

LOS CUASICRISTALES

THE QUASI-CRYSTALS

RESUMEN

La Cristalografía estudia como se disponen los átomos en la materia de forma estrictamente ordenada y repetitiva.

Palabras clave: Cuasicristales, Ciencias de Materiales, Cristalografía.

ABSTRACT

The crystallography studies the way in which the matter atoms are disposed in a strictly order and repetitive way.

Key words: Quasi-crystals, materials science, crystallography.

Algunos errores científicos producen enseñanzas gratificantes y constituyen incluso verdaderas gangas pedagógicas. En 1986, estando entonces en una Escuela de Ingenieros en la que había elegido la especialidad de Ciencias de Materiales, yo seguía un Curso de Cristalografía, que, como todo el mundo sabe, constituye una base indispensable para, por ejemplo, los ingenieros metalúrgicos.

Esta ciencia estudia cómo se disponen los átomos en la materia de forma estrictamente ordenada y repetitiva (se dice también periódica), lo que permite a los joyeros el poder ta-

llar diamantes deslumbrantes, pero que condiciona asimismo las propiedades mecánicas, térmicas e incluso eléctricas de los metales. Un poco como ocurre con un montón de naranjas, que a granel no tiene la misma resistencia a las sacudidas o la misma compacidad que un apilado perfectamente regular de las mismas naranjas.

Mi profesor, de un rigor extremo que llegaba a una gran rigidez, nos repetía incansablemente que todas las reglas de la Cristalografía eran conocidas e intangibles por la buena y simple razón de que en el fondo se trataba de Geometría. Por definición, las matemáticas estaban rigurosamente demostradas y estaba excluido el descubrir un día algo distinto a los modelos cristalográficos existentes, definidos según operaciones de si-

metría. Un rectángulo posee una simetría de orden 2 puesto que se le puede superponer sobre sí mismo efectuando una rotación de una media vuelta; un triángulo equilátero tiene una simetría de orden 3; un cuadrado, una simetría de orden 4; un hexágono regular, una simetría de orden 6. El pentágono regular posee una simetría de orden 5 pero es **imposible** realizar un embaldosado con piezas de ese tipo porque necesariamente quedarían huecos entre ellas: por la misma razón, los cristales no pueden tener esta simetría de orden 5.

Las dimensiones de los átomos son del orden de la diezmilmillonésima parte del metro, por lo que sólo recientemente, con la aparición del microscopio atómico, ha sido posible observarlos directamente uno por uno; pero incluso aun cuando hoy eso sea posible, sólo son las superficies de los sólidos las que son accesibles y no su disposición interna.

Para estudiar los apilados atómicos, la Cristalografía se ha apoyado en la difracción de los Rayos X como técnica experimental esencial: un haz de radiación enviado sobre un cristal es difractado por éste y produce sobre un soporte sensible (película fotográfica o captor electrónico) una figura llamada cliché de difracción, que refleja directamente la simetría del cristal. Las simetrías de orden 5, como la de un pentágono regular, estando prohibidas, los clichés de difracción no pueden presentar esta simetría imposible. Sin embargo, algunos meses después de acabar mi Curso, leí en la revista *Scientific American* un artículo mencionando el

François Roby

Universidad de Pau
Laboratorio de Físico-Química
de los Polímeros

Recibido: 14/06/2006

Aceptado: 20/07/2006



Figura 1: un cristal de galio

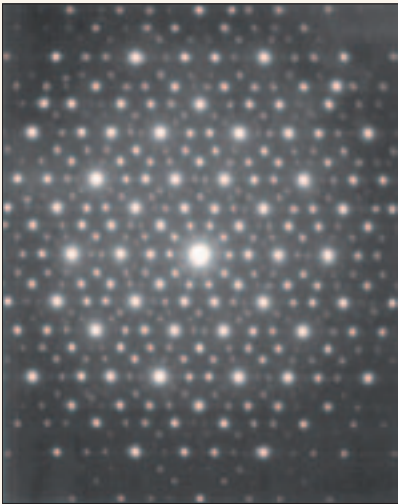


Figura 2: un cliché de difracción "imposible"... pero real

descubrimiento de materiales que presentaban magníficos clichés de difracción de orden 5 ó 10.....¿Nos habían engañado?

La historia de esta "paleta" es la de una generalización apresurada y una lección para quienes critican el rigor excesivo de las Matemáticas. Los cristalógrafos estudian desde siempre *estructuras periódicas*, en las que los átomos se repiten en el espacio como los soldados de un batallón desfilando. Habían constatado que todos los cristales producían clichés de difracción muy característicos, constituidos de manchas cuasi-puntuales como las de la Figura 2, al contrario que la materia desordenada que constituyen los vidrios, por ejemplo. Pero la realidad es que habían construido una teoría que permitía interpretar los clichés a partir de la naturaleza periódica supuesta de la materia y no a la inversa. Pues si la periodicidad engendra el orden y, en consecuencia, los clichés de difracción tan particulares de los cristales, no es, rigurosamente, *una condición necesaria* para la obtención de "firmas" tan notables. Esto, los matemáticos lo sabían desde 1930 y en 1979 el británico **Roger Penrose** había incluso solicitado una patente para la realización de rompecabezas complejos en los que las simetrías eran igualmente de orden 5... y cuyo aspecto general era *no-periódico*, lo que se presentaba como un argumento estético.

Sería presuntuoso (¡y fuera de las competencias del autor!) plantear en este artículo el razonamiento matemático que demuestra por qué el orden periódico no es necesario para obtener bellos clichés de difracción específicos similares a los de los cristales: intentemos solamente dar la idea general.

Observando el pavimentado de **Penrose** de la Figura 3, análogo a dos dimensiones de la disposición de los átomos de un cuasi-cristal tridimensional, sorprende el aspecto no-periódico pero sí ordenado del conjunto. En particular, los segmentos que componen la figura tienen un número pequeño de orientaciones posibles y todos los decágonos regulares que se pueden trazar uniendo diez segmentos tienen estrictamente la misma orientación. Este orden se propaga indefinidamente mientras se continúa la construcción y es el que es responsable de las manchas puntuales en los clichés de difracción, no la periodicidad, aquí inexistente.

Queda encontrar la regla de construcción de estructuras tan misteriosas: hacer un embaldosado añadiendo siempre el mismo elemento de forma estrictamente repetitiva no representa problema alguno; pero lo otro, ¿cómo hacerlo? Como siempre, las Matemáticas ofrecen una solución simple y elegante.

Tomemos una simple hoja de papel cuadrículado: se trata de un espacio de dos dimensiones. Aisleemos un cuadradito y lo trasladémoslo en línea recta sobre la hoja: marcamos a con-

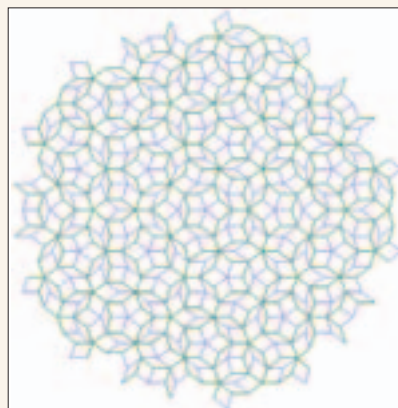


Figura 3: Pavimentado aperiódico de **Penrose** mostrando una simetría de orden 5

tinuación las intersecciones de las líneas cruzadas por el paso del cuadradito. Terminamos proyectando los puntos así obtenidos sobre la trayectoria elegida: se obtiene una serie de puntos sobre una recta, cuya repartición depende de la trayectoria elegida para el cuadradito trasladado.

Cuando la trayectoria elegida es muy particular, como la de la parte baja de la figura, que corresponde a la diagonal de los cuadrados, se obtiene una serie de puntos equidistantes perfectamente periódica: incluso la construcción del centro, obtenida avanzando dos cuadrados hacia la derecha y luego bajando un cuadrado, da una estructura periódica un poco más compleja puesto que la separación entre los puntos puede tener dos valores. Por el contrario, si la dirección es "incommensurable" con el cuadrículado, es decir, no puede describirse diciendo "se desplaza n cuadrados sobre la horizontal por p cuadrados sobre la vertical", con n y p números enteros, entonces la serie de puntos obtenidos por proyección es estrictamente no-periódica... pero perfectamente ordenada puesto que está obtenida de una manera rigurosamente determinista a partir de una estructura periódica.

Toda la sutileza de estas disposiciones puede describirse de una forma análoga para dos y tres dimensiones: partiendo de una estructura regular periódica en un espacio de dimensión superior a la del cuasicristal, es posible generarlo matemáticamente operando una sección y una proyección siguiendo una dirección incommensurable con

la estructura periódica de partida. Así, las figuras de Penrose pueden construirse a partir de estructuras periódicas en dimensión 4, y los cuasicristales tridimensionales, a partir de un espacio de dimensión 6. No se trata evidentemente en este caso de hacer dibujos sino de aplicar las reglas de cálculo matemáticas que definen las proyecciones, lo que no presenta muchos más problemas en los espacios de dimensión superior, si no es más que añadir coordenadas!

El ejemplo de los cuasi-cristales es particularmente instructivo para

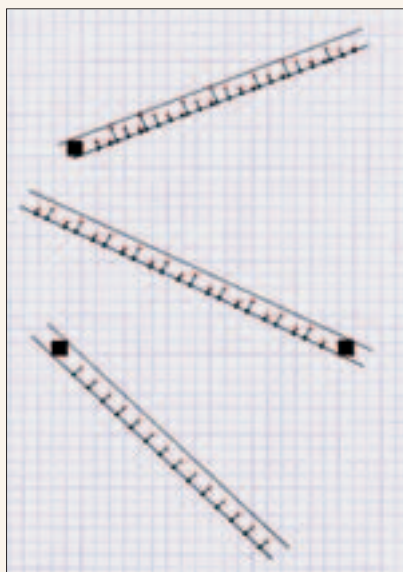


Figura 4: Construcción de estructuras periódica o no con una dimensión

mostrar la importancia de la abstracción en la comprensión de lo real. No

existe la **experiencia pura**: todo resultado pide una teoría para su interpretación. Rechazados de entrada como artificios, los clichés de simetría de orden 5 han permitido no sólo ampliar el campo de la Cristalografía sino de mostrar que los resultados conocidos hasta entonces no eran más que un caso particular de una teoría más amplia. El marco conceptual era ya conocido desde hace tiempo por los matemáticos, que sabían que la condición necesaria para obtener un orden de larga distancia (y los clichés característicos correspondientes) era la “casi-periodicidad”, que en sí misma comportaba casos particulares calificados como de “cuasi-periodicidad”, que ellos mismos contenían la periodicidad. Esto solamente era el caso particular de un caso particular que los cristalógrafos tomaban por generalidad.

Por su estructura tan notable, los cuasi-cristales (aleaciones metálicas a base de aluminio, manganeso, cobre y hierro, por ejemplo) presentan igualmente problemas teóricos muy interesantes de la Física de los sólidos: en los metales usuales, que son cristalinos, la conductibilidad térmica como la eléctrica, así como las propiedades mecánicas, están fuertemente ligadas a la naturaleza periódica de la estructura. Al estar ausente esta periodicidad, los cuasi-cristales se comportan de manera extraña en todos estos puntos: conducen mal el calor y la electricidad, son frágiles a temperatura ambiente pero se vuelven dúctiles de manera espectacular a temperatura elevada en lugar de fundirse como los metales cristalinos. Son fases bien exóticas de estas materias que aún no han terminado de dar que pensar, de hacer reflexionar. ■

BODEGAS MURIEL
EL CIEGO - RIOJA ALAVESA

Bodega fundada en 1926

Felicidades

Ctra. Laguardia s/n
01340 Elciego - Alava (España)
Tel 945 606 268 Fax 945 606 371
www.bodegasmuriel.com