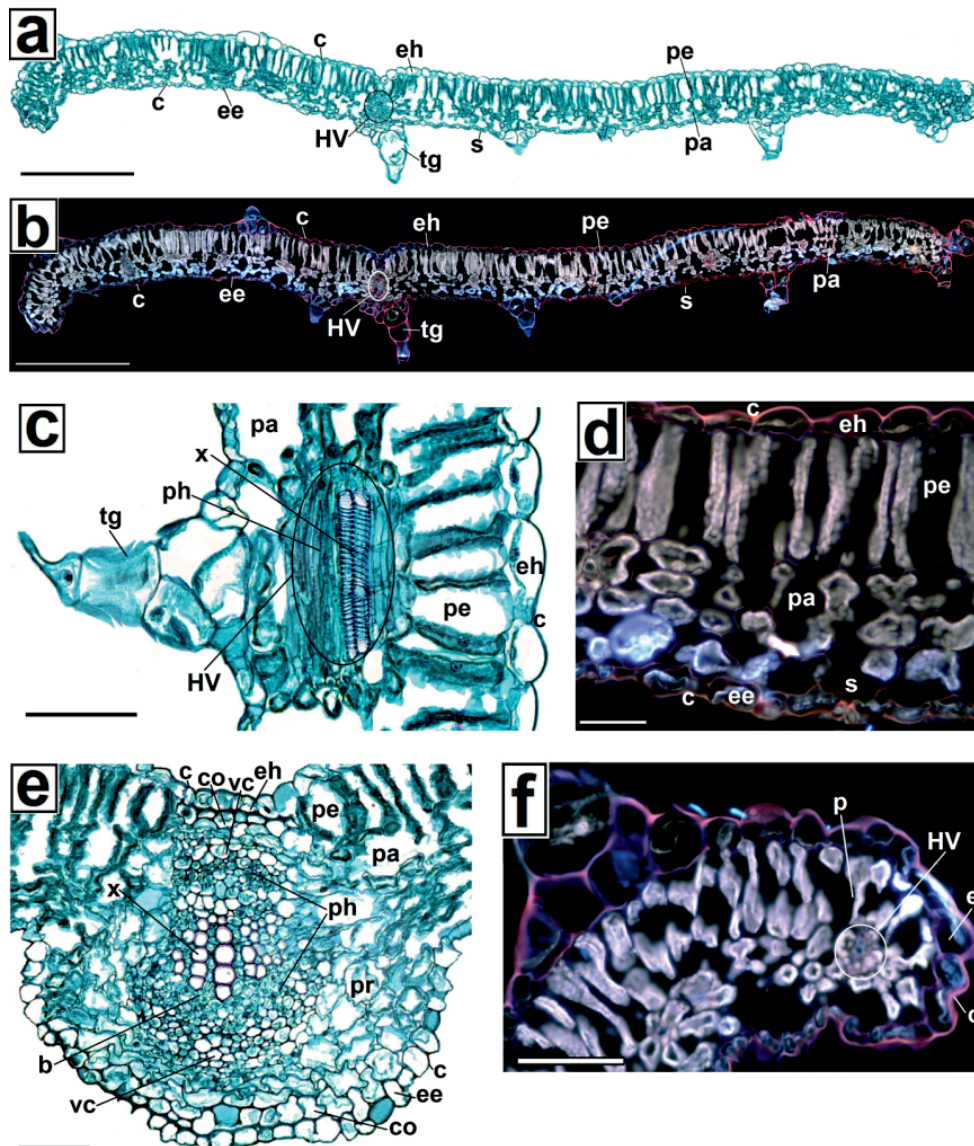
El estudio microscópico se realizó atendiendo a: (1) características generales: presencia y tipo de inclusiones y tricomas; (2) lámina foliar; (3) nervio central; y (4) margen foliar. Los resultados se muestran resumidos en la **Tabla 1**, e ilustrados en las **Figuras 2-6**.

**Tabla 1.** Características microscópicas de las hojas de *B. dioica*, *R. ulmifolius*, *M. sylvestris*, *P. lanceolata* y *T. officinale*.

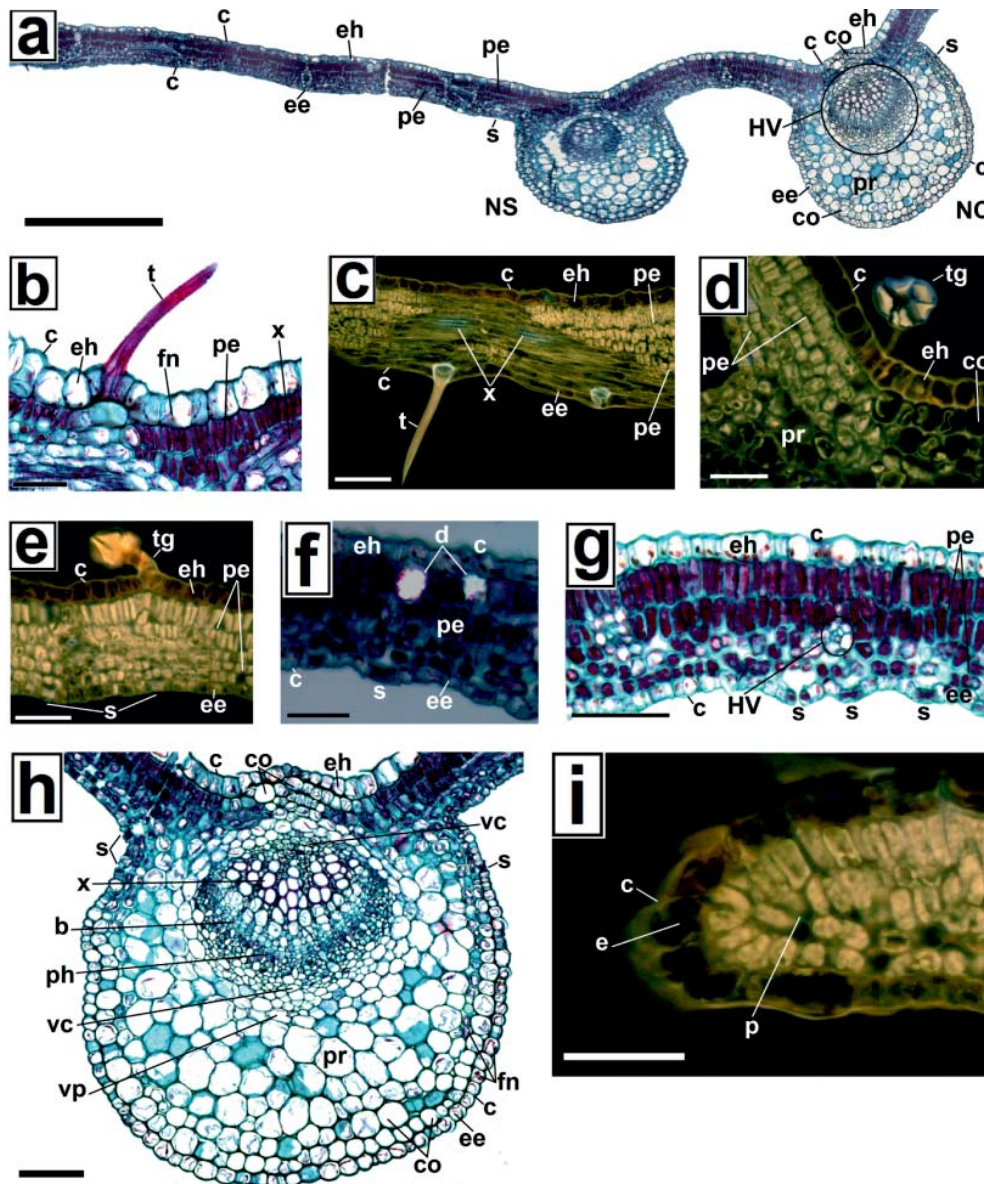
		<i>B. dioica</i>	<i>R. ulmifolius</i>	<i>M. sylvestris</i>	<i>P. lanceolata</i>	<i>T. officinale</i>	
Características generales	Tricomas	Glandular	+ (h,e,PD) pc	+ (h,NC) pc	+ (h,e,NC,PD) pc	+ (h,e,NC,PD) pc	± (h,e,NC) pc
		No glandular	-	+ (h,e,NC) uc, pc	+ (h,e,NC) pc	-	-
	Inclusiones	Drusas	-	+ (L)	++ (L, NC)	-	± (L)
		Pollifenoles	-	+++ (L, NC, PD)	+ (NC)	+ (h, e)	± (NC)
Lámina foliar	Estomas del haz	-	-	+	+	+	
	Parénquima en empalizada	+ 1 capa	Homogéneo	+ 2-3 capas	-	+ 2 capas	
	Parénquima aerífero	+++	-	+	Homogéneo	+++	
	Estomas del envés	+	+	+	+	+	
Nervio central	Estomas del haz	-	-	-	-	±	
	Colénquima	Anular	Laminar	Anular	-	Anular	
	Parénquima de reserva	+	++++	+++	+	++	
	Haz vascular	Bicolateral abierto	Colateral cerrado	Colateral cerrado	Colateral abierto	Colateral abierto	
	Vaina fascicular colenquimática	Parcial	Parcial	Completa	Parcial	Parcial	
	Colénquima	Anular	Laminar	Anular	Anular	Anular	
	Estomas del envés	-	+	+	+	+	
Porción distal	Estomas de la epidermis	-	-	+	+	-	
	Colénquima	-	-	-	+	-	
	Haz vascular	+	-	+	+	+	

Características generales, lámina foliar, nervio central y porción distal. “-” indica ausencia, “++++” muy abundantes, el resto (“±”, “+”, “++”, “+++”) indican situaciones intermedias, según la valoración subjetiva del observador. *e*: envés; *h*: haz; *L*: lámina; *NC*: nervio central; *PD*: porción distal; *pc*: pluricelular; *uc*: unicelular.

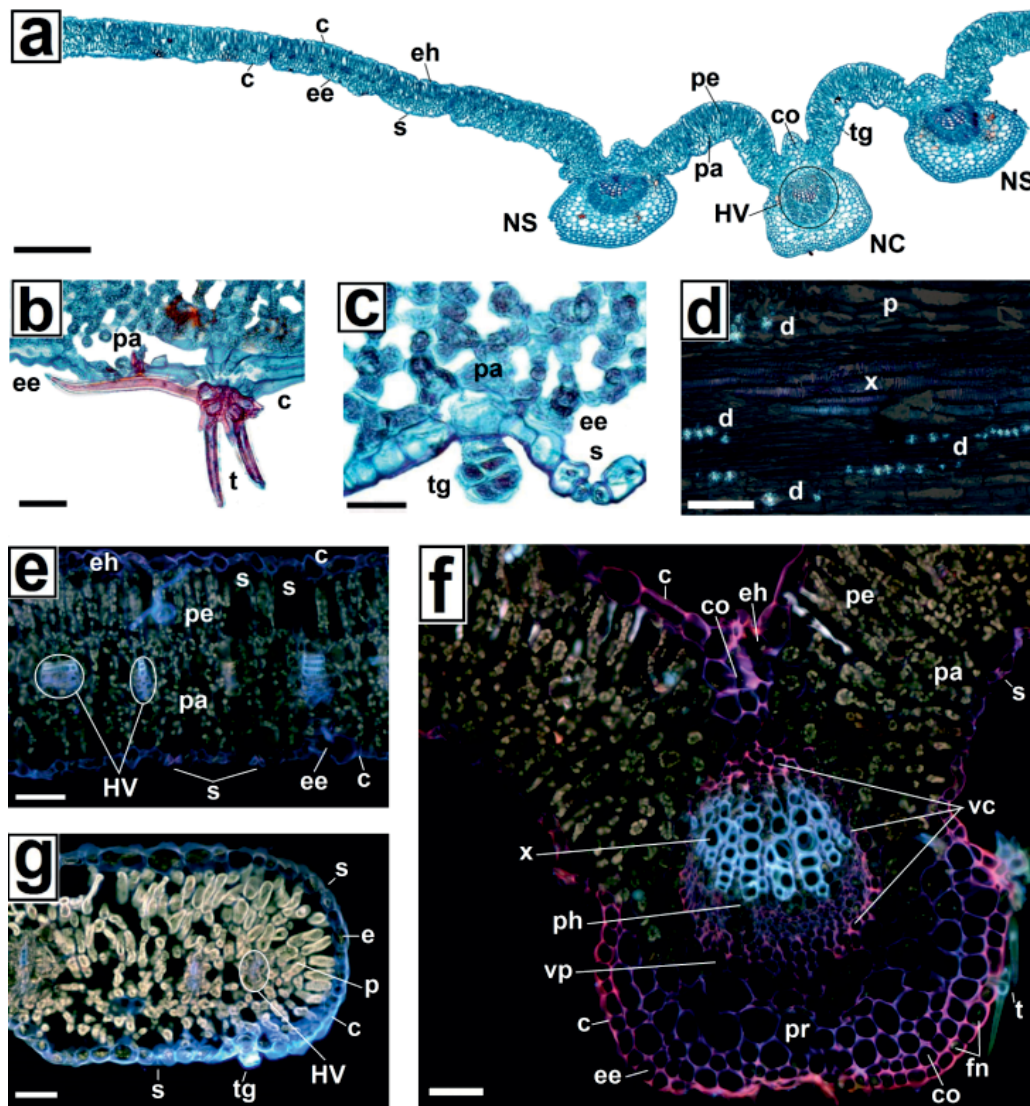




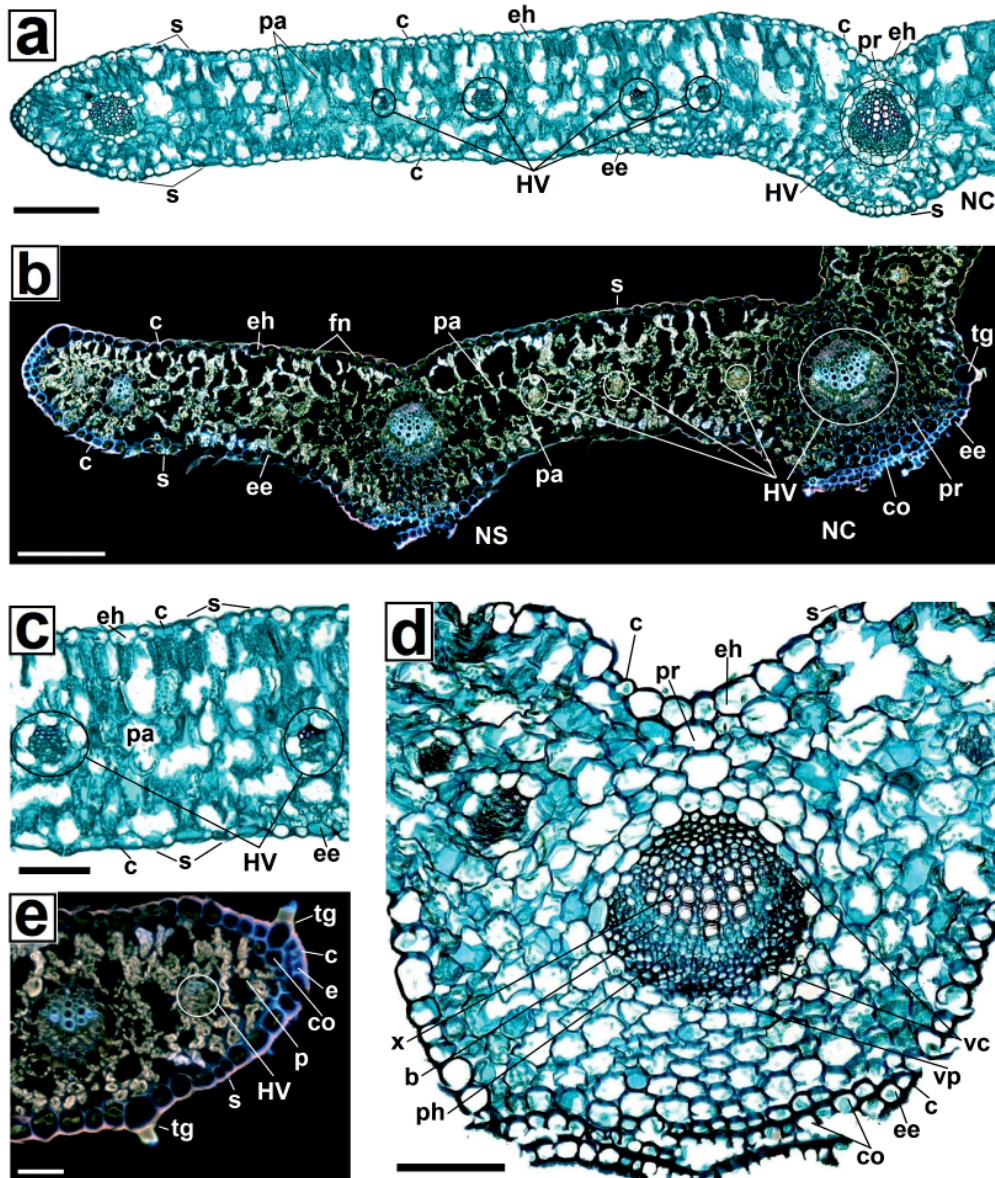
**Figura 2.** Hoja de *B. dioica*. **a, b** Aspecto general. El corte no interesa al nervio central de la hoja. **c** Tricoma glandular (tg). Obsérvese el haz vascular en sección longitudinal. **d** Lámina foliar. Obsérvese que la lámina solo presenta estomas (s) en el envés (hoja hipoestomática), y el mesófilo se encuentra formado por una capa de parénquima clorofílico en empalizada (pe) y 3-4 capas de parénquima aerífero (pa) (estructura dorsiventral). **e** Nervio central. Obsérvese la presencia de floema (ph) por encima y debajo del xilema (x), y de procambium (b) (haz vascular bicolateral abierto). Obsérvese que el haz vascular (HV) está rodeado parcialmente por una vaina de colénquima (vc). Obsérvese la presencia de colénquima (co) subepidérmico hacia el haz y el envés. **f** Porción distal. Obsérvese la presencia de haz vascular (HV). **a, c, e** Microscopio óptico de campo claro. Safranina-Verde Rápido. **b, d, f** Microscopio de fluorescencia. *b*: procambium; *c*: cutícula; *co*: colénquima; *e*: epidermis; *ee*: epidermis del envés; *eh*: epidermis del haz; *HV*: haz vascular; *p*: parénquima; *pa*: parénquima aerífero; *pe*: parénquima clorofílico en empalizada; *ph*: floema; *pr*: parénquima de reserva; *s*: estoma; *tg*: tricoma glandular; *vc*: vaina fascicular colenquimática; *x*: xilema. Barras: **a, b** = 500  $\mu$ m; **c, e** = 100  $\mu$ m; **d, f** = 50  $\mu$ m.



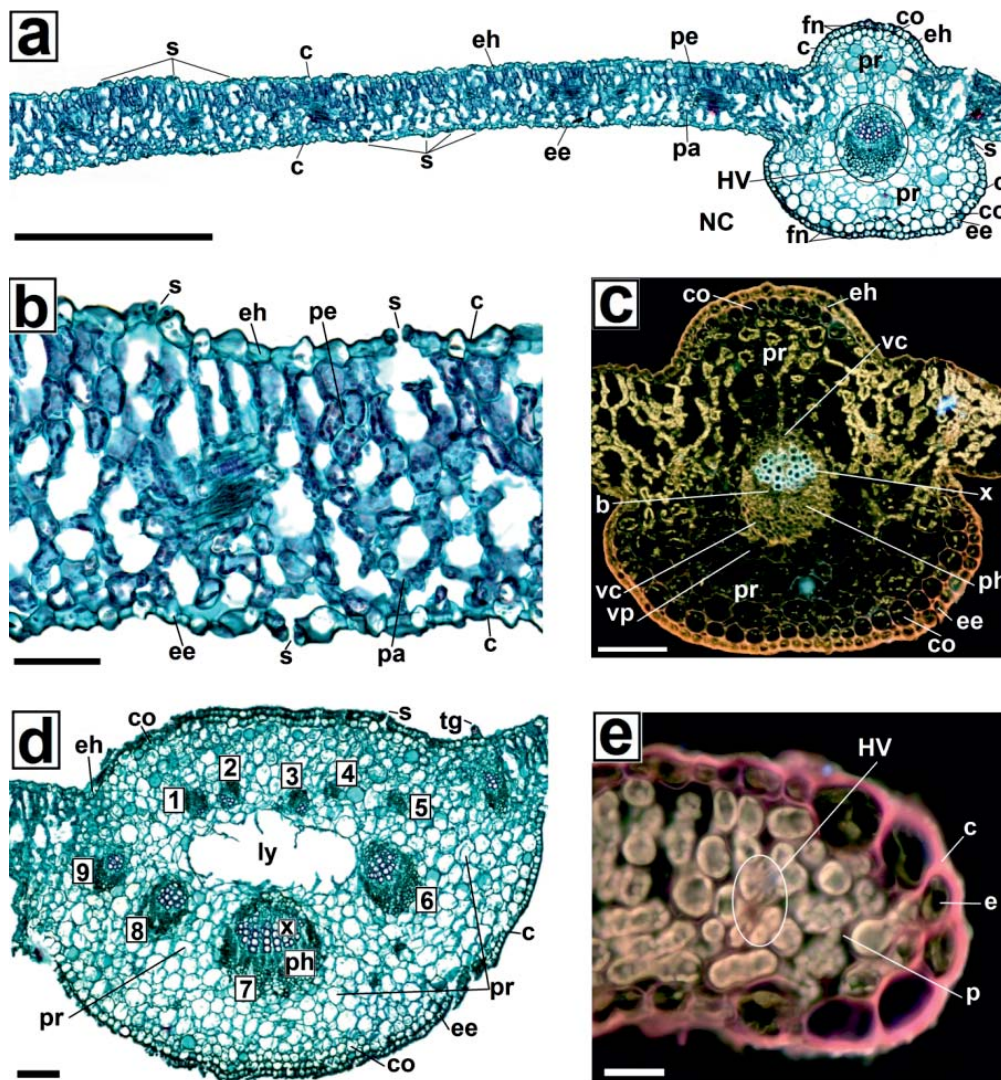
**Figura 3.** Hoja de *R. ulmifolius*. **a** Aspecto general. El corte interesa al nervio central (NC) y a un nervio grande de 2º orden (NS). **b-e** Tricomas. **b** Tricoma no glandular (t) pluricelular. **c** Tricoma no glandular (t) unicelular. **d, e** Tricoma glandular (tg). **f** Drusas (d) presentes en la lámina foliar. **g** Lámina foliar. Hoja hipoestomática. Obsérvese que el mesófilo se encuentra formado íntegramente por parénquima clorofílico en empalizada (pe). **h** Nervio central. Haz vascular colateral abierto. Obsérvese que el haz vascular está rodeado parcialmente por una vaina de colénquima (vc) y, por el exterior, íntegramente por una vaina de parénquima de reserva (vp). Obsérvese la presencia de colénquima (co) subepidérmico hacia el haz y el envés. **i** Porción distal. **a, b, g, h** Microscopio óptico de campo claro. Safranina-Verde Rápido. **c, d, e, i** Microscopio de fluorescencia. **f** Microscopio de polarización. **b**: procambium; **c**: cutícula; **co**: colénquima; **d**: drusa; **e**: epidermis; **ee**: epidermis del envés; **eh**: epidermis del haz; **fn**: polifenoles; **HV**: haz vascular; **NC**: nervio central; **NS**: nervio de 2º orden; **p**: parénquima; **pe**: parénquima clorofílico en empalizada; **ph**: floema; **pr**: parénquima de reserva; **s**: estoma; **t**: tricoma no glandular; **tg**: tricoma glandular; **vc**: vaina fascicular colenquimática; **vp**: vaina fascicular parenquimática; **x**: xilema. Barras: **a** = 500 µm; **b, d-g, i** = 50 µm; **c, h** = 100 µm.



**Figura 4.** Hoja de *M. sylvestris*. **a** Aspecto general. El corte interesa al nervio central (NC) y a dos nervios grandes de 2<sup>o</sup> orden (NS). **b-c** Tricomas. **b** Tricoma no glandular (t). **c** Tricoma glandular (tg). **d** Drusas (d) presentes en la lámina foliar. Obsérvese el xilema (x) en sección longitudinal. **e** Lámina foliar. Obsérvese la presencia de estomas (s) en el haz y en el envés (hoja anfiestomática), y como el mesófilo se encuentra formado por parénquima clorofílico en empalizada (pe) y parénquima aerífero (pa) (estructura dorsiventral). **f** Nervio central. Haz vascular colateral cerrado. Obsérvese que el haz vascular está rodeado íntegramente por una vaina de colénquima (vc) (vaina fascicular colenquimática completa) y, por el exterior, por una vaina de parénquima de reserva (vp). Obsérvese la presencia de colénquima (co) subepidérmico hacia el haz y el envés. **g** Porción distal. Obsérvese la presencia de estomas (s) y de haz vascular (HV). **a, b, c** Microscopio óptico de campo claro. Safranina-Verde Rápido. **e, f, g** Microscopio de fluorescencia. **d** Microscopio de polarización. *c*: cutícula; *co*: colénquima; *d*: drusa; *e*: epidermis; *ee*: epidermis del envés; *eh*: epidermis del haz; *fn*: polifenoles; *HV*: haz vascular; *NC*: nervio central; *NS*: nervio de 2<sup>o</sup> orden; *p*: parénquima; *pa*: parénquima aerífero; *pe*: parénquima clorofílico en empalizada; *ph*: floema; *pr*: parénquima de reserva; *s*: estoma; *t*: tricoma no glandular; *tg*: tricoma glandular; *vc*: vaina fascicular colenquimática; *vp*: vaina fascicular parenquimática; *x*: xilema. Barras: **a** = 500  $\mu$ m; **b, e, g** = 50  $\mu$ m; **c** = 25  $\mu$ m; **d, f** = 100  $\mu$ m.



**Figura 5.** Hoja de *P. lanceolata*. **a, b** Aspecto general. Obsérvese la presencia únicamente de haces vasculares (HV) en sección transversal (nerviación paralela). **a** El corte interesa al nervio central (NC). **b** El corte interesa al nervio central (NC), a un nervio grande de 2º orden (NS) y varios pequeños (HV). Nótese la presencia de polifenoles (fn). **c** Lámina foliar. Hoja anfiestomática. Obsérvese el mesófilo formado exclusivamente por parénquima aerífero (pa). **d** Nervio central. Haz vascular colateral abierto. Obsérvese que el haz vascular está rodeado parcialmente por una vaina de colénquima (vc) y, por el exterior, íntegramente por una vaina de parénquima de reserva (vp). Obsérvese la presencia de colénquima (co) subepidérmico únicamente hacia el envés. **e** Porción distal. Obsérvese la presencia de estomas (s), de haz vascular (HV), de colénquima (co) subepidérmico y de tricomas glandulares (tg). **a, c, d** Microscopio óptico de campo claro. Safranina-Verde Rápido. **b, e** Microscopio de fluorescencia. *b*: procambium; *c*: cutícula; *co*: colénquima; *e*: epidermis; *ee*: epidermis del envés; *eh*: epidermis del haz; *fn*: polifenoles; *HV*: haz vascular; *NC*: nervio central; *NS*: nervio de 2º orden; *p*: parénquima; *pa*: parénquima aerífero; *ph*: floema; *pr*: parénquima de reserva; *s*: estoma; *tg*: tricoma glandular; *vc*: vaina de colenquima; *vp*: vaina de parenquima; *x*: xilema. Barras **a, b** = 200 µm; **c, d** = 100 µm; **e** = 50 µm; **d, f** = 100 µm.



**Figura 6.** Hoja de *T. officinale*. **a** Aspecto general. El corte interesa al nervio central (NC). Nótese la presencia de polifenoles (fn) en las epidermis del haz (eh) y del envés (ee) del nervio central. **b** Lámina foliar. Hoja anfiestomática. Estructura dorsiventral. **c, d** Nervio central. Haz vascular colateral abierto. **c** Obsérvese que el haz vascular está rodeado parcialmente por una vaina de colénquima (vc) y, por el exterior, íntegramente por una vaina de parénquima de reserva (vp). Obsérvese la presencia de colénquima (co) subepidérmico hacia el haz y el envés. **d** Obsérvese la presencia de 9 haces vasculares (numerados 1-9) dispuestos radialmente al conducto lisogénico (ly), hacia el cual queda dirigido el xilema (x). Nótese la presencia de un estoma (s) y un tricoma glandular (tg) en la epidermis del haz. **e** Porción distal. Obsérvese la presencia de haz vascular (HV). **a, b, d** Microscopio óptico de campo claro. Safranina-Verde Rápido. **c, e** Microscopio de fluorescencia. *b*: procambium; *c*: cutícula; *co*: colénquima; *e*: epidermis; *ee*: epidermis del envés; *eh*: epidermis del haz; *fn*: polifenoles; *HV*: haz vascular; *ly*: conducto lisogénico; *NC*: nervio central; *p*: parénquima; *pa*: parénquima aerífero; *pe*: parénquima clorofílico en empalizada; *ph*: floema; *pr*: parénquima de reserva; *s*: estoma; *tg*: tricoma glandular; *vc*: vaina de colénquima; *vp*: vaina de parenquima; *x*: xilema. Barras: **a** = 500  $\mu$ m; **b** = 50  $\mu$ m; **c, d** = 100  $\mu$ m; **e** = 25  $\mu$ m.

**Discusión**

En un primer análisis de los resultados se puede apreciar que las hojas de las diferentes especies mostraron algunas características particulares que, como se indicará, en muchos casos son específicas de la familia a la que pertenecen. Entre las especies estudiadas se observó que algunas de ellas no presentaban todas las características de una hoja típica de dicotiledónea (**Tabla 2**): (1) la estructura dorsiventral, se observó en *B. dioica*, *M. sylvestris* y *T. officinale*, mientras que *R. ulmifolius* y *P. lanceolata* mostraron estructura homogénea de parénquima en empalizada y parénquima aerífero respectivamente; (2) el nervio central con haz vascular colateral, ausente en *B. dioica*, que presentó haz vascular bicolateral, y (3) nervios de segundo orden que se observan como ramificaciones laterales y venas menores que recorren el interior de la lámina foliar, ausente en *P. lanceolata*, cuya nerviación es paralela.

**Tabla 2.** Comparación de lámina foliar, nervio central y porción distal de *B. dioica*, *R. ulmifolius*, *M. sylvestris*, *P. lanceolata* y *T. officinale*.

	Lámina foliar	Nervio central	Porción distal
<i>B. dioica</i>			
<i>R. ulmifolius</i>			
<i>M. sylvestris</i>			
<i>P. lanceolata</i>			
<i>T. officinale</i>			

Todas las figuras mostradas proceden de las Figuras 2-6 del presente trabajo.

Las referencias bibliográficas a las especies objeto de estudio del presente trabajo son escasas. La mayoría de ellas son antiguas y gran parte no hacen referencia directa a la especie, sino al género o a la familia de la misma.

La observación de las hojas de *B. dioica* reveló presencia de tricomas glandulares tanto en el haz como en el envés foliar, de acuerdo con Catalán (2005). No se identificaron inclusiones, indicando Metcalfe y Chalk (1957) que los cristales se encuentran ausentes en muchos géneros y especies de la familia Cucurbitaceae. La lámina de *B. dioica* se caracterizó como hipoestomática, en contraste con las hojas anfiestomáticas de *Dendrosicyos socotrana* observadas por Olson (2003). Coincidiendo con las observaciones en especies del género *Cucurbita* (Agbagwa y Ndukwu, 2004), el mesófilo de *B. dioica* presentó simetría dorsiventral, constituido por una capa de células de parénquima en empalizada y un parénquima aerífero con grandes espacios intercelulares. Sin embargo, Olson (2003) indicó que el parénquima en empalizada en *D. socotrana* está formado por dos capas de células. De acuerdo con Metcalfe y Chalk (1957), el haz vascular observado en *B. dioica* fue de tipo biclateral. A diferencia de la vaina fascicular colenquimática parcial que rodea el haz vascular de *B. dioica* observada en el presente trabajo, Agbagwa y Ndukwu (2004) identificaron una vaina de esclerénquima en especies del género *Cucurbita*.

El presente trabajo coincide con el estudio de Fell y Rowson (1953) sobre *R. ulmifolius* en la observación de tricomas pluricelulares glandulares y no glandulares en el nervio central. Sin embargo, en el presente estudio se observaron además en la lámina, mientras que Fell y Rowson (1953) solo observaron tricomas unicelulares en la misma. Ambos estudios coinciden en la presencia de inclusiones, tanto de polifenoles (taninos) como de drusas, caracteres compartidos dentro de la familia Rosaceae (Metcalfe y Chalk, 1957). La lámina es hipoestomática y el mesófilo compacto, compuesto únicamente por parénquima en empalizada, mientras que las hojas observadas por Fell y Rowson (1953) presentaron estructura dorsiventral, así como la mayoría de especies de la familia Rosaceae (Metcalfe y Chalk, 1957). De acuerdo con Fell y Rowson (1953), en cuanto a la estructura del nervio central, en el presente estudio se observó la ausencia de estomas en la epidermis del haz y presencia en el envés, así como la presencia de colénquima subepidérmico hacia ambas superficies del nervio. Se observó una vaina fascicular colenquimática parcial alrededor del haz vascular, a diferencia de la vaina parenquimatosa con o sin esclerénquima que indican Metcalfe y Chalk (1957), según la especie.

En las hojas de *M. sylvestris* se encontraron tricomas pluricelulares, glandulares, en la lámina foliar y en el nervio central, de acuerdo con los estudios de Metcalfe y Chalk (1957) y Gasparetto *et al.* (2011) sobre la especie. Gasparetto

*et al.* (2011) además describieron tricomas no glandulares unicelulares. Se encontraron drusas a lo largo de toda la hoja en concordancia con Metcalfe y Chalk (1957), y polifenoles, de acuerdo con los estudios bioquímicos de Jayalakshmi *et al.* (2012). Al igual que mencionan Metcalfe y Chalk (1957) en la revisión de la familia Malvaceae y del género *Malva*, se identificó la lámina foliar como dorsiventral y anfiestomática, indicándolo también Gasparetto *et al.* (2011). De acuerdo con Metcalfe y Chalk, (1957), el haz vascular es colateral cerrado y presenta floema interrumpido. Se observó una vaina fascicular colenquimática completa, sin embargo Metcalfe y Chalk (1957) refieren que los haces vasculares de los nervios más grandes se acompañan de esclerénquima.

En las hojas de *P. lanceolata* se observaron tricomas glandulares con pie corto, sin embargo otros autores (Bayón, 2000; Gostin, 2009) apreciaron además en la misma especie tricomas no glandulares. Se observó que la lámina es anfiestomática, como indican Metcalfe y Chalk, (1957) y Gostin, (2009), y el mesófilo estaba formado de manera homogénea por aerénquima. Sin embargo Kuiper y Bos (1992) observaron estructura dorsiventral en las hojas de *P. lanceolata*. Ambos resultados difieren de los observados por Gostin (2009), quien apreció que el mesófilo de *P. lanceolata* presentaba estructura isolateral, con una o dos capas de parénquima en empalizada hacia ambos lados de la lámina y escaso aerénquima. En el presente estudio se observa una vaina fascicular parenquimática en el haz vascular del nervio central de *P. lanceolata*, así como una capa de colénquima angular subepidérmico hacia el envés, como describe Bayón (2000). Sin embargo, Kuiper y Bos (1992) indicaron que los haces vasculares están rodeados por una vaina de esclerénquima. El tipo de venación en *P. lanceolata* es paralela (Kuiper y Bos, 1992; Bayón *et al.*, 2000).

De acuerdo con los estudios de Moll y Janssonius (1923) y Cortés *et al.* (2014) sobre *T. officinale*, en el presente estudio se observaron tricomas pluricelulares glandulares. El estudio de Moll y Janssonius (1923) indica la ausencia de taninos, aunque matiza que pueden aparecer en la epidermis del haz y del envés del nervio central, observados en algunas hojas en el presente trabajo. En las hojas de *T. officinale* se apreció una lámina foliar anfiestomática y una estructura del mesófilo dorsiventral, como también indican Moll y Janssonius (1923). En el nervio central de *T. officinale* se observaron estomas en el envés y, con menor frecuencia, en el haz, en contraste con Moll y Janssonius (1923) quienes observaron mayor abundancia de estomas en el haz. De acuerdo con Moll y Janssonius (1923), se observó una capa de colénquima anular subepidérmico hacia el haz y hacia el envés. En algunas hojas, el nervio central presentó 3-10 haces vasculares



dispuestos radialmente, sin embargo Moll y Janssonius (1923) describieron hasta 24 haces. De acuerdo con Gier y Burrell (1942) y Cortés *et al.* (2014), se observó un haz vascular colateral abierto, y se identificó una vaina fascicular parcial de colénquima, observada también por Milan *et al.* (2006) en *Mikania glomerata* y *Vernonia condensata*.

Las diferencias halladas entre las especies estudiadas en el presente trabajo y las observadas por los autores citados pueden deberse a diversos aspectos, desde la toma de muestras hasta parámetros ambientales. Álvarez *et al.* (2008) observaron en *Pistacia terebinthus* que las hojas jóvenes podían no presentar vaina fascicular, las maduras presentar vaina parenquimática y las senescentes vaina colenquimática; y en otras ocasiones ser esclerénquima el tejido que acompaña al haz vascular. Estas diferencias fueron apreciadas también en cucurbitáceas (Agbagwa y Ndukwu, 2004), rosáceas y malváceas (Metcalf y Chalk, 1957) y plantagináceas (Kuiper y Bos, 1992). Además, Gier y Burrell (1942) observaron en *Taraxacum* diferencias morfológicas entre las hojas de sol y las de sombra. Así, las hojas que crecen al sol pueden desarrollar un parénquima en empalizada con células más grandes y/o mayor número de capas, que puede llegar a ocupar el mesófilo por completo. Asimismo, Milan *et al.* (2006) encontraron en *M. glomerata* variabilidad morfológica dentro de una misma hoja, dependiendo si el corte interesó a la zona apical, a la zona medial o a la zona basal. Por otro lado, diferentes estudios determinaron que la presencia de algunos contaminantes ambientales puede cambiar la organización y estructura anatómica de las hojas, como observó Gostin (2009) en *P. lanceolata*. Futuros estudios podrían poner luz a estas cuestiones.

#### **Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Dra. Carmen Pérez Morales, del área de Botánica, su asistencia en la elección de las muestras estudiadas.

El presente trabajo fue presentado en extenso por Dña. Brisamar Estébanez González como Trabajo Fin de Grado del Grado en Biología – curso 2014/2015, habiendo sido calificado con Sobresaliente y Matrícula de Honor.

#### **Referencias**

- Agbagwa, I. y Ndukwu, B. 2004. The value of morpho-anatomical features in the systematics of *Cucurbita* L. (Cucurbitaceae) species in Nigeria. *African Journal of Biotechnology*. 3(10):541-546.
- Aizpuru, I., Aseginolaza, C., Uribe-Echebarría, P.M., Urrutia, P. y Zorrakin, I. 1999. *Angiospermae: Dicotiledóneas*. En Claves ilustradas de la flora del País Vasco y territorios limítrofes (eds. Aizpuru, I., Aseginolaza, C., Uribe-

- Echebarría, P.M., Urrutia, P. y Zorrakin, I.), pp. 573-574. Servicio Central de Publicaciones del País Vasco, Vitoria-Gasteiz.
- Álvarez, R., Encina, A. y Pérez, N. 2008. *Pistacia terebinthus* L. leaflets: an anatomical study. *Plant Systematics and Evolution*. 272:107-118.
- Bayón, N., Colares, M., Arambarri, A. y Viña, S. 2000. Anatomía de las especies medicinales de la provincia Pampeana: *Plantago* L. (Plantaginaceae). *Acta Farmacéutica Bonaerense*. 19(4):263-272.
- Catalán, P. 2005. *Bryonia* L. En Flora ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares. Vol. III. Plumbaginaceae (partim)-Capparaceae, 2.<sup>a</sup> edn. (eds. Castroviejo, S., Aedo, C., Cirujano, S., Laínz, M., Montserrat, P., Morales, R., Muñoz Garmendia, F., Navarro, C., Paiva, J. y Soriano, C.), pp. 458-460. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid.
- Cortés, N., Mora, C., Muñoz, K., Díaz, J., Serna, R., Castro, D. y Osorio, E. 2014. Microscopical descriptions and chemical analysis by HPTLC of *Taraxacum officinale* in comparison to *Hypochaeris radicata*: a solution for mis-identification. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 24:381-388.
- Fell, K.R. y Rowson, J.M. (1956) Anatomical studies in the genus *Rubus*. II. The anatomy of the leaf of *R. fruticosus* L. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 9(5):293-311.
- Gasparetto, J., Ferreira, C., Sayomi, S., Fleith, M. y Pontarolo, R. 2011. Ethnobotanical and scientific aspects of *Malva sylvestris* L.: a millennial herbal medicine. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 64:172-189.
- Gier, L.J. y Burrell, R. 1942. Anatomy of *Taraxacum officinale* 'Weber'. *Transactions of the Kansas Academy of Science*. 45:94-97.
- Gostin, I. 2009. Structural modification induced by air pollutants in *Plantago lanceolata* leaves. *Analele Universității din Oradea, Fascicula Biologie*. 16(1):61-65.
- Jayalakshmi, N.R., Thara, K.J., Vijaya, B., Raman, D.N. y Suresh, R. 2012. Enhanced vigor in growth and accumulation of anthocyanins with abscisic acid treatment in *Malva sylvestris* L. *World Applied Sciences Journal*. 20(1):15-22.
- Kuiper, P.J. y Bos, M. 1992. General Biology of *Plantago*: General morphology in *Plantago*. En *Plantago: A multidisciplinary study* (eds. Kuiper, P.J. y Bos, M.), pp. 6-12. Springer, Berlin.
- Metcalf, C. R. y Chalk, L. 1957. *Anatomy of dicotyledons: leaves, stem, and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses*. Oxford University Press, London.

- Milan, P., Hissae, A. y Appezzato-da-Glória. 2006. Comparative leaf morphology and anatomy of three Asteraceae species. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 49(1):135-144.
- Moll, J.W. y Janssonius, H.H. 1923. Pen-Portraits: Folia Taraxaci. En Botanical Pen-Portraits, (eds. Moll, J.W. y Janssonius, H.H.), pp 195-197. Springer Netherlands.
- Monasterio-Huelin, E. 2001. *Rubus* L. Flora iberica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares. Vol. VI. Rosaceae (ed. por F. Muñoz Garmendia y C. Navarro), pp. 16-71. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid.
- Nogueira, I. y Paiva, J. 2005. *Malva* L. Flora iberica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares. Vol. III. Plumbaginaceae (partim)-Capparaceae, 2ª edn. (ed. por S. Castroviejo, C. Aedo, S. Cirujano, M. Laínz, P. Montserrat, R. Morales, F. Muñoz Garmendia, C. Navarro, J. Paiva y C. Soriano), pp. 209-225. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid.
- Olson, M.E. 2003. Stem and leaf anatomy of the arborescent Cucurbitaceae *Dendrosicyos socotrana* with comments on the evolution of pachycauls from lianas. *Plant Systematics and Evolution*. 239:199-214.
- Pedrol, J. 2009. *Plantago* L. Flora ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares. Vol. XIII. Plantaginaceae-Scrophulariaceae (ed. por C. Benedí, E. Rico, J. Güemes y A. Herrero), pp. 4-37. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid.

## BAÚL DE LA CIENCIA

### El papel de los elementos geológicos en la conservación de la naturaleza

Esperanza Fernández-Martínez

Dpto. Geografía y Geología, Área de Paleontología. Facultad de CC. Biológicas y Ambientales. Universidad de León. E-24071. León.

[e.fernandez@unileon.es](mailto:e.fernandez@unileon.es)

*... a national trust for the defense of our mountain solitudes against the intrusion of steam and electricity and all the vandalisms of this luxurious utilitarian age; for the keeping free from the grind of commerce, the wooded passes and valleys and alplands of the wilderness. It is the people's right to have primitive access to the remote places of safest retreat from the fever and the fret of the market place and the beaten tracks of life.*  
Elizabeth Parker, 1907<sup>1</sup>

Este artículo analiza el papel jugado por los elementos geológicos en los movimientos de conservación de la naturaleza. La gea estuvo muy presente en los inicios del conservacionismo, cuando la naturaleza se valoraba por el disfrute estético, emocional y, sólo en algunos casos, intelectual, que proporciona. Durante el siglo XX, la visión de la naturaleza se hizo más utilitarista y racional, hecho que se tradujo en un cambio en las políticas conservacionistas. En paralelo a este cambio, los elementos geológicos desaparecieron de dichas políticas, siendo vistos esencialmente como recursos de abastecimiento de materias primas necesarias para mantener el acelerado ritmo de desarrollo de las sociedades humanas. A finales del siglo XX e inicios del XXI, la mirada racional y utilitarista de la naturaleza se acentúa pero la conciencia de nuestra dependencia del planeta favorece el desarrollo de actuaciones encaminadas a la conservación y en las cuales vuelven a incluirse los elementos geológicos.

#### Palabras clave:

patrimonio geológico, geoconservación, geodiversidad, conservacionismo, naturaleza

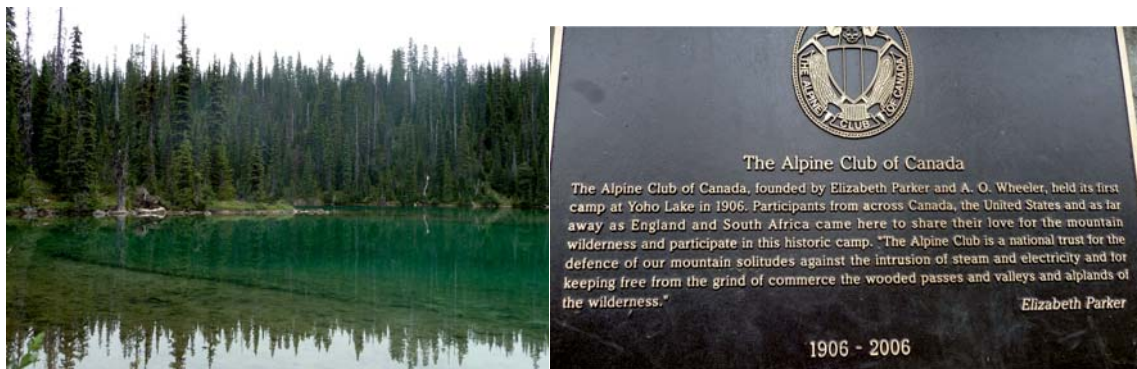
#### Los orígenes: Yoho y Guadarrama

Ocho de julio de 1906, Parque Nacional Yoho en la Columbia Británica, Canadá. Tras un viaje en un flamante tren del Canadian Pacific Railway y una

<sup>1</sup> ... una asociación nacional en defensa del aislamiento de nuestras montañas, contra la injerencia del vapor y de la electricidad y de todas las barbaries de esta época de lujo materialista; para librar del trajín del comercio a los desfiladeros boscosos, a los valles y a las regiones naturales alpinas. Es un derecho de las personas tener acceso a lugares apartados que estén a salvo de la agitación y la inquietud del comercio y de las dificultades de la vida.

Forma de mencionar este artículo: Fernández-Martínez, E., 2015, El papel de los elementos geológicos en la conservación de la naturaleza. *AmbioCiencias*, 13, 66-82. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

caminata de varias horas a través de bosques de coníferas, cien excursionistas plantan sus tiendas de campaña en los alrededores del lago Yoho. Durante varios días realizarán diversas competiciones físicas para entrar en el recién formado Club Alpino de Canadá (Alpine Canadian Club, ACC). De los cien, veintinueve hombres y quince mujeres lo conseguirían y entrarían en el club como miembros de pleno derecho. A pesar de estar parcialmente financiada por el gobierno canadiense, la experiencia costó a cada participante un dólar diario, cifra nada desdeñable en los inicios del siglo XX.



**Figura 1.** A la izquierda, lago Yoho, en el parque nacional homónimo, Columbia Británica, Canadá. A la derecha, foto de la placa que, en los alrededores de este lago, conmemora el campamento fundacional del Alpine Canadian Club. El texto reproduce parte del llamamiento conservacionista realizado por Elizabeth Parker en el primer número del Canadian Alpine Journal.

Dentro de este grupo se encontraba Elizabeth Parker, una periodista afincada en Winnipeg, que sería nombrada secretaria del ACC y que relataría este encuentro en el artículo que abriría, un año más tarde, el primer número del Canadian Alpine Journal. A dicho artículo pertenecen las palabras que encabezan este escrito y que tan de actualidad nos parecen más de un siglo después de haber sido escritas.

Elizabeth Parker y Arthur Oliver Wheeler, un inmigrante irlandés que acabaría siendo el primer presidente del ACC, establecieron como principios básicos de esta asociación la promoción del patrimonio natural en Canadá, impulsando el disfrute estético y artístico de la naturaleza, en especial entre la emergente clase media que habitaba en las ciudades. El compromiso del ACC se puso de manifiesto pocos años más tarde, cuando sus miembros se opusieron activamente a la construcción de grandes presas hidroeléctricas en varios lagos de las Montañas Rocosas canadienses. Como consecuencia, el ACC se colocó a la cabeza de los grupos conservacionistas que, en 1923, ayudarían a crear el organismo que actualmente gestiona los parques nacionales de Canadá.

La elección del Parque Nacional Yoho para realizar este encuentro no fue casual. La palabra *yoho*, procedente del vocabulario de la tribu india cree, indica “asombro” y “maravilla”. Y el lugar hace justicia a este nombre: picos elevados sobre los 3000 m que asoman entre bosques, altísimas cascadas, ríos turbulentos y lagos de color esmeralda salpican un territorio en el que siempre existe la posibilidad de cruzarse con una *grizzly* seguida por sus oseznos. Pero la elección de este territorio no fue a causa de los osos ni de los extensos bosques, sino de la gea. Y es que, en los inicios del movimiento conservacionista, la valoración de los paisajes estaba estrechamente ligada a su espectacularidad y, con ella, a la visibilidad del elemento geológico. De ahí que los primeros parques nacionales del mundo, Yellowstone, Yosemite, Montaña de Covadonga, Ordesa... sean lugares donde la gea predomina en lo visual y determina de forma palpable el resto de los elementos paisajísticos.



**Figura 2.** El Lago Emerald, en el Parque Nacional Yoho, situado en el entorno donde se celebraron las pruebas físicas para acceder al Alpine Canadian Club.

Cabría preguntarse ahora cómo se vivieron en España estos inicios del movimiento conservacionista: si la geología y los aspectos emocionales, artísticos y deportivos estuvieron también presentes; si la sensibilidad estética hacia los elementos geológicos, claramente heredada del movimiento romántico europeo, había calado también entre los españoles.

Como en otros lugares, las ideas conservacionistas en relación con la naturaleza aparecen en España durante el último tercio del siglo XIX, una época en la

que el acceso a la enseñanza superior y, por tanto, al disfrute pleno de la ciencia y la cultura, estaba reservado a unos pocos. Pero también un momento en el que las conexiones entre las ciencias naturales y otros aspectos culturales eran mucho más estrechas que en la actualidad, existiendo un fecundo flujo de ideas y actividades entre científicos y humanistas.

Este interés por los elementos geológicos entronca con un movimiento humanista que, en paralelo con lo que acontecía en Canadá, descubre la naturaleza como fuente de disfrute estético, pero también intelectual. Quizá la persona más significativa de este movimiento fuera Francisco Giner de los Ríos, pedagogo, filósofo y ensayista, hoy especialmente recordado por ser uno de los fundadores de la añorada Institución Libre de Enseñanza (ILE). En 1886, Giner de los Ríos publicó un articulito titulado Paisaje, en el que se trazan las líneas maestras de ese movimiento de aprecio por la naturaleza que llega hasta nuestros días, y entre las que incluía lo que él denomina la “estética geológica”.

Al calor de las ideas de Giner de los Ríos, y de otros varones ilustrados de finales del siglo XIX, surge, también en 1886, la Sociedad para el Estudio del Guadarrama que, al igual que el Club Alpino en Canadá, sería determinante para la creación de los primeros parques nacionales españoles. Pero sobretodo, merece la pena destacar a la citada ILE, cuyo ideario apuesta, al unísono, por el conocimiento de las ciencias naturales y por una educación en contacto con las cosas, “viviendo y experimentando” aquello sobre lo que se aprende.

Muchos de nuestros alumnos se sorprenderían al saber que el origen de las salidas de campo se encuentra en este grupo de hombres cultos y bien vestidos (entre los que figuraban, por ejemplo, el abuelo y el padre del poeta Antonio Ma-



chado), los cuales comenzaron a fomentar las excursiones de escolares y de agrupaciones culturales utilizando para ello, por su cercanía a Madrid, la sierra de Guadarrama.

**Figura 3.** Retrato de Francisco Giner de los Ríos, cuyo ideario pedagógico aúna el interés por las ciencias naturales con el aprendizaje directo sobre el terreno. Fuente: <http://guadarramaymas.blogspot.com.es/maymas.blogspot.com.es/>

La historia del movimiento conservacionista español guarda bastante paralelismo con la narrada para el grupo canadiense, tanto por el papel preponderante que jugaban los elementos geológicos en la percepción del paisaje, como por el impulso del grupo a la oficialización de la conservación de la naturaleza. Uno de sus protagonistas, el geólogo Eduardo Hernández-Pacheco, propuso la implantación del modelo europeo de monumentos naturales, que se tradujo en España mediante el establecimiento, en 1927, de la figura de Sitio Natural de Interés Nacional. Como indica Casado (2014), esta figura atiende a valores más diversos que la espectacularidad paisajística, incluyendo lugares modélicos de procesos geológicos, como el Torcal de Antequera o la Pedriza del Manzanares. Se trataba, también, de una figura más “democrática” en el sentido de que estos lugares eran accesibles para aquellos ciudadanos que no podían permitirse pagar los viajes, estancias y guías necesarios en regiones de montaña habitualmente remotas.



**Figura 4.** La llamada “Fuente de los geólogos” está situada en la carretera que sube al Puerto de Navacerrada. Esta fuente, inaugurada en 1932 por Julián Besteiro, es un homenaje a los geólogos que estudiaron la sierra de Guadarrama. Foto: Luis Carcavilla.

### **La segunda mitad del siglo XX**

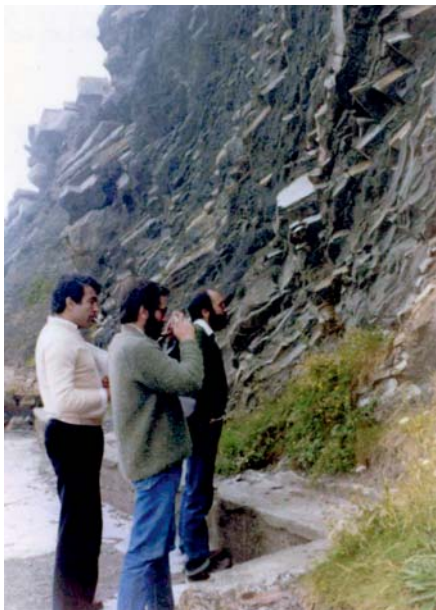
Hemos visto cómo, en los comienzos del movimiento conservacionista español, los elementos geológicos y los geólogos jugaron un papel preponderante. Estos brillantes inicios fueron interrumpidos por la guerra civil y por las primeras décadas de la dictadura, durante las cuales la preocupación por la conservación de la naturaleza, de por sí muy escasa, se focalizó hacia la silvicultura y hacia las actividades de caza y pesca recreativas (Díaz-Martínez *et al.*, 2014).



Esta política comenzó a cambiar en nuestro país tan sólo a partir de la década de los 60, con la creación de la Reserva y Estación Biológica de Doñana (realizada, no por el gobierno español, sino por el Fondo Mundial para la Naturaleza, WWF), y posteriormente, en los años 70-80, con el entonces movimiento verde que se desarrolló en Europa. Pero cuando este cambio se produjo, ya se había perdido la visión romántica que percibía los paisajes de una manera global, y que los valoraba desde una visión emocional y estética antes que racional y científica.

En parte debido a este cambio de enfoque, en parte por el auge experimentado por la conservación de la biodiversidad en otras partes del mundo, cuando en España se retomaron las políticas conservacionistas la gea no entró a formar parte de ellas. Esta ausencia se manifiesta también a nivel internacional, como ejemplifica la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), fundada en 1948. Aunque la UICN realiza diversas actividades relacionadas con océanos y ríos, carece de un programa propio sobre la gea y sólo en los últimos tres años ha empezado a considerar la geodiversidad como una parte del planeta a tener en cuenta para alcanzar sus logros de conservación.

A pesar de este sombrío panorama, en 1978, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) puso en marcha un Inventario Nacional de Puntos de Interés Geológico (PIG). Debido a la escasez de financiación, este proyecto sólo consiguió inventariar un 20% del territorio nacional antes de ser abandonado con apenas nueve años de vida. Este programa fue impulsado por varios geólogos, entre los que destacan Emilio Elízaga y Jaime Palacio (este último afincado en León hasta su fallecimiento en otoño de 2014), que persistieron en el estudio del patrimonio geológico a pesar del clima poco favorable del momento. Fueron ellos, junto con el geógrafo Antonio Cendrero, quienes sentaron las bases conceptuales y metodológicas del análisis del patrimonio geológico en nuestro país.



**Figura 5.** Los geólogos Jaime Palacio (con jersey blanco), Emilio Elízaga y Luis Sánchez de la Torre, durante los trabajos de campo que condujeron a la realización del primer inventario de patrimonio geológico en España. Fotografía cedida por Jaime Palacio.

Mientras tanto, tuvo lugar el Primer Simposio Internacional sobre Protección del Patrimonio Geológico, celebrado en Digne (Francia) en 1991, bajo los auspicios de la UNESCO. De esta reunión surgió la Declaración Internacional sobre los Derechos de la Memoria de la Tierra, que recoge la preocupación por el olvido de los elementos geológicos en las actividades de conservación de la naturaleza, e inaugura un camino en la protección de la gea. No obstante, y con algunas excepciones como el Reino Unido, el interés por el patrimonio geológico no comenzó a crecer hasta el año 2004, cuando el Consejo de Ministros de la Unión Europea redacta la Recomendación 2004/3, en la que se acepta el patrimonio geológico como parte del natural y se insta a su conservación.

En nuestro país, habría que esperar hasta la promulgación de la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad para que los elementos geológicos entraran de forma plena en las normativas conservacionistas. Esta ley incluye, por primera vez, conceptos como patrimonio geológico, geodiversidad o lugar de interés geológico, introduciendo a la gea en las legislaciones y metodologías propias de la conservación de la naturaleza.

Definición de patrimonio geológico según la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad: *Conjunto de recursos naturales geológicos que poseen valor científico, cultural y/o educativo, y que permiten conocer, estudiar e interpretar el origen y evolución de la Tierra, los procesos que la han modelado, los climas y paisajes del pasado y del presente, y el origen y evolución de la vida.*



**Figura 6.** Muy pocas personas consideran las rocas como elementos susceptibles de integrar el patrimonio natural. Su abundancia y el desconocimiento de su importancia son la principal causa de esta idea. Fotografía cedida por Inés Fuertes.

### ¿Qué es y qué no es patrimonio geológico?

Aunque la palabra patrimonio tiene varios significados, en casi todos ellos se alude a la idea de que se trata de bienes de cierto valor, habitualmente heredados. Y es que, al hablar de patrimonio, estamos hablando de una ecuación de dos factores:

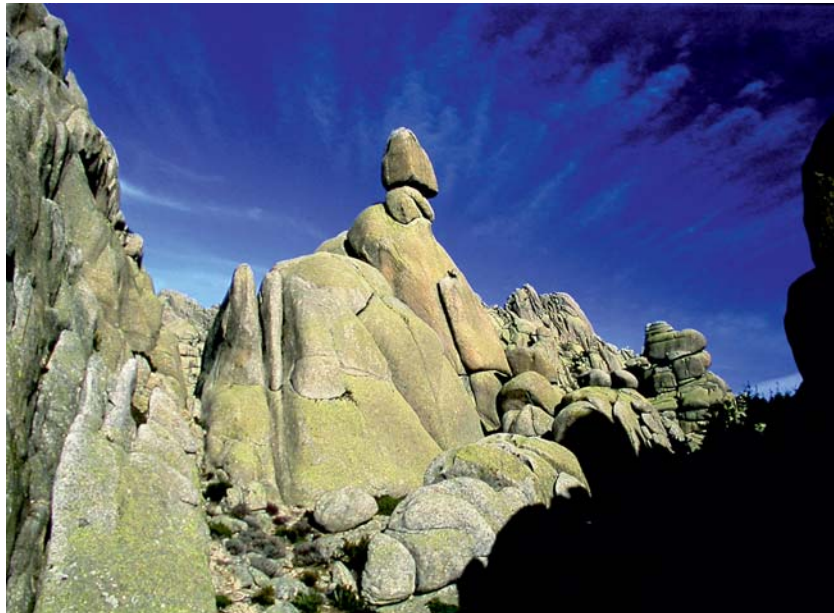
- a) un elemento, que puede ser tangible (un yacimiento, un pliegue, un cuadro, una iglesia, una especie biológica, un ecosistema...) o intangible (una leyenda, una música, un rito...)
- b) y un valor, el que los grupos humanos damos a dicho elemento.

El primero de estos factores es objetivo y define el tipo de patrimonio. Por ejemplo, un fósil, un meteorito o una formación estratigráfica son objetos naturales de tipo geológico y, por tanto, pertenecen al patrimonio natural geológico. Una mina, un castillete o una vagoneta utilizados en la explotación de rocas o minerales son lugares y objetos creados por los seres humanos y, por tanto, aunque relacionados con la geología, pertenecen al patrimonio cultural. Un ejemplo emblemático de este supuesto son Las Médulas: aunque tendemos a considerarlas como un paisaje natural, el origen de sus formas se encuentra en un tipo especial de explotación de oro por parte de los romanos; este origen antrópico determina que se trate de patrimonio cultural en vez de natural; aunque, como en muchos otros casos, la acción humana sólo haya expuesto y resaltado la belleza oculta de unos estratos geológicos.



**Figura 7.** El conocido paisaje de Las Médulas desde el mirador de Orellán. A pesar de la dominante geológica de este paisaje, su exposición y aspecto ruiforme tiene un origen antrópico, motivo por el cual forma parte del patrimonio cultural, no del natural.

El segundo factor es subjetivo, ya que está determinado por el grupo humano que lo define, así como por el lugar y el momento en que se hace la valoración. Por ejemplo, en su Historia General de España, publicada en Toledo en 1601, el jesuita y adelantado a su tiempo Juan de Mariana, ponía a la Pedriza del Manzanares como ejemplo para ilustrar la frase: *en gran parte de España se ven lugares y montes pelados, secos y sin frutos, peñascos escabrosos y riscos, lo que es una fealdad*. Y varios siglos más tarde, en el XIX, sus laberínticos caminos sirvieron para que los bandoleros ejecutaran a sus víctimas, adquiriendo el lugar fama de lúgubre y siniestro. Sin embargo, hoy la Pedriza está catalogada como Parque Regional de la Comunidad de Madrid, siendo muy apreciada por aquellos que buscan experiencias gratas en la naturaleza.



**Figura 8.** Imagen de la Pedriza del Manzanares, un lugar considerado estéticamente poco atractivo en el pasado y actual Parque Regional de la Comunidad de Madrid. Foto cedida por Luis Carcavilla.

Ambos factores (elemento y valor) se conjugan para establecer lo que llamamos patrimonio geológico, integrado según la ley 42/2007 por los denominados lugares de interés geológico (LIG) o, en inglés, *geosites* (abreviatura de *geological sites*). En este sentido, hay que señalar que nuestro planeta está formado por múltiples elementos geológicos (rocas, minerales, fósiles, meteoritos, estructuras sedimentarias, océanos, ríos, aguas subterráneas, glaciares, lagos, pliegues, fallas, cabalgamientos, mesetas, oteros, gargantas, meandros, y otros muchos) pero, debido a que gran parte de ellos son utilizados para el abastecimiento de materias primas o como soporte de actividades

humanas, no todos pueden ser catalogados como LIG. De aquí que la valoración se convierta en el factor más importante de esta ecuación. ¿Qué lago glacial de todos los que se encuentran en la provincia de León elegimos para formar parte del patrimonio geológico? ¿Qué yacimiento de fósiles de Castilla y León protegemos? ¿En cuál de las numerosas y hermosas hoces de nuestra península decidimos desarrollar estrategias de gestión? Se trata de preguntas sin respuesta categórica, pero a las que trataremos de contestar en el siguiente apartado.

### ¿Qué hace que un lugar o un objeto sea considerado como patrimonio geológico?

Volviendo de nuevo a nuestros campistas canadienses, basta leer la frase que introduce este artículo para recordar que su interés por preservar determinados lugares se debía, básicamente, a la tranquilidad y al deleite estético y emocional que estos transmiten. Algo similar ocurre con los miembros de la Sociedad para el Estudio del Guadarrama, aunque estos conjuntaban lo estético y lo intelectual al apostar por un uso científico y educativo de lugares que consideraban visual y emocionalmente muy atractivos. En el siglo XXI la valoración de los lugares con posible interés geológico es más compleja y, a fecha de hoy, carece de uniformidad.

En general, los LIG de categoría internacional (denominados *global geosite* y establecidos mediante un programa co-patrocinado por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas y la Unesco) son lugares con un valor eminentemente científico y en los que otros posibles valores no son considerados. En España y más concretamente en León, tienen la categoría de *global geosite* lugares como la cueva de Valporquero, la sección estratigráfica de Los Barrios de Luna (visita, casi obligada, para cualquier estudiante de Biología y Ciencias Ambientales de la Universidad de León) o la parte baja del valle del río Esla.



**Figura 9.** Afloramiento de rocas de tipo turbidítico (flysch) en el Geoparque de la Costa Vasca. Estos afloramientos contienen estratotipos internacionales de dos límites temporales geológicos. Además, en ellos está muy bien registrada la caída de un meteorito que se relaciona con la gran extinción de finales del Cretácico. Por estos motivos es un *global geosite* de primer orden. Foto cedida por Asier Hilario.



**Figura 10.** La sección estratigráfica del Paleozoico Inferior de Los Barrios de Luna (León) tiene categoría de *global geosite* por su altísimo interés científico. Sin embargo, como pueden confirmar centenares de estudiantes de diversas edades y procedencias, su uso en los últimos años ha sido principalmente educativo. Fotografía cedida por Rodrigo Castaño de Luis.

Por lo que respecta a los LIG de categoría nacional, estos están siendo inventariados en estos momentos por el IGME. En su establecimiento se tiene en cuenta, principalmente, su valor científico aunque en la valoración final del LIG se contabiliza también su valor educativo y turístico. Esto es debido a que la legislación española, tanto nacional como autonómica, define LIG como un elemento o lugar geológico con interés científico, cultural y/o educativo. El problema de esta definición es que el adjetivo cultural abarca casi todas las actividades realizadas por las sociedades humanas, incluyendo la ciencia y la educación. Como ejemplo del peso que puede llegar a tener el valor no científico dentro de los LIG nacionales puede ponerse la cascada de Nocedo, en el valle del río Curueño (León). Se trata de un lugar de escaso interés científico, pero que está próximo a una carretera y que ha sido adecuado para permitir el acceso incluso de personas con movilidad ligeramente reducida. Por este motivo, y por su gran espectacularidad, es muy visitada tanto por familias como por grupos organizados de turistas, así como por deportistas y senderistas.

Sin embargo, no todos los países aplican otros intereses, aparte del científico, a sus lugares nacionales de interés geológico. Por ejemplo, en Reino Unido, el equivalente de los LIG nacionales son los *Sites of Special Scientific Interest*

(SSSC) que, como su nombre indica, están solo valorados por su interés científico.

**Figura 11.** Salto de agua en la cascada de Nocedo. A pesar de su escaso valor científico, su espectacularidad, fácil acceso y rareza en la Cordillera Cantábrica han servido para que sea catalogada como lugar de interés geológico a nivel nacional. Fotografía de Rodrigo Castaño de Luis.



En cuanto a los LIG de categoría autonómica y provincial, la mayoría de las legislaciones autonómicas han desarrollado la Ley 42/2007 estableciendo tres intereses para sus LIG: científico, educativo y recreativo (o turístico), aunque en muchos casos, el científico sigue siendo el de mayor peso.

Pero el patrimonio geológico se trabaja también a nivel local, municipal e, incluso, restringido a un determinado territorio con una figura de protección o de desarrollo socioeconómico (parques nacionales y naturales, geoparques, reservas de la biosfera, etc.). En estos casos, los intereses que predominan suelen ser los “culturales”, centrados en aspectos turísticos o recreativos. Estos valores son interesantes porque permiten enlazar el patrimonio geológico actual con aquellas ideas y anhelos que estuvieron en los inicios del movimiento por la conservación de la naturaleza. También lo son porque, aunque no todos los elementos geológicos pueden ser considerados patrimonio geológico, todos ellos forman parte de la geodiversidad, y las administraciones locales pueden seleccionar aquellos que consideren más adecuados para impulsar políticas de desarrollo socioeconómico. Precisamente en esta idea está basada la figura de los geoparques, territorios con una geología más o menos vistosa y científicamente interesante, pero que, sobre todo, se utiliza como eje de un desarrollo socioeconómico local.



**Figura 12.** La divulgación geológica es uno de los aspectos que deben desarrollarse en los territorios catalogados como geoparques. En la fotografía, panel destinado a un público general en el Geoparque de Pirineos.

Por último, un aspecto muy importante a tener en cuenta al hablar del patrimonio geológico: la catalogación de un elemento como LIG, independientemente de la categoría que tenga, no asegura la preservación del lugar. Un triste ejemplo es la reciente destrucción (julio de 2015) del yacimiento silúrico de graptolitos de Salas de la Ribera. Este yacimiento estaba considerado como *global geosite*, e incluido dentro de los inventarios nacional (IELIG) y provincial de León (Fernández-Martínez y Fuertes-Gutiérrez, 2012). Además había sido propuesto como BIC (la ley de patrimonio histórico posibilita esta figura para los yacimientos paleontológicos) por más de un centenar de investigadores de todo el mundo. Sin embargo, unas obras totalmente prescindibles en la carretera adyacente han eliminado gran parte del yacimiento y sepultado lo que quedaba del mismo.



**Figura 13.** Juan Carlos Gutiérrez Marco, investigador del CSIC, en el yacimiento de graptolitos de Salas de la Ribera (Municipio de Puente de Domingo Flórez). El estar catalogado como *global geosite* e incluido en los inventarios nacional y provincial de León no ha impedido la pérdida del yacimiento por obras públicas.



### ¿Cómo se gestiona el patrimonio geológico?

Gestionar el patrimonio geológico consiste no sólo en conservar el elemento o lugar que tiene un valor especial, sino también en utilizar dicho valor. Para lograr estos objetivos se requiere un conjunto de acciones que suelen mostrarse de forma sencilla mediante un puzzle de cuatro piezas: inventarios, legislación, geoconservación y divulgación (Carcavilla, 2012). Si alguna de estas piezas falta, la gestión no puede ser completa y esta sólo será eficaz si las acciones se desarrollan en el orden de piezas indicado. Además, las piezas están en el aire, para indicar la conexión que mantienen con otros aspectos del trabajo medioambiental.

La primera pieza son los inventarios que nos indican qué recursos tenemos, dónde están, cómo son y por qué son importantes. La segunda es la legislación, ya que sin un marco legal que desarrolle acciones de conservación y difusión, estas no tienen valor. La tercera pieza es la geoconservación, es decir el conjunto de medidas concretas que van a permitir mantener el valor del lugar o del elemento seleccionado. Por último, la divulgación; esta acción es importante porque, como se ha dicho anteriormente, no se trata sólo de conservar el elemento sino de darle uso, un uso científico, educativo, recreativo, deportivo, etc.

Desgraciadamente, un somero análisis del estado de la gestión del patrimonio geológico en nuestro país nos indica que muy pocos lugares han completado estas acciones, pero se puede decir que el camino se ha iniciado ya en todas ellas.



**Figura 14.** Puzzle de cuatro piezas utilizado para mostrar las cuatro acciones integradas que aseguran una adecuada gestión del patrimonio geológico.

### Una apuesta para el futuro: el enfoque ecosistémico y sus implicaciones para la conservación

La geología nació como ciencia en la segunda mitad de siglo XIX, alentada por los inicios de una revolución industrial que requería combustibles fósiles, materias primas minerales y medios de transporte. Por proceder de este vínculo, el significado de *recurso geológico* está asociado de forma mayoritaria a la idea de “productividad”, de abastecimiento de materias, usualmente ligado, a su vez,

a un enriquecimiento económico. Esta visión del recurso geológico pervive en los libros de texto y en los despachos de muchas administraciones. Sin embargo, a nivel conceptual y científico, ha cambiado en las últimas dos décadas y, muy especialmente, tras la publicación de los resultados del Informe Evaluación del Milenio (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005) y de su adaptación a la gea (Gray, 2011; Gray *et al.*, 2013). Así, desde el punto de vista ecosistémico, los elementos geológicos pueden cumplir cuatro tipos diferentes de funciones:

- a) De abastecimiento. Es el caso de la extracción de materiales geológicos (minerales, rocas, combustibles fósiles, gemas, etc.), imprescindibles en la vida cotidiana de las sociedades humanas.
- b) De regulación. Se trata aquí de, por ejemplo, los procesos y materiales geológicos implicados en los ciclos biogeoquímicos, o de la capacidad que tienen los sustratos rocosos para filtrar el agua.
- c) De soporte. Entre ellos cabe destacar el sustrato geológico y el agua como apoyos imprescindibles para el desarrollo de la vida, o determinados tipos de roca como determinantes de la biodiversidad de un territorio.
- d) Culturales. Todos aquellos que proporcionan algún beneficio ligado a nuestro ser cultural: conocimiento científico, disfrute intelectual, sensorial o emocional, inspiración artística, conexión mística, reto deportivo, etc.

Es esta última función, la de proveedora de recursos requeridos por nuestra especie como grupo cultural (conocimiento, espiritualidad, disfrute estético, creación artística, etc.), la que entronca con los campistas de Yoho y los excursionistas de Guadarrama, y la que principalmente hemos abordado en este artículo.



**Figura 15.** El Manaslu, en el Himalaya nepalí, es una montaña sagrada para los habitantes de esta zona. El mero hecho de que un grupo humano la haya señalado como elemento de conexión mística es suficiente, desde el enfoque ecosistémico, para asegurar su conservación.

Es importante percibir el profundo cambio conceptual que supone la visión ecosistémica de cara a entender el futuro del patrimonio geológico. Uno de los rasgos de los elementos abióticos (excepto el agua) frente, por ejemplo, a los biológicos, es la incapacidad de renovación, al menos en el tiempo que dura una civilización humana. Esto quiere decir que, una vez canterada una montaña y convertida en cemento o árido la roca que la forma, tanto la montaña como la roca se han perdido para siempre. La consideración de la gea como recurso de abastecimiento pasaba por alto esta pérdida, aceptándola como un mal menor. Sin embargo, la nueva visión enfatiza el hecho de que esta montaña es soporte de una biodiversidad, de que las rocas forman parte del ciclos geoquímicos básicos en la fisiología del planeta, y de que ambas son susceptibles de proporcionar, por ejemplo, información científica y deleite estético. El problema está en que la desaparición del elemento geológico supone también la pérdida de lo que este aporta.

### **Colofón**

Ser conscientes de lo que perdemos cuando utilizamos los recursos geológicos como fuente de abastecimiento conduce a otro cambio en la concepción de la importancia de la gea y de la necesidad de su conservación. Nuestros campistas canadienses querían conservar determinados terrenos animados por el espíritu romántico que valoraba los paisajes por el deleite emocional y estético que proporcionan. Los excursionistas españoles enfatizaron, sin por ello renegar de este disfrute, los valores educativos y científicos de Guadarrama. Los científicos reunidos en Digne en 1991 buscaban preservar la información registrada en los elementos geológicos. El enfoque ecosistémico va más allá, al unir todas estas visiones y al considerar a la gea como parte integrante del sistema Tierra, una parte sin la cual el resto de los elementos del planeta no puede subsistir. La conclusión de esta visión no puede ser otra que la necesidad de conservar no sólo todos elementos que forman la Tierra, sino los procesos y relaciones que los transitan. Sólo así nuestra especie tendrá posibilidad de un futuro.

### **Bibliografía**

- Carcavilla Urquí, L. 2012. *Geoconservación*. Editorial Los libros de la catarata, colección Planeta Tierra, Madrid, 126 pp.
- Casado, S. 2014. La geología en los orígenes del conservacionismo español. *Enseñanza de las ciencias de la Tierra*, 22(1), 19-24.
- Díaz-Martínez, E., Salazar, A., García-Cortés, A. 2014. El patrimonio geológico en España. *Enseñanza de las ciencias de la Tierra*, 22(1), 25-37.

Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. 2005. ONU.  
<http://www.millenniumassessment.org/es/Index-2.html>. Consulta  
 05/02/2015.

Fernández-Martínez E. y Fuertes Gutiérrez I. (coords.) 2009. Lugares de Interés Geológico. León. Fundación Patrimonio Natural, Junta de Castilla y León. ISBN 987-84-692-5657-2. DVD.

Gray, M. 2011. Other nature: geodiversity and geosystem services. *Environmental Conservation*, 38 (3), 271-274.

Gray, M., Gordon, J.E., y Brown, E. 2013. Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists' Association* 124, 659-673.



Esperanza Fernández-Martínez es doctora en Geología por la Universidad de Oviedo y profesora titular de la Universidad de León, donde trabaja desde el año 1991. Especializada en Paleontología, su investigación básica se centra en estudiar los corales y arrecifes fósiles, analizando la forma en que registran los eventos globales. Paralelamente, y desde hace dos décadas, trabaja en temas de patrimonio geológico, realizando aportaciones conceptuales,

inventarios y propuestas de gestión, así como diversas publicaciones de divulgación. Es investigadora principal de GEOPAGE, el Grupo de investigación en geomorfología y patrimonio geológico de la Universidad de León.

## UNO DE LOS NUESTROS

### Paul Ehrlich: pionero de la quimioterapia

José M. Castro González<sup>1</sup>, Hilda Sandoval Hernández<sup>2</sup>

1. Dpto. de Biología Molecular, Área de Microbiología. Facultad de CC. Biológicas y Ambientales. Universidad de León. E-24071. León

2. IES Claudio Sánchez Albornoz. Avda. Mariano Andrés 1. 24008-León

1. [jm.castro@unileon.es](mailto:jm.castro@unileon.es); 2. [mhsanh@unileon.es](mailto:mhsanh@unileon.es)

Cien años después de su muerte, Paul Ehrlich es conocido fundamentalmente por los hallazgos relacionados con las técnicas de tinción que sentaron las bases de la quimioterapia. Sin embargo, sus aportaciones en los campos de la Microbiología, la Inmunología y las enfermedades infecciosas fueron impresionantes. Su investigación en quimioterapia se encaminó, tras un arduo trabajo, hacia la formulación del compuesto arsenical denominado Salvarsán, efectivo en el tratamiento contra la sífilis y utilizado durante la primera mitad del siglo XX hasta que fue sustituido por el antibiótico penicilina. Este avance representó el primer triunfo terapéutico sobre una enfermedad infecciosa en el hombre. El éxito de Ehrlich se debe, como él mismo manifestó, a la aplicación de las 4 *ges*: *geduld* (paciencia), *geschick* (capacidad), *glück* (suerte) y *geld* (dinero).

#### Introducción

Ehrlich nació el 14 de Marzo de 1854 en Strehlen, cerca de Breslau en Silesia (originalmente perteneciente al imperio prusiano, ahora en Polonia). Sus padres, de origen judío, fueron Ismar Ehrlich, un industrial, y Rosa Weigert, una mujer de enorme talento. Ehrlich comenzó sus estudios en Breslau (hoy Wroclaw). No fue un estudiante especialmente aplicado y le disgustaba sobremanera tener que realizar exámenes, aunque destacaba en matemáticas y latín. En la misma ciudad y a los 18 años comenzó, sin excesivo entusiasmo, sus estudios universitarios recibiendo un curso introductorio de ciencias naturales. Al parecer solía hacer novillos, algo que suplía con la lectura de libros. Los estudios continuaron durante tres semestres en la universidad recién fundada de Estrasburgo (Francia), ciudad determinante en el devenir de su futuro científico, así como en las universidades de Friburgo y Leipzig (Alemania), lugar éste último donde comenzó a realizar su trabajo independiente de investigación y donde presentó su tesis en 1878: *Beiträge zur Theorie und Praxis der histologischen Färbung*. La tesis recoge y clasifica los colorantes sintéticos más importantes y describe las anilinas y sus aplicaciones químicas, tecnológicas e histológicas, es decir como

Forma de mencionar este artículo: Castro, J.M., Sandoval, H. 2015, Paul Ehrlich: pionero de la quimioterapia. AmbioCiencias, 13, 83-95. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

agentes de tinción para diferenciar tejidos, poniendo por tanto en valor el significado de las tinciones en medicina.

### La importancia del contexto

Ehlich tuvo la enorme oportunidad de desenvolverse en un contexto privilegiado y se relacionó ya desde sus tiempos de estudiante de medicina con grandes personajes de la ciencia, confirmando la idea de que el entorno de trabajo y el espíritu crítico circundante suelen ser determinantes en el devenir de un investigador. Algunas pinceladas acerca de la relación personal o profesional que mantuvo ya desde temprano con alguno de ellos permiten tener una visión más certera en dicho contexto.

El bacteriólogo Karl Weigert, primo de Ehrlich y nueve años mayor, fue en 1871 el primero en teñir bacterias y demostrar su existencia en secciones tisulares. Este avance sería fundamental en el desarrollo posterior del trabajo de Robert Koch, así como del mismo Ehrlich, quien se refirió a él en el contexto de uno de sus trabajos monográficos, manifestando que contenía las directrices de trabajo que regirían el resto de su vida. Ambos mantendrían una relación de amistad y profesional duradera. Weigert mejoró ostensiblemente las técnicas de tinción histológicas; por este motivo se le asocia en el ámbito médico con la investigación en el cerebro y la médula espinal, y de aquí con la Neurología y la Psiquiatría, aunque su interés abarcó todo el ámbito de la Patología.

En la facultad de medicina de Breslau, Ehrlich trabajó con Rudolf Heidenhain (1834-1897) quién también tendría una gran influencia sobre él. Heidenhain fué nombrado *Herr Professor* muy joven. No deja de sorprender que fueran los estudiantes quienes primero se quejaron de su juventud con argumentos como: “uno no puede tener mucho respeto por la disciplina que puede ser representada por un profesor de 25 años de edad”. Lo cierto es que con su diligencia y competencia se ganó el respeto general convirtiéndose en uno de los miembros más ilustres. Entre otras contribuciones ideó un estómago artificial, mejorado más tarde por uno de sus alumnos más conocidos (mención aparte del propio



Weigert), Ivan P. Pavlov (1849-1936), personaje reconocido inmediatamente por cualquier estudiante de veterinaria, medicina o que sea simple aficionado a la fisiología.

**Figura 1.** Aspecto del laboratorio de Ehrlich repleto de libros y objetos diversos desordenados.

Julius Cohnheim (1839-1884), también maestro de Ehrlich en Breslau, fue muy popular y exitoso como profesor. Cohnheim fue discípulo de Rudolf L. Karl Virchow (1821-1902), a menudo reconocido como el padre de la patología moderna. Virchow no solo mantuvo una actitud de oposición a la idea de que las bacterias fueran agentes etiológicos de enfermedades, sino que también es conocida su falta de aceptación de la teoría de Darwin de la selección natural, argumentando su escasez de evidencias científicas; Virchow igualmente opinaba que el hombre de Neandertal (descubierto en 1856) habría sido un individuo más bien raquíptico y con deformidades craneales, en vez de precursor del hombre moderno con algunas características arcaicas. Cohnheim es un ejemplo representativo de los muchos discípulos bien formados que complementan, modifican o mejoran las ideas de sus maestros; así, entre sus contribuciones está la teoría que lleva su nombre y que proclama que la migración de los leucocitos o diapédesis es carácter esencial de la inflamación, idea revolucionaria en patología y con la que corrigió a su maestro que la rechazaba.

El médico anatomista alemán Wilhelm von Waldeyer-Hartz (1836-1921) impresionó a Ehrlich durante su periodo en Estrasburgo. Fue conocido por ser quien asignó el nombre de neurona a la célula nerviosa, basándose en buena parte en los descubrimientos de Santiago Ramón y Cajal. También estudió los filamentos basófilos teñidos constituyentes de la cromatina, el material presente en el núcleo; el significado de este material permanecía aún por ser descubierto para la biología celular, acuñando en 1888 el término cromosoma para describirlos (nótese la alusión en el nombre nuevamente a sus características tintoriales). Waldeyer observó las muchas horas extra que Ehrlich, aquel alumno carente en esos momentos de conocimientos formales de química, dedicaba a la realización de preparaciones histológicas con colorantes de anilina y que mejoraba con aportaciones propias. La relación entre ambos se convertiría en una amistad perdurable.

Otro profesor de la universidad de Estrasburgo fue Ferdinand J. Cohn (1828-1898) que estimuló a Ehrlich a usar colorantes en sus investigaciones (¡otra vez los colorantes!), y con quien realizaría conjuntamente diversas preparaciones histológicas. Cohn fundó en 1866 el primer instituto conocido de fisiología vegetal, aunque se dedicaría al estudio y clasificación de las bacterias; pero su bien merecida fama se debe al descubrimiento de las endosporas bacterianas, auténticas formas de resistencia frente a condiciones ambientales adversas, desentrañando junto con Louis Pasteur y John Tyndall algunos famosos equívocos históricos relacionados con la generación espontánea. Cohn analizó la etio-

logía bacteriana de diversas enfermedades infecciosas y colaboró con Robert Koch en la preparación del tratado sobre el carbunco, enfermedad muy conocida y desde luego de triste actualidad como agente de guerra biológica (ántrax).

Friedrich von Frerichs (1819-1885) fue también profesor de Ehrlich y muy conocido por su investigación sobre el riñón y el hígado, así como su investigación pionera sobre la esclerosis múltiple. También tuvo como alumno, entre otros, a Paul Langerhans (1847-1888), quien seguro no pasará tampoco desapercibido para el lector. Langerhans ya trató sobre el tema de las células pancreáticas productoras de insulina en su tesis doctoral. Von Frerichs nombró a Ehrlich asistente en su clínica en Berlín, cargo que ocuparía entre 1878 y 1887. Ehrlich aplicó las técnicas de su maestro a la hematología en tinciones de preparaciones secas de sangre comprobando la existencia de diversidad morfológica, ya que unas células tenían afinidad por colorantes básicos mientras que otras mostraban dicha afinidad por los ácidos o por los neutros. Este hallazgo tuvo una rápida aplicación en el campo clínico ya que permitió, por ejemplo, clasificar los glóbulos blancos en linfocitos y mielocitos o leucocitos en sentido estricto, y éstos en neutrófilos, basófilos y eosinófilos. Ehrlich descubrió asimismo los mastocitos o células cebadas, que tienen un papel fundamental en los procesos inflamatorios. Estos trabajos le permitieron adentrarse en el estudio de enfermedades de la sangre como la leucemia, la leucocitosis, la linfocitosis o la eosinofilia. Esta etapa fue muy fructífera a efectos de publicaciones científicas.

### **El entorno científico. Contribuciones de Paul Ehrlich**

El 24 de marzo de 1882 Ehrlich fue uno de los médicos que asistió a la conferencia de Robert Koch sobre la tuberculosis en la que comunicó el descubrimiento de su agente causal; Ehrlich manifestaría a propósito: “la noche está en mi memoria como mi mayor experiencia científica”. Al finalizar le solicitó un cultivo para intentar teñir la bacteria. Con este objetivo usó el colorante fucsina ácida, publicando el método que modificado introdujeron después Franz Ziehl (1859-1926) y Friedrich Neelsen (1854-1894). La tinción Ziehl-Neelsen o de la ácido-alcohol resistencia es hoy en día el procedimiento de tinción de elección para las micobacterias. El mismo Koch reconocería poco más tarde el valor de la tinción de Ehrlich en el diagnóstico de la tuberculosis, pero también sirvió de base en el desarrollo de la tinción más popular en microbiología, la tinción de Gram. Durante esta etapa Paul Ehrlich estudió además la llamada diazoreacción para diagnosticar la fiebre tifoidea, que demostraba la presencia de urobilinógeno en la orina.



Paul Ehrlich se casó en 1883 con Hedwig Pinkus, de 19 años de edad e hija de un próspero industrial textil. Un año más tarde fue nombrado profesor titular y, en 1885, realizó su *habilitationsschrift* (lectura de habilitación) titulada: “*Das Sauerstoffbedürfnis des Organismus. Eine farben analytische Studie*”, en relación con los requerimientos de oxígeno de los organismos. Ehrlich puso de manifiesto otras observaciones destacadas como que la barrera hematoencefálica impedía que el cerebro tomara los colorantes vitales. Publicó varios trabajos de carácter farmacológico sobre el azul de metileno, el yodo, el alcaloide sintético 'thallin' y la cocaína.

A la muerte de von Frerichs en 1887, su sucesor Gerhardt encargó a Ehrlich realizar práctica clínica, lo que le disgustó y provocó el abandono del hospital de la Charité. A continuación se cualificó como privatdozent de la Facultad de Medicina de la Universidad de Berlín con la habilitación previamente conseguida. Ehrlich enfermó poco más tarde de tuberculosis contraída en el laboratorio y auto diagnosticada a partir de una muestra de esputo. Se desplazó a Egipto con la intención de recuperarse y regresó dos años más tarde reiniciando su trabajo en un laboratorio montado en su propio domicilio, el cual fue sufragado por su suegro.

En 1890 Robert Koch, a la sazón director del recién establecido *Institut für Infektionskrankheiten* (instituto para el estudio de las enfermedades infecciosas), le encargó supervisar la unidad de tuberculosis del Hospital Moabit de Berlín para que investigara el tratamiento de la enfermedad con la tuberculina. Su trabajo demostró la ineficacia de la tuberculina, si bien apuntó la posibilidad de que pudiera ser usada como técnica de diagnóstico. En estos años Ehrlich publicó sus primeras aportaciones en relación con venenos obtenidos de plantas como la ricina, que demostraban que usando dosis pequeñas, repetidas y crecientes se inducía la producción de títulos altos de antitoxinas, así como que la inmunidad que inducían era específica, de larga duración y que aparecía antes de una semana. En una de las aportaciones aparece el término *antikörper* (anticuerpo), pero además se definen las bases del procedimiento de obtención de la antitoxina diftérica, realiza estudios sobre la inmunidad del neonato y pone de manifiesto la importancia de la lactancia materna, demostrando que durante ese periodo de vida las antitoxinas resisten a la digestión. Por lo tanto es en este periodo cuando comenzó a trabajar en un nuevo campo, la inmunidad. Se sabía ya que las bacterias producían toxinas y que el organismo se defendía produciendo antitoxinas. Ehrlich estudió el fenómeno y las leyes científicas por las que se regía.

Ehrlich también trabajó en este periodo con tinciones de tejidos vivos observando que el azul de metileno, un colorante sintético de carácter básico, no era venenoso a dosis relativamente bajas y que era incorporado por los tejidos mostrando el lugar del organismo donde se absorbe y expulsa oxígeno; en otras palabras, estaba haciendo perceptibles procesos vitales utilizando métodos histoquímicos. Se demostraba así que los colorantes tenían apetencias específicas y que de este modo podrían potencialmente utilizarse con fines terapéuticos, es decir surge el concepto de toxicidad selectiva y por lo tanto es aquí donde se encuentra el germen de la quimioterapia. Ehrlich usó el azul de metileno para teñir las terminaciones nerviosas y los plasmodios (parásitos del género *Plasmodium*, algunas de cuyas especies son responsables de la malaria o paludismo humano). El colorante no era tóxico para el organismo pero mataba los plasmodios.

Koch nombró a Ehrlich en 1891 “asistente no remunerado” del ya mencionado Instituto de Enfermedades Infecciosas en el que, por su origen judío, no pudo ocupar ningún puesto de responsabilidad. En esta época la difteria golpeaba duramente a la población, particularmente infantil, en la que producía una elevada mortalidad. En estos años fue cuando su amigo y colega Emil A. von Behring (1854-1917) descubrió la antitoxina del tétanos (1890), junto con el bacteriólogo japonés Shibasaburo Kitasato (sí, el lector avisado ha adivinado que Kitasato es el nombre, asignado en su honor, de un tipo de matraz). Poco después von Behring hizo públicos los resultados de su trabajo sobre la aplicación del suero contra la difteria, en relación con la cual demostraba que el poder de resistencia a la enfermedad no reside en las células del cuerpo, sino en el suero sanguíneo libre de células; por este trabajo obtuvo el primer Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1901. Gracias a las aportaciones de Ehrlich, von Behring pudo disponer de suero antidiftérico normalizado y con título alto (alta concentración de anticuerpos). Lo curioso de la historia es que von Behring aconsejó a su amigo que renunciara a los derechos de comercialización del suero, pues de este modo podría conseguir una cátedra y la dirección de un laboratorio estatal, algo que no se cumplió y que sería el motivo de una futura y perdurable enemistad.

A finales de 1896 Ehrlich fue nombrado director del Instituto para la investigación y evaluación del suero (*Institut für Serumforschung und Serumprüfung*) en Steglitz, un barrio periférico de Berlín; en realidad se trataba de una nueva especialidad o rama del instituto de enfermedades infecciosas de Koch, establecida para cubrir el área de especialización de Ehrlich. En 1899 el instituto se desplazó a Frankfurt (Main) y se rebautizó como Instituto de Terapia Experimental (*Institut für experimentelle therapie*).

Uno de los colaboradores más relevantes de Ehrlich en esta etapa fue Max Neisser, médico y bacteriólogo alemán (1869-1938) que investigó propiedades y características relevantes de diversos grupos de microorganismos, y a quien el observador avisado reconocerá en un epónimo, la tinción de Neisser, método que revela la presencia de gránulos metacromáticos o de polifosfato, característica presente en determinadas bacterias gram positivas. Esta tinción tiene especial importancia en el diagnóstico del agente de la difteria *Corynebacterium diphtheriae*. No debe confundirse el nombre con el de Albert (su tío), que había sido compañero de clase de Ehrlich en Breslau, y también científico reconocido por ser el descubridor del agente de la enfermedad sexual conocida como gonorrea, y en cuyo honor el agente causal sería llamado (sí, se adivina nuevamente), *Neisseria gonorrhoeae*.

Ehrlich continuó sus estudios (entre 1899 y 1904) sobre la constitución de la toxina diftérica y su acción tóxica y es en estos momentos cuando aparece en una famosa publicación sobre la normalización del suero antidiftérico y cuando esboza la teoría de las cadenas laterales aplicada a la inmunología. Ehrlich distinguió la existencia en la toxina de un grupo *haptóforo* implicado en la unión y otro *toxóforo* implicado en el efecto tóxico, pero también un núcleo estable en la molécula de tipo *proteico* presente en el suero sanguíneo y una serie de *cadena laterales* inestables y quimiorreceptoras, de unión al grupo *haptóforo*, de modo similar a la especificidad que hay entre una “llave y su cerradura” (metáfora de Emil Fischer).

La teoría, aunque posteriormente modificada y ampliada, no ha perdido vigencia. La teoría de la inmunidad establece que las células tienen en su superficie moléculas receptoras específicas o *cadena laterales* que se unen a determinados grupos químicos de las moléculas de toxina; si las células sobreviven a esta unión, se produce una cantidad incrementada de dichas cadenas, algunas de las cuales son liberadas a la sangre en forma de antitoxinas circulantes (lo que hoy llamamos anticuerpos). Ehrlich también introdujo el término de «toxoides», o toxina que ha perdido su toxicidad y que mantiene la antigenicidad, y comunicó en 1898 el descubrimiento de la tetanolisina, toxina producida por el bacilo del tétanos.

La teoría de las cadenas laterales tenía muchos detractores que no reconocían la naturaleza exclusivamente química de la toxina diftérica y la antitoxina; probablemente el más conocido de los cuales fuera Svante August Arrhenius (1859-1927), quien es en realidad más conocido por su teoría de las disoluciones electrolíticas en la que afirmaba que los compuestos químicos disueltos se diso-

cian en iones. Curiosamente tampoco Arrhenius se libró a su vez de las críticas en relación con su teoría electrolítica y que provocaron, entre otras consecuencias, que se aceptara la defensa de su tesis doctoral con una calificación mínima. Sin embargo dicha teoría sería el motivo principal de la concesión del premio Nobel de química (1903). Arrhenius también se interesó por el origen de la vida, que consideraba una característica universal y no sólo propia de la Tierra, y además formuló la hipótesis de la "panspermia" según la cual los gérmenes de la vida están extendidos por todo el universo desarrollándose cuando encontraran condiciones adecuadas. Finalmente seguro despertará la curiosidad del lector el hecho de que fue quien afirmó, ¡en 1896!, que los combustibles fósiles podrían acelerar el calentamiento de la tierra.

Ehrlich tuvo, aunque menos, algunos defensores de su teoría; por ejemplo August P. von Wassermann (1866-1925), conocido por desarrollar un test serológico bastante popular de fijación del complemento para el diagnóstico de la sífilis, afirmó que no hubiera podido desarrollar la reacción que lleva su nombre sin las ideas de Ehrlich sobre la formación de los anticuerpos.

Hacia 1905 el interés de Ehrlich por la inmunidad decayó y su interés se retrotrajo a los tiempos del hospital de la Charité; se reencontró con la quimioterapia antiinfecciosa. Frankfurt marcó el comienzo de una investigación sistemática, que comenzó, como no, con el empleo de colorantes. Su investigación se basaba en la esperanza de encontrar uno que matara los microorganismos y no dañara a las células del organismo. De este modo pasó a primer plano su investigación sobre la tripanosomiasis. Se trataba de encontrar un colorante activo contra los microorganismos pero que no produjera daños en el organismo. Con Ehrlich trabajó, entre otros, un antiguo discípulo de Kitasato, Kiyoshi Shiga (1871-1957), conocido bacteriólogo japonés que describió el género bacteriano *Shigella* e identificó la especie *Shigella dysenteriae* agente causante de la disentería bacteriana. Demostraron que el colorante rojo tripán era eficaz en el tratamiento de la tripanosomiasis experimental de ratón (o "mal de caderas"); sin embargo su eficacia no era tal en mamíferos de mayor tamaño. Los resultados fueron relativamente decepcionantes y Ehrlich manifestaría más tarde a sus colaboradores que aunque sus cinco años de investigación sobre tripanosomiasis no habían producido ningún resultado útil, habían ampliado su conocimiento sobre los protozoos.

En 1906 Ehrlich se hizo cargo también como director de la *Georg Speyer Haus für Chemotherapie* en Frankfurt, un instituto privado de investigación que fue construido y dotado inicialmente con fondos provistos fundamentalmente

por la viuda del banquero de origen judío Georg Speyer, siguiendo la voluntad de éste. Este instituto de quimioterapia constaba de las secciones de química y biología, y estaba afiliado de hecho con el Instituto de Terapia Experimental, muy cercano físicamente. Tras comenzar su andadura, el objetivo era que se autofinanciara mediante el retorno de una parte de los beneficios conseguidos con las patentes, y que otra parte se destinara a los empleados, incluido el propio Ehrlich, en este caso con una parte no revelada pero presumiblemente relevante. Una parte de la dotación inicial así como el material utilizado en las investigaciones eran suministrados por las empresas Hoechst y Casella, que tenían a cambio derecho de veto sobre cualquier patente que fuera comercializable, pero sin embargo la elección de los temas de investigación eran prerrogativa de Ehrlich y sus colaboradores.

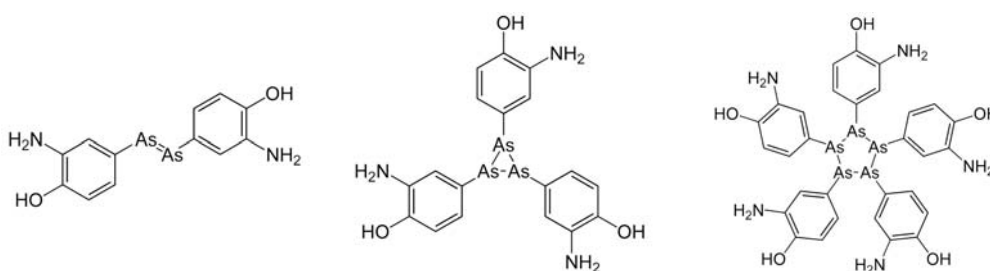
### **El Salvarsán o compuesto “606”**

Ehrlich disponía ahora de las mejores fuentes de la industria química sintética y de un equipo pluridisciplinar que incluía patólogos, biólogos, químicos, bacteriólogos, y químicos orgánicos, y sus esfuerzos se centraron en los compuestos arsenicales con el objetivo de encontrar la bala mágica (como él la llamaba) contra la espiroqueta causante de la sífilis. Se basaron en las aportaciones de Anton Breinl y H. Wolferstan Thomas de la Universidad de Liverpool sobre compuestos arsenicales. Estos dos investigadores habían producido un compuesto orgánico de arsénico pentavalente (Atoxyl, nombre proporcionado por el fabricante en referencia a su pretendida falta de toxicidad), que había sido usado en el tratamiento de la tripanosomiasis. Ehrlich estaba convencido de que el arsénico era clave para curar la enfermedad venérea causada por el agente etiológico *Treponema pallidum*, que había sido descubierto recientemente.

Ehrlich y colaboradores se dedicaron a convertir el atoxil, una sustancia parasitotropa, en un tóxico bactericida que tuviera escasa o nula repercusión para el hospedador. Por un lado se estableció la verdadera fórmula del atoxil como aminoderivado del ácido fenilarsénico y por otro se sintetizaron literalmente centenares de compuestos arsenicales, entre ellos por ejemplo el derivado acetilado denominado arsacetina, compuesto activo frente al treponema pero abandonado por ocasionar lesiones en el nervio óptico. La arsacetina no era activa contra el tripanosoma *in vitro* y Ehrlich teorizó que administrado *in vivo* o bien despertaba defensas contra el agente en el organismo o bien se convertía en él en un compuesto activo. En 1910 se buscaron derivados en cuya molécula existieran grupos hidroxílicos asociados al arsenobenzol, entre ellos se encontraba el dioxi-

diamidoarsenobenzol (o arsfenamina) que poseía propiedades parasitotropas y no organotropas; este compuesto, que hacía el orden de prueba “606”, también fue bautizado con el nombre de Salvarsán (arsénico que salva, del latín *salvare*: salvar y del alemán arsen: arsénico). El nuevo compuesto resultó ser eficaz, curando la enfermedad y sin ser tóxico (aparentemente) para el paciente; algunos de los 605 compuestos probados anteriormente habían mostrado indicios prometedores pero también morían demasiados ratones. El '606' fue dado a conocer por Ehrlich en abril de 1910, en Wiesbaden, en el 27 Congreso Alemán de Medicina Interna.

No hay que olvidar la contribución de un nuevo discípulo que en 1909 Kitasato había recomendado a Ehrlich, Sahachiro Hata (1873-1938), especialista en la infección experimental por *Treponema pallidum* en conejos y que había estudiado la eficacia de los derivados del Atoxyl. Tampoco sería apropiado olvidar a Alfred Bertheim (1879-1914), un químico orgánico que había comenzado a trabajar con Ehrlich en 1906 en Georg-Speyer-Haus, que elucidó la estructura del atoxyl y sintetizó innumerables derivados, incluida la arsfenamina.



**Figura 2.** Estructura del salvarsán tal y como la propuso Ehrlich. En 2005 se ha dilucidado que la verdadera estructura no corresponde en realidad a un dímero sino a una mezcla de trímero y pentámero (Lloyd *et al.*, 2005).

La andadura del nuevo medicamento no fue, al principio, un camino de rosas. La empresa Farbwerke-Hoechst distribuyó gratuitamente 65.000 unidades entre la clase médica. En ocasiones se observaban efectos secundarios que justificaron que se sustituyera unos años más tarde por el compuesto “914” o Neosalvarsán, más soluble, fácil de usar y que no perdía eficacia. Este conjunto de trabajos significó su gloria y el comienzo de una fase revolucionaria para la terapéutica. El Salvarsán y el Neosalvarsán continuaron siendo ampliamente usados en Europa. Si bien estuvieron lejos de ser la bala mágica que hubiera sido deseable, fueron fundamentales hasta que se reemplazaron en poco tiempo por la penicilina (finales de los años 40). Su uso se extendió incluso más tarde en otros lugares donde la penicilina no era fácilmente disponible o tenía un precio

desorbitado.

La primera gran guerra dejó a Ehrlich muy afectado, interrumpiendo la actividad científica y cortando las relaciones con otros científicos. En 1915 se encontraba física y mentalmente exhausto y falleció de un derrame cerebral el 20 de agosto de 1915 en la ciudad Alemana de Bad Homburg. Fue enterrado en el cementerio judío de Frankfurt.

El nombre de Ehrlich se convertiría en familiar en todo el mundo y desde luego en cada hogar alemán hasta el momento en el que más tarde los nazis llegaron al poder, persiguiendo a su viuda y confiscando sus propiedades.

Las aportaciones de Ehrlich fueron fundamentales no solamente en la quimioterapia antimicrobiana sino también en la Microbiología, la Inmunología y las enfermedades infecciosas. Cuando Ehrlich fue preguntado por la idea que consideraba había dirigido su vida científica, indicó que cuando tenía 20 años y estaba esperando en el laboratorio de Weigert observó una preparación histológica al microscopio teñida de azul y rojo. Aunque en aquel momento Ehrlich no tenía conocimientos de histología, le impactó que algunas partes de la célula se teñían de rojo y otras de azul. Esta observación y significado de la “afinidad diferencial” le encaminaría en todos sus estudios posteriores sobre afinidad de los compuestos químicos.



**Figura 3.** Billeto de doscientos marcos alemanes (1996) con la imagen de Paul Ehrlich.

### Bibliografía

- Androutsos, G. 2004. Paul Ehrlich (1854-1915): Founder of chemotherapy and pioneer of haematology, immunology and oncology. *Journal of BUON*. 9:485-91.
- Bosch, F., Rosich, L. 2008. The contributions of Paul Ehrlich to Pharmacology: A tribute on the occasion of the centenary of his Nobel Prize. *Pharmacology*. 82:171-9.

- Calvo, A. 2006. Ehrlich y el concepto de "bala mágica". *Revista Española de Quimioterapia*. 19: 90-2.
- Chuaire, L., Cediell, J.F. 2008. Paul Ehrlich: de las balas mágicas a la quimioterapia. *Colombia Médica*. 39:291-5.
- Crivellato, E., Beltrami, C., Mallardi, F., Ribatti, D. 2003. Paul Ehrlich's doctoral thesis: A milestone in the study of mast cells. *British Journal of Haematology*. 123:19-21.
- De Kruif, P. 2006. *Cazadores de microbios*. México: Editorial Porrúa.
- Drews, J. 2004. Paul Ehrlich: Magister mundi. *Nature Reviews Drug Discovery*. 3: 797-801.
- Ehrlich P. 1956. *The collected papers of Paul Ehrlich*. En: Himmelweite F, Marquardt M, Dale H, editores. Nueva York: Pergamon Press.
- García Sánchez, J.E., Lucila Merino, M. 2010. Cien años de la bala mágica del Dr. Ehrlich (1909-2009). *Enfermedades infecciosas y microbiología clínica*. 28(8): 521-533.
- Gensini, G.F., Conti, A.A., Lippi, D. 2007. The contributions of Paul Ehrlich to infectious disease. *Journal of Infection*. 54:221-4.
- Lloyd, N.C., Morgan, H.W., Nicholson, B.K., Ronimus, R.S. 2005. The composition of Ehrlich's salvarsan: resolution of a century-old debate. *Angewandte Chemie International Edition England*. 28; 44(6):941-4.
- Marquardt, M. 1954. Paul Ehrlich. Some reminiscences. *British Medical Journal*. 1: 665-7.
- Pamo Reyna, O. 2004. A propósito de los 150 años del nacimiento de Paul Ehrlich. Paul Ehrlich: de las tinciones a las balas mágicas. *Anales Real Academia de Medicina (Perú)*. 108-16.
- Paul Ehrlich: His life and achievements. 2007. En: The Paul Ehrlich Foundation. Dirmstein: Press office of the Paul Ehrlich Foundation. p. 8-13.
- Paul Ehrlich. Biography. Nobelprize.com. Consultado en septiembre de 2015. <http://nobelprize.org/medicine/laureates/1908/ehrlich-bio.html>
- Publikationsliste Paul Ehrlich. Consultado en septiembre de 2015: [http://www.pei.de/cln\\_115/nn\\_157280/DE/institut/paul-ehrlich/paul-ehrlich-publicationen.html](http://www.pei.de/cln_115/nn_157280/DE/institut/paul-ehrlich/paul-ehrlich-publicationen.html).
- Rubin, L.P. 1980. Styles in scientific explanation: Paul Ehrlich and Svante Arrhenius on Immunochemistry. *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences*. 35(4):397-25.
- Sakula, A. 1982. Robert Koch: Centenary of the discovery of the tubercle bacillus, 1882. *Thorax*. 37: 246-51.



Winau, F., Westphal, O., Winau, R. 2004. Paul Ehrlich-in search of the magic bullet. *Microbes and Infection*. 6:786–9.

Witkop, B. 1999. Paul Ehrlich and his Magic bullets-revisited. *Proceedings of the American Philosophical Society*. 143(4), 540-57.

Hilda Sandoval realizó su doctorado en Biología por la universidad de León como becaria del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT), del Ministerio de Asuntos Exteriores y del Instituto de Cooperación Iberoamericana. Ha sido investigadora contratada en las universidades de Georgetown y Temple en los Estados Unidos, Investigadora contratada del CSIC, técnico de la



Oficina de transferencia de resultados de la investigación (OTRI) y Profesora Asociada de Universidad. Actualmente es profesora del programa bilingüe de enseñanza de Biología en inglés de secundaria.

José M<sup>a</sup> Castro es Dr. en Veterinaria por la universidad de León y Premio Nacional Fin de Carrera. Ha sido investigador postdoctoral Fulbright en los Estados Unidos y Jefe de investigación de la Cía. Española de Penicilina y Antibióticos (CEPA, Aranjuez). También ha sido profesor visitante en el Dpto. de Biología

Molecular de la facultad de Medicina de la Universidad de Harvard. Actualmente es investigador del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTAL) y Profesor Titular de Microbiología. Ha sido secretario de la comisión gestora que creó la Sociedad Española de Biotecnología (SEBIOT).

Tanto la Dra. Sandoval como el Dr. Castro poseen una dilatada experiencia de investigación pluridisciplinar en procesos microbianos y alimentarios centrada, principalmente, en diversos grupos de bacterias gram positivas de interés biotecnológico como estreptomicetos, bacterias lácticas y corinebacterias.

## AMBIÓLOGOS DE AQUÍ

### Gestión de empresas biotecnológicas con un enfoque internacional

Marcos José Fernández Fernández

Todo comenzó un mes de julio, allá por 2003. Cogí el bus desde Ponferrada hasta Aranjuez para asistir a un curso de verano sobre Astrobiología. Durante una charla sobre extremófilos y la Hipótesis del Mundo RNA, quedé profundamente impresionado; no sólo por el gran nivel académico de las ponencias, sino por las increíbles potenciales aplicaciones industriales que podrían tener a la larga todos estos conceptos, en principio meramente teóricos. ¿Existe una ciencia que permita desarrollar todas estas grandes ideas y llevarlas hasta realidades que reviertan en el beneficio de la sociedad?: La Biotecnología.

Consulté a varias personas si había alguna posibilidad de estudiar esta carrera. La gran mayoría me recomendó estudiar ciencias biológicas, químicas o medicina, y más tarde especializarme en biotecnología. No estaba dispuesto a ir por el camino establecido, quería ir directamente al grano, estudiar la Licenciatura en Biotecnología. Allá por 2004, con los resultados de selectividad en la mano comenzó la búsqueda, y el destino me sonrió, la primera promoción de Biotecnología empezaría las clases en León en Septiembre de ese mismo año.

Durante la carrera mi atención estuvo en las aplicaciones, en cómo llevar a la práctica todo lo que estábamos aprendiendo. Semestre a semestre se fue forjando la idea de que el biotecnólogo debía pensar en solucionar problemas complejos de manera multidisciplinar y con un enfoque práctico. Sobre la multidisciplinaridad; darse a conocer, aprender a trabajar en equipo y establecer contactos con otros estudiantes y profesionales se antoja fundamental. En cuanto al enfoque; intentar comprender qué hay más allá de lo meramente académico y explorar cuál es la realidad productiva de la industria de las ciencias biológicas.

Tuve la gran suerte de coincidir con compañeros de promoción con las mismas motivaciones. Juntos decidimos asociarnos y constituir ABLE, y más tarde FEBiotech, de las que fui vicepresidente y presidente fundador respectivamente. Gracias a estos dos movimientos estudiantiles, muchos compañeros pudimos conocer de primera mano nuevas realidades, acercarnos a la industria

Forma de mencionar este artículo: Fernández, M.J., 2015, Gestión de empresas biotecnológicas con un enfoque internacional. AmbioCiencias, 13, 96-99. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

biotecnológica y descubrir alternativas profesionales que de otra manera no nos hubiéramos podido ni plantear. Un honor en aquella época fue también ser miembro electo del Consejo de Gobierno de la Universidad de León y Delegado de Centro de la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, lo que me permitió estar en contacto con las inquietudes de otros compañeros, aprender a escuchar y a tomar decisiones.

Después de los estudios de Biotecnología decidí trasladarme a Madrid para cursar un MBA centrado en el sector biotecnológico. En él aprendimos conceptos básicos de finanzas, gestión de empresas y especialmente gestión de la innovación. Precisamente, en este último campo, que me apasionó durante el máster, apareció mi primer trabajo a tiempo completo como Técnico de la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) del Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares (CNIC). Desde la OTRI nos encargábamos de poner al servicio de los investigadores del Centro las herramientas necesarias para que sus invenciones pudieran llegar a ser protegidas adecuadamente. A su vez hacíamos de nexo con la industria para la comercialización los resultados de investigación y la búsqueda activa de colaboraciones para su desarrollo.

Más adelante en el CNIC surgió una plaza para trabajar como gestor de proyectos Europeos. En ese trabajo, gestioné un proyecto FP7 (Actualmente Horizon 2020) en el área de la medicina translacional. Me dediqué a consolidar resultados de investigación de una decena de socios repartidos por toda Europa con el objetivo de maximizar el presupuesto que la Unión Europea nos había concedido. El objetivo era desarrollar una nueva terapia celular para tratar infartos agudos de miocardio que pudiera ser explotada comercialmente por una PYME Europea.

Me sentí muy cómodo gestionando este proyecto con gente de toda Europa, lo que me motivó para solicitar una de las becas de internacionalización del Instituto de Comercio Exterior (ICEX) para cursar su Máster en Comercio Exterior y Gestión Internacional de la Empresa. Nos presentamos cerca de 6500 candidatos al proceso de selección, del que sólo se eligieron 250. Una oportunidad así, no pude dejarla escapar. Hice un gran esfuerzo para compatibilizarlo con el trabajo y creo que fue una de las mejores decisiones académicas que he tomado hasta ahora.

Al finalizar el máster ya había pasado por la Universidad, había visto la investigación básica durante periodos de prácticas mientras era estudiante, la investigación translacional, la protección de la propiedad industrial, su gestión y explotación gracias a mis primeros trabajos, había estudiado cómo crear una

empresa, gestionarla, financiarla, e internacionalizarla gracias a los másteres. Todavía faltaba una pieza en el puzzle: ¡no había trabajado aún en una empresa privada!

Decidí a mediados de 2011 hacer la maleta e irme a Alemania para tener una experiencia internacional en industria. Escogí para ello una empresa mediana, en la que pudiera “tocar” varias áreas. Empecé en R-Biopharm Group en su programa de Trainee para postgraduados y doctorados. En esta posición, a través de tres etapas se trabaja en diferentes áreas (tales como I+D, producción, logística, marketing, ventas, servicio post venta, etc.), llegando a conocer prácticamente la totalidad de la estructura de la empresa y sus filiales. Se me asignó como proyecto principal educarme para la creación de una “joint venture” (empresa conjunta con capital local y extranjero) para la producción de tests de ELISA en Shenzhen (provincia de Cantón, sur de China). Después de varios viajes para conocer la zona, a los inversores y preparar las fases preliminares del proyecto, finalmente me mudé a China a finales de 2012 para desempeñar el cargo de vicepresidente de finanzas y tecnología en esta nueva empresa Hope Sino (Shenzhen) Biotech Ltd.



**Figura 1.** M.J. Fernández a principios de 2013 en la sede de la empresa china Hope Sino Biotech. Shenzhen, China.

A finales de 2013, aprovechando lo aprendido de la experiencia en China, comencé como Director de Desarrollo de Negocio para China. Desarrollo actualmente varios proyectos en el área del diagnóstico clínico, búsqueda de socios tecnológicos, creación de nuevas estrategias para abordar el mercado chino, y puntualmente, otros mercados y gestión de “OEM” (fabricantes de equipos originales). A modo de ejemplo, una colaboración “OEM” permite asociar puntualmente a una empresa de producción de reactivos con otras de fabricación de instrumentos para el desarrollo y producción de una máquina específica, y el software necesario, para la utilización de test de diagnóstico, nuevos o ya existentes, en nuevos formatos.



**Figura 2.** M.J. Fernández durante la feria ArabHealth 2015 firmando un contrato de distribución. Dubai, Emiratos Árabes Reunidos.

A finales de 2015 comenzaré una nueva etapa, de vuelta en Europa como Director de Adquisiciones e Integración del grupo R-Biopharm. El nuevo rol consistirá en evaluar y, más adelante, facilitar la integración de nuevas empresas dentro del grupo.

Cada uno tiene su camino. Si no existe todavía, seguramente se puede crear.

## MI PROYECTO DE TESIS

### Efectos de la recurrencia y severidad en la recuperación de ecosistemas propensos al fuego

Víctor Fernández García

Área de Ecología. Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental. Universidad de León

[vferg@unileon.es](mailto:vferg@unileon.es)

Los incendios forestales son una de las principales causas de alteración medioambiental en los países mediterráneos, y tienen graves repercusiones en la calidad de vida y en aspectos socioeconómicos de las poblaciones que mantienen un vínculo con el aprovechamiento de los ecosistemas forestales.

En el momento actual, uno de los grandes retos en relación con la problemática de los incendios forestales es identificar herramientas que ayuden a planificar actuaciones de gestión post-incendio. Con esta finalidad, desde el Área de Ecología de la Universidad de León se están llevando a cabo los siguientes proyectos: “Herramientas multiescala para la gestión post-incendio de ecosistemas forestales propensos al fuego en el contexto de cambio global” financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y “Herramientas para la gestión post-incendio de los ecosistemas propensos al fuego en Castilla y León. El caso particular de la Sierra del Teleno” financiado por la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León. En el marco de ambos proyectos se está desarrollando mi Proyecto de Tesis, cuyo objetivo principal es determinar los efectos de la recurrencia y de la severidad en la recuperación de ecosistemas propensos al fuego, permitiendo así establecer las bases científicas para una gestión forestal más eficiente.



Como ecosistema modelo para el desarrollo de la Tesis se han seleccionado los pinares de *Pinus pinaster* de la Sierra del Teleno, donde la historia reciente de incendios, y concretamente el gran incendio ocurrido en 2012 ofrecen un escenario adecuado para la investigación.

**Figura 1.** El doctorando en la zona de estudio.

Forma de mencionar este artículo: Fernández, V., 2015, Efectos de la recurrencia y severidad de en la recuperación de ecosistemas propensos al fuego. AmbioCiencias, 13, 100-101. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

El primer paso para llevar a cabo el proyecto es desarrollar y comparar distintas metodologías que permitan la elaboración de una cartografía fiable de recurrencia y severidad de las zonas incendiadas. Para alcanzar este objetivo, las imágenes de satélite son una fuente de información de gran interés, tanto para caracterizar la historia de incendios como para modelar la severidad a escala paisaje. Sin embargo, existe un amplio repertorio de sensores y de índices de severidad, por lo que uno de los primeros retos es identificar aquellos que operen mejor en este tipo de sistemas a una escala adecuada para su uso en la gestión post-incendio.

Una vez modelada la severidad, se pretenden identificar las variables ambientales bióticas y abióticas que la condicionan, lo que podrá dar lugar a modelos predictivos y ofrecer conocimiento sobre la influencia de la gestión forestal en este parámetro.

La severidad de los incendios puede determinar en gran medida la capacidad del ecosistema para recuperarse, y por lo tanto, la búsqueda de indicadores visuales, que permitan distinguir de forma rápida y sencilla zonas con diferente severidad, es otro de los objetivos fundamentales de la Tesis.



**Figura 2.** El cambio de color en los primeros centímetros del suelo, es un potencial indicador visual de severidad.

La consideración conjunta de los efectos de esas dos principales características del régimen de incendios (recurrencia y severidad) sobre los ecosistemas de pinar sometidos reiteradamente a incendios forestales, constituye el objetivo final de mi Tesis Doctoral. Así mismo, es importante conocer los procesos de regeneración natural después de los incendios en este tipo de sistemas, comparándolos con las modificaciones en estos procesos después de la aplicación de las estrategias tradicionales de regeneración post-fuego (siembra y plantación).

Los resultados que se prevén alcanzar permitirán comprender el funcionamiento de los ecosistemas de *P. pinaster* que han sufrido incendios, y en los que hay que definir cuáles son las actuaciones de gestión post-incendio más adecuadas para favorecer la recuperación de los servicios que ofrecen estos ecosistemas, tan importantes en algunas zonas rurales, como la Sierra del Teleno.

Directoras de la Tesis

Dra. Leonor Calvo Galván

Dra. Elena Marcos Porras

## COMENTANDO LO PUBLICADO

### Comentando *A Higher Level Classification of All Living Organisms* y su *Correction*, de Ruggiero *et al.*, 2015

Juan Manuel Nieto Nafría<sup>1</sup>, Eloy Bécades<sup>2</sup>, José Antonio Gil<sup>3</sup>, Félix Llamas<sup>4</sup>, Luis E. Sáenz de Miera<sup>5</sup>, Arsenio Terrón<sup>4</sup>

1. Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental, área de Zoología.
2. Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental, área de Ecología.
3. Departamento de Biología Molecular, área de Microbiología.
4. Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental, área de Botánica.
5. Departamento de Biología Molecular, área de Genética.

*Catalogue of Life* es el catálogo de los seres vivos más completo de los existentes. De él sus autores escriben: «It consists of a single integrated species checklist and taxonomic hierarchy. The Catalogue holds essential information on the names, relationships and distributions of over 1.5 million species. This figure continues to rise as information is compiled from diverse sources around the world». El *Catalogue of Life* [CoL] tuvo su origen en 2001 y en su versión actual es accesible en línea (Roskov *et al.*, 2015).

Ruggiero *et al.* (2015a) han dado a conocer una clasificación de los seres vivos hasta nivel de orden con la finalidad de: «to provide a hierarchical classification serving not only the needs of the CoL's database providers but also the diverse public-domain user community, most of whom are familiar with the Linnaean conceptual system of ordering taxon relationships» como señalan en la Introducción. Clasificación corregida levemente poco después por los mismos autores (Ruggiero *et al.*, 2015b). Como estos dos artículos forman un conjunto, en este escrito Ruggiero *et al.* se utilizará como referencia única a ambos a partir de aquí.

Algunas clasificaciones —normalmente parciales— llegan a ser consideradas clasificaciones de referencia cuando son utilizadas asiduamente durante un tiempo para informar a usuarios con buenos conocimientos pero no especializados y para facilitar la transmisión de la información. Su uso no impide manejar otras clasificaciones y en cambio puede permitir comprenderlas mejor. Las

Forma de mencionar este artículo: Nieto Nafría, J.M., Becarés, E., Gil, J.A., Llamas, F., Sáenz de Miera, L., Terrón, A. 2015, Comentando *A Higher Level Classification of All Living Organisms* y su *Correction*, de Ruggiero *et al.*, 2015. *AmbioCiencias*, 13, 102-123. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.



clasificaciones de referencia no pueden satisfacer a todos los usuarios y menos a quienes tienen información especializada y profunda, pero facilitan la transmisión de la información sin equívocos y son especialmente útiles en la enseñanza de la diversidad de la vida en los estudios generales y comunes e incluso en cursos iniciales de estudios universitarios relacionados con la Biología.

La clasificación para el *CoL* presentada por Ruggiero *et al.* es una interesante aportación a la difusión del conocimiento de la taxonomía de los seres vivos de la biota actual que merece ser presentada en esta publicación de la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad, por su utilidad para la labor de muchas personas que trabajan en la enseñanza, en la investigación o en los servicios técnicos, al menos como punto de aproximación a la clasificación más actualizada de los seres vivos.

### **Algunas puntualizaciones preliminares**

Parece pertinente comenzar este comentario al trabajo de Ruggiero *et al.* y a la clasificación para el *CoL*, que ellos presentan, con unas aclaraciones o puntualizaciones sobre el sentido de varios conceptos y términos.

La clasificación taxonómica de los seres vivos es una parte fundamental de la Biología, que muchos —en la enseñanza, en la investigación y en los servicios técnicos— deberíamos dominar en sus aspectos más generales y en sectores más o menos amplios según la actividad de cada cual. La clasificación taxonómica está sujeta a constantes cambios como consecuencia de su naturaleza científica; cambios que se han incrementado en los últimos dos decenios como consecuencia de las ingentes aportaciones hechas por la biología molecular, véanse *The Tree of Life* (Vargas & Zardoya, 2014) con su antecesor inmediato *El árbol de la vida* (Vargas & Zardoya, 2013), *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Second Edition* (Bergey's Manual Trust 2001-2012) y *The revised classification of Eukaryotes* (Adl *et al.*, 2012; Adl *et al.*, 2005).

Estos cambios constantes van dejando obsoletas partes más o menos amplias de la clasificación total y hacen que la lectura de textos, artículos o libros con los últimos avances taxonómicos y filogenéticos sea para muchos un galimatías, y genere preguntas tales como «¿pero qué clasificación es la buena?», «¿qué clasificación hay que seguir?», «¿por qué estos seres vivos —los que sean— están colocados de diferente forma en estas clasificaciones que estoy comparando?», etc. La dificultad para la comprensión de los cambios en las clasificaciones se acrecienta si la clasificación que se recuerda es la aprendida hace muchos años o si los conceptos básicos en evolución, filogenia y taxonomía no están bien asentados o se han deteriorado.

Los términos clasificación, clasificación taxonómica, taxonomía, sistemática, filogenia, y otros más relacionados con ellos, no tienen definiciones absolutamente asentadas y universales, más aún si se consideran con perspectiva histórica. No parece oportuno hacer aquí un tratamiento exhaustivo de estas cuestiones —los lectores interesados encontrarán información de ellas en las publicaciones de Vargas y Zardoya (2014), Minelli y Fusco (2012) o Nieto Nafría (1999)—, pero son pertinentes unos comentarios mínimos sobre el sentido que les damos aquí.

Clasificación no es un término restringido a lo taxonómico, ni tan siquiera a lo biológico, y nuestra interpretación del término aplicado a lo biológico no debería alejarse de su sentido general. Éste se puede extraer del *Diccionario de la lengua española* (Real Academia Española 2012), que define clasificación como «Acción y efecto de clasificar», siendo clasificar (en su primera acepción, como verbo transitivo): «Ordenar o disponer por clases», y siendo clase (en su segunda acepción) «Orden en que, con arreglo a determinadas condiciones o calidades, se consideran comprendidas diferentes personas o cosas». Así pues, la RAE considera que la acción de clasificar es una acción de componer, de ir aumentando la heterogeneidad de las clases de la clasificación que se van formando en una acción clasificatoria.

El significado de clasificación para la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (2000) es: descomposición de un conjunto con entidad propia pero heterogéneo en conjuntos subordinados, que tienen heterogeneidad progresivamente decreciente.

En todo caso, en la idea de clasificación está implícita la idea de ordenación lógica que permita la transmisión de la información de una forma comprensible y comprobable.

Por su parte, la clasificación taxonómica es uno de los tipos posibles de clasificación de los seres vivos; una clasificación que tiene como finalidad ordenar la diversidad teniendo en cuenta todos los datos disponibles de todos los seres implicados.

El concepto moderno de clasificación taxonómica se asienta en las obras de Linnaeus (1707-1778): *Species Plantarum* de 1753 y *Systema Naturae, Editio Decima*, de 1758, y es previo al establecimiento del concepto de evolución biológica (la obra de Darwin [1809-1882] *On the origin of species by means of natural selection* es de 1859). Durante aproximadamente un siglo las clasificaciones estuvieron informadas solamente por el principio de similitud: clasificaciones fijistas. Principio de similitud que fue siendo sustituido por el de homología una vez asentadas las ideas evolucionistas: clasificaciones evolucionistas. Tras el

asentamiento de la obra de Hennig (1913-1976) de 1950 *Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik*, a partir de su traducción al inglés en 1966 [*Phylogenetic Systematics*], el principio de homología ha ido siendo sustituido por los de simpliomorfía y sinapomorfía, los cuales están estrechamente ligados a los acontecimientos filogenéticos: clasificaciones filogenéticas. Al margen de este proceso de cambios se encuentran las clasificaciones feneticistas, que tuvieron su momento de esplendor hace varias décadas (para más detalles véase Minelli y Fusco, 2012).

Las agrupaciones que se establecen en toda clasificación son, por definición, las clases de esa clasificación, que están organizadas jerárquicamente. Así los elementos iniciales de una clasificación se incluyen según sus atributos en unas u otras clases de un primer nivel jerárquico; clases éstas incluidas según sus atributos comunes en clases de un segundo nivel, y así sucesivamente.

En cualquier clasificación taxonómica (sea evolucionista —transformada de la lineana original, fijista— o clásica, sea feneticista o sea cladista, si se admite la simplificación en las denominaciones) las clases de la clasificación son taxones —o táxones—, cada uno de los cuales se comporta como un conjunto con inclusiones pero siempre sin intersecciones; es decir, cada taxón se incluye junto a otros suficientemente relacionados con él en un taxón jerárquicamente superior y así sucesivamente hasta llegar al más amplio de todos —el de mayor heterogeneidad interna—. Viéndolo en sentido contrario, cada taxón incluye taxones también suficientemente relacionados entre sí, cada uno de los cuales incluye a otros y así sucesivamente hasta llegar a los taxones que se toman como elementos básicos de la clasificación, las especies. Cada posición en esa sucesión jerárquica de inclusiones es un nivel; niveles que podrían numerarse ordinalmente desde el que comprende elementos hasta el más heterogéneo, taxones de primer nivel, de segundo nivel, etc.

Linnaeus estableció una clasificación perfectamente equilibrada, es decir cada especie estaba incluida en el mismo número de clases incluyentes hasta el reino que cualquier otra especie, exactamente 4. Su clasificación tenía 5 niveles, a los que dio nombre, que categorizó: nivel especie, nivel género, nivel orden, nivel clase y nivel reino. En decenios siguientes se añadieron dos niveles más, también categorizados: el nivel familia entre los niveles género y orden, y otro entre el nivel clase y el nivel reino con denominación variada según momentos y ramas del conocimiento. Estas 6 categorías, desde reino a especie ambas inclusive, pueden ser denominadas categorías primarias (*main ranks* en Minelli y Fusco, 2012).

La necesidad de explicar la diversidad (más descriptible en unos grupos de seres que en otros) determinó que en algunos sectores de la clasificación fuese

necesario establecer más niveles, con el consiguiente establecimiento de categorías taxonómicas secundarias (o auxiliares), la tribu y las que llevan los sufijos super, sub e infra, entre otros. Así la clasificación completa de los seres vivos es una clasificación desequilibrada, es decir, hay especies que se incluyen en taxones dispuestos en 5 niveles hasta llegar al nivel previo al reino, los de categoría género, familia, orden, clase y filo, mientras que otras se incluyen en taxones dispuestos en más niveles, por ejemplo los de categoría subgénero, tribu, subfamilia, familia, superfamilia, infraorden, suborden, orden, etc.; así, por ejemplo, hay clases [taxonómicas] que se dividen en subclases, mientras que otras clases del mismo filo —o división o tronco— se dividen directamente en órdenes, incluso con la posibilidad de que alguna de aquellas subclases se dividan en infraclases y otras no.

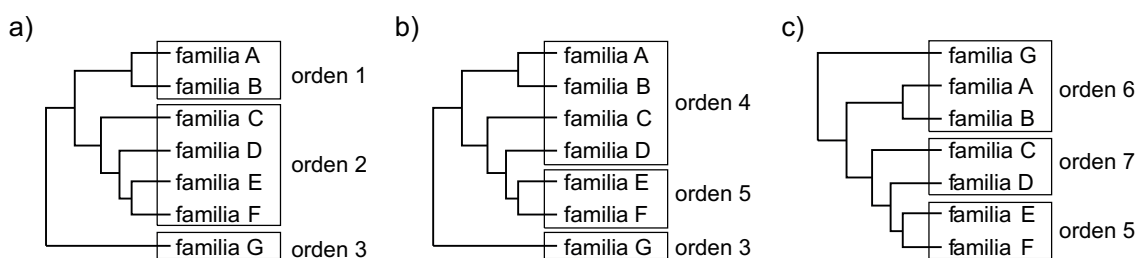
La comprensión de las clasificaciones taxonómicas actuales se puede ver dificultada, si no se tiene el suficiente dominio de la estructura interna general de esas clasificaciones, por la presencia de clasificaciones parciales desequilibradas junto a otras equilibradas. Dificultad que puede aumentar si se suprime la categorización (la asignación de nombre que indica posición) de los niveles de la clasificación, como se hace en muchas clasificaciones cladistas, o en clasificaciones que se pueden interpretar como clasificaciones (véase Minelli y Fusco, 2012).

Desde una perspectiva evolutiva la clasificación taxonómica no pasa de ser un intento más o menos subjetivo de ordenar a los seres vivos en grupos; para Ruggiero *et al.* ella «aims to simplify and order the immense diversity into coherent units called taxa that have widely accepted names and whose members share important properties», y en ese compartir propiedades importantes se encuentra el germen de la subjetividad, porque ¿qué son propiedades importantes?, ¿cómo graduar la importancia?

No se puede poner en duda que las propiedades —los caracteres— más importantes han de ser para nosotros los que se deben a un pasado evolutivo común y de contornos cerrados, así muchos consideran que la única clasificación natural —objetiva por lo tanto, y no subjetiva— es aquella que sea trasposición de la filogenia, entendida ésta como la historia evolutiva de una estirpe de seres vivos. Para otros, en cambio, para que una clasificación sea adecuada —no demasiado subjetiva— basta con que la clasificación muestre la diversidad de los seres sin mezclas espurias, es decir sin taxones reconocidamente polifiléticos, aunque los haya parafiléticos con caracteres que puedan ser considerados innovación evolutiva en el sentido de los taxónomos evolucionistas.

En una clasificación estrictamente filogenética —cladista— no se puede incluir ningún grupo parafilético (**Fig. 1**). Es necesario introducir una cantidad

de niveles taxonómicos muy elevada, porque la evolución se ha producido en la mayoría de los casos por procesos de cladogénesis, abriéndose las ramas evolutivas por pares, dando lugar a un árbol de la vida muy ramificado dicotómicamente. Las clasificaciones de este tipo explican muy bien la diversidad actual y la pretérita (la que conocemos por el registro fósil y la que establecemos por la inferencia filogenética) pero tienen una complejidad que dificulta su aprehensión, que en realidad queda casi reservada a los muy conocedores.



**Figura 1.** Dendrogramas mostrando clasificaciones con existencia de monofilia (a), de monofilia y parafilia (b) y de monofilia, parafilia y polifilia (c). En **a** todos los taxones con categoría orden son monofiléticos: cada uno de ellos incluye a un grupo cerrado de descendientes de un antepasado común a ellos. En **b** los taxones 5 y 3 son monofiléticos, y el taxón 4 es parafilético, porque no es un grupo cerrado, ya que no incluye a las familias E y F junto a las familias A a D. En **c** el orden 5 es monofilético, el orden 7 es parafilético y el orden 6 es polifilético.

### Comentarios a los capítulos *Introduction* y *Approach*

Ruggiero *et al.* tratan en estos capítulos el problema de la diversidad de clasificaciones de forma clara y convincente. Su lectura es, sin duda, muy recomendable para quienes necesitan aproximarse o recordar conceptos generales, pero sin olvidar que algunas de sus afirmaciones no son compartidas por otros taxónomos, como es fácil inferir de la lectura de los párrafos precedentes.

La clasificación para el *CoL* presentada por Ruggiero *et al.* [a partir de aquí **ClasCoL**] está concebida con bases evolutivas (admite explícitamente la presencia de taxones mono- y parafiléticos) y para ser útil en la transferencia de información entre conocedores pero no necesariamente expertos («facilitating meaningful communication among scientists and between the scientific community and society»). Tal vez hubiera sido conveniente marcar de alguna forma los taxones de cuya parafilia se tiene certeza; hacerlo facilitaría el cotejo de esta clasificación con otras imbuidas de espíritu cladista. En la **ClasCoL** no figuran los taxones de nivel orden o superior que incluyen solamente seres extintos.

La **ClasCoL** es desequilibrada, lo cual es lógico porque hay filios con

decenas o cientos de miles de especies y otros con menos de cinco. Utiliza las cuatro categorías primarias clásicas de la parte alta de la clasificación: reino (*kingdom*), filo (*phylum*), clase (*class*) y orden (*order*) y utilizan un lote clásico de categorías secundarias, las que llevan en su nombre los sufijos super, sub e infra. Puede sobrentenderse que los autores no han querido complicar más la cantidad de niveles (con categoría) para atenuar el desequilibrio en la clasificación y facilitar su comprensión, pero esto provoca “mezclas” que resultarán extrañas a quienes conozcan clasificaciones de algunos taxones, como por ejemplo el filo ARTHROPODA —los eucariotas con más especies— y el subfilo VERTEBRATA —el que presenta un registro fósil más amplio y con no demasiadas soluciones de continuidad—. No es demasiado convincente que en algunas zonas de la clasificación falten taxones con categoría primaria, por ejemplo no hay clases en ocho de los filios del reino ANIMALIA, aunque ciertamente cada uno de esos filios incluye solo uno o dos órdenes y pocas especies.

El orden expositivo seguido en la **ClasCoL** es mixto; los reinos están ordenados de la forma habitual en los textos de Biología, comenzando por los que agrupan a seres procariotas y terminando por los clasificados en Animales; la ordenación de subreinos e infrareinos parece responder también a una ordenación evolutiva; los taxones restantes están ordenados alfabéticamente, haciendo más fácil la localización de taxones.

La clasificación incluye 2294 taxones; 2 superreinos, 7 reinos, 12 subreinos, 8 infrareinos, 7 superfilios, 97 filios, 62 subfilios, 4 infrafilios, 12 superclases, 366 clases, 154 subclases, 24 infraclases, 56 superórdenes, y 1483 órdenes. Resulta extraño que en la clasificación queden 49 taxones innominados («not named taxa»), concretamente 1 superfilio, 1 filio, 2 subfilios, 14 clases, 8 subclases, 1 infraclase, 4 superórdenes y 18 órdenes. Para esos 49 taxones quizás podrían haber utilizados nombres ya usados para ellos en algún momento, aunque la extensión taxonómica en cada caso fuera ahora diferente.

### **Comentarios a la parte inicial del capítulo *Results and Discussion*, división en reinos**

Si el criterio evolutivo es fundamental a la hora de establecer los taxones, es precisamente en las primeras divisiones de los seres vivos donde más problemas pueden aparecer. Es difícil establecer con una aceptable certeza cómo se configuraron las estirpes iniciales de los seres vivos; dependiendo del origen de los datos que se hayan utilizado en el estudio se han alcanzado conclusiones diferentes. Desde hace varios decenios los seres vivos se han clasificado en

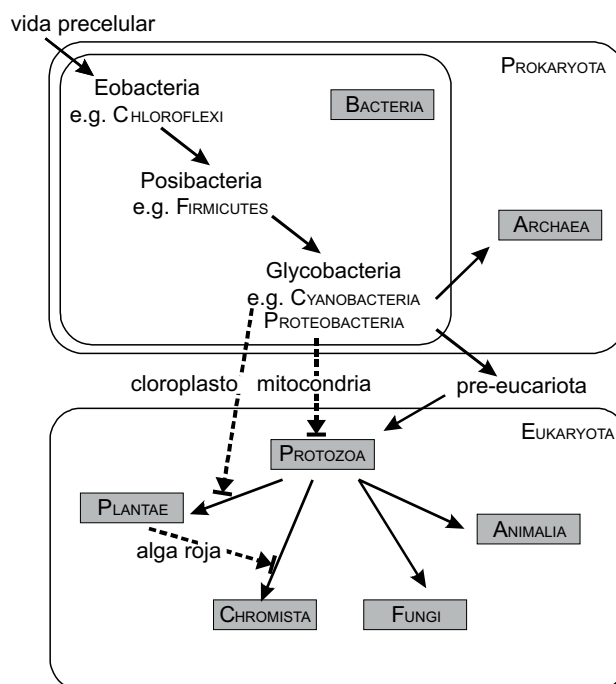
Procariotas y Eucariotas. El carácter “presencia de núcleo celular” ha parecido tan fundamental e importante que no se ha dudado en utilizarlo como criterio definitivo. En bacterias la respuesta a la tinción de Gram ha sido otro carácter taxonómico definitorio. La presencia de cloroplastos o la forma de crecimiento han sido cruciales para separar unos seres eucariotas de otros. Pero las secuencias conocidas de ADN no siempre validan lo actuado teniendo en cuenta los caracteres morfológicos o metabólicos.

La **ClasCoL** sigue en buena medida la clasificación de Cavalier-Smith (2010), modificación de otra anterior (Cavalier-Smith, 1998). Mantiene los dos superreinos, PROKARYOTA y EUKARYOTA y consta de 7 reinos: ARCHAEA (o ARCHAEBACTERIA), BACTERIA (o EUBACTERIA), PROTOZOA, CHROMISTA, FUNGI, PLANTAE y ANIMALIA (en español Procariotas, Eucariotas, Arqueas, Bacterias, Protozoos, Cromistas, Hongos, Plantas y Animales).

Las clasificaciones de Cavalier-Smith se basaron en una variedad de datos morfológicos y bioquímicos y respondían a una estructura evolutiva lineal que partiendo de bacterias Gram negativas, como las del filo CHLOROFLEXI (en la **ClasCoL** consideradas Gram positivas), llevaría a las bacterias Gram positivas, siguiendo desde ellas a arqueas y seres eucariotas (**Fig. 2**). Según este modelo de evolución se encontrarían mayores diferencias filogenéticas entre eucariotas y bacterias Gram negativas (como las incluidas en CHLOROFLEXI) que entre seres eucariotas y bacterias Gram positivas —hipótesis que no está corroborada por los análisis nucleicos—, lo que lleva a pensar en una estructura evolutiva con forma de árbol.

Woese y Fox (1977) mediante la comparación de los genes codificantes para el ARN ribosomal 16S, colocó a los seres procariotas en dos grupos, EUBACTERIA y ARCHAEOBACTERIA, con la misma categoría taxonómica que EUKARYOTA. El trabajo no convenció a los grandes nombres del evolucionismo, como Luria y Mayr, pero una vez que se conoció dónde había que buscar, numerosos datos morfológicos, bioquímicos y por supuesto genéticos fueron situando a las Arqueobacterias más próximas a los Eucariotas que a las Eubacterias, siendo de destacar que los ribosomas de Arqueas son semejantes a los de Eucariotas y claramente diferentes de los de Bacterias. La división de los seres vivos en tres dominios, ARCHAEA, BACTERIA y EUKARYOTA (o EUKARYA), está hoy ampliamente aceptada, y los términos ARCHAEBACTERIA y EUBACTERIA se consideran inadecuados por participar del lexema 'bacter' que haría pensar en mayor proximidad entre ambos taxones que entre cualquiera de ellos y EUKARYOTA. Sin embargo en la **ClasCoL** se mantiene un superreino, PROKARYOTA, emparejado

con EUKARYOTA, mientras que ARCHAEA y BACTERIA tienen categoría de reino como los cinco incluidos en EUKARYOTA.

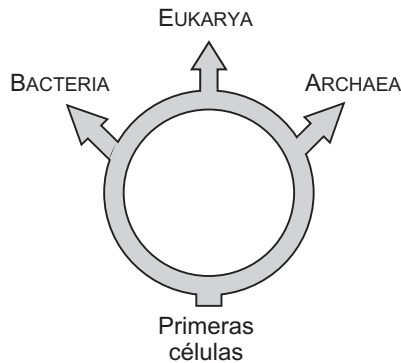


**Figura 2.** Relación entre los 7 reinos según diversos trabajos de Cavalier-Smith. Se puede observar la evolución lineal entre bacterias y la parafilia de los Protozoos. Los datos moleculares no confirman la relación entre los distintos grupos de bacterias ni los nombres asignados a los mismos.

La comparación de genomas completos muestra que conocer el origen de los seres eucariotas es asunto complejo. Los genes codificantes para ARN ribosomales analizados por Woese y Fox (1977) situaba a los Eucariotas en situación vecina a las Arqueas. Pero si se estudian otros genes, los Eucariotas están más próximos a las Bacterias. Esser *et al.* (2004) compararon el genoma completo (genes codificantes para proteínas) de *Saccharomyces cerevisiae* con los de 45 bacterias y 14 arqueas de distintos filos. Más de la mitad de las proteínas eucarióticas parecen exclusivas de bacterias, y un buen número de ellas muestran mayor similitud con las de bacterias que con las de arqueas; pero aproximadamente un 20% se asemeja a las de arqueas. Si se analiza la función de cada proteína se observa que los genes de Eucariotas semejantes a los de Arqueas están implicados en los procesos de replicación, transcripción y traducción. Los genes que controlan la maquinaria de mantenimiento y expresión génica de los seres eucariotas proceden de arqueas. Y, en fin, los genes del metabolismo no pueden relacionarse con los de ningún grupo procariota concreto.



La conclusión es que los seres eucariotas se originaron mediante una confluencia de algunas ramas de bacterias y de arqueas, lo que se puede representar mediante un anillo como Martin y Embley (2004), editores de *Nature*, propusieron al comentar un artículo de Rivera y Lake, y no de la forma lineal o arborescente utilizada más habitualmente (**Fig. 3**).



**Figura 3.** Esquema circular que pone de manifiesto las relaciones evolutivas que pueden haberse dado para el origen de EUKARYA.

### Comentarios al apartado *Prokaryota*

En la **ClasCoL** se mantiene el ya clásico taxón PROKARYOTA, encuadrando los reinos BACTERIA y ARCHAEA, aunque ambos —como se ha indicado— podrían tener perfectamente categoría de dominio según los conocimientos actuales. Es de prever que la revisión de la clasificación que los autores anuncian para dentro de unos años, incluya la separación que ya parece adecuada.

Tanto en la **ClasCoL** como en la del *Bergey's* (volumen 1 de la 2.<sup>a</sup> edición), ARCHAEA se divide en dos filos, CRENARCHAEOTA y EURYARCHAEOTA, mientras que la más reciente y actualizada *List of Prokaryotic Names with Standing in Nomenclature (LPSN)* (Euzéby, 2015) considera la existencia de 5 filos: CRENARCHAEOTA, EURYARCHAEOTA, KORARCHAEOTA, NANOARCHAEOTA y THAUMARCHAEOTA, agrupándose en los tres últimos filos las arqueas identificadas en muestras ambientales. En la **ClasCoL** no aparece el filo NANOARCHAEOTA, los taxones KORARCHAEOTA y THAUMARCHAEOTA son clases del CRENARCHAEOTA, y hay otras clases más: AIGARCHAEOTA en el filo CRENARCHAEOTA y NANOHALOARCHAEA en el filo EURYARCHAEOTA.

Por su parte, el reino BACTERIA aparece dividido en dos subreinos: NEGIBACTERIA y POSIBACTERIA (las clásicas bacterias Gram negativas y bacterias Gram positivas, respectivamente) que no aparecen ni en la segunda edición del manual *Bergey's* ni en la *LPNS*. La separación de las bacterias en Gram positivas y Gram negativas fue un criterio taxonómico usado en la Microbiología clásica, que se mantenía aún en la clasificación utilizada en la 1.<sup>a</sup> edición de la clasificación del *Bergey's* y que se está abandonando por no estar respaldado por datos

filogenéticos incontestables, aunque aún puede ser interesante desde un punto de vista docente.

La posición del filo CHLOROFLEXI es diferente en la clasificación utilizada en la segunda edición del *Bergey's* y la **ClasCoL**. En la del *Bergey's* el filo CHLOROFLEXI estaba incluido dentro de las bacterias Gram negativas por su tipo de tinción de Gram e incluía una clase (CHLOROFLEXI) y dos órdenes, mientras que la **ClasCoL** coloca al filo CHLOROFLEXI entre las bacterias Gram positivas porque presentan una pared celular sin la típica membrana externa de las bacterias Gram negativas y lo divide en 6 clases.

A la hora de considerar la organización taxonómica de los seres procarionotas no se puede olvidar que una gran parte de sus especies no han sido aún descritas y que es previsible que pertenezcan a órdenes, clases y hasta filos, que tampoco nos son conocidos hoy en día.

### **Comentarios al apartado *Protozoa and Chromista***

En la **ClasCoL**, como en otras clasificaciones muy anteriores (véase por ejemplo Cavalier-Smith, 1998), los reinos PROTOZOA y CHROMISTA sustituyen al reino Protista (o Protoctista) que fue una constante de las clasificaciones taxonómicas durante los últimos decenios. Los comentarios que Ruggiero *et al.* hacen de esos dos reinos se presentan en conjunto y son más extensos (con unas 60 líneas) que los que dedican a casi todos los demás reinos (21 en conjunto a ARCHAEA y BACTERIA, 6 a FUNGI, y 29 a PLANTAE), lo que es muestra de la complejidad de esta parte de la clasificación de los seres vivos. La lectura de esas líneas es muy recomendable para comprender cómo se ha llegado a la clasificación que se expone, para conocer los caracteres definitorios esenciales de los reinos e incluso para atisbar los cambios que pueden llegar a producirse en esa clasificación.

El reino Protista se organizó con los animales unicelulares, los Protozoos del momento, más algunos de los seres que hasta entonces se habían clasificado en el lineano reino Vegetales. Siempre ha habido certeza de la gran heterogeneidad del reino, que había que definir por la ausencia de determinados caracteres más que por la existencia de unos concretos caracteres comunes a todos sus integrantes, lo que era un claro indicio de parafilia. Nótese que la amplitud taxonómica del reino PROTOZOA de la clasificación actual es muy diferente de la que tuvo el subreino Protozoa de las clasificaciones de Animalia de la mayor parte del siglo XX.

Sospechar la presencia de parafilia en Protista no era difícil, porque entre

ellos era necesario que hubiese seres que filogenéticamente tenían que estar más próximos a los incluidos en cualquiera de los otros tres reinos de seres eucariotas (Plantae, Fungi y Animalia) que a otros ubicados en el mismo reino Protista.

Dados los problemas en la ubicación de algunos protistas en el conjunto de los Eucariotas, en el año 2005 la Sociedad Internacional de Protistología encargó a varios investigadores un estudio que recogiese la ubicación de todos los grupos conocidos. El trabajo dio como resultado (Adl *et al.*, 2005) distribuir a los seres eucariotas en seis grandes grupos: Amebozoa (la mayoría de las amebas), Opisthoconta (con varios grupos de protistas flagelados y además FUNGI y ANIMALIA), Rhizaria (Foraminíferos y algunas amebas con filopodios), Excavata (Euglénidos y otros flagelados), Cromoalveolata (Ciliados y diversas algas no clorofíceas), y Archaeplastida (con PLANTAE y algunas algas).

Posteriormente Adl *et al.* (2012) revisaron su trabajo previo teniendo en cuenta los estudios filogenéticos basados en rRNA que se habían producido. Presentaron una importante síntesis sobre las relaciones filogenéticas de los protozoos con el resto de seres vivos, que es más una cladificación que una clasificación, y si la tomamos como tal —lo que es posible—, la ausencia de categorías taxonómicas puede dificultar su comprensión a los poco iniciados; además deja un importante número de grupos de protozoos como “incertae sedis”, y no solo con una posición taxonómica incierta sino con unas inciertas relaciones filéticas.

La reorganización taxonómica a los actuales reinos PROTOZOA y CHROMISTA resuelve solamente en parte los problemas de la gran heterogeneidad y de la parafilia ya comentados. La heterogeneidad se mantiene en ambos reinos, lo que no es de extrañar pues es habitual que suceda así en grupos basales de grandes ramas evolutivas. La parafilia se mantiene de forma palmaria en PROTOZOA por las mismas razones aducidas con relación a Protista. Conseguir una clasificación sin parafilia raya en lo imposible y en todo caso obligaría a establecer varios reinos más y a reestructurar los otros reinos de seres eucariotas, que están bien asentados en la memoria científica de muchas personas.

El reino CHROMISTA fue establecido por Cavalier-Smith (1981, 2002) para encuadrar a los Oomicetos y a «las algas que tienen sus cloroplastos dentro del retículo endoplásmico». Los cloroplastos se presentan en muchos seres eucariotas unicelulares como consecuencia de endosimbiosis primarias, secundarias e incluso terciarias (ver Keeling, 2013), que han acontecido varias veces en la evolución de los seres eucariotas de forma independiente tanto en cuanto al donador como al receptor (algunos cloroplastos poseen tres o cuatro capas de membrana como resultado de esas endosimbiosis sucesivas). Además las endosimbiosis

fueron acompañadas de transferencias de genes entre los organismos que participan en ellas, lo cual complica la inferencia filogenética a partir de los análisis de los ácidos nucleicos.

Para hacerse una idea de lo que ha supuesto la reestructuración taxonómica que se manifiesta en la **ClasCoL** baste decir que en los dos subreinos de CHROMISTA (**Tabla 1**) se incluyen taxones que antiguamente se consideraban vegetales y otros que fueron considerados animales. Así en el subreino HACROBIA se encuentran, entre otros, los filos HAPTOPHYTA (unas algas amarillo-doradas), CRYPTISTA (también algas unicelulares) y HELIOZOA (tenidos clásicamente por protozoos y cuyos nombres de familias llevan el sufijo *idae*). Mientras que en el subreino HAROSA se ubican, por ejemplo, la superclase DINOFLAGELLATA (importantes integrantes del fitoplancton marino) del filo MIOZOA, el filo OCHROPHYTA (otras algas amarillo-doradas y algas pardas), la clase LABYRINTHULEA (anteriormente conocidos como Labyrinthulomycetes y que formaban parte del grupo de los Myxomycota) del filo BIGYRA, el filo PSEUDOFUNGI (unos pseudohongos filamentosos como el conocido género *Saprolegnia*), el filo CILIOPHORA (el extenso y diverso de los ciliados), la superclase SPOROZOA (con gregarinas y coccídeos) también del filo MYZOOZOA, y los subfilos FORAMINIFERA y RADIOZOA (los conocidos ameboideos conchíferos) del filo RETARIA.

Otro tanto se puede decir de la composición del reino PROTOZOA (**Tabla 1**), aunque con una menor contribución de taxones que fueron tenidos en su momento por vegetales (la clase EUGLENOPHYCEAE y la clase MYXOGASTRIA o Myxomycetes). EUGLENOPHYCEAE está clasificada en el filo EUGLENOZOA (subreino EOZOA) junto con la clase KINOPLASTIDA (los conocidos tripanosomas), mientras que la clase MYXOGASTRIA lo está en el filo AMOEBOZOA (el de las amebas), que es uno de los filos del subreino SARCOMASTIGOTA.

La parafilia que se mantiene en estos PROTOZOA se evidencia recordando que los filos CHOANOZOA y MICROSPORIDIA junto con los reinos FUNGI y ANIMALIA son los constituyentes del clado Opisthokonta de algunos autores, caracterizado por la posición y forma de actuación de los flagelos celulares entre otros caracteres. La separación de PROTOZOA y FUNGI entre sí se puede establecer, sin recurrir a las secuencias nucleotídicas, por la presencia en FUNGI de pared celular quitinosa y de heterotrofia por absorción (*osmotrophy* para Ruggiero *et al.*) mientras que en PROTOZOA se mantiene la ausencia de pared y la heterotrofia por ingestión (*phagotrophy* en Ruggiero *et al.*). La separación de PROTOZOA y ANIMALIA entre sí viene dada por la pluricelularidad con diferenciación celular presente en los segundos. La presencia de cloroplastos en EUGLENOPHYCEAE no

debe llevar a confusión con PLANTAE, porque es un carácter secundario en PROTOZOA, como consecuencia de la endosimbiosis de un alga verde, mientras que los cloroplastos característicos de PLANTAE proceden directamente de cianobacterias endosimbiontes celulares.

El reino CHROMISTA no se libra de las sospechas de parafilia, involucrando en este caso a taxones de PLANTAE; además es muy difícil dar con una definición morfológica, porque incluso el importante carácter metabólico (autotrofia, heterotrofia) no es una constante, hay cromistas con cloroplastos provistos de clorofila a o c (eso sí con varias capas de membrana), y hay muchos otros que son heterótrofos.

**Tabla 1.** Relación ordenada de los taxones de los reinos PROTISTA y CHROMISTA hasta filo según **ClasCoL**, incluyendo en algunos filios y taxones —no siempre del mismo nivel— incluidos en ellos.

---

reino PROTOZOA
subreino EOZOA
infrarreino EUGLENOZOA
filo EUGLENOZOA (con Bodonida y Trypanosimatida)
infrarreino EXCAVATA
filo LOUKOZOA (con Jakobida y Malawimonadida)
filo METAMONADA (con Trimastigida, Chilomastigida y Trichomonadida)
filo PERCOLOZOA (con Heterolobosea, Pharyngomonadida y Acrasida )
subreino SARCOMASTIGOTA
filo AMOEBOZOA (incuyendo a Myxomicetes y Lobosea entre otros)
filo CHOANOZOA (con Choanoflagellata, Ichthyosporea, Rozellidea y Nucleariida)
filo MICROSPORIDEA (con Microsporea, Nosema y Minisporea)
filo SULCOZOA (con Breviatea, Apusomonadida y Planomonadida)

---

reino CHROMISTA
subreino HACROBIA
filo innominado (con Heliomonadida yTelonemida)
filo CRYPTISTA (con Cryptomonadales y Tetragoniales)
filo HAPTOPHYTITA (con Coccolithales, Prymnesiales y Zygodisciales)
filo HELIOZOA
subreino HAROSA
infrarreino HALVARIA
superfilo ALVEOLATA
filo CILIOFORA
filo MIOZOA (con Sporozoa, Dinophyceae y Noctiluca)
superfilo HETEROKONTA
filo BIGYRA (con Bicoecida, Opalinida y Labyrinthulida)
filo OCHROPHYTA (con Diatomeae, Chrysophyceae, Phaeophyceae, Raphidophyceae y Xantophyceae)
filo PSEUDOFUNGI (con Hyphochitriida y Oomycetes)
infrarreino RHIZARIA
filo CERCOZOA (con Haplosporida, Reticulosida, Vampyrellida, Euglyphida y Tectofilosida)
filo RETARIA (con Foraminifera y Radiozoa)

---

### Comentarios al apartado *Fungi*

En la **ClasCoL**, como en la clasificación utilizada en la décima edición del *Dictionary of Fungi* (Kirk *et al.*, 2008), el reino FUNGI se divide en dos subreinos, que no se contemplaban con anterioridad. En el subreino DIKARYA se encuadran los dos grandes grupos de hongos (filos ASCOMYCOTA y BASIDIOMYCOTA) en los que la fase dicariótica está bien diferenciada. En el subreino EOMYCOTA se reúnen, sin diferencias reseñables con respecto a otras clasificaciones recientes, los hongos quitinosos sin auténtica fase dicariótica, e integra a tres fillos: CHYTRIDIOMYCOTA, GLOMEROMYCOTA (en el que se incluyen los hongos endosimbiontes) y ZYGOMYCOTA. Es curioso que Ruggiero *et al.* dejen sin nombre a las 6 clases (en 5 subfilos, uno de ellos también sin nombre) de ZYGOMYCOTA.

Los hongos liquenizados, los Líquenes de las antiguas clasificaciones, están clasificados en su mayoría en órdenes del filo ASCOMYCOTA, junto con hongos no liquenizados. Solo unas pocas especies de ellos han quedado clasificadas en el orden AGARICALES o en el orden CANTHARALES (filo BASIDIOMYCOTA).

### Comentarios al apartado *Plantae*

En la **ClasCoL** el reino PLANTAE incluye a las “plantas terrestres” junto con algunas algas que hasta no hace tanto tiempo estaban incluidas en el heterogéneo reino Protista (o Protoctista). En ella, el reino se divide en dos subreinos, BILIPHYTA y VIRIDIPLANTAE. En BILIPHYTA están clasificados dos grupos de algas que presentan clorofilas similares, aunque en uno no se expresan cromáticamente (filo GLAUCOPHYTA) mientras que en el otro se manifiestan con coloraciones rojizas (filo RHODOPHYTA). El primero de ellos es un filo con una sola clase y un solo orden y el segundo se corresponde con la clase Rodofíceas de antiguas clasificaciones.

En el subreino VIRIDIPLANTAE la **ClasCoL** incluye las clásicas Clorofíceas, las clásicas Carófitas y las “plantas terrestres”, con la disposición hasta fillos que se muestra en la **Tabla 2**.

El superfilo EMBRYOPHYTA de la **ClasCoL** coincide en su extensión taxonómica y en su organización general con la clase Equisetopsida de la clasificación APG III (Chase y Reveal, 2009), incluyendo Briófitos, Pteridófitos, Gimnospermas y Angiospermas. En gran medida la organización interna de ambos taxones, superfilo y clase, es la misma, pero las categorías asignadas a ellos son diferentes y el número total de taxones es mayor en **ClasCoL**. La mayor coincidencia entre ambas se da en los órdenes de Gimnospermas y en los superórdenes de Angiospermas, excepto en la pareja TROCHODENDRANAE (con dos

géneros y dos especies) y PROTEANAE. La menor coincidencia la presentan los Briofitos que pasan de ser tres subclases a ser tres filos.

**Tabla 2.** Relación ordenada de taxones hasta nivel de filo del subreino VIRIDIPLANTAE según **ClasCoL**.

---

subreino VIRIDIPLANTAE
infrarreino CHLOROPHYTA
filo CHLOROPHYTA
infrareino STREPTOPHYTA
superfilo CHAROPHYTA
filo CHAROPHYTA
superfilo EMBRYOPHYTA
filo ANTHOCEROTOPHYTA
filo BRYOPHYTA
filo MARCHANTIOPHYTA
filo TRACHAEOPHYTA (con las plantas vasculares)

---

Es sorprendente que en dos ocasiones (Chlorophyta y Charophyta) se utilicen los mismos nombres para dos taxones de distinto nivel aunque de igual extensión.

### **Comentarios al apartado *Animalia***

Ruggiero *et al.* dejan claro desde las primeras líneas que la cantidad de filos y de clases del reino ANIMALIA difiere mucho de unas a otras clasificaciones, poniendo incluso de manifiesto el subjetivismo que tan frecuentemente afecta a las clasificaciones taxonómicas.

En la **ClasCoL** se relacionan 34 filos de animales, número coincidente con el de la clasificación que utilizan Vargas y Zardoya (2015); si bien no son los mismos, pues el filo XENACOELOMORPHA de la primera se corresponde con el conjunto de los filos XENOTURBELLIDA, ACOELA y NEMERTODERMATIDA de la segunda, mientras que en esta última clasificación no figuran ACANTHOCEPHALA ni SIPUNCULA que van incluidos en los filos ROTIFERA y ANNELIDA respectivamente. Son diferencias realmente muy pequeñas para la complejidad taxonómica del reino y para los profundos cambios que su clasificación a este nivel ha tenido en el último decenio y medio.

Ruggiero *et al.* ponen de manifiesto la existencia de 6 problemas importantes en la delimitación de taxones altos de ANIMALIA, con PORIFERA, con MYXOZOA, con CHORDATA y con tres conjuntos, el formado por XENOTURBELLIDA, ACOELA y NEMERTODERMATIDA, el de GNATHOSTOMULIDA, MICROGASTROZA y

ROTIFERA —con ACANTHOCEPHALA—, y el formado por KINORHYNCHA, LORICIFERA, PRIAPULA y NEMATOMORPHA.

El problema referido a MYXOZOA es un problema menor, se refiere a la ubicación de estos seres, considerados protozoos durante decenios, en el filo CNIDARIA. Esta colocación no es ya discutida por nadie, aunque en ellos no pueda ser reconocida ni la forma pólipo ni la forma medusa; pero quizás la posición concreta que se les da, subfilo junto a ANTHOZOA y MEDUSOZOA, no sea la mejor, porque parece estar bien demostrada su relación inmediata con algunos de los taxones integrantes del segundo de ellos.

La monofilia de CHORDATA sigue siendo discutida, así como quién es el grupo hermano de VERTEBRATA [CRANIATA en otras clasificaciones], si CEPHALOCHORDATA o UROCHORDATA.

El problema relativo al mantenimiento del filo PORIFERA es un ejemplo más sobre la detección de parafilias en grupos basales de un conjunto de seres. A partir de datos morfológicos, bionómicos y moleculares, se puede sostener que las esponjas en conjunto no son monofiléticas, y que PORIFERA debería ser sustituido por tres filios SILICEA, CALCAREA y HOMOSCLEROMORPHA.

XENOTURBELLIDA, ACOELA y NEMERTODERMATIDA son considerados filios en algunas clasificaciones, como ya ha sido indicado más arriba. La reunión de GNATHOSTOMULIDA, MICROGASTROZA y ROTIFERA en un filo denominado SYNDERMATA, y la de KINORHYNCHA, LORICIFERA, PRIAPULA y NEMATOMORFA en otro con nombre CEPHALORHYNCHA es una hipótesis que puede verse bien respaldada en un futuro próximo.

También es un problema cómo repartir los filios de ANIMALIA en taxones subordinados al reino, subreinos y en su caso infrareinos. Ruggiero *et al.* los reparten en dos subreinos, uno de ellos es BILATERIA —con una evidente composición de filios— y otro está formado por CNIDARIA, CTENOPHORA, PLACOZOA y PORIFERA que dejan sin nombre, pues evidentemente el último filo no encaja en las características que desde hace tiempo definen a RADIATA. Quizás fuera más adecuada la división ya clásica de ANIMALIA en PARAZOA y EUMETAZOA y de éstos en RADIATA y BILATERIA, aunque esta solución no satisfaga tampoco a todos.

Algunas de las clasificaciones parciales son difíciles de sostener a la vista de recientes estudios filogenéticos, pero hay que resaltar que no son muchas, y que están dentro de la combinación de modernidad y fácil comprensión, que es del gusto de muchos zoólogos. Como ejemplo se pueden mencionar las de ARTHROPODA y las de TETRAPODA. En ARTHROPODA se consideran cuatro subfilios: CHELICERATA, CRUSTACEA, HEXAPODA y MYRIAPODA, y no se utilizan algunos de



los taxones que utilizan clasificaciones recientes, como MANDIBULATA. En cuanto a TETRAPODA sorprende su agrupamiento inmediato con ACTINOPTERYGII, CHONDRICHTHYES y SARCOPTERYGII, todos ellos con categoría de superclase, y también que se dividan directamente en las clases AMPHIBIA, MAMMALIA y REPTILIA, y más aún que éstos se mantengan y que AVES figure como subclase de REPTILIA. Quizás haya pesado en esta solución el no haber querido manejar más niveles en esta zona de la clasificación y el haber querido mantener denominaciones tradicionales para grupos de animales conocidos por el común de las personas. Hay que resaltar que tanto en un caso como en el otro, como también en otros filos, ECHINODERMATA por ejemplo, la clasificación propuesta no admite la colocación de taxones constituidos exclusivamente por especies extintas.

En el interior de algunos de los filos o de algunas clases hay situaciones sorprendentes para quienes recuerden clasificaciones aprendidas hace años, pero que no son difíciles de comprender si el recuerdo de aquellas clasificaciones incluye los nombres de todos o de algunos de los órdenes del filo, que se mantienen con pocas variaciones desde hace tiempo.

### **Epílogo: Comentarios ortográficos y lingüísticos**

Habrá notado el lector que en el texto de este trabajo los nombres científicos de los taxones de categorías orden y superiores están escritos normalmente en su forma oficial, en latín, siempre con inicial mayúscula y destacados del contexto mediante versalitas. Haciéndolo así se es consecuente con lo determinado en el *Bacteriological Code (1990 Revision)* (International Committee on Systematics of Prokaryotes, 1992), previamente *Code of Nomenclature of Bacteria*, en el *International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants* (McNeill et al., 2012), previamente *International Code of Botanical Nomenclature* y en *The International Code of Zoological Nomenclature, Fourth Edition* (International Commission on Zoological Nomenclature, 1999).

El *Bacteriological Code* determina que «The name of a taxon above the rank of genus up to and including order is a substantive or an adjective used as a substantive of Latin or Greek origin, or a latinized word. It is in the feminine gender, the plural number, and written with an initial capital letter» (*Section 3. Naming of Taxa / Rule 7*) y que «These should preferably indicate scientific names by a different type face, e.g., italic, or by some other device to distinguish them from the rest of the text» (*Chapter 4 Advisory Notes / A. Suggestions for Authors and Publishers*).

El *International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants*

señala «As in all recent editions, scientific names under the jurisdiction of the Code, irrespective of rank, are consistently printed in italic type. The Code sets no binding standard in this respect, as typography is a matter of editorial style and tradition, not of nomenclature. [...]» (*Preface*).

Y *The International Code of Zoological Nomenclature, Fourth Edition* fija que «A family-group or genus-group name or the name of a taxon above the family group is always to begin with an upper-case initial letter» (*Chapter 7 / Article 28*) y recomienda: «The scientific names of genus- or species-group taxa should be printed in a type-face (font) different from that used in the text; such names are usually printed in italics, which should not be used for names of higher taxa» (*Recommendation 6 / Appendix B, General Recommendations*), y en el texto utiliza las mayúsculas para los taxones de categorías por encima del género.

En cuanto a los nombres en español de los taxones con categoría orden y superior, se ha utilizado —y recomendamos que sea así siempre como se utilicen— la inicial mayúscula 1) por lógica concordancia con lo marcado por los tres códigos de nomenclatura, y 2) por lo determinado al respecto por la “Ortografía de la lengua española” (Real Academia Española y Asociación de Academias de la Lengua Española, 2010) y reiterado en todas las entradas del “Diccionario de la lengua española” (Real Academia Española, 2012); de la misma manera se deben escribir los nombres de los taxones de cualquier otra categoría hasta la inmediata superior a la de género.

La castellanización de los nombres de los taxones debe realizarse —así se ha hecho en este caso— de forma que haya una aceptable correspondencia con el nombre latino respetando nuestra forma habitual de escribir y también la evolución desde el latín al español en el uso de determinadas letras (usando f en vez del dígrafo ph, m delante de p o de b, i en vez de y en el interior de una palabra, t por d en algunos casos, ch muchas veces por c y otras por q, por ejemplo) y en todo caso siguiendo lo dictado en el Diccionario si el nombre en cuestión figura en él. No obstante hay excepciones muy evidentes a ese proceder, como Hongos y no Fungos, de FUNGI, o Mamíferos y no Mamalios, de MAMMALIA.

De acuerdo también con la lógica en la castellanización de los nombres científicos, en español los nombres de los taxones con categoría superior a la de género son sustantivos en plural —así lo determina la Real Academia Española tanto en su Ortografía como en el Diccionario— y tienen obligatoriamente, por ello, que terminar en ese (no existe el filo Cilióforo, sino el filo Cilióforos, ni el orden Primate, sino el orden Primates, ni la familia Rosácea, sino la familia Rosáceas, como también los reinos son Plantas y Animales y no reino Planta ni reino Animal).

En cuanto al género gramatical en castellano de los nombres de los taxones de las categorías que se están comentado, problema inexistente en inglés, los de los reinos ARCHAEA y BACTERIA son femeninos, de acuerdo con lo fijado por el correspondiente Código (ver arriba). Los del reino PLANTAE también son femeninos, mientras que los del reino FUNGI son masculinos, en ambos casos por costumbre, porque el Código correspondiente nada determina. Los nombres de los taxones con esas categorías del reino ANIMALIA se consideran masculinos en general —el Código no determina nada al respecto—, aunque son femeninos los taxones incluidos en el filo PORIFERA (las Esponjas) y los nombres que llevan el lexema 'medus'; también suelen usarse en femenino los de taxones subordinados a AVES (ave es femenino tanto en español como en latín), excepto los subordinados a su vez a PASSERIFORMES (pájaro es masculino). Los nombres de los taxones pertenecientes a los reinos CHROMISTA y PROTOZOA son masculinos o femeninos dependiendo de su procedencia; masculinos si estuvieron incluidos en el reino Animalia o fueron tenidos por hongos, y femeninos si han sido tenidos por algas.

### **Bibliografía**

- Adl S.M., Simpson A.G., Farmer M.A., Andersen R.A., Anderson O.R., Barta J.R., Bowser S.S., Brugerolle G., Fensome R.A., Fredericq S., James T.Y., Karpov S., Kugrens P., Krug J., Lane C.E., Lewis L.A., Lodge J., Lynn D.H., Mann D.G., McCourt R.M., Mendoza .L, Moestrup O., Mozley-Standridge S.E., Nerad T.A., Shearer C.A., Smirnov A.V., Spiegel F.W. y Taylor MF. 2005. The new higher level classification of eukaryotes with emphasis on the taxonomy of protists. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 52: 399-451.
- Adl S.M., Simpson A.G., Lane C.E., Lukeš J., Bass D., Bowser S.S., Brown M.W., Burki F., Dunthorn M., Hampl V., Heiss A., Hoppenrath M., Lara E., Le Gall L., Lynn D.H., McManus H., Mitchell E.A., Mozley-Stanridge S.E., Parfrey L.W., Pawlowski J., Rueckert S., Shadwick R.S., Schoch C.L., Smirnov A. y Spiegel F.W. 2012. The revised classification of eukaryotes. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 59: 429-93.
- Bergey's Manual Trust (varios editores). 2001-2012. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, 2nd ed., vols. 1–5. Springer-Verlag, Nueva York (EE.UU.).
- Cavalier-Smith, T. 1981. Eukaryote kingdoms: seven or nine? *Biosystems*, 14: 461-481.
- Cavalier-Smith, T. 1998. A revised six-kingdom system of life. *Biological Review*, 73: 203-266.

- Cavalier-Smith T. 2002. The phagotrophic origin of eukaryotes and phylogenetic classification of Protozoa. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52: 297-354.
- Cavalier-Smith T. 2010. Deep phylogeny, ancestral groups, and the four ages of life. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Science*, 365: 111-132.
- Chase M.W. y Reveal J.L. 2009. A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III. 996 10. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161: 122–127.
- Esser C., Ahmadinejad N., Wiegand C., Rotte C., Sebastiani F., Gelius-Dietrich G., Henze K., Kretschmann E., Richly E., Leister D., Bryant D., Steel M.A., Lockhart P.J., Penny D. y Martin W. 2004. A Genome Phylogeny for Mitochondria Among  $\alpha$ -Proteobacteria and a Predominantly Eubacterial Ancestry of Yeast Nuclear Genes. *Molecular Biology and Evolution*, 21: 1643-1660.
- Euzéby, J.P. 2015. List of Prokaryotic Names with Standing in Nomenclature (LPSN). <http://www.bacterio.net/>.
- International Commission for Zoological Nomenclature. 1999. The International Code of Zoological Nomenclature, Fourth Edition. <http://iczn.org/iczn/index.jsp>.
- International Committee on Systematics of Prokaryotes. 1992. Bacteriological Code (1990 Revision) [previamente International Code of Nomenclature of Bacteria]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK8817/>.
- Keeling P.J., 2013. The Number, Speed, and Impact of Plastid Endosymbioses in Eukaryotic Evolution. *Annual Review of Plant Biology*, 64: 583-607.
- Kirk P.M., Cannon P. F., Minter D. W. y Stalpers J. A. 2008. Dictionary of the Fungi, 10th edition. CAB International, Wallingford (R.U.).
- Martin W. y Embley T.M. 2004. Early evolution comes full circle. *Nature*, 431:134-135.
- McNeill J., Barrie F.R., Buck W.R., Demoulin V., Greuter W., Hawksworth D.L., Herendeen P.S., Knapp S., Marhold K., Prado J., Prud'homme van Reine V.F., Smith G.F., Wiersema J.H. y Turland J. 2012. International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Melbourne Code) <http://www.iapt-taxon.org/nomen/main.php>.
- Minelli A. y Fusco G. 2012. Classification. En eLS. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester (R.U.). DOI: 10.1002/9780470015902.a0001519.pub3.
- Nieto Nafría, J.M. 1999. Sobre sistemática, taxonomía y otros términos relacionados. *Boletín SEA*, 26: 41-44.

- Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 2000 [1996] Vocabulario científico y técnico; 3.<sup>a</sup> edición. Espasa. Madrid (España).
- Real Academia Española. 2012. Diccionario de la lengua española. <http://www.rae.es/obras-academicas/diccionarios/diccionario-de-la-lengua-espanola>.
- Roskov Y., Abucay L., Orrell T., Nicolson D., Kunze T., Culham A., Bailly N., Kirk P., Bourgoin T., DeWalt R.E., Decock W. y De Wever A., eds. 2015. Catalogue of Life. Species 2000 & ITIS. <http://www.catalogueoflife.org/col>
- Ruggiero M.A., Gordon D.P., Orrell T.M., Bailly N., Bourgoin T., Brusca R.C., Cavalier-Smith T., Guiry M.D. y Kirk P.M. 2015a. A higher level classification of all living organisms. *PLoS ONE* 10(4): e011924.
- Ruggiero M.A., Gordon D.P., Orrell T.M., Bailly N., Bourgoin T., Brusca R.C., Cavalier-Smith T., Guiry M.D. y Kirk P.M. 2015b. Correction: A higher level classification of all living organisms. *PLoS ONE*, 10(6): e0130114.
- Vargas P. y Zardoya R., eds. 2013. *El árbol de la vida: sistemática y evolución de los seres vivos*. Sin editorial, Madrid. 597 pp.
- Vargas P. y Zardoya R., eds. 2014. *The Tree of Life*. Sinauer Associates. Sunderland (EE.UU.). 713 pp.
- Woese, C.R. y Fox G.E. 1977. Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: the primary kingdoms. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 74: 5088–5090

## DE TODO UN POCO

### La X Olimpiada Española de Biología (OEB, 2015)

Las Olimpiadas de Biología son competiciones de carácter científico en las que pueden participar todos los estudiantes de bachillerato de nuestro país interesados por la Biología. Las olimpiadas de Biología que comenzaron como un proyecto discreto, han ido consolidándose, año tras año, hasta llegar a ser una actividad de referencia en todas las comunidades autónomas. En ellas se materializan los intereses y objetivos de todos los implicados en ciencia y en educación como son: a) estimular el estudio de las ciencias biológicas –en todas sus áreas– entre los jóvenes, b) potenciar el interés por la investigación, c) premiar el esfuerzo y la excelencia académica, d) servir de punto de encuentro entre la enseñanza secundaria y la Universidad, y e) divulgar la biología y fomentar la cultura científica de nuestra sociedad.

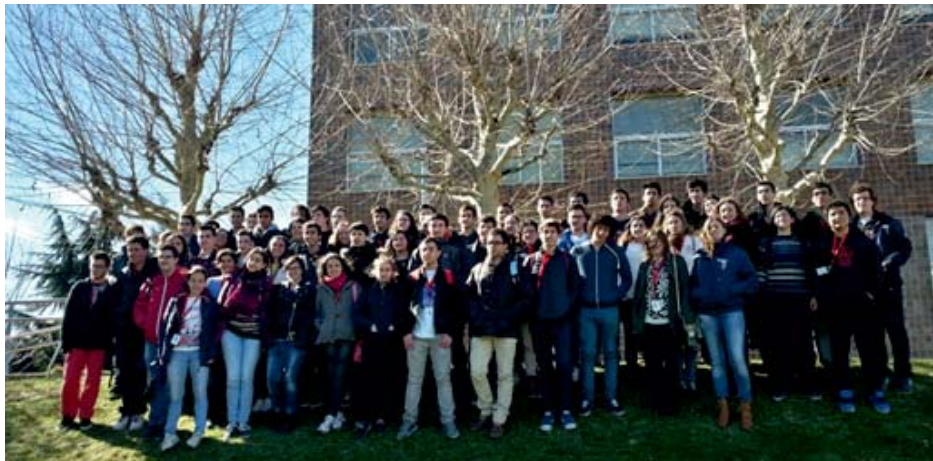
La Fase Nacional se realiza en una comunidad autónoma diferente cada año a fin de favorecer su proyección en todo el territorio nacional. Este año se ha celebrado con gran éxito la X olimpiada Española de Biología en la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León (ULE), y ahora podemos asegurar que estas olimpiadas son mucho más que una competición científica. En ella participaron 62 alumnos (**Fig. 1**) y se desarrollaron gran variedad de acciones (encuentro científico de antiguos olímpicos, talleres de laboratorio, de campo, charlas, conferencias, etc.) que le imprimen el carácter académico, científico, social y a la vez humano que caracterizan a las Olimpiadas de Biología.

Los 4 alumnos seleccionados en primer lugar en esta Fase Nacional fueron nuestros representantes en XXVI edición de la Fase Internacional (IBO) la cual se celebró en julio de este año en Aarhus (Dinamarca) y en la que obtuvieron 3 medallas de bronce y una mención de Honor. Los 4 alumnos seleccionados en segundo lugar representaron a España en la IX edición de la Fase Iberoamericana (OIAB), la cual tuvo lugar en septiembre de 2015 en El Salvador y en ella consiguieron tres medallas de bronce y una medalla de oro.

Todo lo conseguido es fruto del esfuerzo personal de todos los que formamos parte de la Asociación Olimpiada Española de Biología, del trabajo del profesorado de secundaria y bachillerato, del interés de los estudiantes de Biología que participan, de la implicación de las Universidades que acogen cada año las olimpiada, de los Colegios profesionales de Biólogos y del apoyo de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología y otros colaboradores.

María José Lorente

Presidenta de la Asociación Olimpiada Española de Biología



**Figura 1.** Asistentes a la X Olimpiada Española de Biología, en León.

### **Congreso Anual de Biotecnología (BAC 2015)**

En julio se celebró la novena edición del congreso anual de biotecnología popularmente conocido como BAC (*Biotech Anual Congress*) en Salamanca (**Fig. 2**).

Como cada año, los estudiantes de nuestra Facultad pudieron disfrutar de conferencias de científicos de gran prestigio, como la de Robert Huber, Premio Nobel de Química de 1988, Luis Herrera, pionero de la transformación genética vegetal o Adolfo Ferrando, del Instituto de Genética del Cáncer de la Universidad de Columbia. Además, también asistió al congreso Tom Dodd, miembro de la Comisión Europea, que habló de la importancia económica de las empresas biotecnológicas.

Los asistentes pudieron visitar centros de investigación como el Centro de Investigación del Cáncer (CIC) o el Centro de Láseres Pulsados Ultracortos Ultraintensos (CLPU), realizar cursillos de formación como el de espectrometría de masas, de micrótopo, de bioemprendimiento o de transferencia y valoración de proyectos biomédicos y disfrutar de diversos actos culturales en la capital sal-mantina organizados para la ocasión.

Por último, animamos no solamente a los biotecnólogos de León, también a los alumnos de los grados de Biología y de Ciencias Ambientales a participar en futuras ediciones del congreso.



**Figura 2.** Estudiantes del Grado de Biotecnología de la Universidad de León que participaron en el Congreso Anual de Biotecnología en Salamanca el pasado Julio. Imagen cortesía de ABLE (Asociación de Biotecnólogos de León).

### Premio Nacional de Investigación a un joven leonés

El alumno de 2º de Bachillerato del Instituto de Enseñanza Secundaria (IES) “Claudio Sánchez Albornoz”, de León, Óscar Gutiérrez Díez (**Fig. 3**), ha sido galardonado recientemente con el 3er premio en el XXVIII Certamen Nacional “Jóvenes Investigadores” que ha tenido lugar en Mollina (Málaga) del 28 de septiembre al 2 de octubre. El premio se ha concedido al proyecto de investigación “Búsqueda y aislamiento de microorganismos del suelo productores de antibióticos”, que ha sido tutelado por las Dras. Almudena Fernández Villadangos, investigadora del Área de Microbiología de la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales (FCCBA) de la ULE, y por Hilda Sandoval Hernández, profesora del IES “Claudio Sánchez Albornoz” (León), como consecuencia de la implantación del Bachillerato de excelencia en el instituto antes mencionado.



**Figura 3. a:** (de izda. a dcha.) José Antonio Crespo (Director del IES “Claudio Sánchez Albornoz”), Almudena Fernández, Óscar Gutiérrez e Hilda Sandoval . **b:** El alumno con el galardón obtenido.

### Jornadas, conferencias y otras actividades

Durante los días 9 y 10 de abril se celebraron las “V Jornadas de Orientación Profesional”, organizadas por la Fundación General de la Universidad de León y de la Empresa (FGULEM) y la FCCBA, destinadas a los estudiantes de cuarto curso de los grados en Biología, Biotecnología y Ciencias Ambientales. Las Jornadas se desarrollaron en forma de charlas informativas por parte de FGULEM, el Colegio Oficial de Biólogos, un experto en selección de personal, egresados recientes de la Facultad, empresarios y el Vicerrector de Investigación de la ULE. Dentro de este contexto se organizaron dos talleres destinados a los estudiantes, uno en el mes de marzo, “Iniciación a la búsqueda de empleo: Qué quiero. Qué ofrezco. Cómo lograrlo” y otro en el mes de mayo: “El proceso de selección personal. Qué buscan. Qué pruebas habrá. Cómo ser el candidato”, im-



partidos por personal de la Escuela de Formación e Innovación Docente de la ULE y de FGULEM. Previamente, en el mes de febrero, se celebraron las III Jornadas de Presentación de Másteres de la ULE, dirigido a los alumnos de nuestra Facultad, bajo el título “¿Qué puedo hacer cuando termine el Grado?”, con la participación de varios coordinadores de los Másteres que se imparten en la ULE.

La Asociación de Biotecnólogos de León (ABLE) organizó, en cinco viernes de los meses de abril y mayo, la IV edición de las Jornadas ConCiencia, celebradas en el Museo de León y en el que participaron los siguientes ponentes con las conferencias indicadas: Luis Mariano Mateos (“Los microorganismos: enemigos acérrimos o salvadores del planeta”), María Nélida Fernández (“Medicamentos y efecto placebo”), Alberto Acedo (“ADN: el lenguaje de la vida”), Penélope García (“Las plantas como factorías: un recurso fascinante”) y María José Cuevas (“Ejercicio físico: un remedio contra el envejecimiento”). En el mes de marzo impartió una conferencia en nuestra Facultad, el científico Antonio de la Fuente, perteneciente a la Agencia Espacial Europea. Fue organizada por el Área de Física Aplicada y el título de la misma era: “El programa de observación de la Tierra de la Agencia Espacial Europea (ESA). Aplicación a la prevención de riesgos naturales”.

La tercera edición del “Día de Fascinación por las Plantas”, coordinado por las áreas de Fisiología Vegetal y Botánica, contó con varias actividades, que se desarrollaron entre el 9 y el 25 de mayo, incluyendo una visita al Jardín Botánico Atlántico de Gijón, el Mini-Congreso “La Biotecnología Vegetal y sus Aplicaciones”, conferencias y concurso de fotografías. Dentro de este mes, el Servicio de Colecciones Zoológicas de la ULE (CZULE) organizó, el día 18, una Jornada de Puertas Abiertas para visitar dichas colecciones, por medio de visitas guiadas de una hora de duración. Esta actividad contó con la colaboración del Museo de la Fauna Salvaje y el Área de Zoología.

La Facultad participó, un año más, en la organización del Curso de Actualidad Científica y Cultural (XI edición), propuesto por la ULE y patrocinado por la Fundación Carolina Rodríguez. El curso consistió en un ciclo de doce conferencias impartidas por profesionales relevantes en temas de actualidad sobre diferentes ámbitos del conocimiento, desde la traducción hasta la microbiología de la alimentación. Las conferencias se impartieron en el Aula Magna de la FCCBA entre los días 13 de octubre y 19 de noviembre y el curso fue coordinado por el Dr. Francisco Javier Rúa Aller, Vicedecano de nuestra Facultad. Algunos de los ponentes y el título de sus conferencias fueron las siguientes: Iñaki Gabilondo (“Tiempos de cambio”), Javier Gómez-Elvira (“Objetivo: Marte”), Alicia Armentia (“Novedades en alergia alimentaria. Control y etiquetado”), Ramón Cacabe-

los (“Cerebro y Genoma”), Alfonso Carrascosa (“Los microbios que comemos”) y Julio César Santoyo (“¿De qué hablamos cuando hablamos de traducción?”).

Finalmente, durante la celebración de San Alberto Magno (13 de noviembre de 2015), tuvimos el placer de escuchar a nuestro querido Dr. Francisco J. Purroy, Catedrático jubilado de Zoología de la ULE y Gran Cruz de la Orden Civil al Mérito Ambiental, impartir la conferencia “Tendencias en la fauna cantábrica”. En el mismo acto se entregaron los premios anuales a los mejores expedientes de los Grados en Biología y en Biotecnología. El primero de ellos “Premio Fin de Carrera Gadea Biopharma” recayó en el alumno Alfonso Gonzalo de la Rubia y la Comisión acordó también otorgar una Mención especial de dicho premio a las alumnas Patricia Morejón García y Brisamar Estébanez González (**Fig. 4, a**). El “Premio DSM-Vitatene Awards for Academic Excellence” fue otorgado a Ramsés Gómez Rodríguez, mejor expediente en el Grado en Biotecnología, con accésit para el alumno Raúl García González (**Fig. 4, b**).



**Figura 4. a:** Alfonso Gonzalo, Patricia Morejón y Brisamar Estébanez reciben el premio GADEA BIOPHARMA S.L. y las menciones especiales. **b:** Ramsés Gómez y Raúl García reciben el premio DSM-VITATENE y el accésit, respectivamente. A la derecha en la mesa presidencial, D. Francisco J. Purroy, conferenciante invitando en el acto de celebración de San Alberto.

Si tienes alguna sugerencia o quieres enviarnos tus artículos, tu proyecto de tesis o alguna fotografía para la portada, ponte en contacto con nosotros:

[ambiociencias@unileon.es](mailto:ambiociencias@unileon.es)

La edición electrónica de la revista se

puede consultar en:

<http://centros.unileon.es/biologia/ambiociencias1/>

The logo features the word 'Ambiociencias' in a large, stylized font. 'Ambio' is in green and 'ciencias' is in blue. A large, blue, stylized 'C' is positioned behind the 'i' in 'ciencias'. To the right of the 'C' is a circular emblem with a blue background, a red cross, and a yellow border. Below the main text, the words 'REVISTA DE DIVULGACIÓN' are written in a smaller, black, sans-serif font.

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES. UNIVERSIDAD DE LEÓN

**En contraportada:** logotipo diseñado por el Dr. Estanislao Luis Calabuig con motivo de la festividad de S. Alberto Magno (2015), en conmemoración del Año Internacional de la Luz.



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES. UNIVERSIDAD DE LEÓN