

¿Cómo puede una nube mantenerse en el aire?

Juan Segurola · Todos los derechos reservados

QUE · Artículo 014 · Preguntas sencillas, respuestas profundas · Versión 0.1 ES

Una nube no es un objeto sin peso. Sus partes visibles contienen gotitas de agua líquida, partículas de hielo o ambas. Muchas de esas partículas están cayendo respecto al aire circundante. Aun así, una nube puede seguir siendo visible porque las partículas pequeñas caen lentamente, el aire se mueve y la condensación y la evaporación cambian continuamente qué partículas existen.

La pregunta se vuelve mucho más sencilla cuando dejamos de imaginar una nube como un único cuerpo sólido suspendido sobre el paisaje. El contorno visible delimita una región cambiante en la que hay agua condensada. No tiene por qué encerrar el mismo conjunto de gotas de un momento al siguiente.

1. Lo visible no es el vapor de agua

El vapor de agua es la fase gaseosa del agua y no es, en sí mismo, el material blanco que vemos. Las gotitas y las partículas de hielo dispersan luz y hacen visible una nube. El Servicio Meteorológico Nacional de Estados Unidos describe las nubes terrestres ordinarias como agua condensada líquida o sólida, con partículas atmosféricas que a menudo proporcionan lugares para la formación de gotas [1].

Enfriar una parcela de aire puede llevar su vapor de agua a la saturación y permitir la condensación. El aire que asciende suele expandirse y enfriarse, lo que constituye una vía importante de formación de nubes. No es la única: el cambio necesario de temperatura y humedad puede ocurrir en distintos contextos meteorológicos.

La saturación se refiere a la relación entre presión de vapor y temperatura. Decir que el aire frío simplemente tiene menos espacios vacíos donde alojar agua proporciona una imagen microscópica equivocada. El aire no es una esponja con agujeros controlados por la temperatura. Tampoco cualquier pequeño enfriamiento de cualquier parcela de aire crea inmediatamente una nube; importa su estado inicial de humedad.

Las partículas sobre las que se forman las gotas también importan, por lo que el desarrollo de una nube no está determinado únicamente por la temperatura. La activación detallada de las partículas y el crecimiento de las gotas son un problema microfísico. Para la pregunta presente, el resultado esencial es que una nube visible contiene muchas partículas condensadas pequeñas y no una sola gota enorme.

2. Las gotas pequeñas tienen velocidades de caída pequeñas

Una gota que cae experimenta gravedad, empuje y resistencia aerodinámica. Tras un breve ajuste, la resistencia puede equilibrar su peso efectivo, dando una velocidad terminal respecto al aire. «Terminal» no significa que la gota se haya detenido; significa que su rapidez de caída ya no aumenta en las condiciones declaradas.

Para una partícula esférica pequeña que se mueve lentamente por un fluido viscoso, la ley de Stokes da una resistencia de magnitud $6\pi\mu rv$, donde μ es la viscosidad dinámica, r el radio de la partícula y v la rapidez respecto al fluido [2]. Igualarla al peso efectivo, $(4\pi r^3/3)(\rho_w - \rho_a)g$, da $v = 2(\rho_w - \rho_a)gr^2/(9\mu)$. Aquí, ρ_w y ρ_a son las densidades del agua y del aire, y g es la aceleración gravitatoria.

La dependencia con el cuadrado del radio es el resultado crucial. El peso es proporcional al volumen, por tanto a r^3 , mientras que esta resistencia a baja velocidad es proporcional a r . Así, las partículas pequeñas alcanzan el equilibrio a una rapidez baja. La fórmula es una aproximación de bajo número de Reynolds para una esfera aislada, no una ley para todas las gotas de lluvia, cristales de hielo o interacciones turbulentas.

Utilicemos datos ilustrativos próximos a la superficie: $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$ y $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Un radio de 10 micrómetros da entonces unos 0,0121 m/s, o 1,21 centímetros por segundo. Son datos especificados de un modelo, no una medición de cada gota de una nube.

El número de Reynolds asociado, $\rho_a v(2r)/\mu$, es aproximadamente 0,016, compatible con utilizar la aproximación de flujo lento. Duplicar el radio da cuatro veces la rapidez del modelo, unos 0,0484 m/s, y un número de Reynolds próximo a 0,13. A medida que las partículas crecen más, resulta inadecuado extrapolar la misma fórmula sin comprobar su régimen.

3. Caer a través del aire no significa necesariamente caer hacia el suelo

La velocidad respecto al aire difiere de la velocidad respecto al suelo. Si el aire asciende más deprisa de lo que una gota cae a través de él, la gota asciende respecto al suelo. Si el ascenso es más débil, la gota puede seguir descendiendo, pero despacio. Una nube no necesita contener una fuerza que cancele directamente la gravedad para cada partícula.

Para el ejemplo de 10 micrómetros, una velocidad ascendente hipotética del aire de 0,020 m/s superaría la rapidez de caída calculada. En esta comparación estacionaria sencilla, la velocidad vertical neta de la gota sería de unos 0,0079 m/s hacia arriba. Es una ilustración de suma de velocidades, no una afirmación de que una nube concreta tenga esa corriente ascendente uniforme.

En aire perfectamente inmóvil, la misma velocidad terminal requeriría unas 2,3 horas para caer 100 metros. Ese cálculo no establece la duración de una nube. Las gotas reales pueden evaporarse, crecer, colisionar o entrar en movimientos de aire diferentes durante ese intervalo. Solo demuestra por qué una partícula pequeña que cae no abandona inmediatamente una nube de gran espesor.

El empuje también necesita una formulación cuidadosa. Una gota líquida es mucho más densa que el aire y no flota individualmente como un globo de helio. El movimiento por flotabilidad de una parcela de aire húmedo es otro asunto, que implica la densidad de la parcela respecto a su entorno. La nube puede estar asociada a aire ascendente aunque sus gotas tengan velocidades de caída hacia abajo respecto a ese aire.

4. El límite se está reconstruyendo

Una gota que entra en aire suficientemente alejado de la saturación puede evaporarse. El vapor de agua que entra en una región favorable a la condensación puede contribuir a formar gotas. Por tanto, el borde de una nube puede permanecer cerca de un lugar mientras las partículas lo atraviesan y cambian de fase. Su contorno es evidencia de las condiciones actuales, no una superficie material permanente.

Una analogía útil es un patrón de ondas visible en agua que fluye: el patrón y el material que pasa por él no tienen por qué compartir una velocidad. La analogía se refiere a la identidad y el movimiento, no afirma que las nubes obedezcan exactamente las mismas ecuaciones que las ondas del agua.

El enfriamiento durante el ascenso y el calentamiento durante el descenso ayudan a explicar por qué la formación y la desaparición pueden ocurrir en partes diferentes de una corriente de aire [1]. La mezcla con el aire circundante complica esa imagen. Por tanto, la persistencia de una nube combina microfísica con movimiento y termodinámica, en vez de reducirse a una sola comparación entre peso y una fuerza única de sustentación.

La masa total puede seguir siendo grande. Una región nubosa hipotética de un kilómetro cúbico, con un contenido uniforme de agua líquida de 0,5 gramos por metro cúbico, contendría 500 000 kilogramos de agua líquida. Ese contenido de agua es un ejemplo elegido, no un valor universal. Una gran cantidad total repartida entre muchas gotas diminutas no tiene la velocidad de caída de un único objeto compacto de la misma masa.

5. Por qué parte del agua acaba convirtiéndose en precipitación

El crecimiento de las partículas cambia el equilibrio. Las gotas pueden colisionar y fusionarse; los procesos de hielo proporcionan otras vías hacia partículas lo bastante grandes para caer con eficacia fuera de la nube. El Servicio Meteorológico Nacional distingue los procesos de colisión de nubes cálidas de las vías que implican hielo [1]. Qué vía predomina depende de la temperatura de la nube, su población de partículas y su dinámica.

La condensación por sí sola no es una explicación completa de toda gota de lluvia. Tampoco todas las nubes tienen que precipitar. Algunas pierden su agua condensada por evaporación antes de que se desarrolle una población importante de partículas que caen rápidamente. Predecir la precipitación requiere una distribución de tamaños y una historia de crecimiento y movimiento, no solo la presencia de material blanco visible.

Entre las observaciones que restringen esa explicación están los tamaños de las partículas, el contenido de agua líquida y la velocidad del aire. Importa su combinación: una fotografía puede revelar el contorno de una nube y dejar esas magnitudes mal determinadas. El cálculo de la caída pone a prueba un mecanismo; no infiere todos sus datos de entrada a partir de la apariencia.

La respuesta bien establecida es que las partículas pequeñas caen despacio respecto al aire, el aire en movimiento puede transportarlas y las partículas de la nube se forman y desaparecen continuamente. Los detalles inciertos se refieren a la población cambiante y al flujo de una nube concreta. El error conceptual consiste en exigir un único mecanismo de sustentación para un objeto cuya identidad cambia mientras lo miramos.

Referencias

[1] US National Weather Service. Cloud Development.
https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU_Training_Page/clouds/cloud_development/clouds.htm
(consulta: 5 de octubre de 2026).

[2] OpenStax. University Physics, Volume 1, §6.4, Drag Force and Terminal Speed.
<https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/6-4-drag-force-and-terminal-speed>
(consulta: 5 de octubre de 2026).