

## 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.

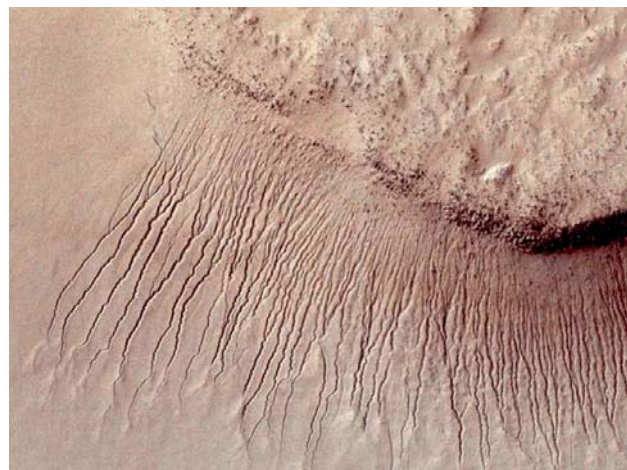
Forma de mencionar este artículo: Luis, E., 2015, Agua. AmbioCiencias, 13, 5-23. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

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**

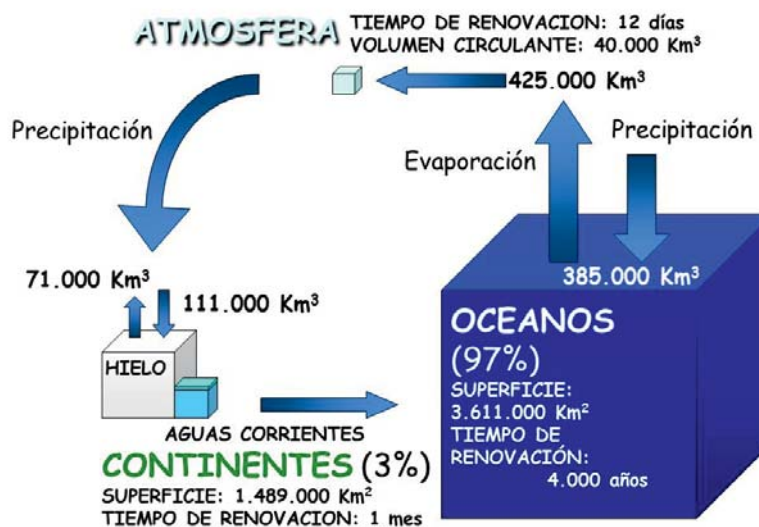
Las aguas de la Tierra probablemente constituirían un caldo que contenía todos los compuestos necesarios para las primeras formas precelulares. De acuerdo con las teorías más aceptadas, la vida se originó en las masas de agua somera, donde estaba protegida de la fuerte radiación ultravioleta que en aquellas 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-

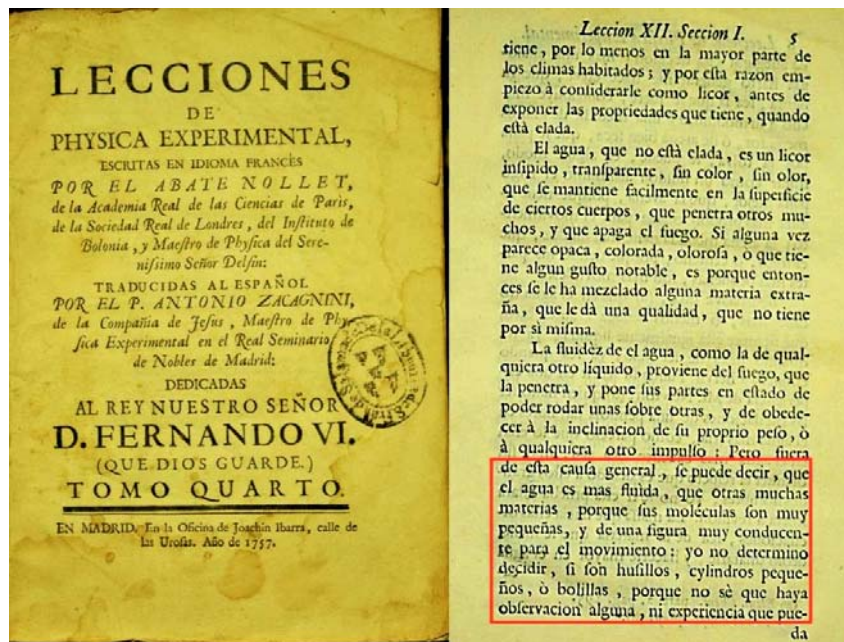
tros conocimientos. No es difícil entender cómo el agua llegó a tener una profunda significación simbólica y emocional que todavía se mantiene en la actualidad. La categorización aristotélica de los elementos (tierra, aire, fuego y agua), propuesta de Empédocles (495-435 a.C.), no fue la única en la 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.

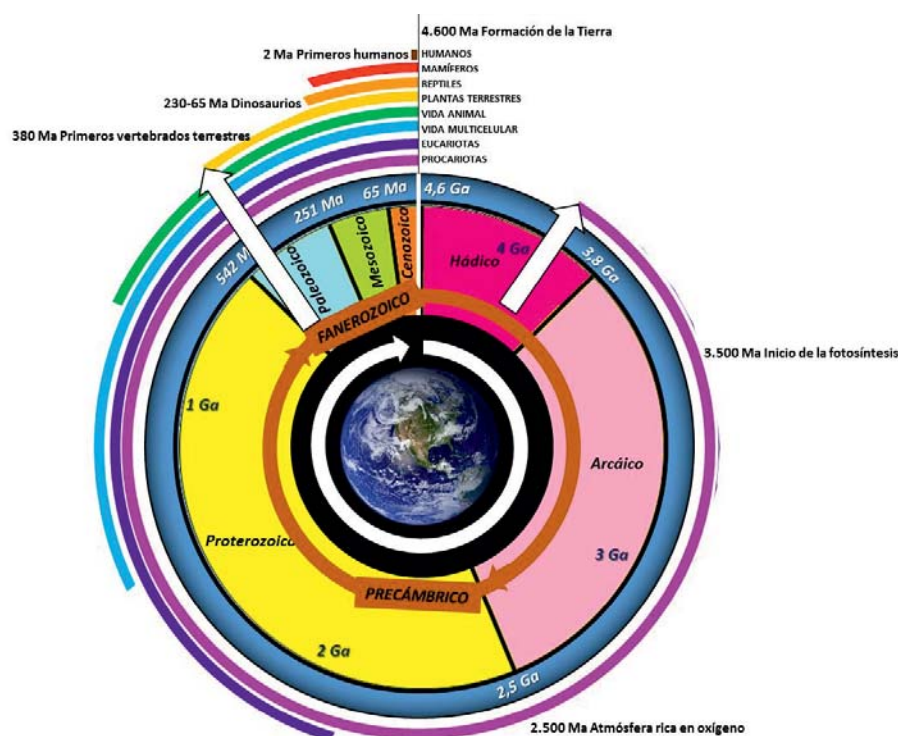
Y todo eso en continuo movimiento. El agua líquida es todo menos estática. Sería interesante tener la tecnología adecuada y suficiente para seguir la pista a enormes cantidades de moléculas de agua cuando estas despliegan sus tácticas en el líquido real. Quizá pueda conseguirse con el paso siguiente 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 la 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

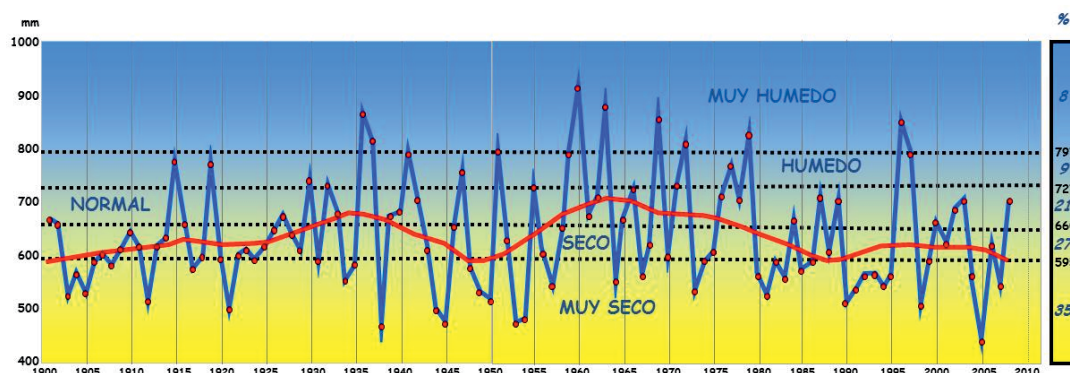
A todos los que la presente vieren y entendieren.  
Sabed: Que las Cortes Generales han aprobado y Yo vengo en sancionar la siguiente Ley:

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.

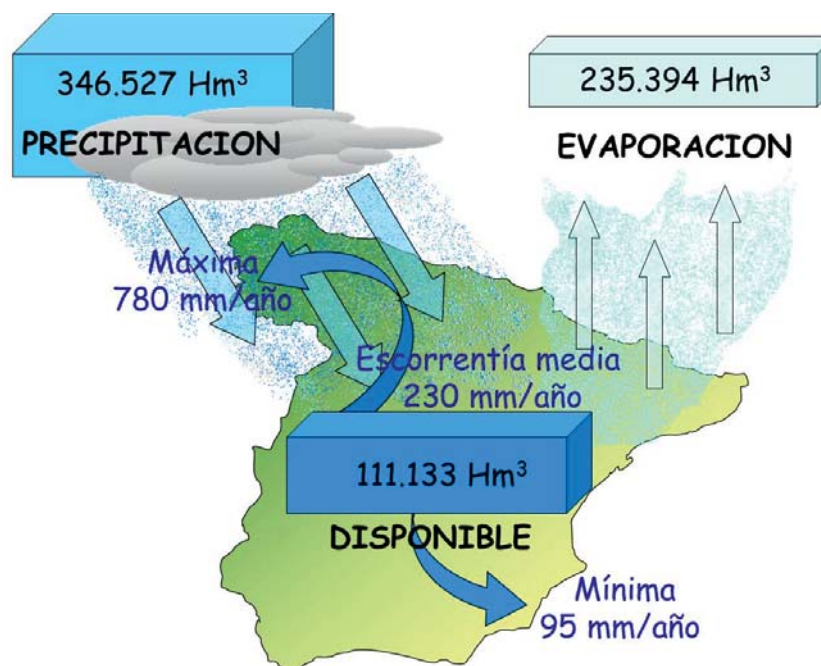
**Figura 8.** Los dos primeros párrafos del preámbulo de la Ley de Aguas de 1985.

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**).



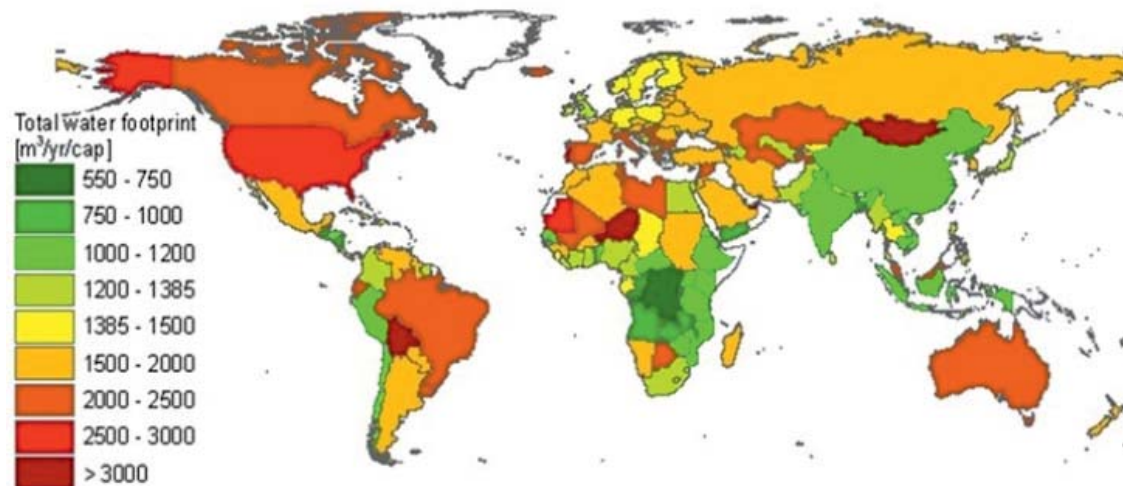
**Figura 11.** Grado de conformidad del estado de depuración de aguas residuales en España con la Directiva 91/271/CEE. 1995-2010, de acuerdo con el informe de la OSE de 2012.

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.

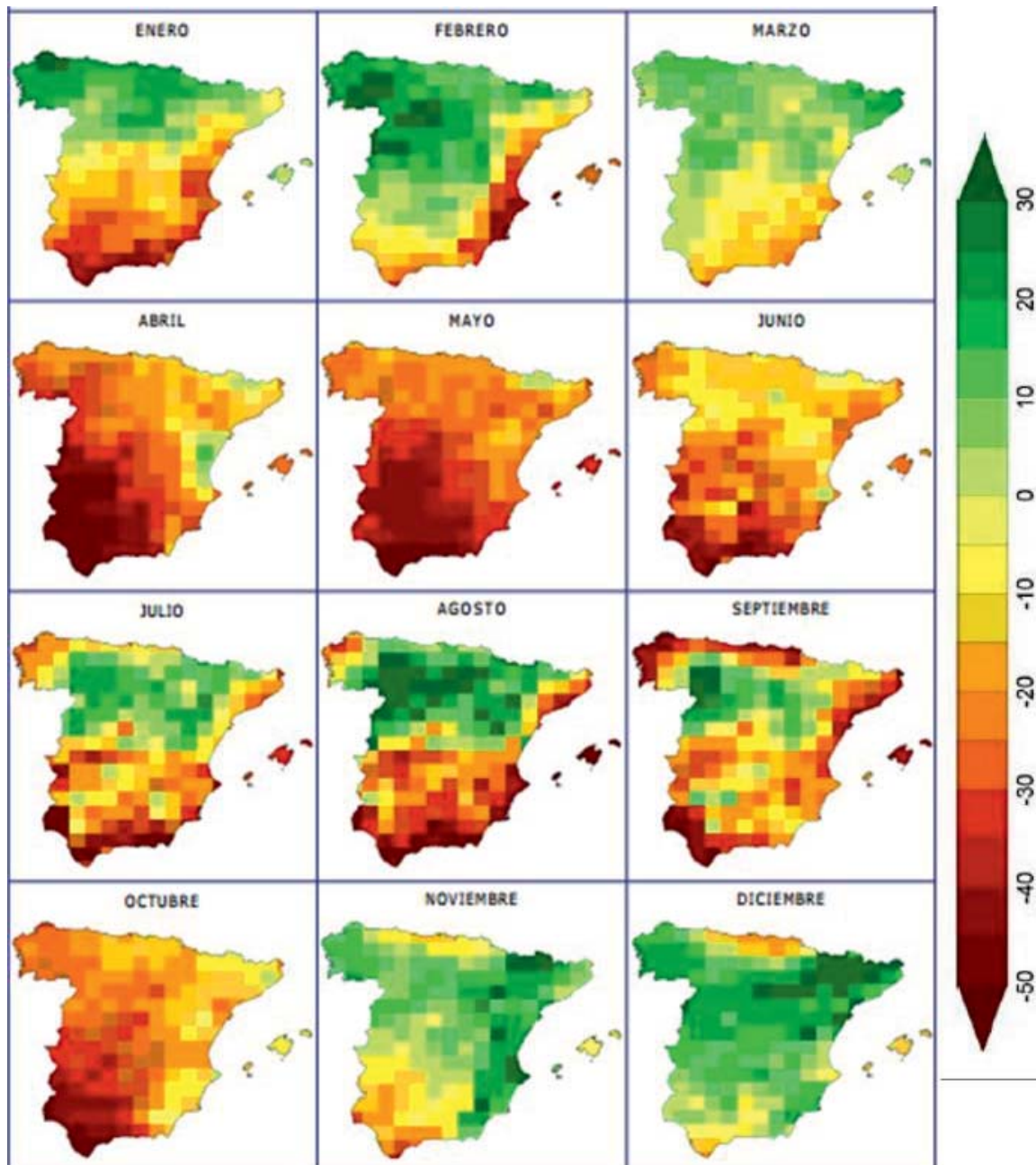
### Agua y cambio global

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.

