

Hacia una gran teoría unificada de los copos de nieve

Rebecca Boyle

Traducción al español: José Miguel Viñas

FUENTE: <https://www.quantamagazine.org/toward-a-grand-unified-theory-of-snowflakes-20191219/>

Kenneth Libbrecht es esa rara persona que, en pleno invierno, abandona alegremente el sur de California para ir a un lugar como Fairbanks, Alaska, donde las temperaturas invernales rara vez se elevan por encima del punto de congelación. Allí, se pone una parca y se sienta a la intemperie con una cámara y un trozo de tabla de espuma, esperando la nieve.

Específicamente, busca los cristales de nieve más brillantes, nítidos y hermosos que la naturaleza puede producir. Los copos superiores tienden a formarse en los lugares más fríos, dice, como Fairbanks y el norte nevado del estado de Nueva York. La mejor nieve que encontró fue en Cochrane, en el remoto noreste de Ontario, donde hay poco viento batiendo los copos de nieve mientras caen del cielo.

A merced de los elementos, Libbrecht escanea su tabla con la paciencia de un arqueólogo, buscando copos de nieve perfectos y otros cristales de nieve. “Si hay uno realmente destacado allí, tu ojo lo encontrará”, comenta. “Si no, simplemente lo ignoras, y puedes estar descartando durante horas”.

Libbrecht es físico. Su laboratorio en el Instituto de Tecnología de California investigó la estructura interna del sol y desarrolló instrumentos avanzados para la detección de ondas gravitacionales. Pero durante 20 años, la pasión de Libbrecht ha sido la nieve, no solo su apariencia, sino también lo que hace que se vea como se ve. “Es un poco vergonzoso cuando algo cae del cielo, y la pregunta que surge es: ¿Por qué se ve así?... Me gana”, dijo.



Kenneth Libbrecht –físico del Instituto de Tecnología de California– en Cochrane, Ontario, en 2006. Cuando un cristal de nieve de alta calidad aterriza en su tablero con núcleo de espuma, lo recoge con un

pincel pequeño y lo coloca en un portaobjetos de vidrio, para posteriormente ponerlo bajo un microscopio e inspeccionarlo. Cortesía de Kenneth Libbrecht.

Durante 75 años, los físicos han sabido que los pequeños cristales en la nieve se ajustan a dos tipos predominantes. Una es la icónica estrella plana, con seis o 12 puntas, cada una de ellas decorada con ramas de encaje a juego, en una sorprendente variedad de posibilidades. La otra es una columna, a veces encajonada por tapas planas y a veces parecida a un perno. Estas formas diferentes ocurren a distintas temperaturas y humedades, pero la razón de esto ha sido un misterio.

A lo largo de los años, las minuciosas observaciones de Libbrecht han arrojado información sobre el proceso de cristalización de la nieve. “Seguramente, es el Papa en ese campo de estudio”, en palabras de Gilles Demange, científico de materiales de la Universidad de Rouen en Francia, que también estudia cristales de nieve.

Ahora, el trabajo de Libbrecht sobre la nieve ha cristalizado en un nuevo modelo que intenta explicar por qué los copos de nieve y otros cristales de nieve se forman de la manera en que lo hacen. Su modelo, detallado en un artículo publicado en línea en octubre de 2019, describe la danza de las moléculas de agua cerca del punto de congelación y cómo los movimientos particulares de esas moléculas pueden explicar la panoplia de cristales que se forman bajo diferentes condiciones. En una monografía separada de 540 páginas, Libbrecht describe todo el conocimiento sobre los cristales de nieve. Douglas Natelson, físico de materia condensada en la Universidad de Rice, llamó a la nueva monografía un *tour de force*.

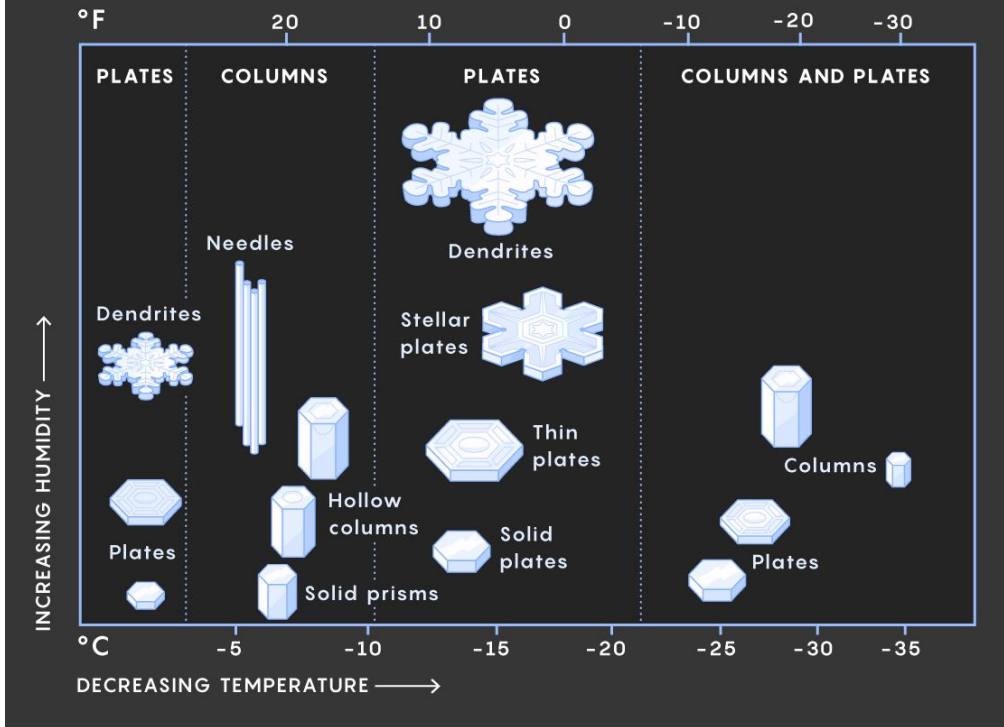
Estructuras estrelladas de seis puntas

Todos saben que no hay dos copos de nieve iguales, un hecho que se deriva de la forma en que los cristales se cocinan en el cielo. La nieve es un grupo de cristales de hielo que se forman en la atmósfera y conservan su forma a medida que caen colectivamente sobre la superficie terrestre. Se forman cuando la atmósfera es lo suficientemente fría como para evitar que se fundan derritan y se conviertan en aguanieve o lluvia.

Aunque una nube contiene infinidad de temperaturas y contenidos de humedad, estas variables son constantes para cada copo de nieve. Esta es la razón por la cual el crecimiento del copo de nieve es a menudo simétrico. Por otro lado, cada copo se ve afectado por el régimen de viento, la luz solar y otras variables, señala Mary Jane Shultz, química de la Universidad de Tufts que publicó un reciente ensayo sobre la física del copo de nieve. A medida que cada cristal se somete al caos que reside en una nube, todos terminan adoptando formas ligeramente diferentes, explica.

A Wintry Mix

Different kinds of snow crystals grow as temperatures and humidity levels vary. Crystal shapes switch between plates and columns mostly depending on the temperature. Humidity levels affect crystal growth speed and complexity.



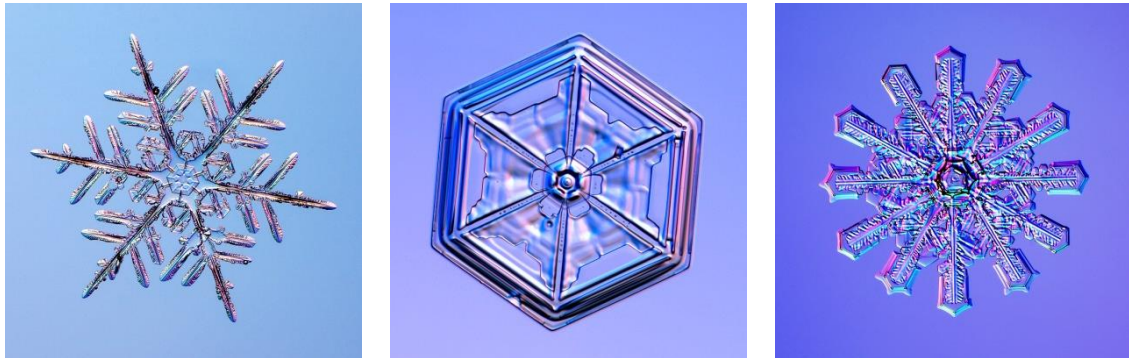
Lucy Reading-Ikkanda/Quanta Magazine, adaptada de Kenneth Libbrecht.

Las primeras reflexiones registradas sobre estas delicadas formas datan del año 135 a.C. en China, según la investigación de Libbrecht. “Las flores de las plantas y los árboles son generalmente de cinco puntas, pero las de nieve, que se llaman ying, siempre tienen seis puntas”, escribió el erudito Han Yin. Pero el primer científico que trató de entender por qué sucede esto fue probablemente el polifacético científico alemán Johannes Kepler.

En 1611, Kepler ofreció un regalo de Año Nuevo a su mecenas, el Sacro Emperador Romano Rodolfo II: un ensayo llamado "El copo de nieve de seis ángulos". Kepler escribe que notó un copo de nieve en su solapa cuando cruzó el Puente de Carlos de Praga, lo que hizo que reflexionara sobre su geometría. “Debe haber una causa por la cual la nieve tiene la forma de una estrella de seis esquinas. No puede ser casualidad”, escribió.

El recordó una carta de su contemporáneo Thomas Harriot, un científico y astrónomo inglés que, entre muchos roles, sirvió como navegante para el explorador Sir Walter Raleigh. Alrededor de 1584, Harriot buscó la forma más eficiente de apilar balas de cañón en las cubiertas de barcos de Raleigh. Harriot descubrió que los patrones hexagonales parecían la mejor manera de juntar las esferas, e intercambió

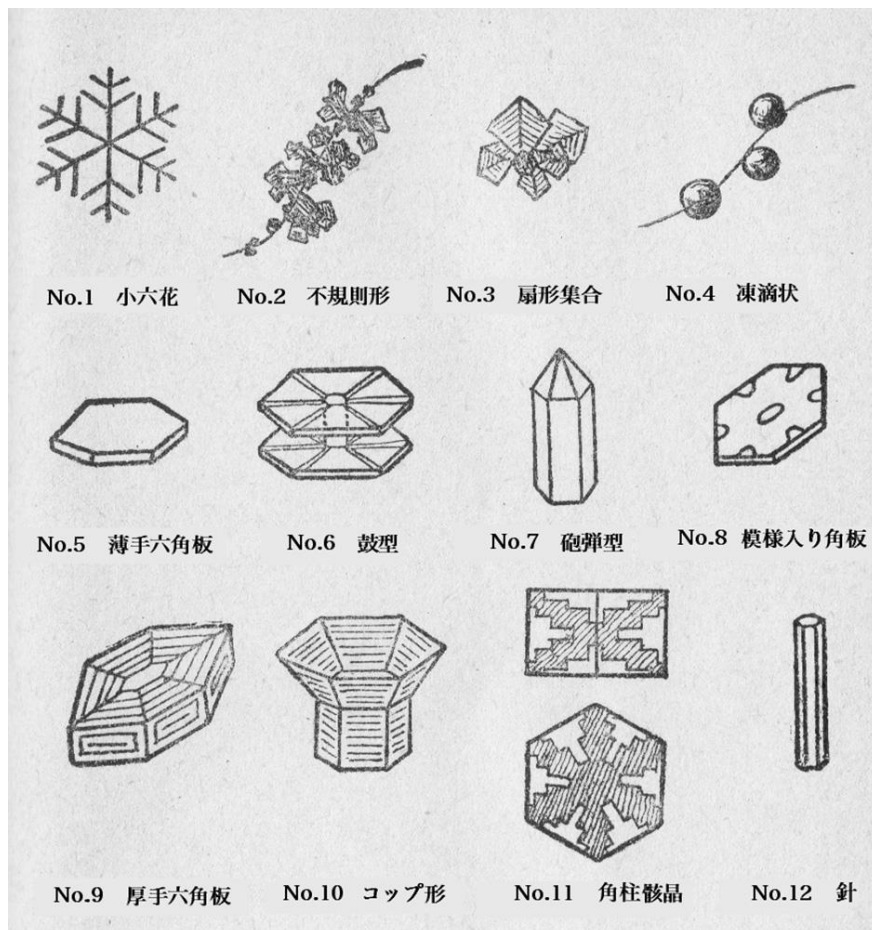
correspondencia con Kepler. Kepler se preguntó si algo similar estaba ocurriendo en los copos de nieve, y si sus seis lados podrían fijarse en la disposición de “la unidad natural más pequeña de un líquido como el agua”.



Microfotografías de copos de nieve en forma de placa y estrella
Cortesía de Kenneth Libbrecht

Fue una visión temprana notable de la física atómica, que no se formalizaría hasta pasados 300 años. De hecho, las moléculas de agua, con sus dos hidrógenos y un oxígeno, tienden a unirse para formar patrones hexagonales. Kepler y sus contemporáneos no podrían haber sabido la importancia de esto. “Debido a los enlaces de hidrógeno y la manera en que interactúan las moléculas entre sí, se forma esa estructura cristalina relativamente abierta”, dijo Natelson. Además de ayudar a formar copos de nieve, esa estructura hexagonal hace que el hielo sea menos denso que el agua líquida, lo que afecta enormemente a la geoquímica, la geofísica y el clima. Según Natelson, si el hielo no flotara, “la vida en la Tierra no sería posible”.

El tiempo que siguió a la publicación del tratado de Kepler, la observación de los copos de nieve siguió siendo más un pasatiempo que una cuestión científica. En la década de 1880, un fotógrafo estadounidense llamado Wilson Bentley, del pequeño pueblo de Jericho, Vermont (EEUU), comenzó a tomar las primeras imágenes de cristales de nieve con placas fotográficas. Produjo más de 5.000 imágenes antes de sucumbir a una neumonía.



Dibujos de diversos cristales de nieve realizados por el físico japonés Ukichiro Nakaya, que durante varias décadas estudió los diferentes tipos. Crédito: Ukichiro Nakaya.

Posteriormente, en la década de 1930, el investigador japonés Ukichiro Nakaya comenzó un estudio sistemático de los diferentes tipos de cristales de nieve. A mediados de siglo, Nakaya estaba produciendo copos de nieve en un laboratorio, usando pelos de conejo individuales para suspender los cristales de escarcha en el seno de un aire refrigerado, de manera que se pudieran convertir en copos de nieve de pleno derecho. Jugó con los ajustes de humedad y temperatura para cultivar los dos tipos principales de cristales y confeccionó su catálogo con las posibles formas. Nakaya descubrió que las estrellas tienden a formarse a -2 grados Celsius y -15 °C. Las columnas se forman a -5 °C y nuevamente a aproximadamente -30 °C. En condiciones de baja humedad, las estrellas forman pocas ramificaciones y se asemejan a las placas hexagonales, pero con una humedad alta, las estrellitas crecen diseños más intrincados y de encaje.

Según Libbrecht, la razón por la que se forman diversas formas de cristal comenzó a enfocarse tras el trabajo pionero de Nakaya. Los cristales crecen formando estrellas y placas planas (en lugar de estructuras tridimensionales) cuando los bordes crecen hacia afuera rápidamente mientras que las caras crecen hacia arriba lentamente. Las columnas delgadas crecen de manera diferente, con caras de crecimiento rápido y bordes de crecimiento más lento.

La receta de los copos de nieve

Libbrecht y el grupo muy reducido de investigadores que estudian este problema han estado tratando de encontrar una receta de los copos de nieve, por así decirlo, un conjunto de ecuaciones y parámetros que puedan introducirse en un superordenador, para que luego escupa la espléndida variedad de copos de nieve que vemos en la naturaleza.

Libbrecht emprendió la búsqueda de la receta hace dos décadas, tras descubrir la forma exótica del copo de nieve llamada columna tapada. Parece un carrito vacío, o dos ruedas y un eje. Como nativo de Dakota del Norte, se sorprendió, preguntándose: “¿Cómo es que nunca he visto uno de estos?” Fascinado con las infinitas formas de nieve, se dedicó a comprender su naturaleza para un libro de divulgación científica que publicó, y comenzó a tomar fotos también. Pronto, estaba jugando con el equipo de cultivo de copos de nieve en su laboratorio. Su nuevo modelo es el resultado de observaciones realizadas durante décadas que, según él, recientemente comenzaron a gelificarse. Su avance clave fue una idea llamada difusión molecular impulsada por la energía de la superficie, que describe cómo el crecimiento de un cristal de nieve depende de las condiciones iniciales y del comportamiento de las moléculas que lo forman.

Growing Snowflakes

According to a new model of snow crystal growth, a microscopic crystal grows into a tall column or flat plate through a process called surface-energy-driven molecular diffusion.

1 Every snow crystal begins with a hexagonal lattice of oxygen and hydrogen atoms that forms in the atmosphere.

2 Water vapor deposits on the corners of the crystal and diffuses over the surface to either the crystal's edge or its faces.

3 Plate-like crystals form when temperature and humidity levels allow most vapor to diffuse to the edges. Column-like crystals form when conditions allow most vapor to diffuse to the faces.

Labels in diagram: Water molecule, Ice, Face, Edge, PLATE FORMATION, COLUMN FORMATION.

Lucy Reading-Ikkanda/Quanta Magazine

Imagine moléculas de agua dispuestas libremente y que el vapor de agua comienza a congelarse. Si de alguna manera estuvieras viendo esto desde un pequeño observatorio, verías que las moléculas de agua helada comienzan a formar una red rígida, con cada átomo de oxígeno rodeado por cuatro átomos de hidrógeno. Estos cristales crecen incorporando moléculas de agua del aire circundante según un patrón. Pueden crecer en dos direcciones principales: hacia arriba o hacia afuera.

Un cristal delgado y plano (en forma de placa o estrella) se forma cuando los bordes se enrollan en el material más rápidamente que las dos caras del cristal. El cristal floreciente se extenderá hacia afuera. Sin embargo, cuando sus caras crecen más rápido que sus bordes, el cristal crece más alto, formando una aguja, columna hueca o varilla.

Según el modelo de Libbrecht, el vapor de agua primero se deposita en las esquinas del cristal, luego se difunde sobre la superficie hacia el borde del cristal o hacia sus caras, haciendo que el cristal crezca hacia afuera o hacia arriba, respectivamente. Cuál de estos procesos gana, cuando interactúan varios efectos de la superficie e inestabilidades, depende principalmente de la temperatura.

Todo esto ocurre solo en el hielo, un material inusual, debido a un fenómeno llamado “pre-fusión”. Debido a que el hielo de agua se encuentra generalmente cerca de su punto de fusión, las pocas capas superiores son líquidas y desordenadas. La fusión previa ocurre de manera diferente en las caras y los bordes en función de la temperatura, aunque los detalles de esto no se entienden completamente. “Esta es la parte del modelo en la que simplemente hago un traje entero”, dijo Libbrecht, aunque comenta que la física general parece plausible.



Ejemplos de copos de nieve en forma de columna. Cortesía de Kenneth Libbrecht

Su nuevo modelo es “semi-empírico”, en parte ajustado para coincidir con las observaciones, en lugar de explicar el crecimiento del copo de nieve a partir de los principios fundamentales. Las inestabilidades y las interacciones entre innumerables moléculas son demasiado complicadas para desentrañarlas por completo. Pero espera que sus ideas formen la base de un modelo integral de dinámica de crecimiento de hielo que pueda desarrollarse mediante mediciones y experimentos más detallados.

Aunque el hielo es especialmente extraño, surgen preguntas similares en la física de la materia condensada. Las moléculas de fármacos, los chips semiconductores para

computadoras, las células solares y muchas otras aplicaciones dependen de cristales de alta calidad, y grupos enteros de investigadores se centran en los principios básicos del crecimiento de cristales.

Meenesh Singh es uno de esos investigadores, de la Universidad de Illinois, Chicago. En un reciente artículo, Singh y un coautor identificaron un nuevo mecanismo que podría ser la base del crecimiento de cristales en solventes, en oposición a la cristalización por cambio de fase de la nieve y el hielo de Libbrecht. En la cristalización con disolvente, los materiales sólidos se disuelven en una solución como agua u otro líquido. Al ajustar la temperatura y agregar otros solventes, los fabricantes pueden cristalizar nuevas moléculas de medicamentos o producir nuevos cristales para las células solares, y así sucesivamente.

“Todas las aplicaciones con respecto al crecimiento de cristales se tratan empíricamente”, dijo Singh. “Tienes ciertos datos empíricos, y utilizando esa información, intentas explicar cómo crecería un cristal”. Pero no está claro, dijo, cómo una molécula en la solución se integra en un cristal. “¿Qué impulsa realmente una molécula para hacer eso? ¿Por qué iría a un cristal? Si comienzas a preguntarte, surgen muchas preguntas, y esas preguntas son inabordables”.

Libbrecht cree que con mejores experimentos y simulaciones por ordenador más sofisticadas se responderán muchas preguntas sobre el crecimiento de los cristales en los próximos años. “Algún día, seremos capaz de hacer un modelo molecular completo, hasta el átomo, y ver cómo se producen estos fenómenos, hasta la mecánica cuántica”, dijo.

Mientras tanto, trata de desentrañar la física del proceso, todavía disfruta de la fotografía de los cristales de nieve y los viajes que ello conlleva. Pero últimamente, se ha quedado en el soleado sur de California, donde ha ideado un sistema sofisticado para cultivar copos de nieve en su laboratorio. A los 61 años, está a punto de jubilarse, lo que, en palabras suyas, significa que: “Estoy tirando los grilletes de mis otros trabajos. Solo voy a hacer hielo de ahora en adelante.”