



La belleza cristalina de los copos de nieve

¿Qué procesos determinan la estructura de estas maravillas de la naturaleza?

Desde un punto de vista puramente físico, el hielo y la nieve no son más que agua en estado sólido. Pero ¿qué aspectos nos aclara esta afirmación? Ni siquiera proporciona respuesta a la pregunta, tan simple como evidente, sobre el origen de la exuberante diversidad de formas que presentan los copos de nieve. ¿Cómo pueden el agua y el vapor amorfos dar lugar a estas bellezas cristalinas?

Tal y como nos recuerda una antigua canción infantil alemana, los copos de nieve caen de las nubes y recorren un largo camino. Si los tomamos con una mano enguantada para que no se derritan de inmediato, constataremos que, aunque es cierto que no hay dos copos iguales, todos ellos comparten una misma estructura hexagonal básica. Muy de cuando en cuando encontramos cristales de tres o de doce lados, pero nunca de cuatro u ocho.

Siglos antes de nuestra era, el sabio chino T'ang Chin lo explicaba así: «Dado que el seis es el verdadero número del agua, cuando el agua se congela en flores, estas han de tener seis puntas».

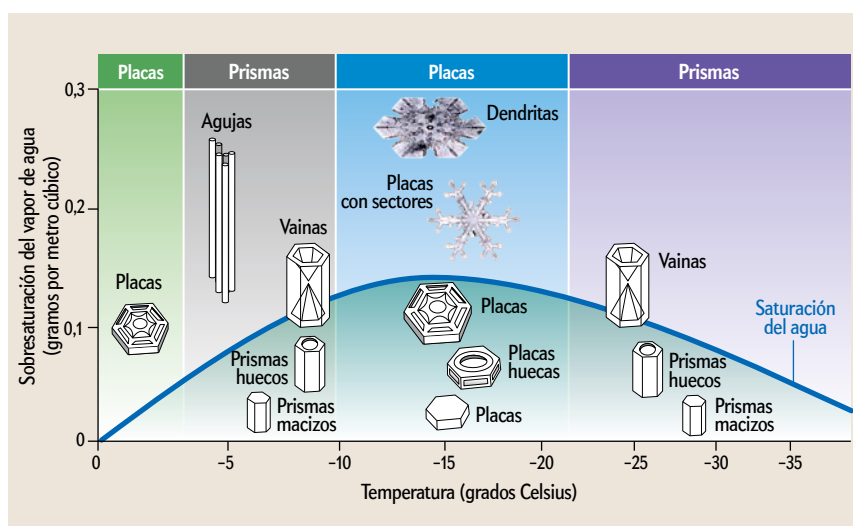
En nuestra cultura, la estructura hexagonal de los copos de nieve no comenzó a suscitarse interés hasta 1611, con el ensayo de Johannes Kepler *Sobre el copo de nieve hexagonal*. René Descartes también se maravillaba en su *Meteoros*, de 1637, de que los cristales de hielo siempre cumplieran ese principio estructural: «Eran pequeñas placas de hielo, muy planas, muy pulidas, muy transparentes, con un espesor como el de una hoja de papel algo gruesa, [...] pero tan perfectamente talladas en hexágonos, con los seis lados tan rectos y los seis ángulos tan iguales, que para el hombre sería imposible hacer algo tan exacto». Con todo, los principios

de crecimiento de los copos de nieve solo han comenzado a entenderse en las últimas tres décadas, gracias a disciplinas como la geometría fractal y a la mejora en nuestra comprensión de los procesos de autoorganización de sistemas de muchas partículas.

Hexágonos en la naturaleza

Las estructuras hexagonales no son nada inusuales en el mundo natural. Si colocamos varias bolitas de poliestireno del mismo tamaño sobre la superficie del agua y no demasiado lejos unas de otras, observaremos que se acercan entre sí y se juntan en pequeñas balsas con una disposición hexagonal. La razón es la tendencia de todo sistema a ceder tanta energía al entorno como sea posible. Las bolas de poliestireno lo logran formando estructuras hexagonales: si cada una se rodea de otras seis esferas, ocuparán la menor extensión de agua posible y minimizarán de este modo la energía superficial. Un principio de autoorganización similar puede aplicarse a las moléculas de agua. Estas también se unen para adoptar la configuración de menor energía posible, y también en este caso el resultado es una red cristalina con simetría hexagonal.

Imaginemos un cristal diminuto sobre el que comienzan a caer moléculas de agua. Si el cristal presenta caras lisas, las partículas se acoplarán en cualquier lugar con aproximadamente la misma probabilidad. Sin embargo, una vez que aparezcan rugosidades debido a las partículas acumuladas, las siguientes moléculas se establecerán preferentemente en los escalones y espacios vacíos del cristal, ya que en esas zonas habrá un mayor número de moléculas vecinas para atraer a las recién llegadas. Por tanto, los cristales crecen más rápido en las zonas rugosas. De este modo comienzan a formarse



VARIEDAD DE ESTRUCTURAS: Las formas de los cristales de nieve dependen de la temperatura y humedad ambientales. Solo las placas de cristal hexagonales producen copos. Este diagrama morfológico fue elaborado en los años treinta del siglo xx por el japonés Ukichiro Nakaya, uno de los pioneros en el estudio de los copos de nieve.

SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT SEGÜN UKICHIRO NAKAYA

prismas hexagonales (es decir, limitados por bases de seis lados) que evolucionan hasta convertirse, según las condiciones ambientales, en placas planas de seis lados o en estructuras parecidas a columnas, también hexagonales. Así pues, a pesar de su corto alcance, las minúsculas fuerzas moleculares determinan la geometría macroscópica del cristal.

Pero ¿cómo se traducen estas estructuras básicas, estos prismas, en las diversas formas que adoptan los copos de nieve? En los años treinta del pasado siglo, el japonés Ukichiro Nakaya, uno de los pioneros en el estudio de los copos de nieve, descubrió que la morfología de los cristales dependía en gran medida de las condiciones de humedad y temperatura en las que crecen. Nakaya comprobó que a -2 grados Celsius surgían cristales con forma de placas delgadas, a -5 grados se producían sobre todo agujas finas, y a -15 grados predominaban de nuevo las placas. Por último, por debajo de -25 grados, vemos una mezcla de placas gruesas y formas parecidas a columnas. Nakaya presentó sus hallazgos en un diagrama morfológico hoy famoso.

Por su parte, la humedad (la concentración de vapor de agua en el aire circundante) determina la riqueza de detalles de las formas cristalinas. Con suficiente humedad, como la que existe en las densas nubes invernales, surgen estructuras parecidas a columnas, grupos de finas agujas de hielo y cristales en forma de placas. Sorprendentemente, solo los últimos pueden convertirse en los espectaculares adornos con forma de flor y ramificaciones fractales que conocemos como copos de nieve. Hoy la razón de este fenómeno sigue siendo desconocida. Kenneth G. Libbrecht, experto en el crecimiento de cristales y copos de nieve del Instituto de Tecnología de California, ha admitido abiertamente que, hoy por hoy, sigue sin ser posible explicar todas las propiedades del diagrama de Nakaya.

Crecimiento fractal

Sin embargo, sí sabemos lo suficiente para seguir la corta vida de un copo de nieve. En la nube en la que nace, a temperaturas



BASE HEXAGONAL: A pesar de mostrar una gran diversidad de formas, los cristales de nieve suelen presentar una estructura hexagonal básica. Esta imagen muestra uno de ellos visto a través de un microscopio electrónico.

muy por debajo de cero, pueden coexistir los cristales de hielo, el agua líquida y el vapor de agua, ya que no hay partículas sobre las que el vapor pueda condensarse. Sin embargo, una mínima perturbación de ese estado metaestable bastará para desencadenar una cristalización espontánea. El cristal de hielo formado de este modo, un diminuto prisma hexagonal, actúa a continuación a modo de semilla a la que se unen otras moléculas. A partir de ahí, todo dependerá de las condiciones ambientales: si la humedad es la adecuada y la temperatura es de unos -15 grados, se convertirá en una de las placas hexagonales que pueden dar lugar a un copo de nieve.

Si el viento transporta la placa a zonas más húmedas de la nube, las moléculas de agua incidirán sobre el cristal con mayor frecuencia. Se engancharán sobre todo a las seis esquinas, y eso provocará que de ellas comiencen a brotar ramas. Este proceso se intensifica con el tiempo, ya que las ramas que están creciendo atrapan muchas de las moléculas antes de que

estas puedan progresar hacia los bordes lisos del cristal. Por otro lado, el calor liberado en la cristalización inhibe nuevos procesos de cristalización.

Debido a que las condiciones en las que crecen las seis ramas son prácticamente iguales, estas acabarán siendo casi idénticas. Después comenzarán a bifurcarse, ya que, cuanto más aumente su longitud, más probable será que las moléculas de agua se enganchen a sus bordes y formen nuevas ramas. Estas crecen hacia fuera en diagonal, como las ramas de un árbol, en dirección a la mayor concentración de vapor de agua. De este modo, consiguen alejarse de su rama principal sin acercarse demasiado a otras ramas vecinas, lo que además les permite ceder más fácilmente el calor de cristalización. Al final aparecerán estructuras fractales, con ramificaciones creadas al azar pero que conservan una estructura hexagonal básica.

Dado que la humedad y la temperatura varían con cada golpe de viento, la estructura va ganando riqueza de detalles en su caída a través de la nube. En cierto momento, el copo de nieve pesa lo suficiente para abandonarla. Mientras cae suavemente hacia la tierra, se engancha a otros como él. Al final, llega a nuestras manos una obra de arte de la naturaleza, ligera y extraordinariamente compleja, cuyos detalles le deben tanto a la casualidad como a la necesidad. ❧

PARA SABER MÁS

Secret life of a snowflake: An up-close look at the art and science of snowflakes. Kenneth G. Libbrecht. Voyageur Press, 2010.

An edge-enhancing crystal growth instability caused by structure-dependent attachment kinetics. Kenneth G. Libbrecht en arXiv:1209.4932. Disponible en <https://arxiv.org/abs/1209.4932>, septiembre de 2012.

EN NUESTRO ARCHIVO

La formación de cristales de nieve. Kenneth G. Libbrecht en *JyC*, abril de 2007.

Diez cuestiones clave sobre el hielo y la nieve. Thorsten Bartels-Rausch en *JyC*, septiembre de 2013.