

¿Por qué el océano es salado y la lluvia no?

Juan Segurola · Todos los derechos reservados

QUE · Artículo 016 · Preguntas sencillas, respuestas profundas · Versión 0.1 ES

La lluvia devuelve agua desde la atmósfera, pero no devuelve todo el material disuelto que los ríos transportan al mar. La evaporación ordinaria transfiere agua al vapor y deja atrás la mayor parte de las sales disueltas. Las rocas, el agua y el fondo marino aportan iones; otros procesos los retiran. La salinidad del océano resulta de esa circulación selectiva y de ese balance químico, no simplemente de un recipiente que acumula sal sin salida desde que se formó la Tierra.

La expresión «la lluvia no es salada» también necesita matices. La lluvia normalmente contiene mucha menos sal disuelta que el agua del mar, pero no es agua químicamente pura. El contraste es de concentración y vías de transporte, no una distinción entre agua con sustancias químicas y agua sin ellas.

1. De dónde viene el material disuelto

El agua del mar contiene átomos y grupos de átomos con carga eléctrica llamados iones. El sodio y el cloruro son especialmente abundantes, pero el agua del mar no es simplemente sal de mesa disuelta en agua. Su química también incluye magnesio, sulfato, calcio y otros componentes. La NOAA da una salinidad total típica de unos 35 gramos de sales disueltas por kilogramo de agua de mar. Los valores locales difieren. [1]

La lluvia y el agua del suelo interactúan con las rocas, disolviendo y alterando químicamente los minerales. Los ríos llevan al mar parte de los iones resultantes. [1] Un río no necesita saber salado para transportar una masa considerable: una concentración modesta multiplicada por un gran volumen de agua en movimiento puede producir un gran flujo. La concentración describe qué hay en una muestra; el flujo describe cuánto cruza un límite por unidad de tiempo.

La circulación del fondo marino añade otra vía. El agua que entra en la corteza caliente cambia de composición mediante reacciones con las rocas. Algunos componentes entran en el fluido; otros lo abandonan. La explicación de la NOAA sobre las fuentes hidrotermales describe explícitamente la retirada de magnesio y sulfato junto con la incorporación de varios metales. [2] Llamar a las fuentes un aporte de «sal» sin identificar el componente ocultaría esta química de doble sentido.

2. El agua y la sal no siguen rutas idénticas

En la superficie del mar, moléculas individuales de agua pueden abandonar el líquido y entrar en el aire. El sodio y el cloruro disueltos no las acompañan normalmente como un vapor equivalente de agua de mar. Por tanto, la evaporación puede aumentar la concentración en el líquido restante, mientras que la entrada de agua dulce puede reducirla. La explicación de la NOAA sobre la salinidad superficial identifica tanto la evaporación como la lluvia como factores de control. [3]

Esto es diferente de lanzar una gota al aire. El aerosol marino transfiere pequeñas porciones de líquido, que pueden incluir sus sales disueltas. No deben fundirse en un único proceso la evaporación y la producción mecánica de gotas. La NOAA identifica la sal marina entre los aerosoles atmosféricos y la precipitación entre sus vías de retirada. [5] Los gases disueltos también aportan material a la lluvia. Por tanto, el contraste del título no implica que toda muestra de lluvia tenga cero sodio, cloruro u otros solutos.

Por ejemplo, el dióxido de carbono se disuelve en el agua de lluvia y contribuye a su acidez, como explica el Servicio Geológico de Estados Unidos al describir la ruta desde la precipitación hasta la meteorización de las rocas. [4] Incluso antes de considerar el aerosol marino, «agua pura» ya sería una descripción química inadecuada de la lluvia natural.

3. Un cálculo de concentración

Consideremos un recipiente deliberadamente simplificado con 1000 kilogramos de disolución, incluidos 35 kilogramos de sales disueltas no volátiles. Su fracción másica de sal es $35/1000 = 0,035$, o 35 gramos por kilogramo. Supongamos que se evaporan 100 kilogramos de agua, sin pérdida de sal ni entrada de material nuevo.

La disolución restante tiene una masa de 900 kilogramos y sigue conteniendo 35 kilogramos de sal. Por tanto, su concentración es $35/900$, aproximadamente 0,0389, o 38,9 gramos por kilogramo. La cantidad total de sal no ha crecido. Solo ha disminuido la cantidad total de agua.

Si después se añaden 100 kilogramos de agua sin sal, vuelve la concentración original. Este cálculo simplificado aísla la dilución y la concentración; no reconstruye una cuenca oceánica. Desprecia la circulación, los solutos adicionales, las reacciones químicas, la precipitación de minerales y el intercambio con sedimentos. Tampoco equipara gramos por kilogramo con gramos por litro: masa y volumen requieren una conversión mediante la densidad.

De ahí se deduce una segunda distinción. El agua puede pasar de un río a un océano y salir después por evaporación, mientras que el material disuelto sigue otro conjunto de rutas. Un diagrama del ciclo del agua que solo siga al agua es incompleto como diagrama del transporte de sal.

4. Por qué la sal no se acumula sin límite

Para un componente disuelto elegido, sea M su masa en el océano, F_{in} su tasa total de entrada y F_{out} su tasa total de retirada. La conservación da $dM/dt = F_{in} - F_{out}$. La ecuación no dice por sí sola nada sobre las magnitudes de esos flujos; para conocerlas hacen falta química y mediciones.

Las reacciones entre agua y roca en el fondo marino pueden retirar magnesio y sulfato, y los minerales pueden precipitar de los fluidos hidrotermales. [2] La incorporación biológica puede transferir algunos componentes fuera del agua del mar. [1] Esa transferencia por sí sola no establece una retirada permanente: la descomposición o disolución posteriores pueden devolver el material. Un sumidero químico debe definirse sobre una escala temporal y con un destino.

Si las entradas y salidas se equilibran durante un intervalo elegido, la cantidad almacenada puede permanecer aproximadamente estable pese al tránsito continuo de material. Bajo esa aproximación de estado estacionario, M/F_{out} define una escala temporal de renovación del componente elegido. No es la edad del océano ni establece la edad de cada ion que contiene. Los distintos elementos pueden tener cantidades almacenadas y procesos de retirada muy diferentes.

Esto importa históricamente. Dividir el contenido actual de sal del océano por el aporte actual de los ríos produciría un tiempo, pero interpretarlo como la edad del océano supondría ignorar las salidas, los cambios de los aportes y las condiciones iniciales. Un cociente dimensionalmente válido no es automáticamente un reloj válido.

5. Qué establecen las observaciones y qué requiere un modelo

Las muestras establecen concentraciones en lugares y profundidades concretos. El muestreo repetido puede revelar cambios. Para estimar lo que aporta un río, hay que combinar la concentración con el caudal; para inferir la cantidad total almacenada en una cuenca, hay que relacionar la química muestreada con el volumen y la distribución del agua. Son tareas observacionales distintas.

La ecuación de conservación conecta después esas tareas. Si una cantidad almacenada estimada cambia de una manera que los flujos medidos no explican, entre las causas posibles están el muestreo incompleto, una fuente o sumidero omitidos y los cambios de la cantidad de agua. La ecuación es una restricción sobre una explicación, no una medición independiente de un flujo no observado.

La salinidad local también puede cambiar mediante intercambio con aguas vecinas. Una zona donde hay evaporación no es necesariamente un recipiente aislado. El ejemplo numérico sencillo explica una tendencia; la circulación oceánica determina cómo se expresa esa tendencia en una región concreta.

6. La respuesta con sus límites intactos

Sabemos por qué la evaporación ordinaria separa el agua de la mayoría de las sales disueltas y podemos identificar vías principales de aporte y retirada de componentes disueltos. Reconstruir el balance químico detallado de un océano anterior es más difícil: las concentraciones modernas no especifican de manera única la historia que las produjo.

El océano es salado porque recibe componentes disueltos que siguen vías de retirada diferentes del retorno atmosférico del agua. La lluvia es mucho menos salina porque la evaporación no transporta la mezcla disuelta del océano al vapor en las mismas proporciones. Ninguna afirmación requiere lluvia químicamente pura ni un mar sin sumideros de sal.

Lectura relacionada

El artículo 020, «¿Por qué los ríos forman curvas?», sigue el movimiento de los sedimentos y de los límites del cauce. Su conexión con este artículo es el transporte, no el supuesto de que los iones disueltos y los granos de sedimento se comporten igual.

Referencias

[1] NOAA National Ocean Service. Why is the ocean salty?
<https://oceanservice.noaa.gov/facts/whysalty.html>

[2] NOAA Ocean Exploration. Factsheet: Hydrothermal Vents.
<https://oceanexplorer.noaa.gov/wp-content/uploads/2022/10/hydrothermal-vents-fact-sheet.pdf>

[3] NOAA JetStream. Sea Water. <https://www.noaa.gov/jetstream/ocean/sea-water>

[4] US Geological Survey. Why is the Ocean Salty?
<https://www.usgs.gov/water-science-school/science/why-ocean-salty>

[5] NOAA. Aerosols, Weather and Climate. State of the Science Fact Sheet (agosto de 2022).
<https://csl.noaa.gov/factsheets/aerosolsweatherclimatesos.pdf>