

## **Cambio climático: agua en la atmósfera y el ciclo del agua**

by Revista Vinculando - miércoles, febrero 17, 2010

[https://vinculando.org/ecologia/cambio\\_climatico\\_agua\\_en\\_la\\_atmosfera\\_y\\_el\\_ciclo\\_del\\_agua.html](https://vinculando.org/ecologia/cambio_climatico_agua_en_la_atmosfera_y_el_ciclo_del_agua.html)

La Tierra no es un planeta como otro cualquiera del sistema solar, sino el único en el que se ha desarrollado la vida. La razón fundamental de esta originalidad es su posición con respecto al Sol. Esta posición determina de un modo preciso el clima de nuestro planeta, un clima que ha sido propicio a el surgimiento de la vida. Pero dicho clima es el resultado de un equilibrio constantemente reajustado entre el agua, la atmósfera y la energía del Sol. La energía solar, que permite mantener las masas de agua en movimiento entre la tierra, el mar y la atmósfera, hace de motor del ciclo del agua. Vemos así aparecer el estrecho vínculo existente entre el clima terrestre y el ciclo del agua.

Hace ya mucho tiempo que el ciclo del agua hace correr mucha tinta. Faceta esencial de la vida en nuestro planeta, el constante intercambio de agua en la hidrosfera -evaporación, precipitaciones y cursos de agua- moviliza y fascina a los investigadores. Durante mucho tiempo solo la parte terrestre de este ciclo había interesado a los especialistas. Pero hoy en día, en un momento en que se intenta optimizar los métodos de irrigación y de explotación de las aguas, la parte atmosférica conoce también su hora de gloria. Si las interacciones entre las ramas atmosférica y terrestre de la hidrosfera permiten mantener un estado de cuasiequilibrio del sistema climático, la dinámica del ciclo del agua, en contrapartida, esta asegurada por la circulación atmosférica general.

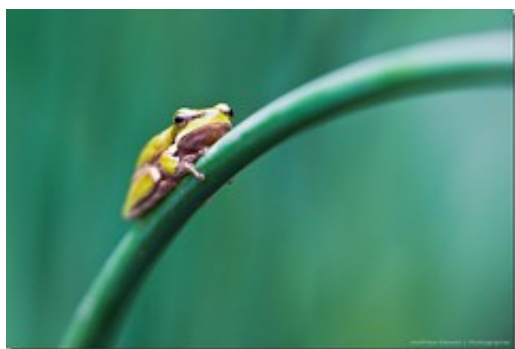


Image by [Matthew Stewart | Photographer](#) via Flickr

En la Tierra, el agua está presente bajo todas sus formas: líquido, hielo o vapor. Está distribuida en cinco reservas interconectadas cuyo conjunto constituye la hidrosfera. El mar es la más importante de estas reservas, seguida por los depósitos de hielo o de nieve, las aguas terrestres, la atmósfera y por último la biosfera. Con mayor precisión, el mar contiene  $1350 \times 10^{15}$  m<sup>3</sup> de agua, es decir, el 97% de toda el agua contenida en la hidrosfera. Los continentes poseen  $33,6 \times 10^{15}$  m<sup>3</sup>, principalmente localizados en los hielos árticos y antárticos. La atmósfera alberga sólo una cienmilésima parte del contenido en agua del sistema climático:  $0,013 \times 10^{15}$  m<sup>3</sup>. Es posible que el examen de esta cifra provoque una cierta sorpresa. La abundancia de las precipitaciones, así como su influencia sobre el clima y los recursos hidrológicos, no parece guardar proporción con la cantidad mínima de agua presente en la atmósfera en un momento dado.

En los continentes, el agua se distribuye entre distintas reservas, la más importante de las cuales, y de lejos, está formada por los glaciares ( $25 \times 10^{15}$  m<sup>3</sup>) que totalizan cerca del 1,8% de la hidrosfera; vienen a continuación las

aguas superficiales ( $8,4 \times 10^{15} \text{ m}^3$ ), los lagos y los ríos ( $0,2 \times 10^{15} \text{ m}^3$ ) finalmente la materia viva de la biosfera ( $0,0006 \times 10^{15} \text{ m}^3$ ). En los yacimientos formados por las aguas subterráneas, las aguas que empapan los suelos (baldosa) no representan más que  $0,066 \times 10^{15} \text{ m}^3$ . El resto está distribuido casi uniformemente entre depósitos de profundidad menor o igual a 800 metros.

Estos yacimientos son objeto de incesantes transferencias de grandes cantidades de agua dentro del sistema climático. Todos tenemos una noción intuitiva del ciclo del agua, al menos de sus líneas maestras: evaporación, precipitación, cursos de agua. Todo viene del mar y todo vuelve al mar de un modo u otro. El tiempo de permanencia del agua en cada tipo de reserva puede calcularse a partir de la cantidad de agua presente en dicha reserva y de su velocidad de acumulación o desaparición. En la atmósfera, el tiempo de permanencia es de unos nueve días; en los hielos polares y en el mar, en cambio, es de varios miles de años.

## Un ciclo bien conocido

¿Cómo se realiza el ciclo del agua? Consideremos la atmósfera como punto de partida del ciclo: el agua se acumula en la atmósfera bajo la acción de los procesos de evaporación que tienen lugar en la superficie del mar y de los continentes [y también por obra de plantas y animales](#). Al ascender, el aire húmedo se enfría y luego se condensa parcialmente en forma de nubes; en definitiva, la atmósfera contiene agua en forma de vapor, de líquido o de cristales de hielo. Debido a la gravedad, el agua vuelve a caer al mar o a los continentes en forma de lluvia, nieve, granizo u otra forma cualquiera de precipitación.

## La distribución desigual del agua

La distribución de las precipitaciones y de los fenómenos de evaporación en la superficie del globo terrestre no es uniforme. No obstante, pueden señalarse algunas tendencias generales: en las zonas subtropicales y polares, los fenómenos de evaporación son más importantes que las precipitaciones. Por contra, las precipitaciones dominan en los dos tipos de zonas llamados cinturones de precipitaciones: se trata por una parte de las regiones ecuatoriales que corresponden a la zona de convergencia intertropical (ZCIT) y de otra las latitudes medias, a nivel de las perturbaciones asociadas al frente polar. Así pues, lo que alimenta en continuo estos cinturones- de precipitaciones es el vapor de agua procedente de la evaporación de los océanos subtropicales.

Todos los especialistas en climatología, hidrología y glaciología están de acuerdo en que la circulación atmosférica general y la atmósfera juegan un papel fundamental y determinante en el funcionamiento del ciclo hidrológico. Pero sólo la instalación relativamente reciente de una red de estaciones aerológicas ha permitido hacer progresar el estudio cuantitativo de la hidrosfera gaseosa y de los movimientos aéreos del vapor de agua, elemento principal de la rama atmosférica del ciclo hidrológico. Hasta estos últimos decenios, los investigadores, por falta de medios, se habían dedicado sobre todo a estudiar la parte del ciclo hidrológico relativa a la Tierra. Sin embargo, tenían que afrontar un cierto número de problemas tales como la dificultad de obtener datos numéricos fiables sobre la evaporación, las modificaciones de la cantidad de agua almacenada y las precipitaciones.

## El vapor de agua se renueva constantemente en la atmósfera.

¿A qué leyes obedece el balance de la distribución del agua en la atmósfera? Este balance está gobernado por varios procesos: la evaporación (que constituye el aporte de agua a la atmósfera), las precipitaciones y el desplazamiento de las masas de vapor de agua por obra de los vientos (que constituyen los dos procesos de desaparición de agua en una región dada). Así pues, los datos necesarios son el grado de humedad y la velocidad de los vientos a distintas altitudes. Estos valores han sido medidos sistemáticamente por los servicios meteorológicos de los países miembros de la OMM (Organización Meteorológica Mundial) durante unos diez años (mayo de 1963-abril de 1973) mediante una red de sondas atmosféricas uniformemente distribuidas alrededor de la Tierra.

Los datos han sido tratados en el Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/NOAA de la universidad de Princeton,, en Estados Unidos. En cada año se han estudiado detalladamente dos periodos, que dan los valores extremos: de diciembre a febrero y de junio a agosto.

Por las razones ya mencionadas, entre otras una mejor explotación de los recursos de la Tierra, el estudio de la parte atmosférica del ciclo del agua reviste una importancia creciente. Como demostramos en 1983, el vapor de agua no está distribuido uniformemente en la atmósfera (Fig. 2). (3) El mapa de la distribución del contenido en agua de la atmósfera -o cantidad de agua "precipitable" en la atmósfera ( $W$ )- revela inmediatamente, con algunas excepciones, una disminución continua de  $W$  en función de la latitud, del ecuador a los polos: la cantidad de agua precipitable llega a ser de 50 kg/m<sup>2</sup> en las regiones ecuatoriales y apenas si rebasa 5 kg/m<sup>2</sup> en las zonas subpolares y polares.

## **Masas de agua en perpetuo movimiento**

Para comprender con claridad el papel que juega la circulación atmosférica general en el ciclo del agua no basta estudiar el contenido en agua de la atmósfera. También hay que analizar los datos disponibles sobre los movimientos de las masas de agua, es decir, el flujo aéreo. Se caracteriza este proceso mediante los valores medios del flujo de vapor de agua  $Q$ .

Los mapas de los valores de  $Q$  establecidos por nosotros revelan claramente los movimientos dominantes de las principales masas de aire húmedo de la atmósfera y reflejan las características principales de la circulación general en la baja atmósfera. No son uniformes ni la dirección ni la intensidad de estos movimientos: su intensidad es netamente mayor por encima de los océanos (Pacífico, Atlántico e Índico), lo que en general se traduce en una transferencia de vapor de agua a los continentes. Esta no uniformidad de los flujos de vapor de agua alrededor de la Tierra muestra a las claras que las precipitaciones de una región tienen por origen el agua evaporada en otra completamente distinta e invalida así la llamada teoría in situ, todavía defendida por algunos hidrólogos (según la cual las precipitaciones de una región proceden de ella misma). Aunque se constata el predominio del componente local (de este a oeste), de los flujos de vapor de agua alrededor de la tierra, la componente meridiana (sur - norte), juega un papel fundamental en el balance de la distribución del agua en la tierra

## **¿Cómo modelizar el ciclo del agua?**

Los estudios sobre el terreno, como los que describimos en este artículo, van siempre acompañados por la puesta a punto de unos modelos matemáticos que dichos estudios van mejorando poco a poco. Los primeros modelos de la circulación atmosférica general en los que aparecía el ciclo del agua fueron realizadas en 1975 por los norteamericanos S. Manabe y J.L. Holloway en el Geophysical Fluid Dynamics Laboratory de Princeton (New Jersey). (13) Estos modelos tridimensionales, que toman en cuenta el factor tiempo, se basan en las ecuaciones dinámicas de la atmósfera. Tratan de simular lo más fielmente posible los diversos procesos que tienen lugar en la atmósfera y los océanos. Por lo que respecta a los continentes, el modelo se basa en un hipotético terreno uniforme que podría absorber unos quince centímetros de agua antes de que empiecen a producirse cursos de agua. El modelo adoptado para el mar es de tipo "pantano": se supone que la capacidad hipotética del mar es infinita y que no hay ninguna redistribución del agua por las corrientes oceánicas. Esta hipótesis muy restrictiva y muy alejada de la realidad permite sin embargo obtener unos resultados cualitativos razonables.

Se están realizando esfuerzos para mejorar la formulación del ciclo hidrológico introducida en los modelos de circulación general. El modelo permite calcular campos de temperatura y flujos de vapor de agua atmosféricos; los cálculos de la convergencia del vapor de agua en la atmósfera permiten estimar la diferencia neta entre las tasas de precipitación y de evaporación (esta última se estima partiendo de un esquema bastante simple según el cual la evaporación depende de la humedad del suelo y del potencial de evaporación).

Por último, hay que partir de estudios a escala global para intensificar las investigaciones a escala regional. Así se evaluará mejor la eficacia de los resultados obtenidos a partir de los datos atmosféricos y se podrán comparar estos resultados con los que se obtienen en hidrología clásica. Pero el estudio de un modelo básico en el que la Tierra, el mar y la atmósfera son considerados como un sistema único conduce ya a un conocimiento apreciable del ciclo del agua. Como recuerda el libro del Eclesiastés "todos los ríos van a parar al mar y sin embargo el mar no está lleno".

Este es el sitio del autor: