

# LA FÍSICA DEL AGUA EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA

Alberto LINÉS ESCARDÓ

*Meteorólogo*

## RESUMEN

En los procesos climáticos y en la distribución de los climas, el agua y sus propiedades físicas son de la mayor importancia. Se analizan los efectos de algunas de esas propiedades, como el elevado calor específico del agua, la anómala variación de su densidad con la temperatura, los elevados calores latentes en los cambios de fase, el albedo del agua sólida y líquida, la absorción de la onda larga por el vapor de agua, los fenómenos de saturación y las diferentes presiones saturantes sobre el agua o el hielo.

**Palabras clave:** clima, agua, calores latente y específico.

## ABSTRACT

*Physical properties of water are very important in climatic process. The role of specific heat of water, the variation of density with temperature, the heat of fusion and evaporation, the reflexion of the radiation over snow, the absorption of long wave by water vapour, and the saturation problems are considered.*

**Key words:** climate, water, latent and specific heat.

## 1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA

Las propiedades físicas del agua habría que calificarlas de un tanto sorprendentes. Aún cuando su simple apariencia, tal vez por lo muy familiarizados que estamos con ella, no parece esconder hechos físicos poco habituales, la realidad es distinta, y muchas de esas propiedades físicas son un tanto poco habituales en comparación con las de otros cuerpos físicos.

Nos referiremos sólo a algunas, por su mayor relación con los procesos meteorológicos y climatológicos (PEIXOTO, 1989).

A) Su elevadísimo calor específico. Es de los más altos entre los que pudiéramos llamar sustancias comúnmente presentes en la naturaleza. Para encontrar calores específicos superiores al del agua, habría que recurrir al hidrógeno líquido, al amoníaco líquido o algún otro.

B) Muy irregular coeficiente de dilatación. Es cierto que no son demasiados los cuerpos de coeficiente de dilatación casi constante (mercurio, alcohol y otros líquidos orgánicos, etc), pero el caso del agua es poco común.

C) Elevados calores latentes en los cambios de estado, en particular en al paso de la fase líquida a la fase de vapor o viceversa. La dificultad de liberar tales calores supone muchas veces una inercia o retraso en los cambios de estado.

D) El valor del albedo es alto en la fase sólida; según la textura puede llegar a alcanzar prácticamente la unidad. En la fase líquida es variable y en un amplio intervalo térmico, crece ligeramente con la temperatura.

E) La absorción de radiación en onda larga es muy elevada por parte del vapor de agua presente en la atmósfera.

F) Los procesos físicos involucrados en las mezclas de aire y valor de agua son algo complejos, así como los fenómenos de condensación y sublimación cuando se presentan.

G) Las presiones saturantes de vapor sobre agua líquida y sobre hielo son diferentes y esa diferencia es función de la temperatura.

En forma somera vamos a referirnos a las consecuencias climatológicas de cada una de estas propiedades físicas del agua.

### **1.1. Calor específico del agua**

Al ser muy diferente al del aire, y al del suelo, y dentro del suelo, también diferente entre unos y otros terrenos, la absorción de la radiación solar y la irradiación nocturna es muy variable. En general, la presencia de grandes masas de agua líquida, como pueden ser los océanos y los mares interiores de cierta relevancia, tienen un efecto termostático muy acusado, que se traduce en:

a) Una clara diferencia en las curvas térmicas anuales y diarias entre los climas continentales y marítimos. Así, la oscilación media anual de temperatura en la Península Ibérica se encuentra en la llanura manchega; en Ciudad Real rebasa los 20 °C. En cambio, en La Coruña es poco menos de la mitad. El clima de La Coruña ofrece una serie de singularidades a las que sólo nos vamos a referir someramente: la oscilación térmica anual es una de las más bajas en la Europa continental, si no la más baja de la red sinóptica. La razón hay que encontrarla en el dominio de las masas atlánticas húmedas, con un elevado calor específico que limita las oscilaciones térmicas diarias y también las anuales. La influencia continental en La Coruña prácticamente sólo es acusada con persistentes vientos del segundo cuadrante. El valor de la precipitación total anual es comparativamente estable y con una variabilidad muy inferior a la de otras estaciones del entorno de menor influjo marítimo.

b) La oscilación termométrica diaria es mucho menor en climas marítimos que en climas continentales. No es raro que en algunos climas tropicales marítimos la oscilación diaria aún en días relativamente nublados sea superior a la oscilación media anual. Recordemos que la oscilación media anual es la diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y el mes más frío.

### **1.2. Muy irregular coeficiente de dilatación**

Las irregularidades del coeficiente de dilatación del agua con la temperatura constituye una verdadera singularidad. Acaso lo más acusado sea el hecho de que el agua líquida entre los cero y los cuatro grados centígrados se contraiga al aumentar la temperaturas. Debido a ello el agua a presión constante tiene su mayor densidad a la temperatura de cuatro grados centígrados.

Esta propiedad tiene gran importancia para el comportamiento de las masas de hielo en los océanos.

Dichas masas formadas sobre todo en los círculos polares, al iniciarse el deshielo, tienden muchas veces a desplazarse hacia zonas mas templadas, se fragmentan y, en caso de desplazarse desde tierra hacia el mar, se configuran en forma de grandes bloques arrastrados por las corrientes marinas. Esos bloques flotan, aunque en general queda sumergida una buena parte de los mismos.

En el caso de que la densidad del agua disminuyera con rapidez a partir de 0°C, podrían incluso ir a capas profundas al caer al mar, lo que supondría una extraordinaria complejidad en la génesis de las corrientes marinas y entre los intercambios de calor en los océanos, de modo que podrían prevalecer en zonas polares los intercambios verticales sobre los horizontales.

### **1.3. Elevados calores latentes en los cambios de estado.**

El agua absorbe unas 80 cal/gr al fundirse un gramo de hielo, y unas 600 al evaporarse un gramo de agua. Inversamente, en la congelación de un gramo de agua líquida y en la condensación de un gramo de vapor de agua las 80 y 600 calorías respectivamente son desprendidas.

Estos calores latentes juegan un papel importantísimo en diversos procesos meteorológicos y también en la configuración de los diferentes tipos de clima. Cuando la congelación tiene lugar en áreas no muy extensas y el calor desprendido puede ser absorbido en áreas circundantes, el proceso de enfriamiento puede continuar en forma relativamente continua. Cuando el calor desprendido difícilmente puede ser absorbido, se detiene la congelación y de seguir el proceso de enfriamiento, el agua queda en estado de subfusión. Esto es muy corriente en las nubes de gran desarrollo vertical y puede dar lugar a fenómenos de englamamiento al paso de aviones, o bien en conductores de energía eléctrica, por referirnos a los casos mas frecuentes.

El calor latente de congelación puede en muchos casos incidir en las temperaturas, sobre todo en las mínimas, que en caso de precipitación en forma de nieve o aguanieve, pueden quedar en torno al cero, mientras que en el mismo lugar con cielo despejado y tiempo seco podrían bajar los termómetros varios grados bajo cero.

El calor latente de vaporización es importantísimo en la distribución de calor y también de la precipitación a escala planetaria. En efecto: El problema de la circulación general atmosférica radica en encontrar un modelo que asegure la redistribución del calor, humedad y momento cinético por toda la atmósfera, de modo que quede asegurado que en las zonas donde hay mas radiación incidente que irradiante, las temperaturas no suban en forma indefinida, ni tampoco, en el caso de zonas oceánicas, el vapor de agua no se acumule también indefinidamente. Del tema del momento cinético y su redistribución, no nos ocupamos de momento.

Los modelos mas usuales de circulación ofrecen el clásico esquema tricelular, que asegura la redistribución de calor desde las zonas tropicales a las templadas y polares, y también del vapor de agua. Sin embargo, el bajo calor específico del aire hace que el aire seco sea poco eficaz en el transporte calorífico. Las corrientes marinas son capaces de transportar importantes cantidades de calor, pero son muy lentas; a veces la presencia de corrientes como en el fenómeno Niño producen alteraciones climáticas incluso en escenarios lejanos (PARRILLA, 2000). Las corrientes frías hacia zonas mas cálidas son muy complejas por los calores latentes de fusión implicados.

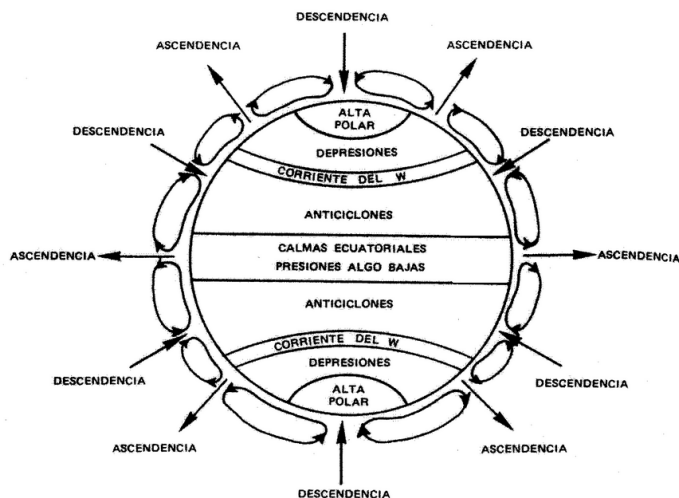


Figura 1: Esquema de la circulación atmosférica.

En cambio, el aire húmedo es un portador de calor de extraordinaria eficacia, ya que un gramo de vapor de agua condensado en zonas templadas y polares supone el aporte de unas 600 calorías, cifra verdaderamente considerable. Un valor mucho mas modesto del calor latente de condensación exigiría un modelo muy diferente de circulación general atmosférica y a la vez una distribución de los climas completamente diferente de la actual.

Además de ser el calor latente de evaporación de mucha menor cuantía, el esquema de circulación general sería muy diferente, con mayores contrastes entre zonas cálidas y frías y la configuración climática totalmente distinta de la actual. Entendemos que el calor latente de vaporización del agua es uno de los elementos de mayor importancia en la génesis de muchos fenómenos meteorológicos y también en la estructura climática del planeta.

#### 1.4. Elevado valor del albedo de la nieve

El albedo o poder de reflexión de la radiación solar es muy elevado en la nieve, y llega a ser casi igual a la unidad, lo que supone casi la reflexión total de la radiación solar incidente en el caso de la nieve reciente helada. Ello facilita los siguientes fenómenos:

a) La permanencia de la nieve en el suelo, al resultar poco eficaz la radiación solar directa incidente. Si la temperatura del aire es negativa, se prolonga la capa helada lo que contribuye a la fisonomía de los climas árticos o polares continentales en invierno. Se da por tanto un fenómeno de retroalimentación positiva de modo que, al resultar prácticamente ineficaz la radiación solar directa, la capa helada tiende a mantenerse.

b) Una invasión polar prematura en latitudes relativamente altas puede suponer un adelantamiento del invierno. Análogamente, una invasión de aire templado y sobre todo húmedo al final del in-

vierno o al comienzo de la primavera astronómica puede fundir anticipadamente la capa helada y a partir de entonces hacer mas eficaz la radiación solar y anticipar la estación cálida y aún hacerla mas rigurosa.

### **1.5. Absorción de la radiación en onda larga por el vapor de agua**

Dentro del balance de radiación terrestre juega un importante papel la presencia en la atmósfera del vapor agua, cuya capacidad de absorción de la onda larga procedentes principalmente desde el suelo, es superior globalmente a la del dióxido de carbono.

La no existencia de vapor de agua en la atmósfera o bien su transparencia a la radiación infrarroja terrestre supondría que la temperatura media terrestre sería de unos 5°C, es decir, unos diez grados menos que la temperatura media actual.

En los climas húmedos la elevada cantidad de vapor de agua en las noches determina que las temperaturas mínimas sean muy suaves, mientras que en los climas tropicales continentales, con muy escasa presencia del vapor de agua, las mínimas suelen ser muy bajas, como en el caso de las zonas desérticas, en que la oscilación diaria de temperatura es sumamente elevada.

Hay un proceso de realimentación positiva muy acusado en los climas cálidos y húmedos: el calor aumenta la evaporación y con ello la presencia de vapor de agua en la atmósfera, lo que propicia la absorción de la radiación infrarroja terrestre con la consiguiente tendencia al incremento de las temperaturas y al fomento de la evaporación.

Dado que la distribución del vapor de agua es muy variable, sobre todo en regiones con acusada orografía, también lo es la absorción de la radiación infrarroja terrestre, lo que facilita la variabilidad termométrica, que tiende a ser menor en las regiones mas secas. Un caso particular son los microclimas creados por las brisas marinas; durante la noche se produce una advección de aire húmedo que penetra tierra adentro, en forma muy variable de unos lugares a otros. Las zonas microclimáticas de brisa son de anchura muy variable de unos lugares a otros y a veces favorecen algunos cultivos. Las grandes edificaciones en las playas alteran los regímenes de brisas locales.

### **1.6. Mezcla de aire seco y vapor de agua**

A la presión normal, las mezclas de gases pueden efectuarse con proporciones muy variables. En el caso del aire y el vapor de agua no sucede lo mismo. Para cada temperatura se admite un máximo de vapor de agua (vapor saturante) a partir del cual se produce la condensación del vapor agua. La relación entre la presión o tensión de vapor saturante y la temperatura se expresa gráficamente por medio de una curva en la cual la tensión saturante tiene unos valores bajísimos para temperaturas muy bajas y a partir de algunas de grados centígrados crece con gran rapidez y a los 100°C la tensión saturante se iguala con la presión atmosférica reinante.

Los mecanismos de evaporación y de condensación del agua son muy frecuentes en la atmósfera y su análisis y estudio constituye parte importantísima de la hidrometeorología. La presencia, frecuencia y características de los hidrometeoros de cada región es algo de suma importancia en el clima de la misma.

Tabla 1: Tensiones saturantes sobre agua y hielo en hPa para diferentes temperaturas

| Temperatura (°C) |  | -40° | -30° | -20° | -10° | 0°   | 10°   | 20°    |
|------------------|--|------|------|------|------|------|-------|--------|
| $e_{sa}$         |  | 0,19 | 0,51 | 1,25 | 2,86 | 6,11 | 12,27 | 122,37 |
| $e_{sh}$         |  | 0,13 | 0,38 | 1,03 | 2,60 | 6,11 | —     | —      |

Por ello, la singulares propiedades del vapor de agua, así como los calores latentes involucrados en los procesos de evaporación y de condensación son básicas en el concepto de clima de cualquier región geográfica.

### 1.7. Presiones de vapor saturantes sobre hielo y agua

Las tres fases del agua (sólida, líquida y vapor) no es raro coexisten en la naturaleza; la presencia simultánea de las tres fases es particularmente frecuente en el seno de las masas nubosas muy desarrolladas.

El valor de la presión saturante sobre el agua y sobre el hielo, para una misma presión y temperatura, no son iguales; es siempre mayor la tensión saturante sobre la fase líquida que sobre el hielo.

Los mecanismos de engelamiento en los aviones cuando penetran en determinadas nubes está íntimamente relacionado con la menor tensión saturante sobre el hielo, y de ahí la rapidez en la formación del mismo. Igualmente, las características de la precipitación, en particular cuando tiene lugar en forma de gotas grandes de lluvia o granizo, están asimismo asociadas a los mecanismos de precipitación, ya que el vapor se sublima preferentemente sobre los corpúsculos de hielo que sobre las gotas de agua.

## 2. CONCLUSIÓN

Podemos afirmar que las propiedades físicas del agua inciden poderosamente en todos los procesos atmosféricos y por tanto, en la configuración de los climas de cada región geográfica.

## 3. REFERENCIAS

- PEIXOTO, J.P. (1989): *The Physics of Climate*. Lisboa. Conferencia inaugural Sesión Climatología OMM.
- PARRILLA, G. (2000): *El papel de los océanos en el cambio climático*. El Campo de las Ciencias y las Artes. Serv. Estudios BBVA.