

## **1.GENERALIDADES**

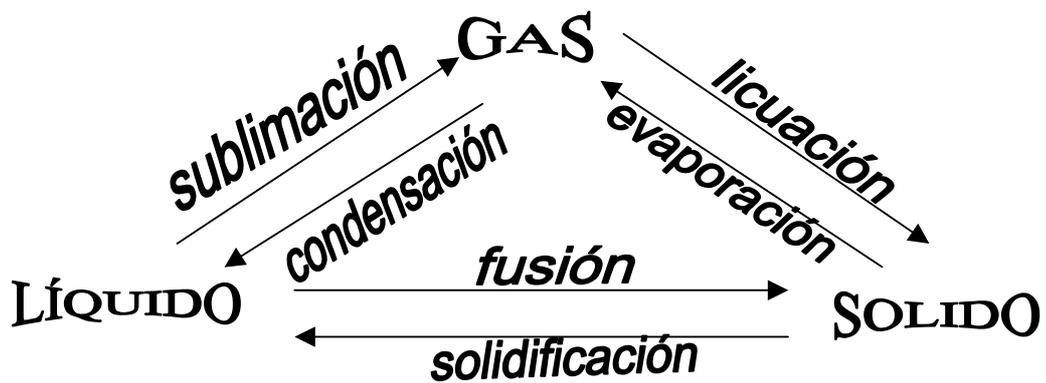
El agua para el uso humano, por su escasez y usos alternativos certifica tres evidencias irrefutables que condicionan que:

- El agua sea un bien escaso y desigualmente repartido.
- El agua sea un factor que delimite las actividades humanas y los procesos naturales.
- La deforestación de las cuencas, el despilfarro y la contaminación de los cauces degraden su vida y su esencia.

La presencia del agua en nuestro Planeta es fundamental. La importancia que el ser humano le concedió, viene desde la más remota antigüedad, ya que junto al fuego y al aire eran un elemento indispensable para la formación de los cuerpos.

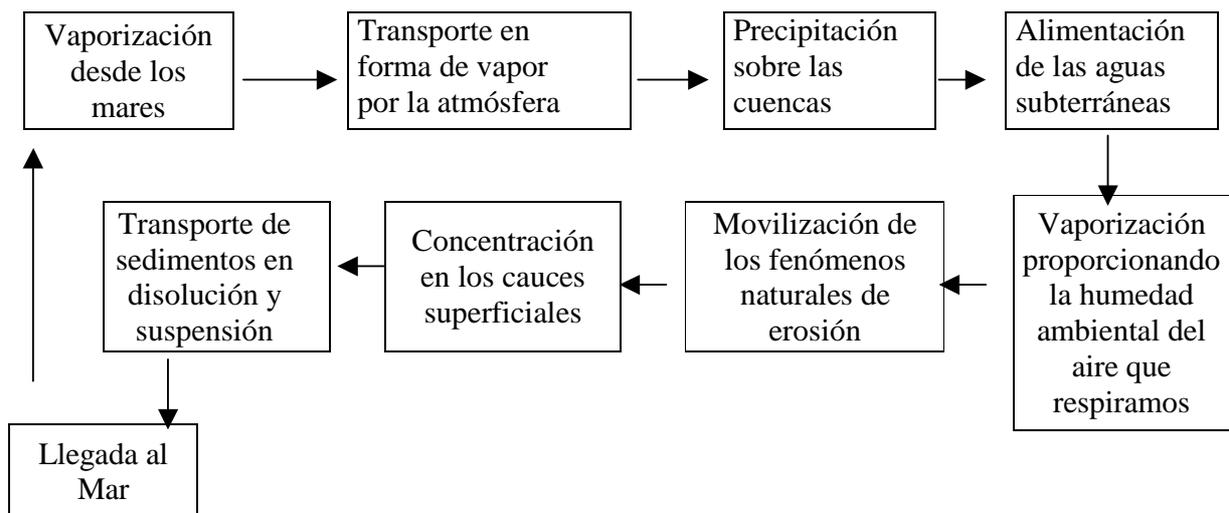
La tierra es el único Planeta de nuestro Sistema Solar, que tiene agua en estado líquido, sólido y gaseoso. Además, pasa de un estado a otro por medio de la congelación, la fusión, la condensación y la evaporación (Ver **GRAFICA 1**). El agua ni se produce ni se pierde en la superficie terrestre ni en la atmósfera. En realidad, existe una cantidad finita que circula en lo que se conoce como ciclo hidrológico del agua. El agua se desplaza por éste, tanto físicamente como cambiando de estado. (Ver **FIGURA 1**).

**FIGURA 1.** Congelación, fusión, condensación y evaporación del agua “Ciclo del agua”.



**GRÁFICA 1.** Cambios de estado del agua

En la actualidad, el 97% del agua del ciclo hidrológico se encuentra en mares, océanos y lagos salinos. El 3% restante lo constituyen los ríos, lagos, depósitos subterráneos (agua dulce). Alrededor del 75% del agua dulce está en los glaciares y el manto de hielo, y apenas poco más del 24% es agua subterránea. No obstante esta distribución no es estable, pues está en continuo trasvase de una zona a otra, ya que depende del ciclo hidrológico o “ciclo planetario”. (Ver **GRAFICA 2**).



**GRAFICA 2.** Entradas del agua en la tierra.

En el aspecto biológico, el papel del agua es fundamental, puesto que de ella proviene el hidrógeno, que permite el crecimiento de la biomasa, mediante el proceso de la fotosíntesis. Ésta, consiste en la fijación del carbono contenido de la atmósfera en forma de anhídrido carbónico por los cloroplastos de los vegetales, con ayuda de la energía solar (fotones) para combinarse con el hidrógeno dando lugar a un hidrato de carbono.

## **2. PROPIEDADES DEL AGUA**

El agua, al igual que las sales minerales y gases como el CO<sub>2</sub> y el O<sub>2</sub>, se encuentra entre las biomoléculas inorgánicas, es decir, las que carecen de carbono encontrándose también en el medio inerte.

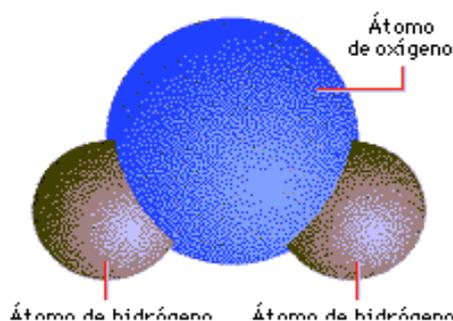
El agua es la biomolécula más abundante en la materia viva. La mayor parte de los seres vivos contienen entre un 60% y un 90% de agua.

Su incorporación en el organismo se produce por tres vías; en forma líquida, como constituyente de los alimentos sólidos y como resultado de reacciones metabólicas durante la respiración celular.

El agua no sólo es indispensable en el interior de los seres vivos, sino que también es uno de los factores ambientales que más influye en la vida de los mismos.

Agua, es el nombre común que se aplica al estado líquido del compuesto de hidrógeno y oxígeno H<sub>2</sub>O. Los antiguos filósofos consideraban el agua como un elemento básico que representaba a todas las sustancias líquidas. Los científicos no descartaron esta idea hasta la última mitad del siglo XVIII. En 1781 el químico británico Henry Cavendish sintetizó agua detonando una mezcla de hidrógeno y aire. Sin embargo, los resultados de este experimento no fueron interpretados claramente hasta dos años más tarde, cuando el químico francés

Antoine Laurent de Lavoisier propuso que el agua no era un elemento sino un compuesto de oxígeno e hidrógeno. En un documento científico presentado en 1804, el químico francés Joseph Louis Gay-Lussac y el naturalista alemán Alexander von Humboldt demostraron conjuntamente que el agua consistía en dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno, tal como se expresa en la fórmula actual  $H_2O$  (Ver **GRAFICA 3**)



**GRAFICA 3.** Molécula de agua.

Una molécula de agua consiste en un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno, unidos formando un ángulo de  $105^\circ$ . Al estar unido cada átomo de hidrógeno con un elemento muy electronegativo como el oxígeno, el par de electrones del enlace estará muy atraído por éste, formándose puentes de hidrógeno. Estos electrones forman una región de carga negativa, que polariza eléctricamente a toda la molécula. Esta cualidad polar explica el fuerte enlace entre las moléculas, así como ciertas propiedades del agua poco comunes, por ejemplo, el hecho de que se expande al solidificarse.

El agua pura es un líquido inodoro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. A la presión atmosférica (760 mm de mercurio), el punto de congelación del agua es de  $0^\circ C$  y su punto de ebullición de  $100^\circ C$ . El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de  $4^\circ C$  y se expande al congelarse. Como muchos

otros líquidos, el agua puede existir en estado sobreenfriado, es decir, que puede permanecer en estado líquido aunque su temperatura esté por debajo de su punto de congelación; se puede enfriar fácilmente a unos  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  sin que se congele. El agua sobreenfriada se puede congelar agiténdola, descendiendo más su temperatura o añadiéndole un cristal u otra partícula de hielo. Sus propiedades físicas se utilizan como patrones para definir, por ejemplo, escalas de temperatura.

El agua es uno de los agentes ionizantes más conocidos. Puesto que todas las sustancias son de alguna manera solubles en agua, se le conoce frecuentemente como el disolvente universal. El agua combina con ciertas sales para formar hidratos, reacciona con los óxidos de los metales formando ácidos y actúa como catalizador en muchas reacciones químicas importantes.

El agua está presente también en la porción superior del suelo, en donde se adhiere, por acción capilar, a las partículas del mismo. En este estado, se le denomina agua ligada y tiene unas características diferentes del agua libre. Por influencia de la gravedad, el agua se acumula en los intersticios de las rocas debajo de la superficie terrestre formando depósitos de agua subterránea que abastecen a pozos y manantiales, y mantienen el flujo de algunos arroyos durante los periodos de sequía.

El agua es el único mineral abundante y líquido a la temperatura que tiene la mayor parte de la Tierra. El estado líquido del agua es difícil de comprender.

La polaridad de las moléculas elementales y la existencia de hidrógeno dan viscosidad y tensión superficial al agua. La película superficial del agua es como una lámina elástica.

El agua aumenta de volumen al solidificarse. En ella se puede encontrar hidrógeno y oxígeno.

En el agua se pueden encontrar elementos metálicos o iones, o grupos inorgánicos, asociados con materiales orgánicos.

La concentración de  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  es muy elevada, y se relaciona con la conductividad eléctrica del agua.

Los elementos que muestran relación con la conductividad o salinidad son componentes principales, de proporcionalidad constante, que dan al agua su carácter.

Los elementos  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  suelen quedar entre límites en el agua dulce.

En la composición de las aguas dulces, no existe mucha uniformidad, y son muy variadas.

Dentro de las características del agua también está la de los contaminantes que hay disueltos en ella. Algunos de ellos son el bromo (Br), estroncio (Sr), flúor (F), litio (Li), rubidio (Rb), yodo (I), bario (Ba)... los cuales están disueltos en el agua de forma irregular, y varían de un lugar a otro. Los metales en el agua también son tóxicos, y pueden estar en distintos estados. Los más peligrosos son los que se combinan con compuestos orgánicos.

### **3. COMPONENTES**

#### **3.1. EL SISTEMA CARBÓNICO-CARBONATOS.**

El  $\text{CO}_2$  ocupa una posición especial en el agua. No es un gas elemental, sino un compuesto, presente en la atmósfera y que en el agua, forma ácido carbónico, el cual se disocia en dos etapas. (Ver **ESQUEMA 1**)

### **ESQUEMA 1:** Equilibrio entre las distintas formas del CO<sub>2</sub>.

El contenido de CO<sub>2</sub> en el agua es de 0,3 ml l<sup>-1</sup>. De esta cantidad una proporción muy pequeña, está en forma de H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Este ácido se disocia fuertemente. Además de esto, las sales neutras presentes interfieren, de modo que es preferible hablar de actividades que de concentraciones.

Sin embargo para la comprensión de los problemas ecológicos, es imprescindible conocer el pH del agua, y ver la relación que este tiene con el ácido. (Ver **ESQUEMA 2**)

### **ESQUEMA 2.** Relación ácido-pH.

### 3.2. pH

El pH es un término que indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Se trata de una medida de la acidez de la disolución. El término (del francés pouvoir hydrogène, 'poder del hidrógeno') se define como el logaritmo de la concentración de iones H<sup>+</sup> (protones) cambiado de signo:  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ , donde [H<sup>+</sup>] es la concentración de iones H<sup>+</sup> en moles por litro. Debido a que los iones H<sup>+</sup> se asocian con las moléculas de agua para formar iones hidronio, (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>), el pH también se expresa a menudo en términos de concentración de iones hidronio.

En agua pura a 25 °C de temperatura, existen cantidades iguales de iones H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> y de iones hidroxilos (OH<sup>-</sup>); la concentración de cada uno es 10<sup>-7</sup> moles/litro. Por lo tanto, el pH del agua pura es  $-\log (10^{-7})$ , que equivale a 7. (Ver **FORMULA DEL pH**)

- Se define el pH como:

$$\text{pH} = \log_{10} 1/ [\text{H}^+] = -\log_{10} [\text{H}^+]$$

- Puesto que el agua pura, a 25°C se considera químicamente neutra:

$$[\text{H}^+] [\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-14} \text{ M}$$

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-7} \text{ M}$$

- Por lo tanto, el pH del agua químicamente pura será:

$$\text{pH} = \log_{10} 1/ 1 \times 10^{-7} \text{ M}$$

### FORMULA DEL pH

Por lo tanto podríamos decir que el pH es el logaritmo decimal, con signo cambiado, de la concentración de iones hidrógeno, expresada en átomos gramo por litro.

Hay muchas formas para medir el pH, pero una de las mejores es comparar el color de algún indicador en el agua.

El pH disminuye al aumentar la temperatura aproximadamente en 0,015 pH cada °C.

El pH es la resultante y expresión de fenómenos diversos. En las aguas dulces oscila generalmente entre 6,5 y 8,7. Se encuentran valores muy bajos, desde 3 (como es el caso de las aguas que corren cerca de minas), cuando hay ácidos presentes. Sin embargo en lagos alcalinos, con gran cantidad de carbonato sódico, se miden valores de más de 9. En estas aguas la vegetación es pobre o prácticamente inexistente.

Como conclusión, en el caso de las aguas dulces, el pH de un medio es un buen indicador de un conjunto de propiedades muy importantes en la distribución de la vida.

### **3.3. ALCALINIDAD**

La alcalinidad representa la diferencia que existe entre los aniones fuertes y los cationes en la composición del agua, y, en su mayor parte es atribuible al calcio.

La alcalinidad se determina valorando el agua con ácido clorhídrico, hasta un punto final indicado por un determinado indicador, como por ejemplo la fenoftaleína.

En las aguas dulces, la alcalinidad varía entre amplios límites: de 0,3 a 4,5 miliequivalentes por litro. Los valores bajos de alcalinidad son, en su mayor parte, atribuibles al calcio, pero los valores altos se atribuyen al sodio. Además, en esta agua hasta un pH de 8 la alcalinidad está neutralizada totalmente por el bicarbonato. Esto se deduce, porque hasta este pH no hay cantidad apreciable de carbonato.

Las aguas con una mayor reserva alcalina son las más tamponadas y la medida en que la adición de ácidos o bases desvía el pH de un agua se relaciona con su reserva alcalina. Las aguas muy puras, de pequeña alcalinidad, están sometidas a oscilaciones violentas del pH.

Uno de los métodos para determinar la reserva alcalina de un agua se basa, en la desviación de su pH que se consigue con la adición de determinada cantidad de ácido o de álcali.

### **3.4. CARBONO**

La concentración de carbono en el agua es de fundamental importancia para el desarrollo de la vida vegetal.

En la naturaleza está representado por los tres isótopos  $C_{12}$ ,  $C_{13}$  y  $C_{14}$ . El  $C_{14}$  se forma en la alta atmósfera, por la acción de la radiación cósmica, a través de neutrones, sobre el  $N_{14}$ . Tiene una vida media de 5833 años.

El  $C_{13}$  es un isótopo estable, no radiactivo, y se han utilizado los análisis de sus concentraciones para interpretar el ciclo del carbono en las aguas dulces.

### **3.5. METALES ALCALINOTÉRREOS**

Las concentraciones de los metales alcalinotérreos han de cumplir una serie de condiciones que varían según el tiempo y el lugar, relacionándose con la temperatura, salinidad, difusión, asimilación y respiración de los organismos.

El calcio, por ejemplo, aumenta con la salinidad del agua y disminuye al aumentar la temperatura. En las aguas dulces depende principalmente de pH.

Los carbonatos del calcio y de magnesio se presentan en formas distintas, pudiendo estar hidratados o no. Los minerales más importantes son la calcita, la magnesita, y la dolomita. La presencia del magnesio aumenta la solubilidad del carbonato cálcico, pero ambos carbonatos (magnésico y cálcico), se hallan en proporciones variables que pueden llegar hasta el 15% del total. El ciclo del calcio además, también se relaciona con el del azufre.

El estroncio precipita junto con el calcio, y esta relación es muy variable, y sobre todo es mayor en verano que en invierno.

### **3.6. NITRÓGENO.**

Existe una enorme reserva de nitrógeno molecular, en forma de gas atmosférico y disuelto en el agua; pero esta reserva es sólo asequible a un reducido número de seres, bacterias y cianofíceas, y normalmente, queda fuera del ciclo.

El contacto del agua con la atmósfera representa una pérdida de oxígeno muy grande para el agua. Del mismo modo, la desnitrificación por parte de microorganismos hace pasar nitrógeno de los compuestos inorgánicos a la forma gaseosa. Para que el equilibrio vuelva a restablecerse tiene que intervenir nitrificación orgánica.

El nitrógeno se encuentra en el agua en tres formas: gas disuelto, combinaciones inorgánicas y combinaciones orgánicas. La fijación de nitrógeno molecular por bacterias y cianofíceas tiene importancia en el agua y en el suelo. Estas bacterias fijadoras pueden tener mucha importancia en las aguas dulces.

El nitrógeno inorgánico no gaseoso se halla en forma de nitratos, nitritos y amonio. Normalmente, la concentración de nitrato es mayor que la de nitrito y amonio, pero cuando la descomposición de materia orgánica es muy activa, la concentración de nitrito y amonio es mayor.

La cantidad total de compuestos inorgánicos de nitrógeno en las aguas naturales varía entre límites amplios. En las aguas dulces es frecuentemente alrededor de 300mg N<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

### **3.7. FÓSFORO**

El ciclo del fósforo es sencillo, ha de cerrarse con el agua y los sedimentos y no hay intercambio con la atmósfera.

En los organismos, el fósforo está en forma de ésteres fosfóricos y la separación del fosfato después de la muerte es muy rápida y uniforme. La determinación analítica de la concentración de fosfato reactivo en las aguas es fácil, aunque debe atenderse a la posible interferencia del arsénico. Aunque el fósforo puede variar mucho en cantidad debido a diferentes reacciones siempre queda una fracción que queda inmovilizada de manera irreversible en el sedimento.

El fósforo es un factor del cual dependen las poblaciones de organismos acuáticos.

En general, podemos decir que tanto el fósforo como el nitrógeno determinan la distribución de unas o de otras especies.

### **3.8. EL SILICIO**

En el agua, el silicio se halla en formas distintas, por ejemplo el silicato soluble. El contenido de esta, depende principalmente del pH.

El sistema silícico-silicatos constituye un sistema amortiguados paralelo al formado por el carbónico-carbonatos. Las diatomeas son los organismos que más influyen en el ciclo del silicio, y podemos decir que entre este ciclo y el del azufre existen conexiones importantes.

### **3.9. HIERRO**

El hierro tiene particular interés para nosotros por tres razones:

- a) Es necesario para los organismos y se halla en débil concentración en el agua.
- b) Su ciclo y su acumulación son indicadores de propiedades interesantes de la respectiva masa de agua.
- c) Nos facilita la introducción del concepto de potencial de reducción y oxidación. El hierro se puede encontrar en forma ferrosa y en forma férrica, pero cuando está disuelto se encuentra, en su mayor proporción en forma de ion ferroso. El bicarbonato ferroso disuelto es estable a un pH de 7, si el contenido de oxígeno es inferior a 0,5 mg/l-1. Si el contenido de oxígeno es más elevado, precipita hidróxido férrico.

El equilibrio entre el hierro ferroso y el férrico depende del potencial de reducción y oxidación, o potencial redox, que se relaciona con el pH y con el contenido de oxígeno.

Las tres formas principales de minerales de hierro que aparecen asociados con las distintas zonas del ambiente acuático son, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y SH<sub>2</sub>.

### **3.10. MANGANESO**

El manganeso acompaña al hierro y, se comporta igual que aquél, aunque su concentración es, unas cinco veces menor. El ciclo del manganeso presenta amplificadas las manifestaciones del ciclo del hierro, o permite detectar antes los efectos del agotamiento de oxígeno en el ciclo de lagos y embalses eutróficos. El color de los precipitados de manganeso es negro.

En las aguas dulces es muy frecuente observar películas, particularmente en las aguas ácidas, en las que el hierro férrico precipita al contacto con la atmósfera dando una fina lámina irisada que se fragmenta por cualquier agitación.

### **3.11. OTROS ELEMENTOS**

Muchos elementos, además de los considerados, actúan como factores importantes en la regulación de las poblaciones acuáticas. Algunos de ellos son el cobre, el arsénico, el cobalto, el molibdeno, etc.

### **3.12. MATERIA ORGÁNICA**

En las aguas naturales existe una amplia gama de material en suspensión. Si se filtra el agua se obtiene un residuo llamado seston, en el que se reconoce una parte viva, el plancton, y una fracción desprovista de vida, el tripton. Parte del tripton es de naturaleza inorgánica. Su importancia ecológica suele ser indirecta, por absorción de la luz, por servir de vehículo a sustancias orgánicas o por recargar el trabajo de los órganos filtradores.

La porción orgánica del seston consiste en restos de organismos.

### **3.13. MATERIA ORGÁNICA DISUELTA**

Es muy difícil decir dónde termina la materia orgánica particulada y dónde empieza la disuelta.

En las aguas dulces las determinaciones de los pioneros de la limnología química, Juday y Birge, en diversos lagos norteamericanos, señalan valores de 2,9 a 39,6 mg de materia orgánica por litro.

La materia orgánica disuelta procede, de la descomposición de material particulado, pero también de excreciones solubles y es muy importante la contribución de los organismos fotosintetizadores.

Es muy difícil clasificar toda la materia orgánica disuelta, ya que no se conocen todos los tipos que hay. Hasta ahora se ha encontrado de todos los tipos de los que se ha buscado. Hay especialmente glúcidos, aminoácidos, grasas y compuestos húmicos. Es también interesante el hallazgo de hidrocarburos de distintos tipos, por lo que pueden contribuir a explicar el origen de petróleo. En los aminoácidos se presenta racemización y cuando quedan inmovilizados, en los sedimentos, por lo que puede usarse como reloj geológico.

Pero la verdad es que la mayor proporción de la materia disuelta es particularmente esquiva a la investigación. Se trata de moléculas no muy grandes, pero muy resistentes a cualquier acción de los seres vivos.

Otro producto orgánico de acumulación es el petróleo. Aunque los organismos producen directamente algunos hidrocarburos, en general, puede decirse que la composición del petróleo es muy diferente de la de los organismos y de la fracción más importante de la materia orgánica disuelta en el agua. La formación del petróleo ha de ser un fenómeno usual y no un acontecimiento catastrófico.

#### **4. EL AGUA EN ESPAÑA**

Por su posición geográfica, España entra de lleno en el dominio bioclimático mediterráneo, caracterizado por la acusada reducción de las precipitaciones, especialmente en

verano cuando suben las temperaturas. Esta estación del año se refleja también en los ríos que se convierten en un pálido reflejo de lo que son durante el resto del año.

Entre las sierras (los sitios húmedos) y el sureste peninsular (las zonas áridas), se sitúa la más extensa de las zonas climáticas, la España seca, que comprende las mesetas de la Costa Mediterránea, parte del Guadalquivir y la mayor parte de los archipiélagos.

Si a la irregularidad de las lluvias, le añadimos las grandes diferencias existentes entre unas zonas y otras en cuanto a la abundancia del recurso, el aumento de la demanda de agua de todos los sectores y la falta de infraestructuras y planes para su correcta gestión, no resulta extraño que el agua en España sea un bien pendiente de la regulación.

Haciendo hincapié en la importancia del agua en España, decir que este recurso constituye una necesidad de primera instancia para el abastecimiento humano y para el desarrollo de sectores tan importantes en nuestra economía, como el agrícola. De hecho, los regadíos son actualmente, el destino de casi el 80% del agua que se consume en nuestro país, mientras que el abastecimiento de la población supone el 14% y los usos industriales algo más del 6%.

Por otra parte, no podemos olvidar, que es también imprescindible para el mantenimiento de ecosistemas. Los ecosistemas acuáticos de nuestro país están notablemente degradados en cuanto a su régimen y a su calidad, debido en gran parte a la contaminación y a la carencia de infraestructuras de depuración. Y, es que además de ser escaso el agua en España, también se produce la contaminación de ésta. En el campo, los pesticidas, purines, metales pesados, nitratos, fertilizantes... que se emplean repercuten muy negativamente en el medio ambiente (en el agua), con los consiguientes problemas de eutrofización e impactos perjudiciales en la flora y fauna. En la industria y en la ciudad ocurre otro tanto de lo mismo. Se generan infinidad de sustancias que alteran nocivamente la calidad de las aguas.