# METEOROLOGÍA Joyitas de la naturaleza. Pasear ba-jo una nevada puede resultar romántico, y más aún si somos sabedores aún si somos sabedores de las maravillosas figu-ras geométricas que con-forman los copos. Las imágenes de cristales de hielo que ilustran este re-portaje, obra del fotógra-fo ruso Valeriya Zvereva, revelan su geometría fractal: una misma estructura básica se repite una y otra vez a distintas escalas.

# ASÍ NACEN Y CRECEN LOS CRISTALES DE HIELO

# ELMICROCOSMOS DE LA NIEVE

La belleza de la nieve es innegable en cualquiera de sus manifestaciones, desde el modo en que caen los copos hasta los paisajes que surgen de ella. No obstante, alcanza su máxima expresión a escala microscópica, en las delicadas formas geométricas que adquieren los cristales de hielo que la integran.

Un reportaje de JOSÉ MIGUEL VIÑAS

odo comienza en la atmósfera, en el corazón de una fría nube. Es ahí donde arranca el complejo proceso natural, relacionado con el crecimiento del hielo, que dará como resultado la formación de los copos de nieve. En realidad, bajo la denominación genérica copo de nieve podemos toparnos con muchas cosas, desde cristales individuales de diversos tamaños hasta una especie de aglomerado constituido por varios de

ellos. Y es que, en su caída a través del aire, estas minúsculas estructuras se encuentran sometidas a un constante zarandeo. Así, acaban adhiriéndose unas a otras, lo que da como resultado los copos, cuyas dimensiones y esponjosidad varían en función de las condiciones meteorológicas presentes durante la nevada.

La génesis de esos cristalitos sucede en el interior de las nubes, a temperaturas lo suficientemente bajas como para que una parte de las gotitas de agua líquida contenidas en ellas se congele y se formen los microscópicos

embriones de hielo sobre los que crecerán los citados cristales.

Eso sí, en la atmósfera, las gotitas de agua líquida no se congelan de inmediato cuando la temperatura desciende por debajo de 0 °C. De hecho, pueden mantener su condición de líquido –como agua subfundida o sobreenfriada– a temperaturas mucho más bajas, de hasta –40 °C. Ahora bien, la presencia en el

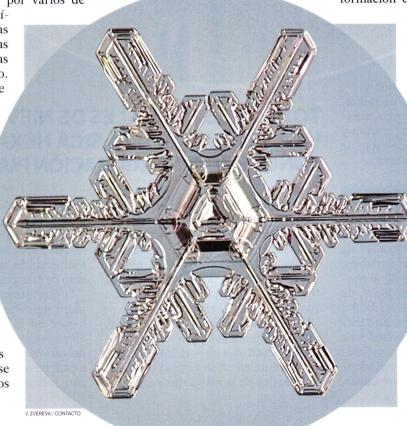
aire de partículas sólidas en suspensión, como polvo, esporas, sales marinas y polen, no solo sirve de soporte físico a esas diminutas gotas, sino que favorece la congelación de parte de ellas cuando rondan los -5 °C.

En esas nubes frías, coexisten gotitas de agua en estado líquido y congeladas. Es en ese ambiente tan cargado de humedad –sobresaturado de vapor de agua– donde se inicia el mecanismo de formación de la nieve. La cuestión es

que las gotitas de agua líquida tienden a evaporarse espontáneamente. El vapor de agua resultante se incorpora a las que ya están congeladas, de modo que se convierten directa-

mente en hielo cuando entran en contacto con ellas. Este empieza así a crecer, y comienzan a modelarse minúsculos prismas hexagonales.

Estas figuras geométricas de hielo microscópicas, que apenas miden unas décimas de milímetro de largo, tienen siempre esa estructura debido a que esa es la forma que adoptan las moléculas de agua en el hielo cuando »





que esos prismas cristalinos se forman en el interior de la nube, crecen mediante un proceso de ramificación, que puede experimentar variaciones en función de la temperatura y el grado de sobresaturación de vapor de agua del aire que rodea los cristales.

#### EN UN AMBIENTE CON POCA HUMEDAD SE FORMAN PRISMAS SENCILLOS

En esencia, la formación de un tipo de copo de nieve u otro dependerá de cómo se combine ese par de variables, tal como dedujo en los años 30 el profesor Ukichiro Nakaya (1900-1962), de la Universidad de Hokkaido, en Japón. Para entender su trabajo, primero debemos tener en cuenta que los cristales de nieve, aunque suelen identificarse habitualmente con estrellitas, pueden adoptar multitud de formas, como columnas,

#### TODOS LOS CRISTALES DE NIEVE POSEEN UNA ESTRUCTURA BÁSICA HEXAGONAL, AUNQUE SU CONFIGURACIÓN PUEDE VARIAR

agujas y placas. Eso sí, todas ellas comparten una estructura básica hexagonal. Esa es su principal seña de identidad. Un crecimiento lento da lugar a formas más simples. Por el contrario, si es rápido, aumenta la complejidad de los cristales de nieve, pues se produce en ellos un mayor número de ramificaciones.

Nakaya fue el primero que los *cultivó*, bajo condiciones controladas. Los principales resultados de sus investigaciones se resumen en su famoso diagrama morfológico de la nieve, que hemos re-

producido en la página siguiente. En dicha figura aparecen los distintos tipos de cristales de nieve que pueden formarse en función de la humedad y del rango de temperaturas en que tiene lugar el proceso de crecimiento.

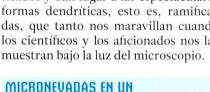
Si nos fijamos en el diagrama, lo primero que salta a la vista es que si el ambiente no es muy húmedo –algo que viene representado en la parte inferior del mismo–, los cristales de nieve resultantes no son excesivamente complejos, con independencia de que el entor-

## Las mil y una facetas de los copos

El físico japonés Ukichiro Nakaya averiguó que los cristales de hielo que integran los copos adoptan distintas formas en función de la temperatura y la humedad. Plasmó sus estudios en este diagrama:



no se encuentre a más o menos grados bajo cero. De este modo, se formarán prismas y placas hexagonales bastante elementales. Por el contrario, en un ambiente más rico en vapor de agua, los cristales se vuelven bastante más sofisticados y dan lugar a las espectaculares formas dendríticas, esto es, ramificadas, que tanto nos maravillan cuando los científicos y los aficionados nos las

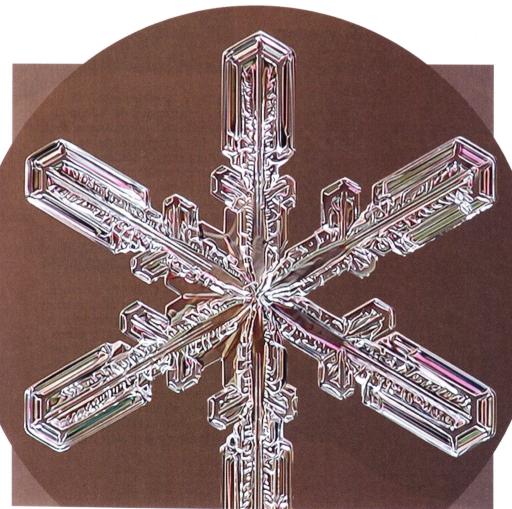


# LABORATORIO HACE OCHENTA AÑOS

El diagrama de Nakaya también permite comprobar cómo las estrellitas de nieve pueden formarse tanto a temperaturas de entre 0 °C y -3 °C como en ambientes mucho más fríos, de -10 °C a -22 °C. Una vez más, cuanto más vapor de agua haya disponible -esto es, mayor saturación-, más grandes y compleias serán.

Todas estas formas estrelladas tienen seis puntas, una consecuencia de la simetría hexagonal del hielo. Aunque a veces se representan con ocho, lo cierto es que no es posible encontrar un cristal de tal tipo en la naturaleza. A veces, sin embargo, se solapan dos de seis y dan lugar a una estructura dodecagonal.

Como hemos visto, los cristales de hielo parten siempre de una forma hexagonal básica de tamaño microscópico, pero crecen de manera diferente en función de las condiciones ambientales. Este hallazgo »



#### El retratista 'copero'

no de los principales impulsores del conocimiento que hemos ido adquiriendo sobre los cristales de nieve fue el estadounidense Wilson A. Bentley (1865-1931). El mayor empeño de este hombre,

que pasó toda su vida en una granja de Jericho, en Vermont, fue fotografiar lo más pequeño, para lo cual probó a acoplar un microscopio a una de las aparatosas máquinas de fotos de la época.

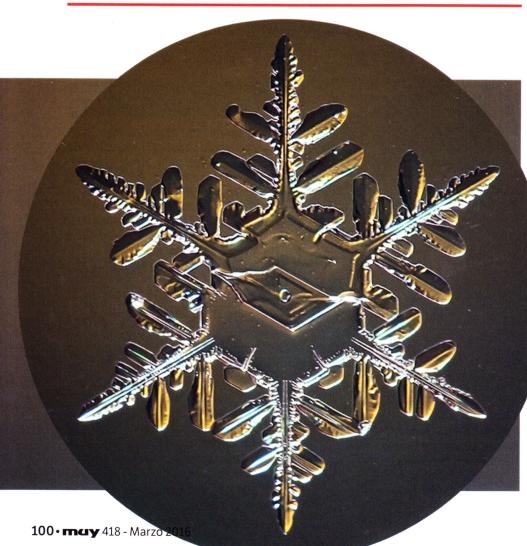


#### ¿HAY DOS IGUALES? En

1885, captó por primera vez un copo, y quedó tan fascinado por su delicada estructura que hasta su muerte no dejó de retratar estos cristales. "Bajo el microscopio encontré que eran milagros de belleza; y me pareció una pena que esta no fuera vista y apreciada. Cada cristal era una obra maestra de diseño, y ninguno se repetía", escribió. Bentley realizó unas 5.000 micrografías, pero nunca captó dos estrellitas de nieve iquales.

Sin embargo, en 1988, Nancy Knight, una experta del Centro Nacional de Investigación Atmosférica de Estados Unidos, demostró que dos de estos cristales pueden ser idénticos si las condiciones ambientales en que se forman son muy parecidas.

Bentley, conocido como el Hombre Copo de Nieve, fue un pionero de la micrografía.





estableció una clasificación que consideraba nada menos que 41 tipos de cristales de nieve diferentes.

#### EL CATÁLOGO MÁS COMPLETO CITA OCHENTA TIPOS DE CRISTALES

En 1952, la Comisión Internacional de Nieve y Hielo dio a conocer otro sistema de catalogación que establecía siete tipos básicos: platos o placas, estrellas, dendritas, columnas, columnas cubiertas -esto es, con tapa-, agujas y formas irregulares. Dentro de cada una de estas categorías se establecen, a su vez, distintas variedades, hasta completar todo el índice, que incluye también la nieve granulada y el granizo.



En 1966, los meteorólogos japoneses Choji Magono y Chung Woo Lee, de la Universidad de Hokkaido, presentaron a la comunidad científica el sistema de ordenación de cristales de nieve naturales más completo realizado hasta la fecha. Este describe ochenta variedades distintas, y entre todas ellas encontramos desde prismas simples hasta complejas dendritas estelares con forma de hele-

Lo más habitual es que un copo de nieve contenga cristales de diferentes tipos,

cho, columnas huecas o placas dobles.

ya que durante su caída –y mientras los cristales crecen en el interior de las nubes– las condiciones de humedad y temperatura cambian. Esto da como resultado una extraordinaria va-

sultado una extraordinaria variedad de formas. Los cristales de hielo microscópicos iniciales son extremadamente sensibles a los factores apuntados, por lo que basta una pequeña alteración de temperatura o una mayor o menor acumulación de vapor de agua para que el resultado final sea diferente.

Aunque el grado de conocimiento actual

UNA MÍNIMA ALTERACIÓN EN LA TEMPERATURA O EN LA HUMEDAD AMBIENTAL HACE QUE LOS COPOS ADQUIERAN UNA FORMA U OTRA

### Kepler y la geometría hexagonal

I primer tratado científico dedicado a los copos de nieve se lo debemos al astrónomo Johannes Kepler (1571-1630). A principios del siglo XVII, mientras se encontraba en Praga, observó que estos consistían en pequeños cristales de forma hexagonal, lo que despertó su curiosidad. Así, en 1611, escribió un pequeño ensayo titulado *El copo de nieve de seis ángulos*, que aún hoy es considerado el punto de partida de la cristalografía.

**COMO UNA PIRÁMIDE.** En dicho estudio, no explica por qué la nieve adopta esas formas, pero sí describe en detalle tal particularidad. Kepler intuyó que el crecimiento del hielo viene dictado por una serie de reglas físicas simples, pero que no está sujeto a un patrón prefijado.

También planteó que el empaquetamiento óptimo de las esferas en el espacio es la forma piramidal, una circunstancia que en su opinión explica la simetría hexagonal de los copos.

nos permite comprender buena parte de los procesos implicados en la formación de los copos, el hecho de que su crecimiento sea un fenómeno no lineal, así como la enorme complejidad que conllevan algunos de esos procesos físicos, tales como la dinámica molecular, el desarrollo de inestabilidades, la formación de fractales o la microfísica que tiene lugar en la interfaz hielo-aire, hace que, en la práctica, sigamos siendo incapaces de predecir con exactitud cuál será la forma que adoptarán. Y es que, al igual que ellos, su perfecta simetría también se muestra escurridiza.

