

¿Cuál es el misterio de los copos de nieve?

José Miguel Viñas Rubio



SUMARIO

1. Nomenclatura
2. La congelación del agua
3. Los cristalitos de nieve
 - 3.1. Antecedentes históricos
 - 3.2. Mecanismos de formación
 - 3.3. Tipología
4. Simetría y belleza

NOMENCLATURA

Copo de nieve [*snowflake*] \neq Cristal de nieve



Los copos de nieve son conglomerados de cristalitas de nieve cuyo diámetro típico oscila entre 1 y 2 mm.

PODEMOS VERLOS A SIMPLE VISTA

NOMENCLATURA



NOMENCLATURA

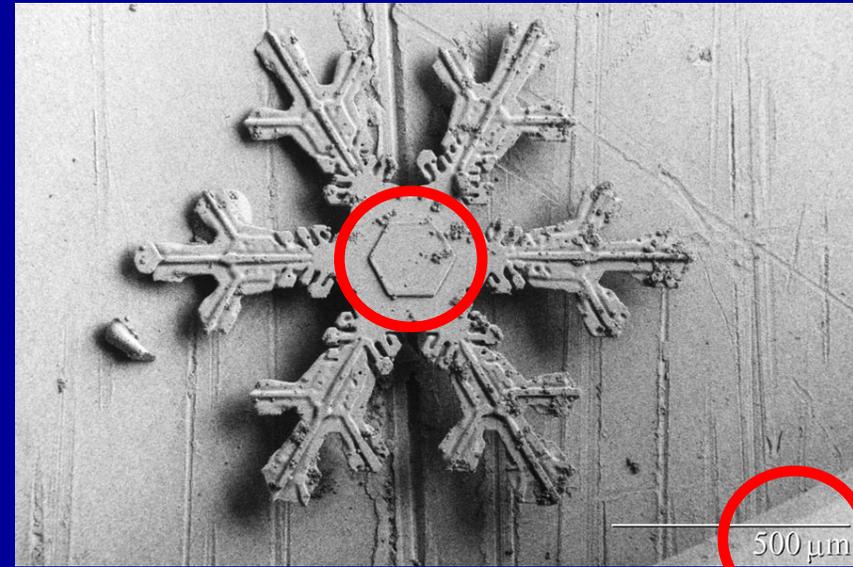
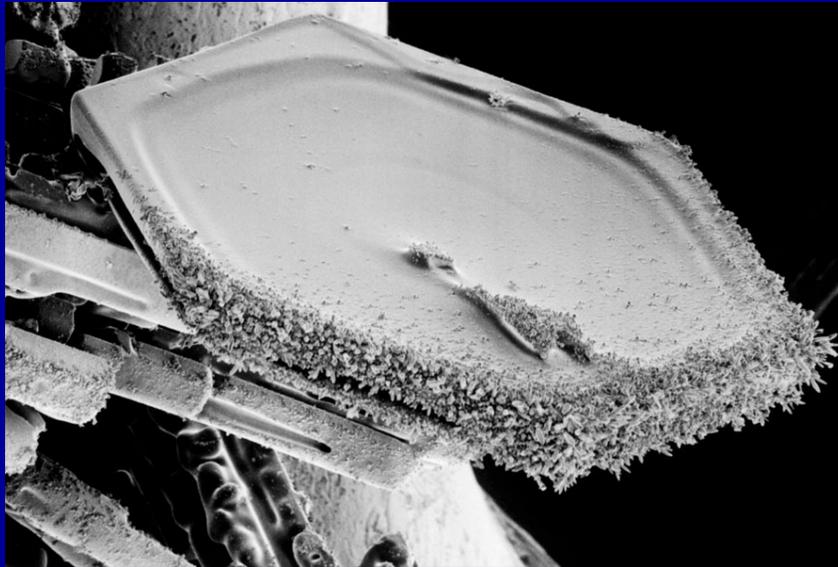
Los cristales de nieve en forma de estrella constituyen la representación más común y extendida de la nieve...



... a pesar de ser LA FORMA MENOS HABITUAL

NOMENCLATURA

Cristal de nieve \neq Cristal de hielo



MICROSCÓPICOS

Los cristales de hielo son las estructuras elementales sobre las que empiezan a crecer los cristales de nieve

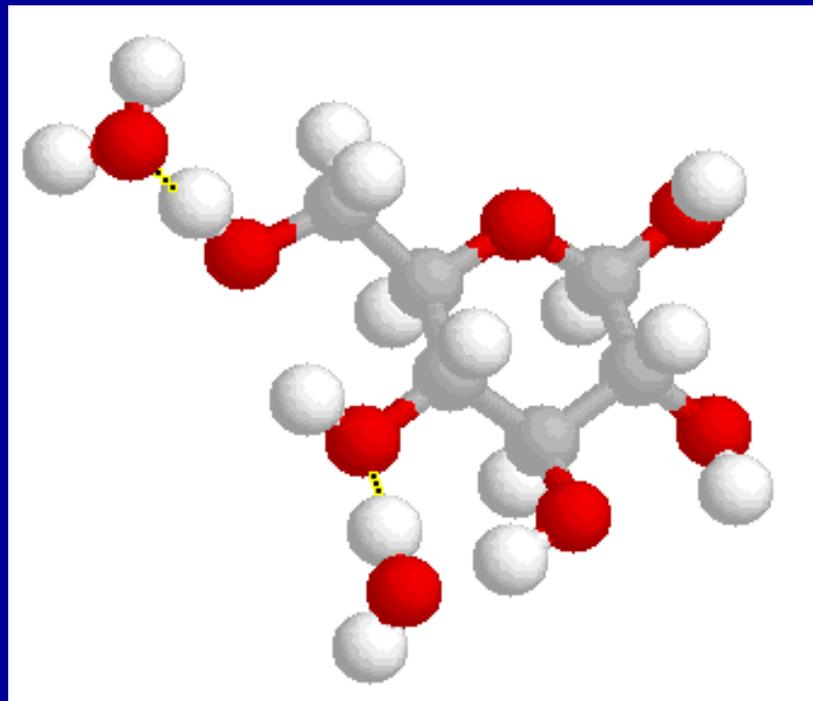
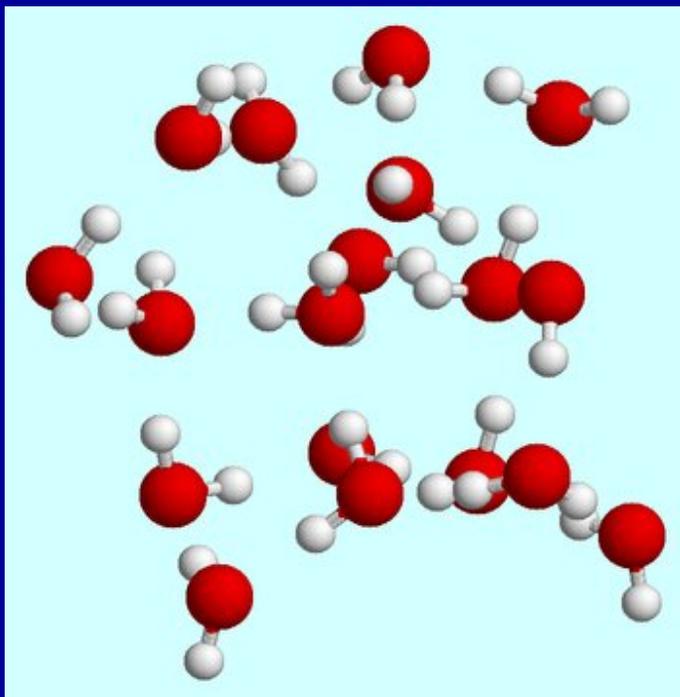
LA CONGELACIÓN DEL AGUA



Cambio de fase AGUA-HIELO

- Pérdida de calor latente: 80 cal/g
- La "rareza" del agua permite la existencia de hielo flotante (ρ_{Agua} disminuye si $T < 4\text{ }^{\circ}\text{C}$)

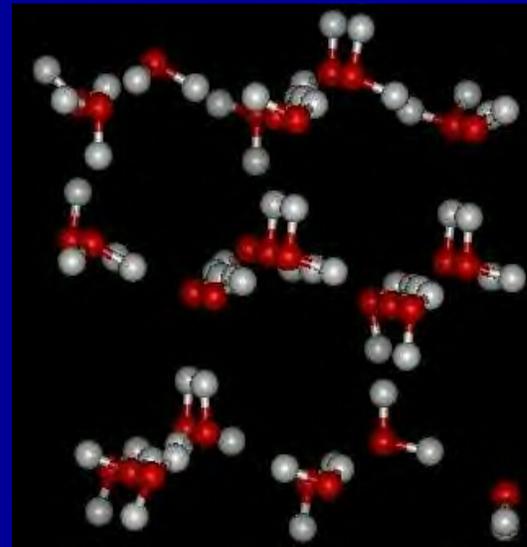
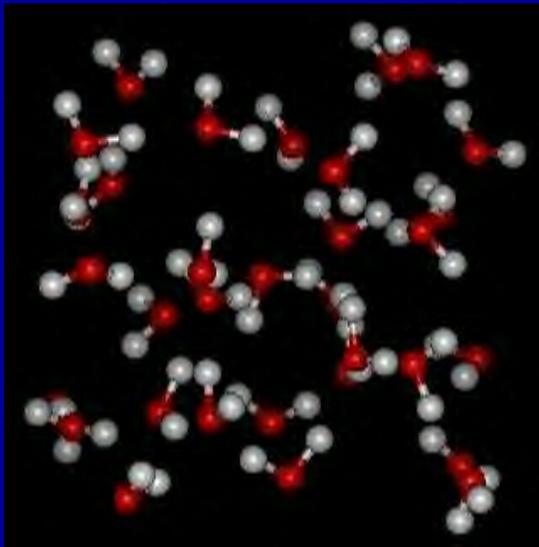
LA CONGELACIÓN DEL AGUA



La polaridad de las moléculas de agua explica su gran capacidad como disolvente

¿QUÉ OCURRE AL BAJAR DE 4 °C?

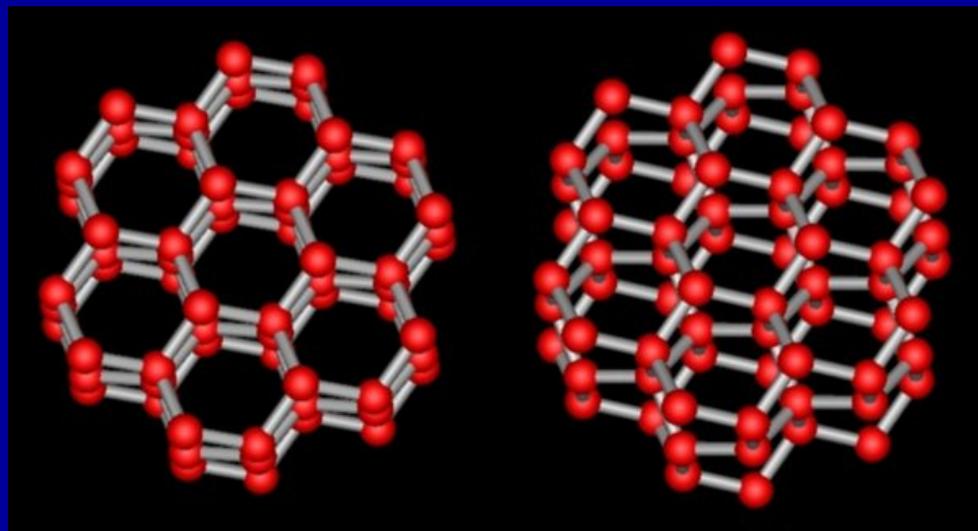
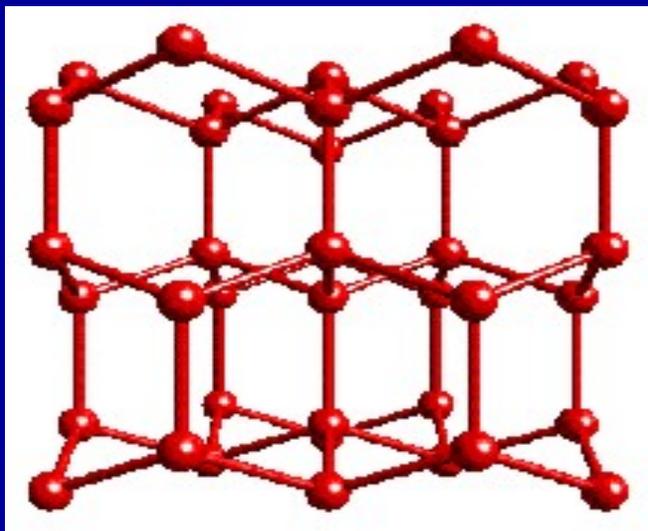
LA CONGELACIÓN DEL AGUA



Pérdida de movilidad → Organización molecular
HUECOS MAYORES

Comienza a aparecer la estructura hexagonal
que caracterizará morfológicamente a los
cristales de nieve

LA CONGELACIÓN DEL AGUA

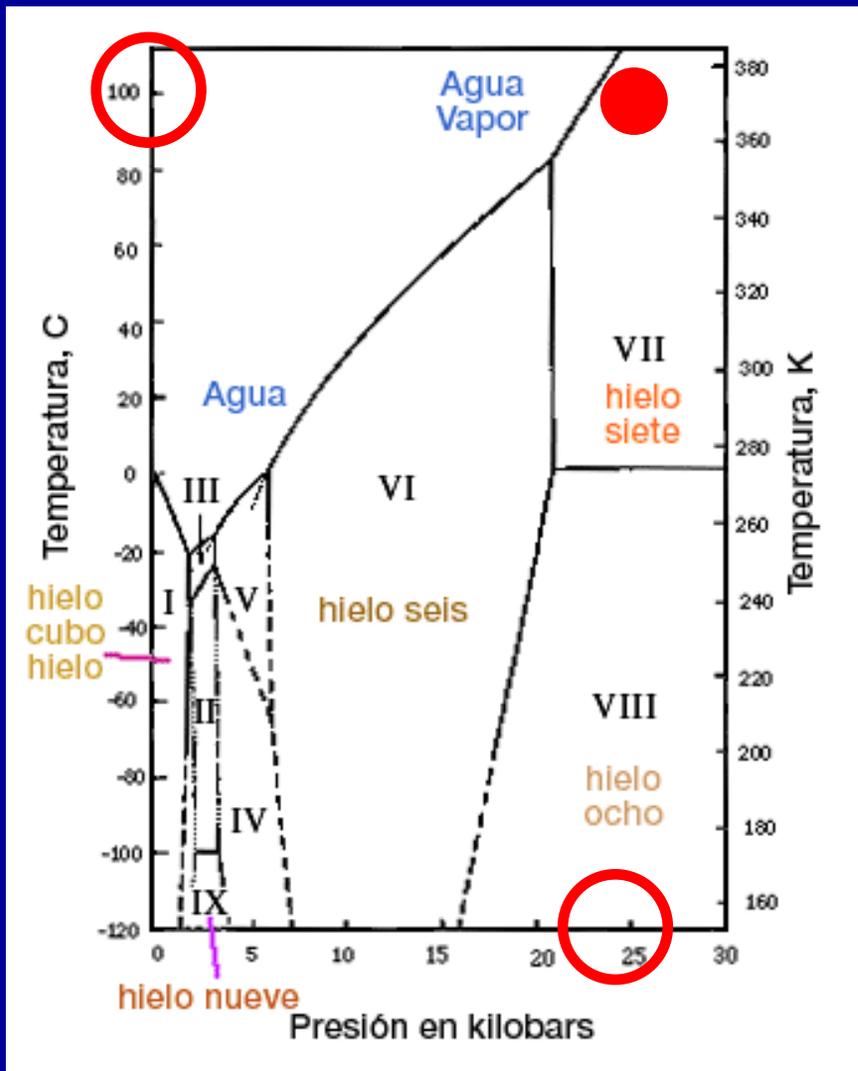


Hielo Ih

Lo que entendemos por "hielo"

**EXISTEN EN LA NATURALEZA, AL MENOS,
HASTA 9 CLASES DISTINTAS DE HIELO**

LA CONGELACIÓN DEL AGUA



El hielo VII puede existir como tal a 100 °C

¿Dónde está el truco?

$P > 22.000 \text{ atm}$

LOS CRISTALITOS DE NIEVE



La observación de la nieve con ojos científicos se remota a mediados del siglo XVII

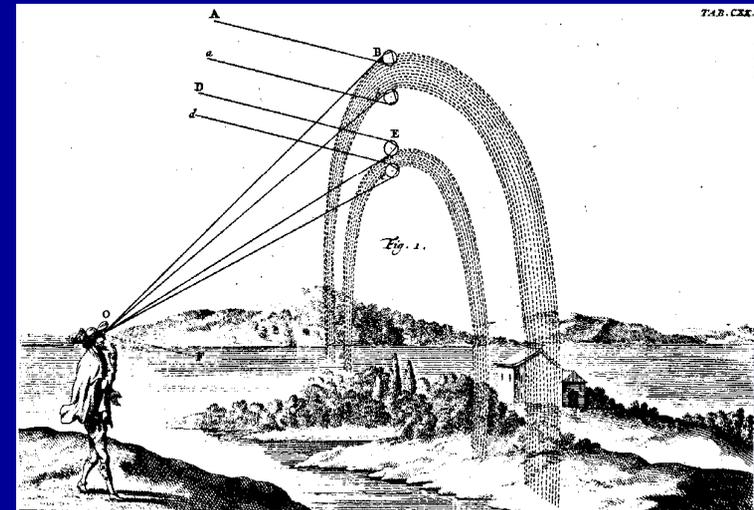
LOS CRISTALITOS DE NIEVE



René Descartes
(1596-1650)

"Tras aquella nube, vino otra que sólo produjo pequeñas rosetas o ruedas de seis dientes redondeados"

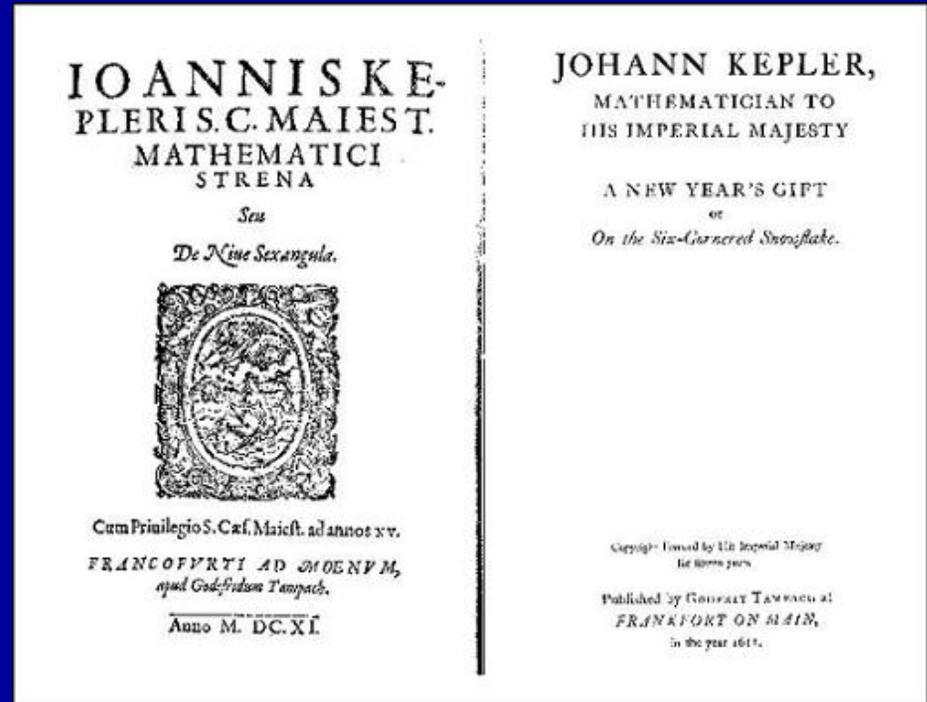
Les Météores (1637)



LOS CRISTALITOS DE NIEVE



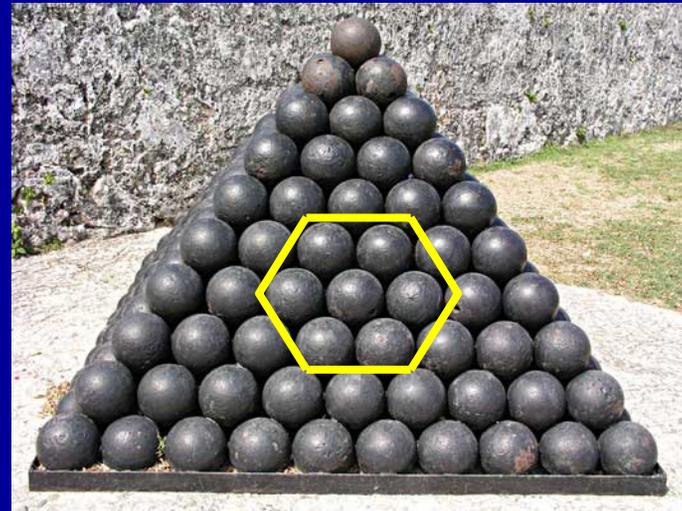
Johannes Kepler
(1571-1630)



Strena seu de nive sexángula (1611)

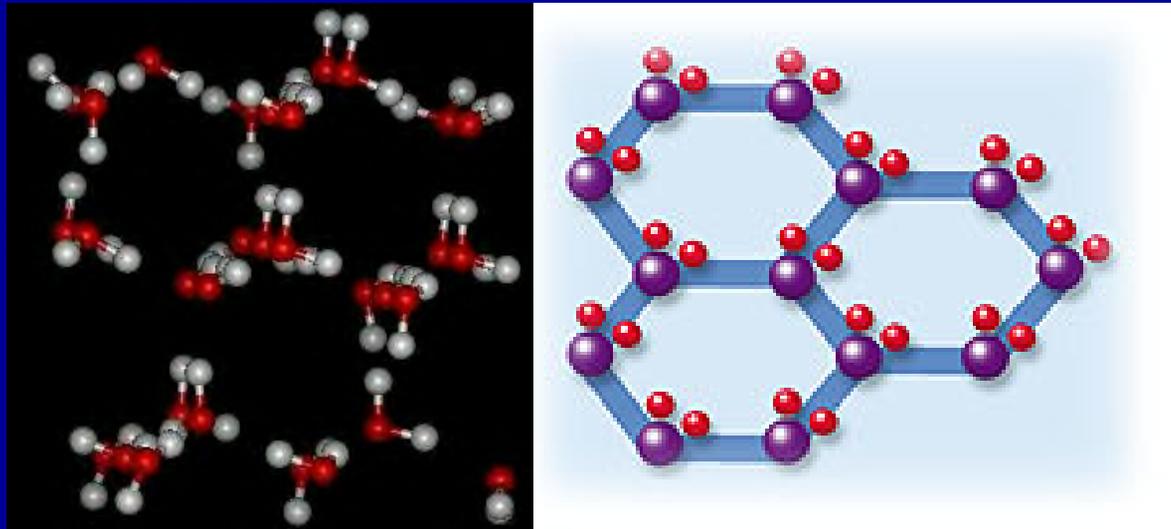
**El copo de nieve
de seis ángulos**

LOS CRISTALITOS DE NIEVE



LOS CRISTALITOS DE NIEVE

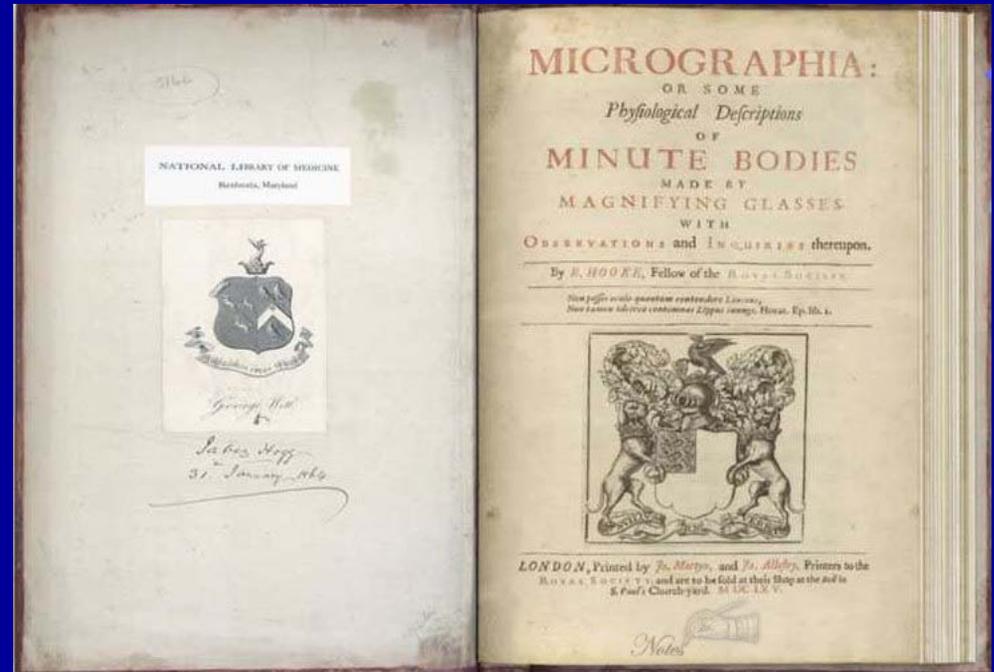
EL RAZONAMIENTO DE KEPLER TUVO UN
CARÁCTER VISIONARIO



La estructura hexagonal de la rejilla que forman los átomos de hidrógeno y oxígeno del hielo es la responsable última de la simetría que presentan los cristales de nieve

LOS CRISTALITOS DE NIEVE

La invención del microscopio, a mediados del S: XVII posibilita su observación en detalle



Robert Hooke (1635-1703) los representa por primera vez en su obra *Micrographia* (1665)

LOS CRISTALITOS DE NIEVE

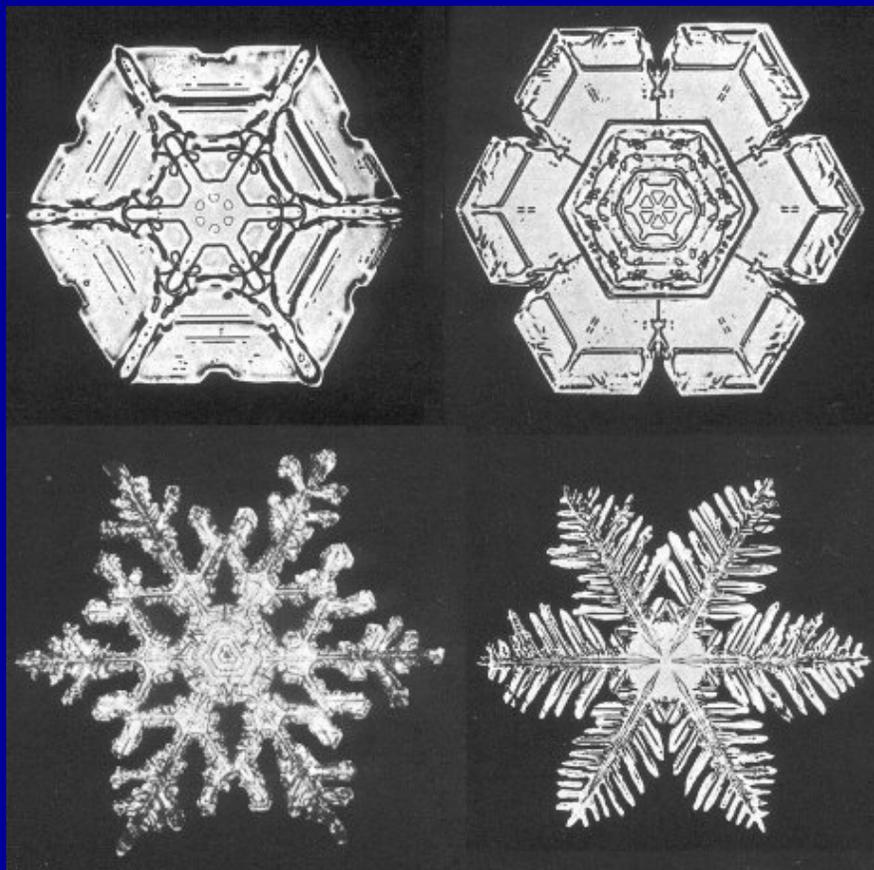


LOS CRISTALITOS DE NIEVE

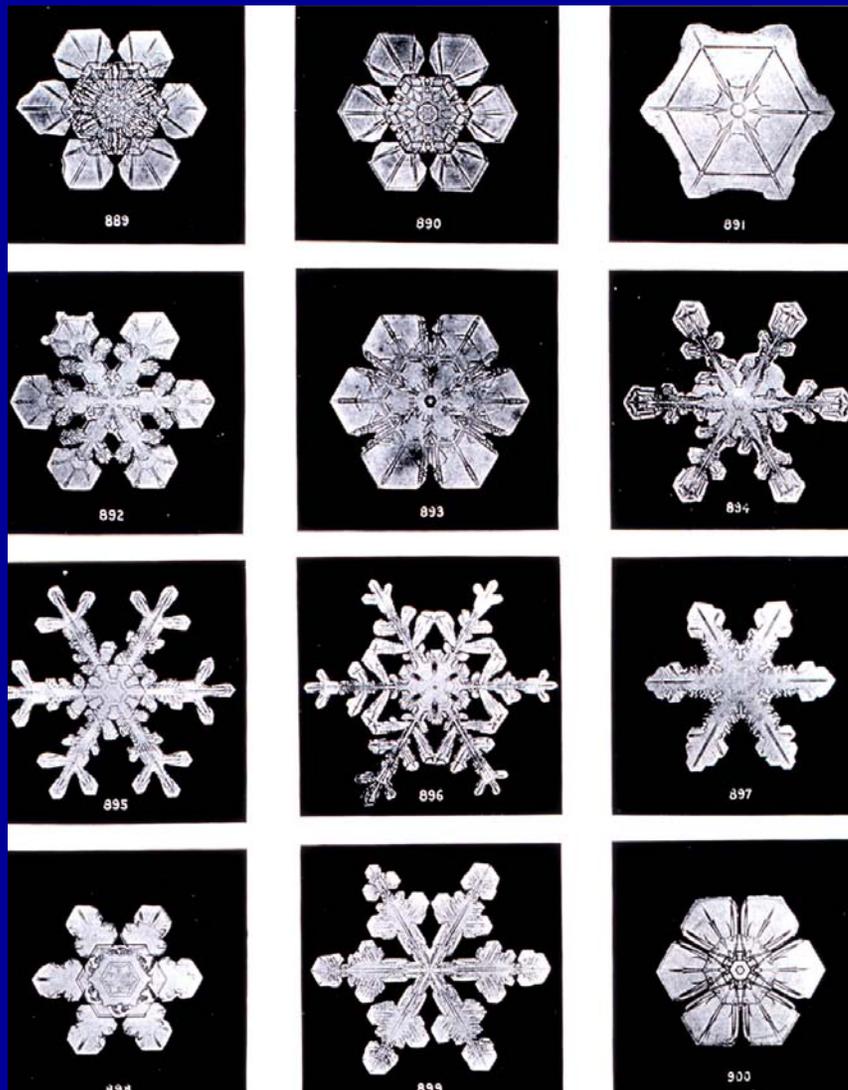
Las primeras fotografías de cristales de nieve se tomaron a finales del S: XIX



Wilson Bentley
(1865-1931)
"Snowflake"



LOS CRISTALITOS DE NIEVE

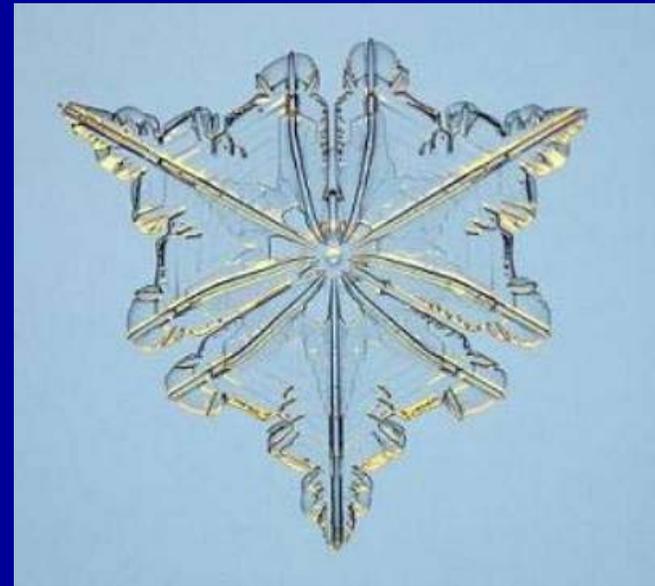
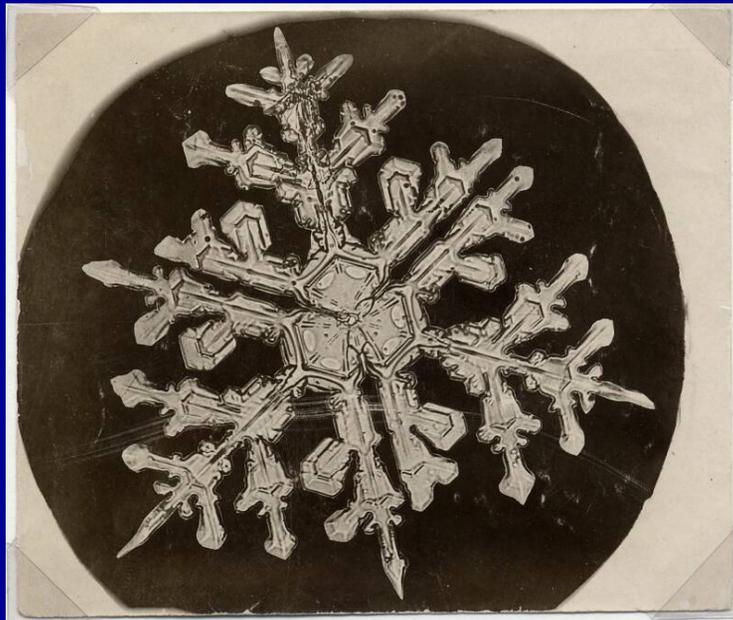


Fotografió
más de 5.000
cristales de
nieve entre
1885 y 1931

LOS CRISTALITOS DE NIEVE

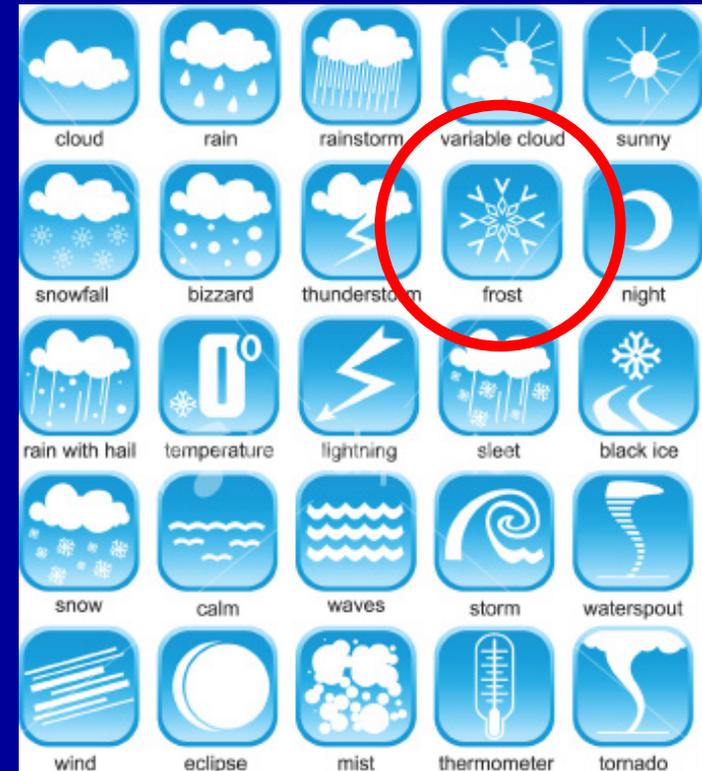
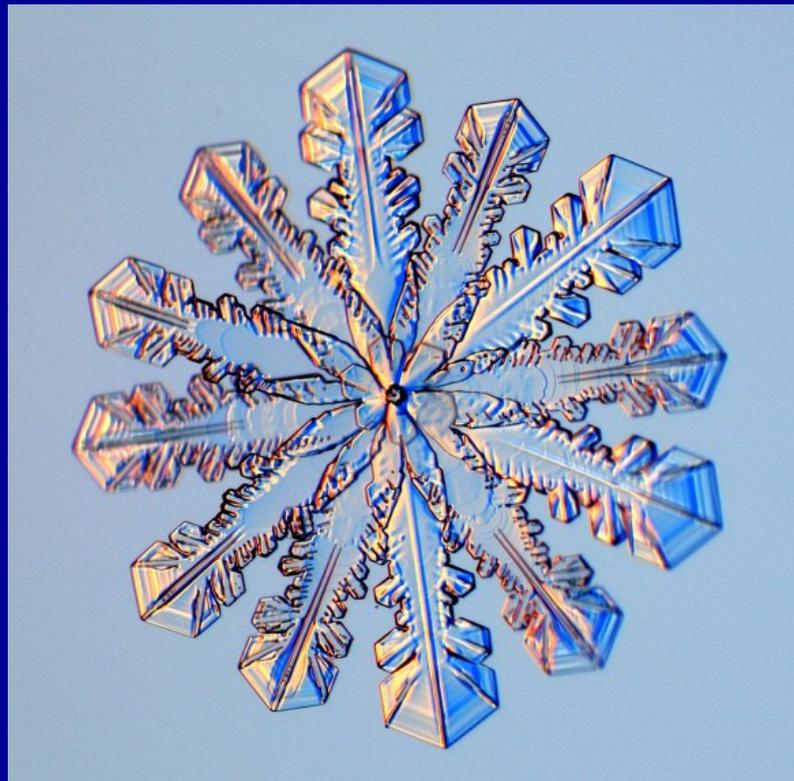
Bentley pudo constatar 2 cosas:

- NO EXISTEN 2 ESTRELLITAS DE NIEVE IGUALES
- NO SIEMPRE APARECE LA ESTRUCTURA HEXAGONAL



© Patricia Rasmussen

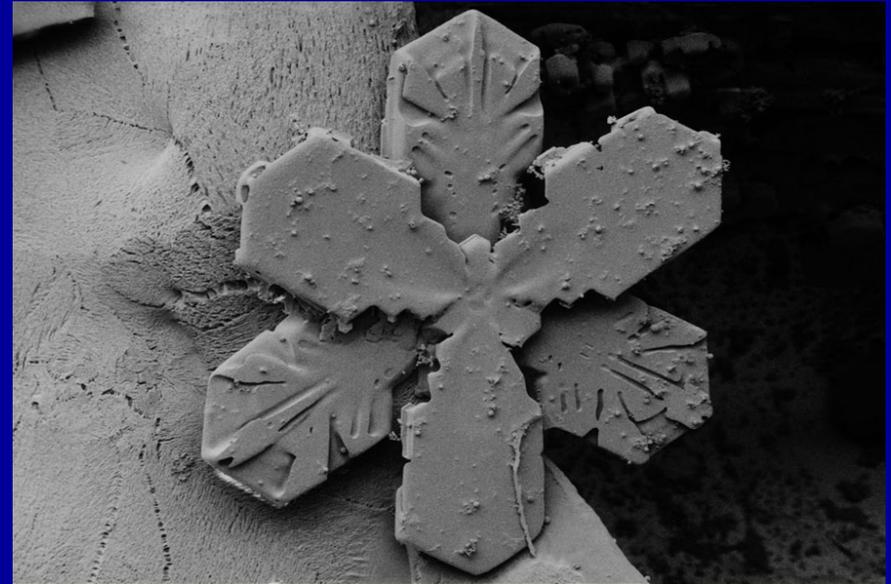
LOS CRISTALITOS DE NIEVE



© Patricia Rasmussen

Ocasionalmente pueden formarse estrellas de 3 ó 12 brazos, pero son **IMPOSIBLES** aquellas cuyos brazos no sean múltiplos o divisores de 6

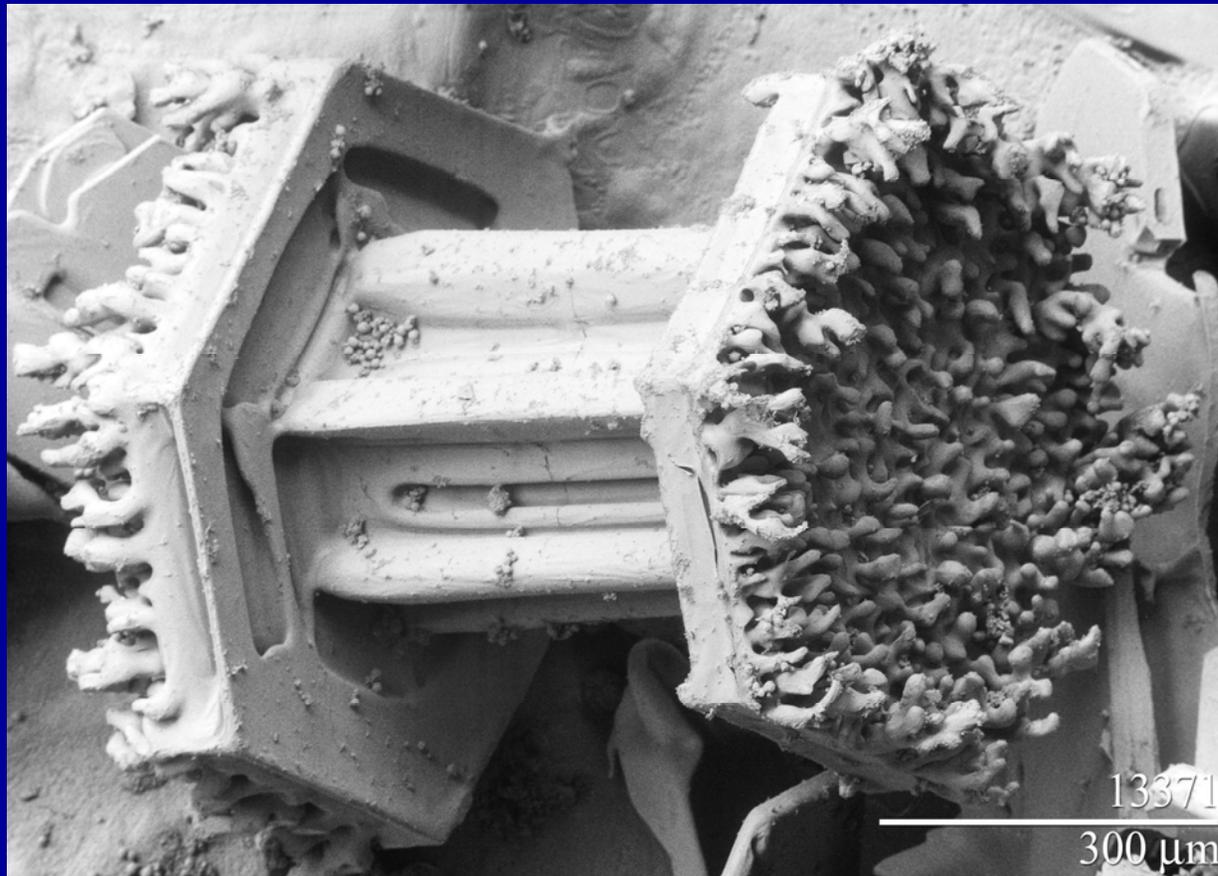
LOS CRISTALITOS DE NIEVE



La microscopia electrónica y otras técnicas modernas han permitido fotografiar los cristales de nieve en sus 1^{as} etapas de crecimiento.

LOS CRISTALITOS DE NIEVE

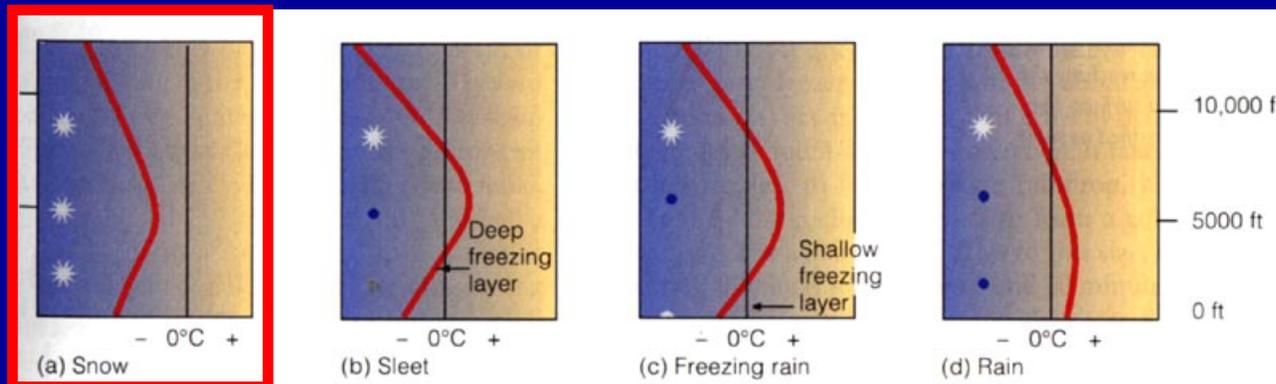
Las estrellas de 6 puntas no son los cristales de nieve más comunes en la atmósfera



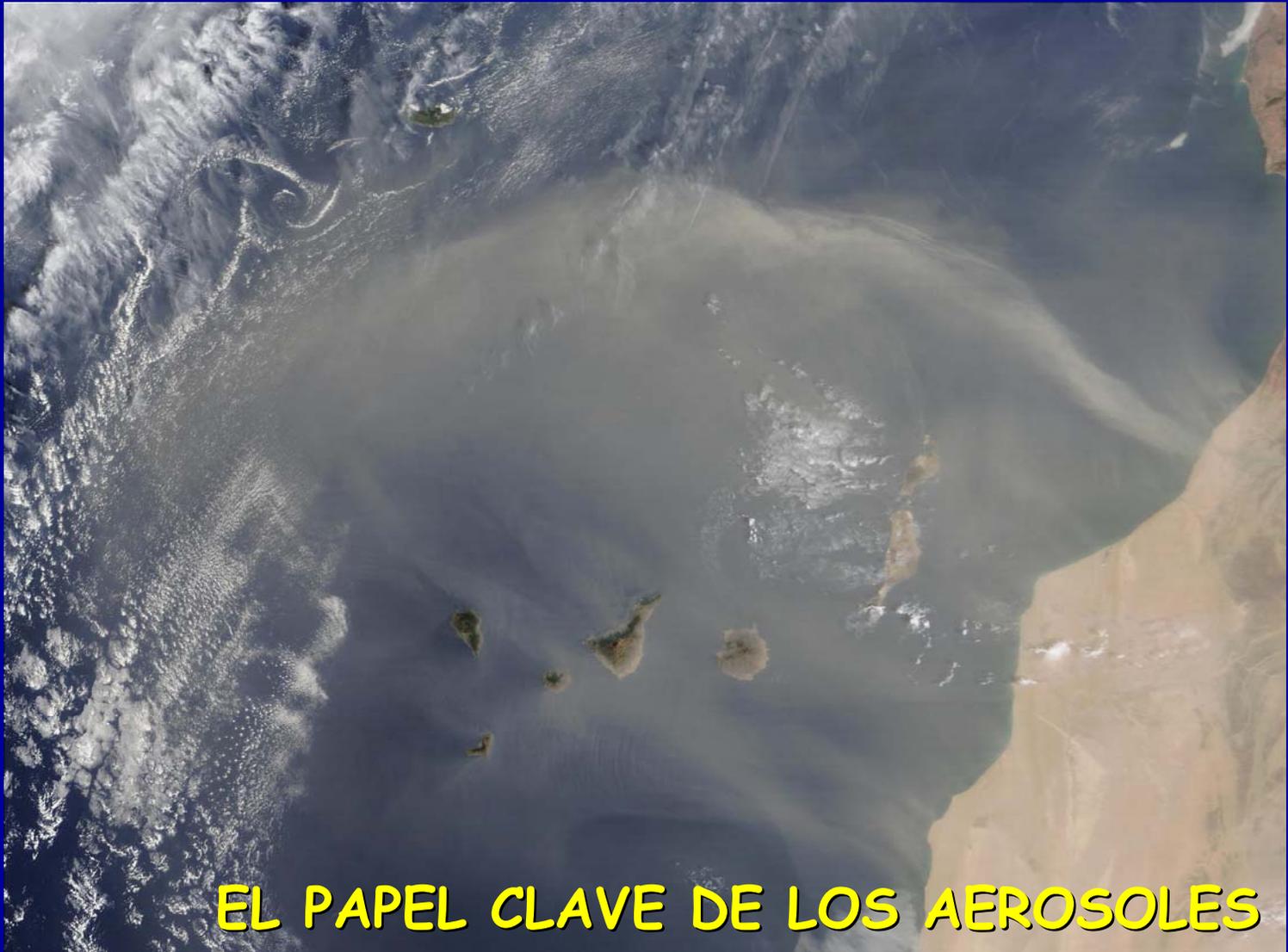
MECANISMOS DE FORMACIÓN



¿Cómo se forman los copos de nieve?

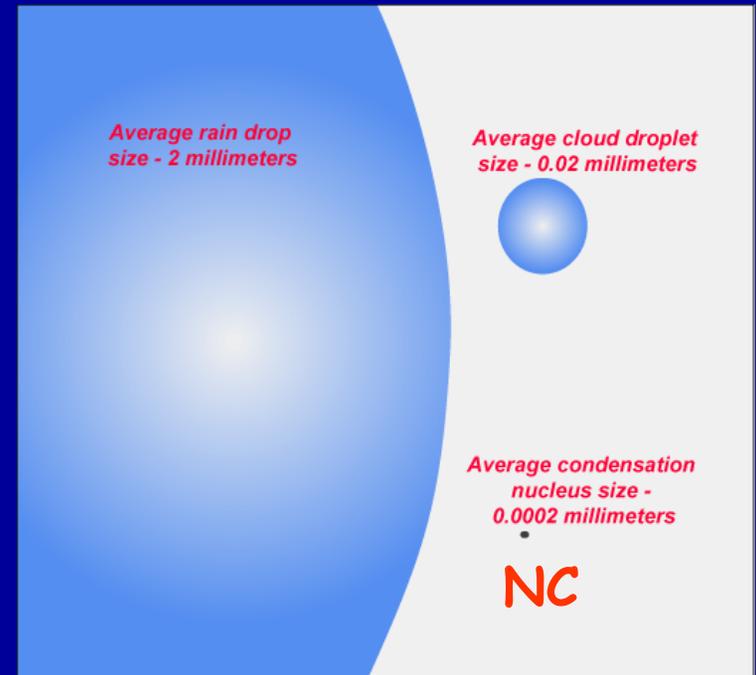
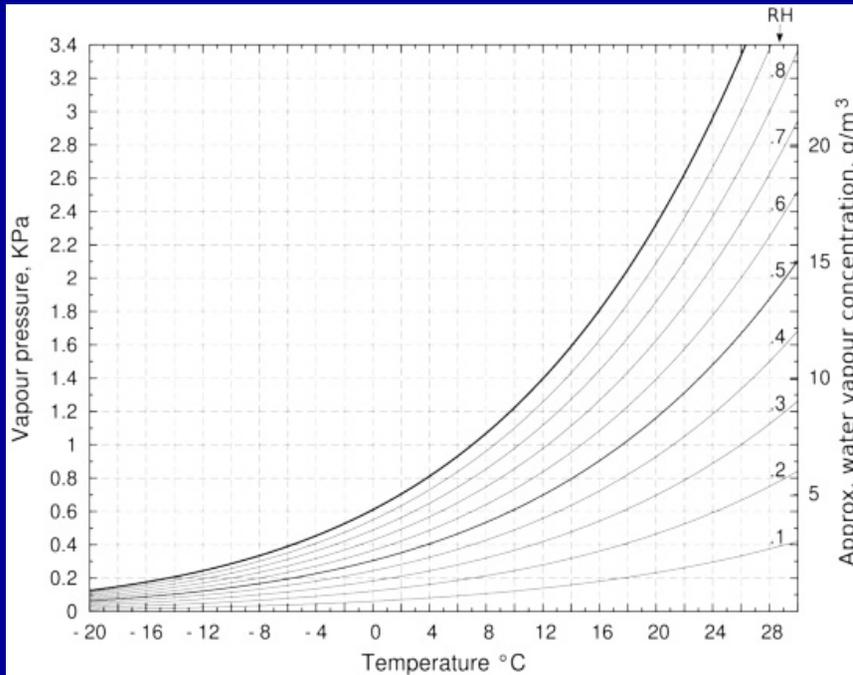


MECANISMOS DE FORMACIÓN



EL PAPEL CLAVE DE LOS AEROSOLES

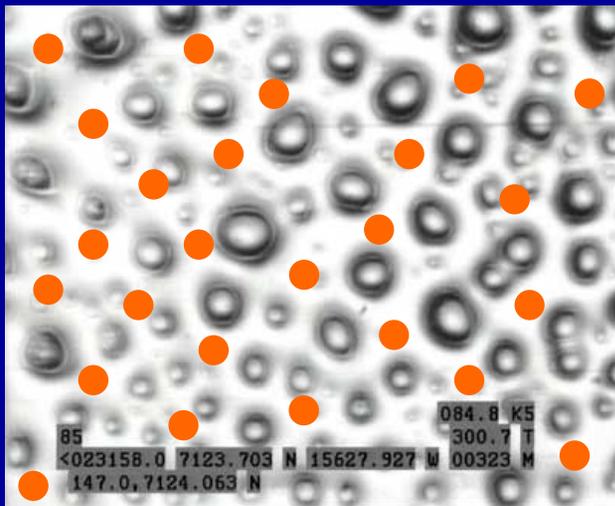
MECANISMOS DE FORMACIÓN



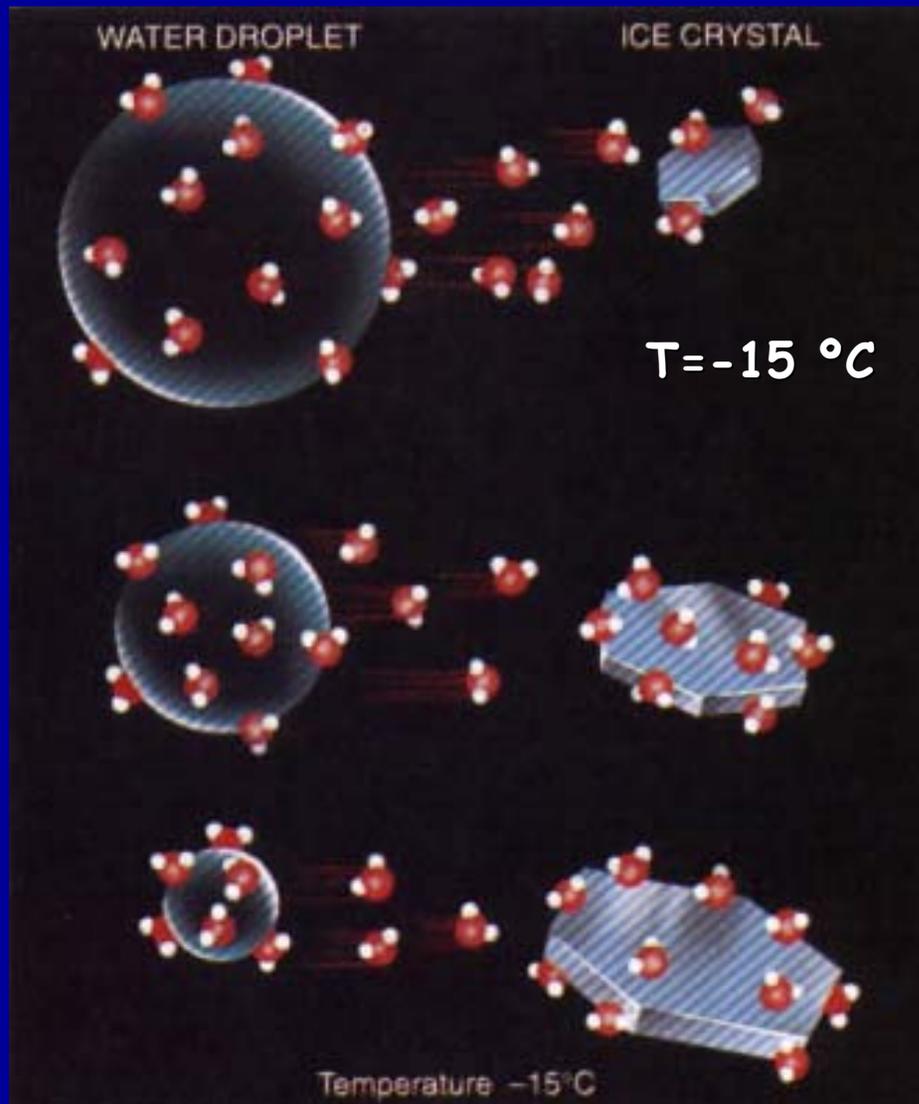
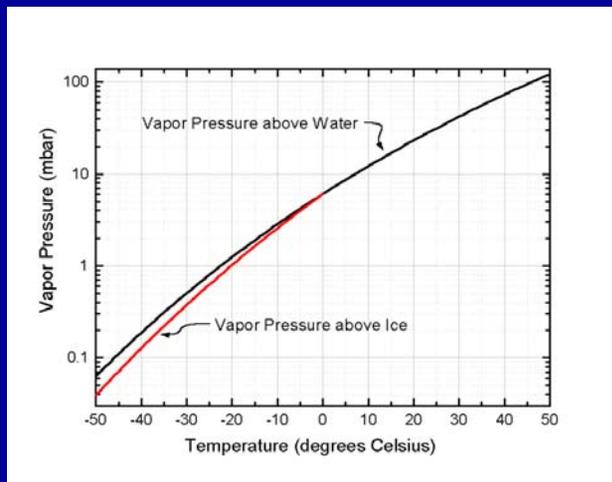
¿Qué pasa cuando dentro de la nube la temperatura desciende por debajo de 0 °C?

GOTITAS DE AGUA SUBFUNDIDA

MECANISMOS DE FORMACIÓN

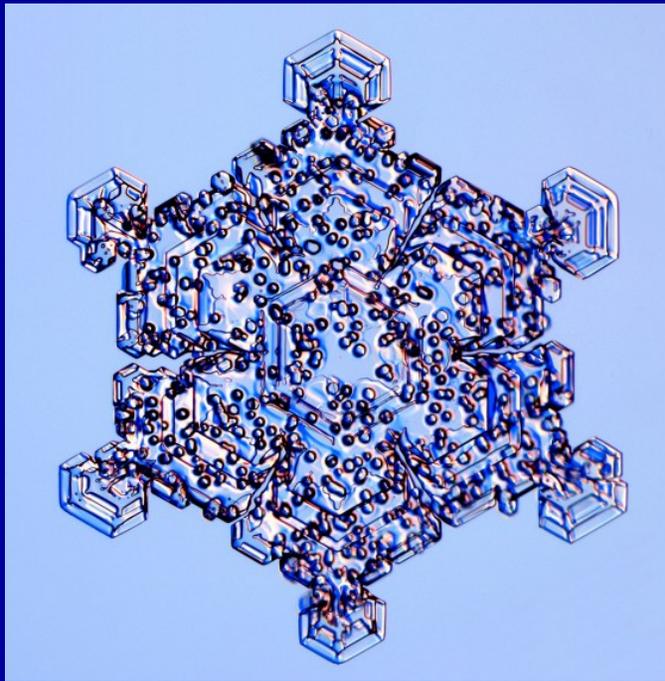


Gotitas subfundidas a -24°C



MECANISMOS DE FORMACIÓN

La **TEORÍA DE BERGERON-FINDEISEIN** explica la formación de cristales de hielo en la parte alta de las nubes a partir de las gotitas superenfriadas



© Patricia Rasmussen

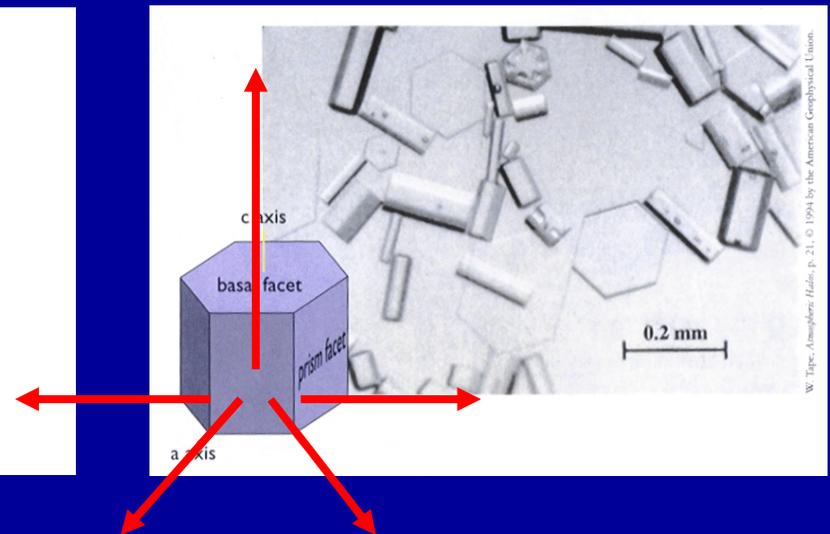
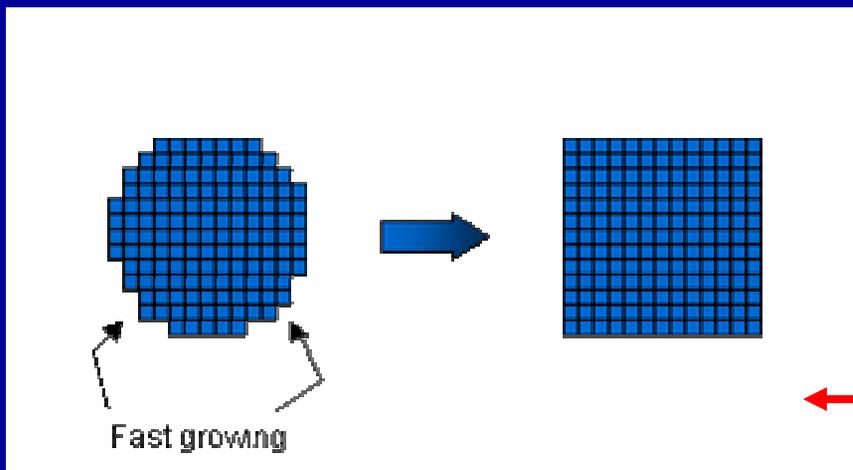
Dos mecanismos posteriores de crecimiento por **SUBLIMACIÓN DE VAPOR DE AGUA**:

- **FACETADO** [faceting]
- **RAMIFICACIÓN** [branching]

MECANISMOS DE FORMACIÓN

FACETAS: Superficies cristalinas planas

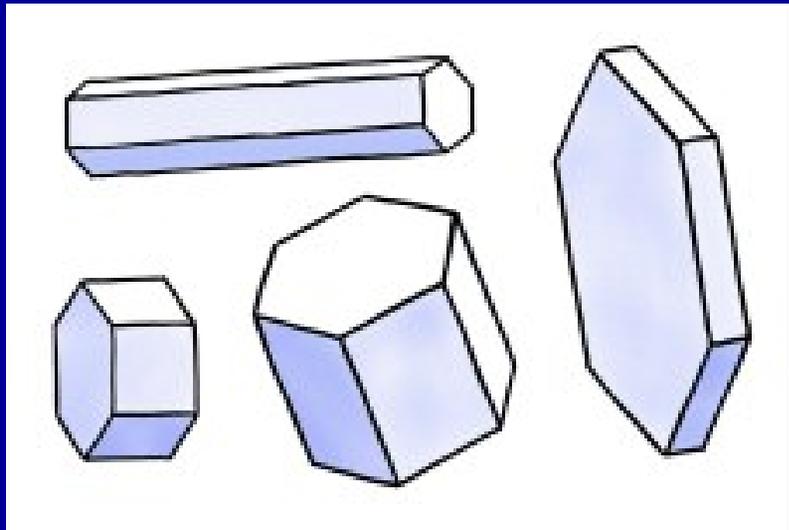
Los cristales elementales (escala molecular) desarrollan facetas debido a que unas superficies cristalinas acumulan material más rápido que otras



A través del facetado, la geometría de la molécula de agua se transfiere a la del cristal

TIPOLOGÍA

Las condiciones ambientales dentro de la nube determinan el crecimiento de los cristales de nieve



Las estrellitas de nieve son sólo una de las múltiples formas que pueden adoptar los cristales

TIPOLOGÍA

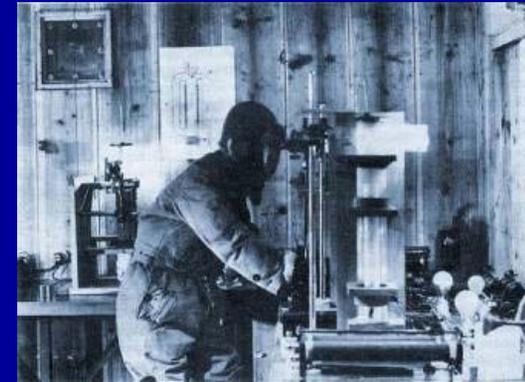
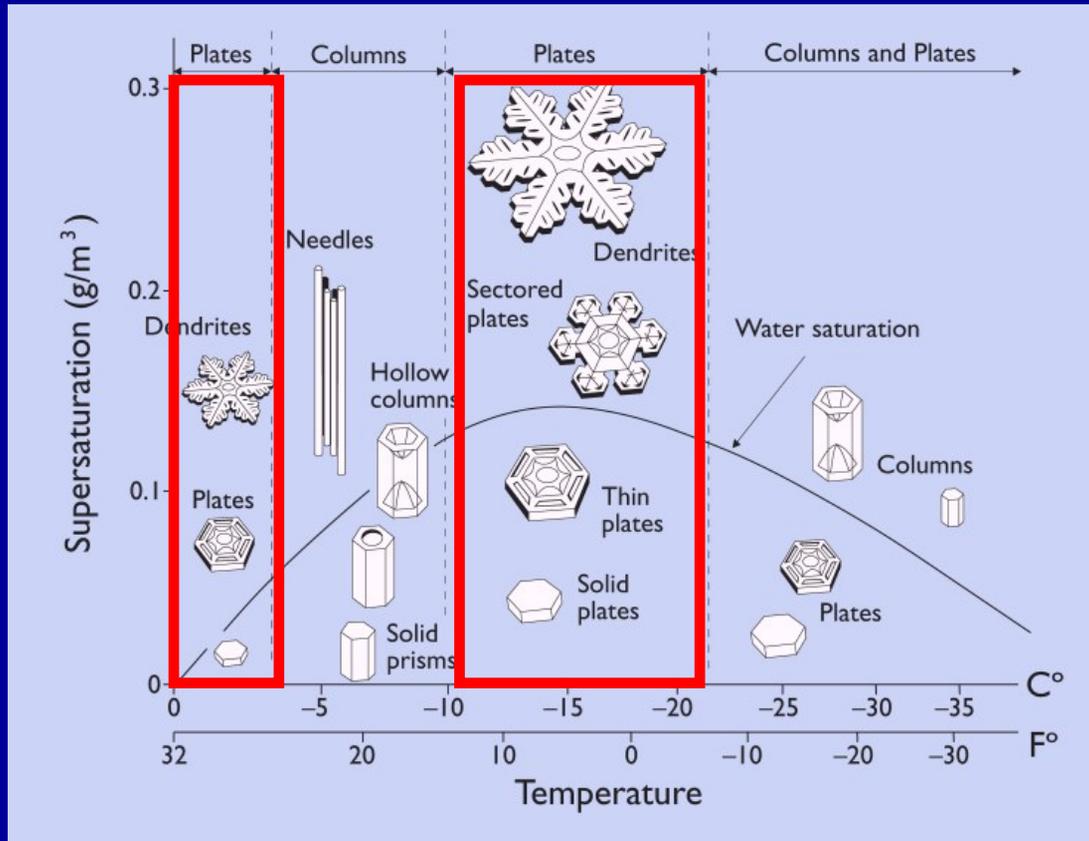


DIAGRAMA MORFOLÓGICO DE UKICHIRO NAKAYA

TIPOLOGÍA

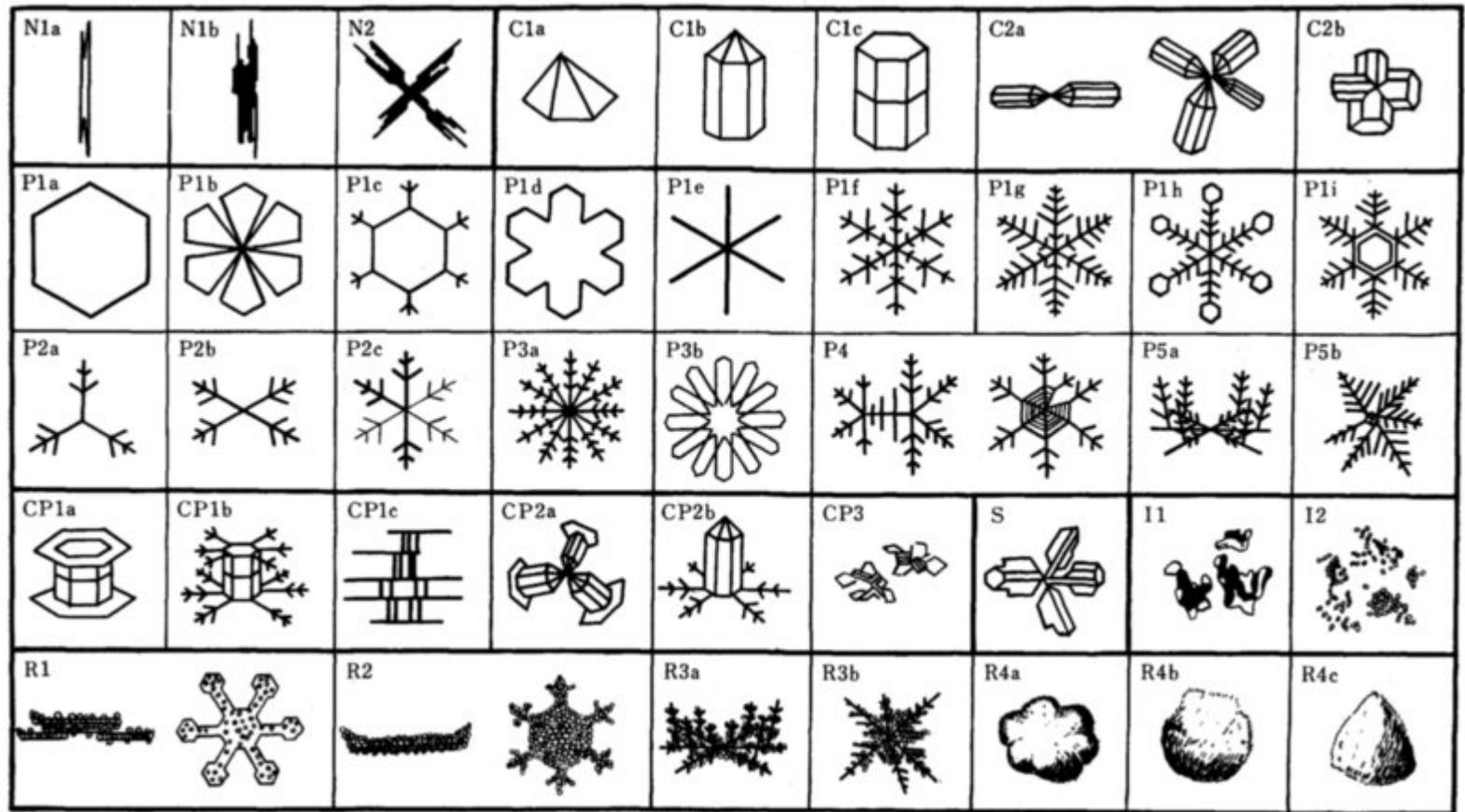


FIG. 197. General classification of snow crystals, sketches.

TIPOLOGÍA

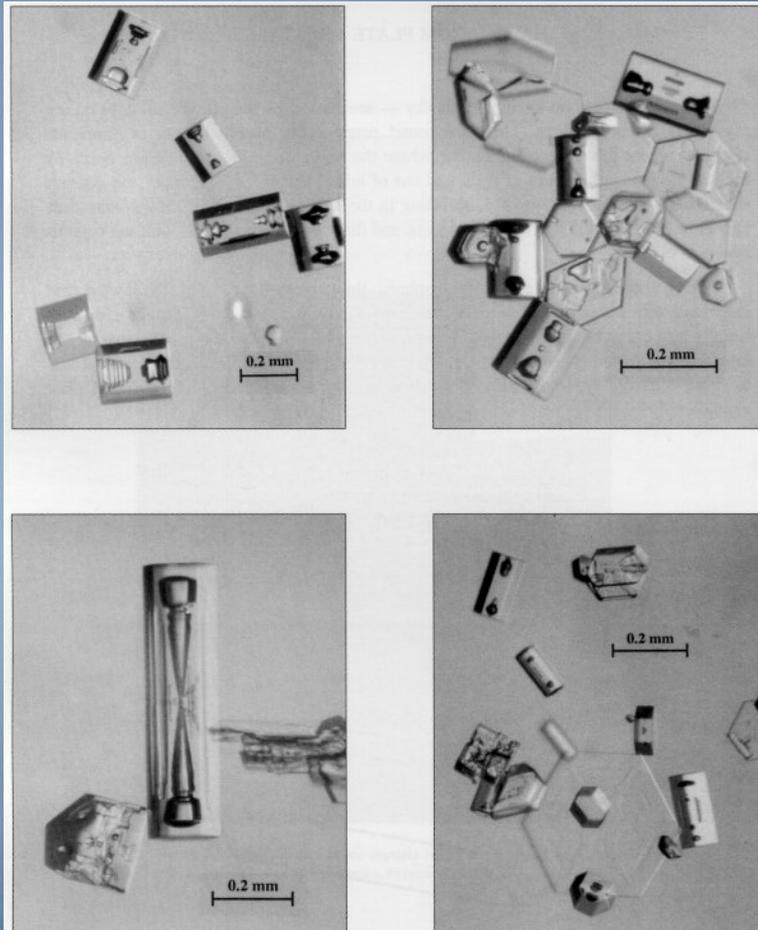
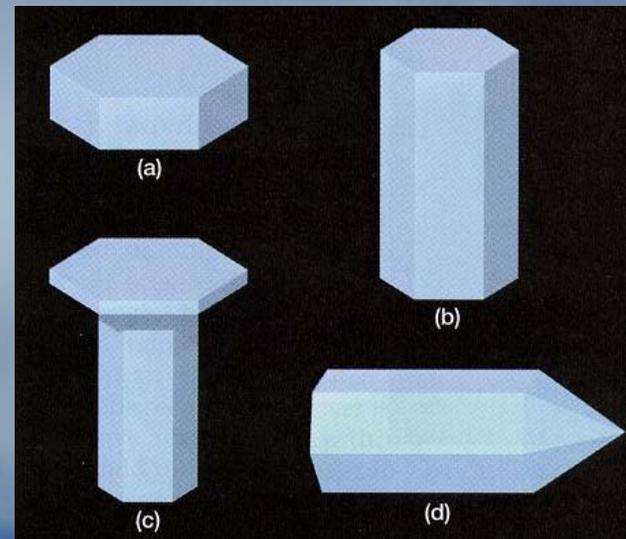


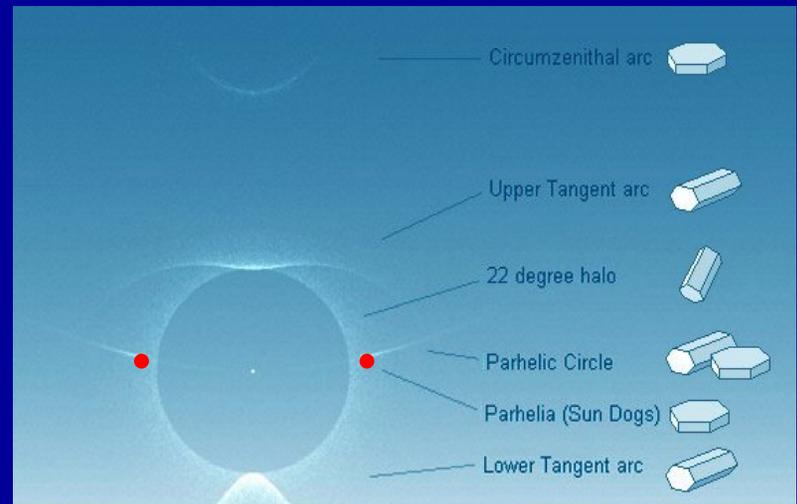
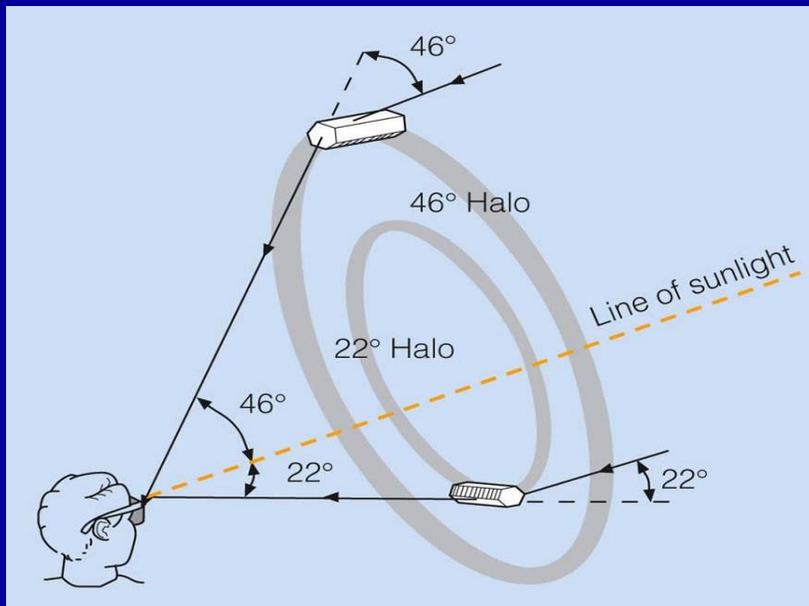
Figure 1-3. Some ice crystals that fell during halo displays. (Top left) Stubby columns. (Top right) Columns and plates. (Bottom left) Large column with beautiful internal structure. (Bottom right) Columns and plates.



© Patricia Rasmussen

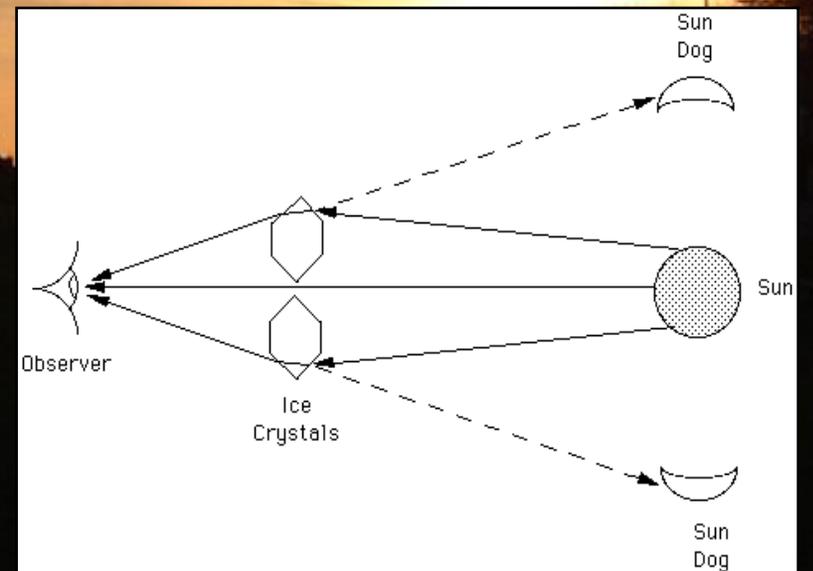
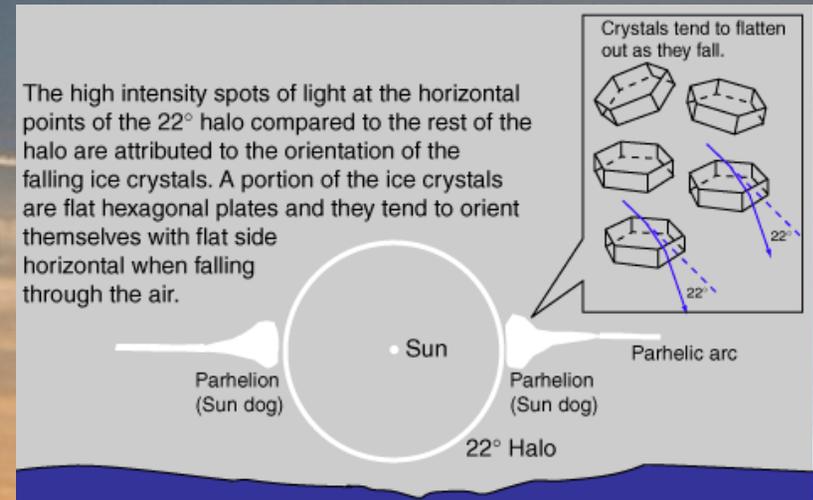
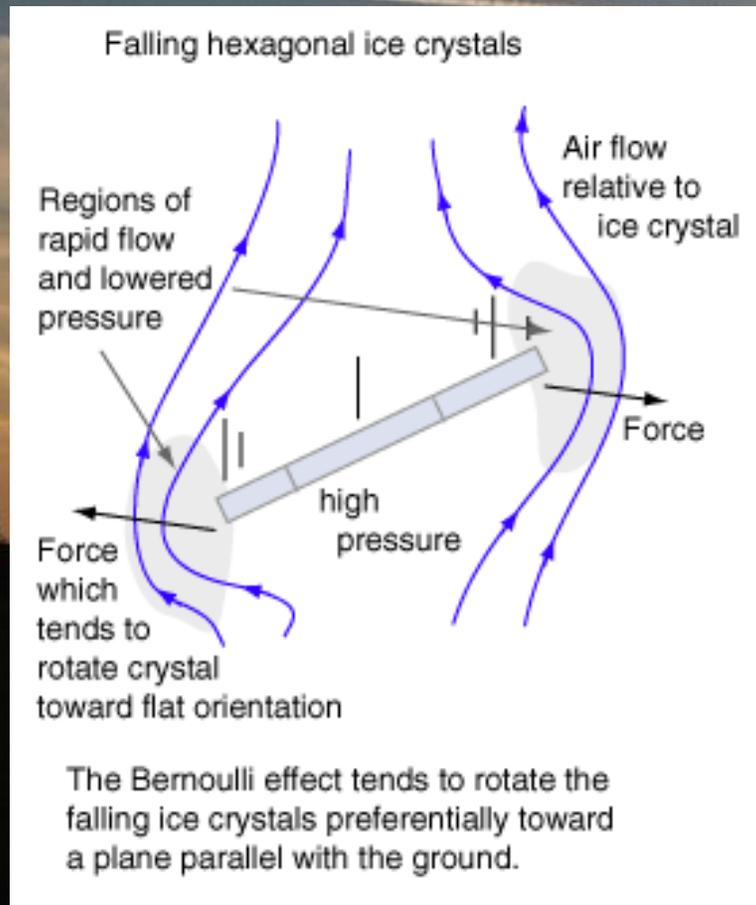


Cirrostratos (Cs)

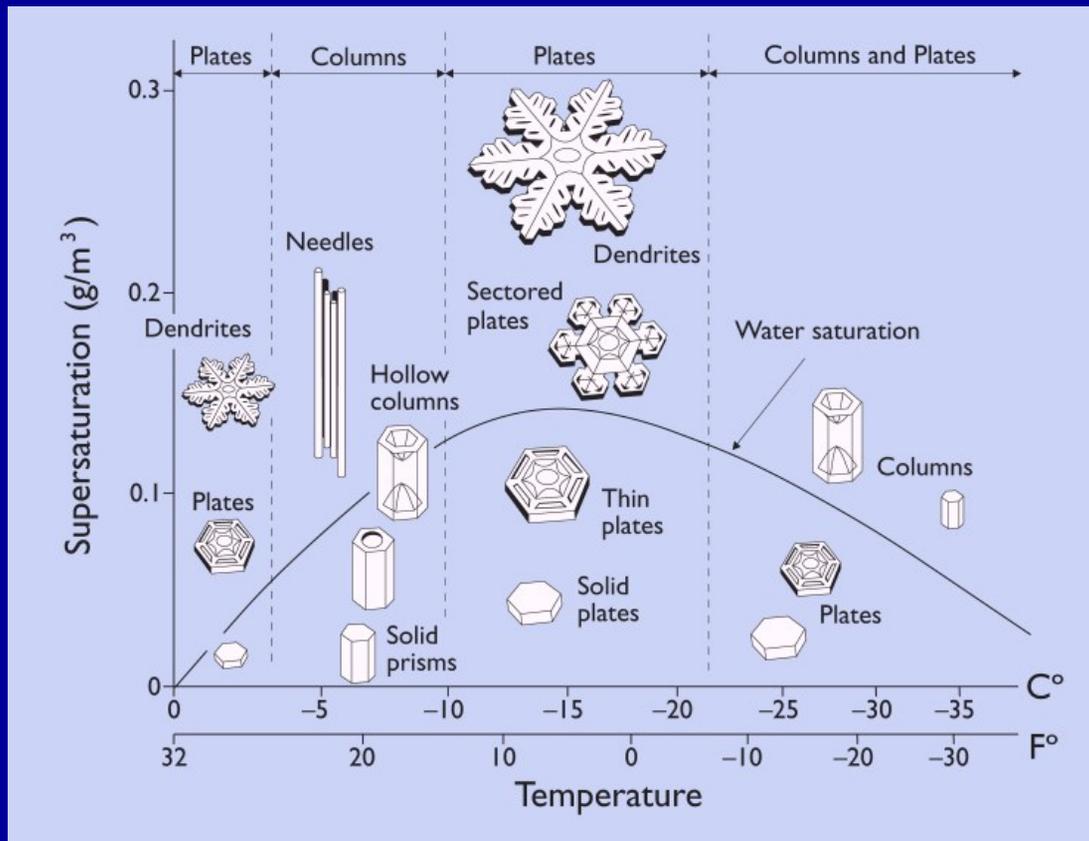


Placas hexagonales → Soles falsos

TIPOLOGÍA



TIPOLOGÍA

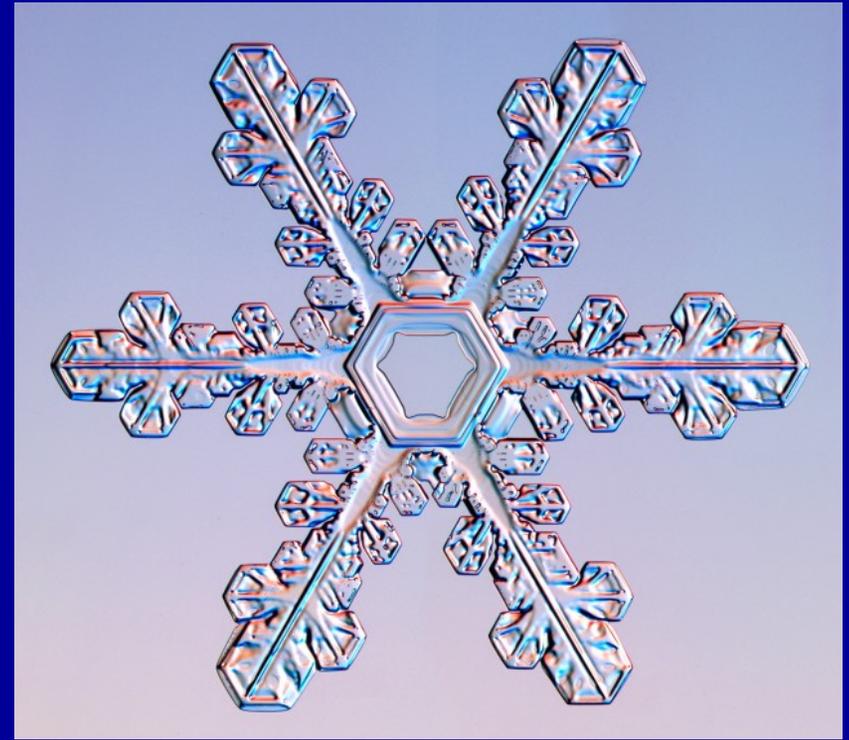


¿A qué obedece ese comportamiento?
¿Cuál es la clave del asunto?

TIPOLOGÍA



© Patricia Rasmussen



© Patricia Rasmussen

La RAMIFICACIÓN introduce complejidad y belleza a los cristales de nieve

TIPOLOGÍA



Cinemática de adherencia dependiente de la estructura (Kenneth G. Libbrecht)

INESTABILIDAD DE MULLINS-SEKERKA ("filo de la navaja")

NANOESCALA

TIPOLOGÍA

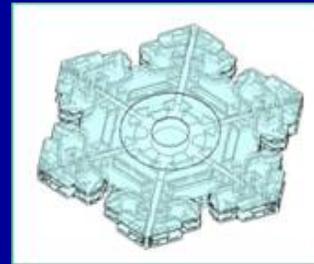
Simulaciones a ordenador de **GRAVNER** (UCA-Davis)
y **GRIFFEATH** (Univ. Wisconsin-Madison)



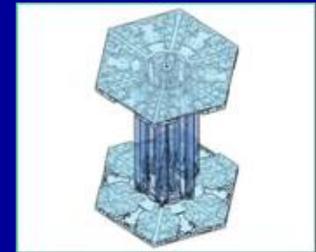
Dendrita
clásica



Estrellita
de nieve



Placa
estrellada



Columna
truncada

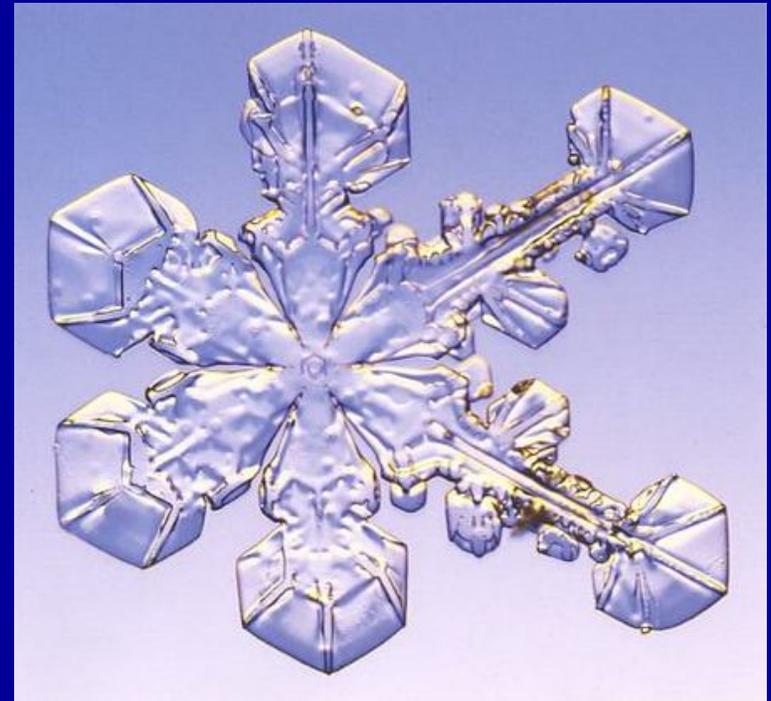
<http://psoup.math.wisc.edu/3dMovies/3dMovies.htm>

SIMETRÍA Y BELLEZA

Existen muchos mecanismos que interrumpen el crecimiento perfecto de los cristales de nieve



© Patricia Rasmussen

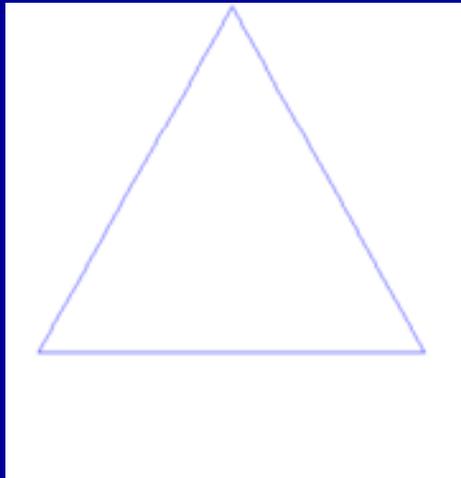


© Patricia Rasmussen

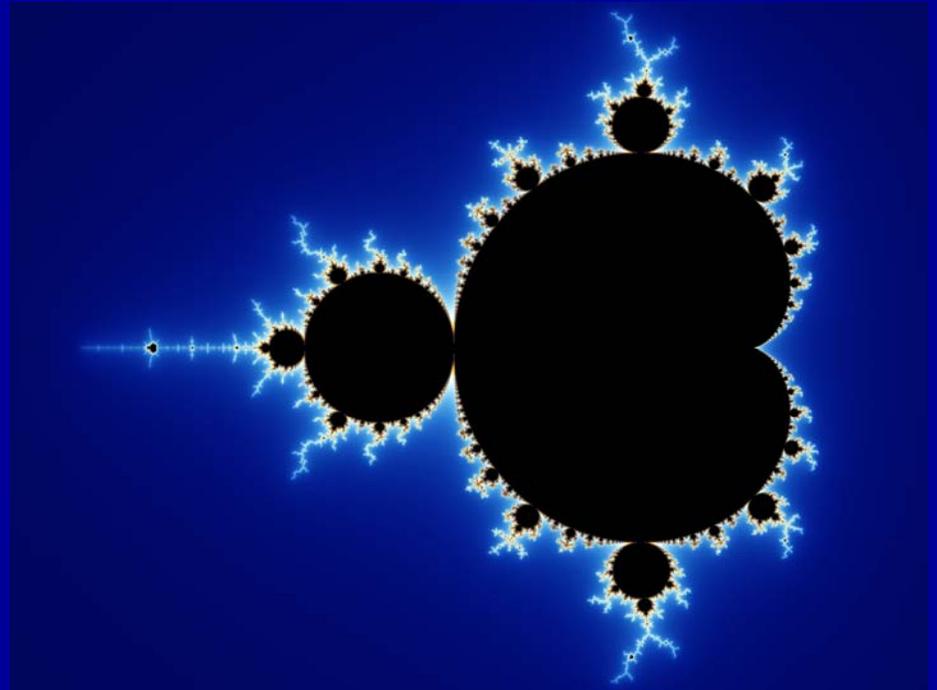
Viaje "accidentado" por el interior de la nube

SIMETRÍA Y BELLEZA

Los cristales de nieve son un buen ejemplo de geometría fractal

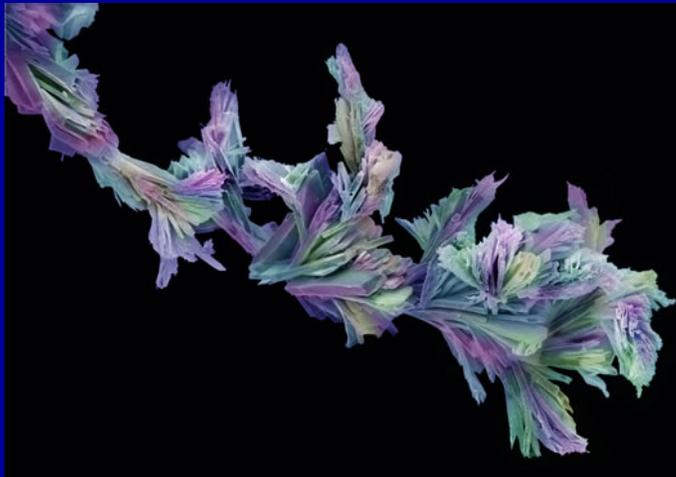
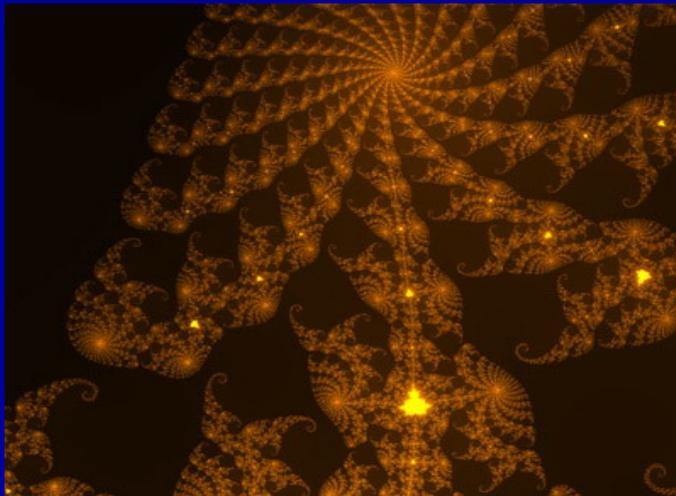


Curva de Koch



Conjunto de Mandelbrot

SIMETRÍA Y BELLEZA



© Ramón Baylina



Todo está maravillosamente entrelazado



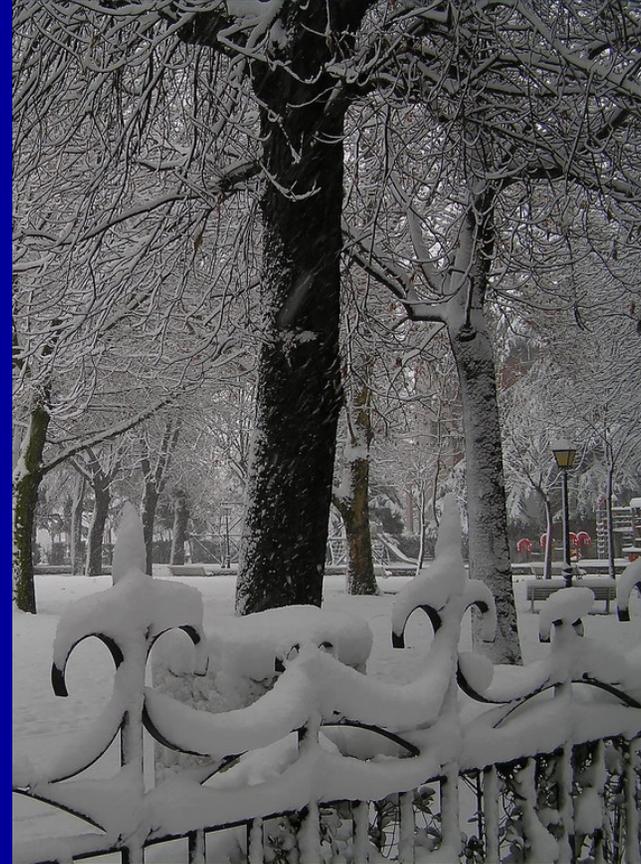
La belleza impregna todo en la Naturaleza

SIMETRÍA Y BELLEZA



SIMETRÍA Y BELLEZA

El hielo presenta formas bellas a todas las escalas



EL PODER DE ATRACCIÓN DE LA NIEVE

SIMETRÍA Y BELLEZA



SIMETRÍA Y BELLEZA



RAMÓN BAYLINA, el retratista del hielo

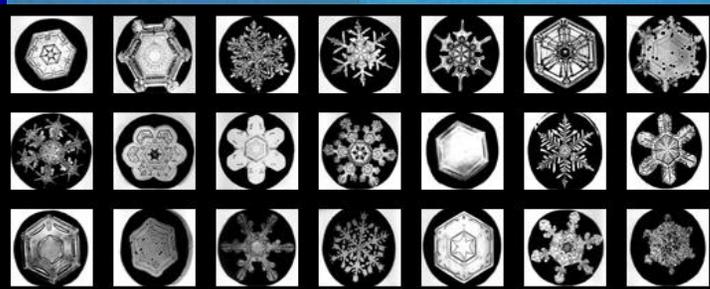
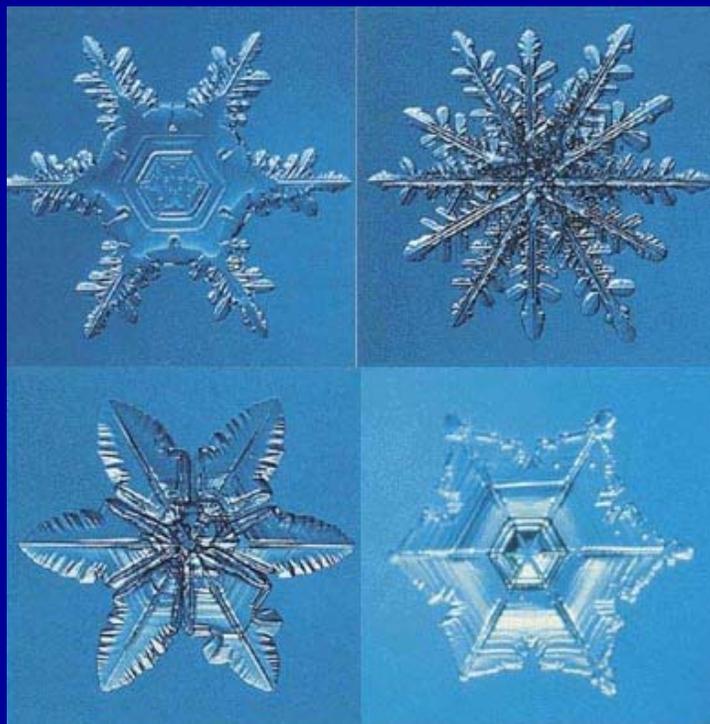
SIMETRÍA Y BELLEZA



© José Antonio Abellán

- 1) ¿Por qué la nieve es blanca?
- 2) ¿A qué es debido el silencio que se percibe después de nevar?

www.SnowCrystals.com



www.divulgameteo.es



ii MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN !!