

Premio Nobel de Química 2011

LOS CUASICRISTALES

Manuel García Velarde

Otorgado a Daniel SHECHTMAN “por descubrir los cuasicristales”. Así de breve, la cosa parece sencilla y, sin embargo, este *Premio Nobel* nos ofrece varias lecciones que van desde disponer —en la propia universidad o centro de investigación o donde la hubiere— de la metodología/tecnología experimental adecuada en el momento preciso (algo que también cabe extender a los descubrimientos teóricos) a ser tenaz, digamos, jocosamente, cabezota, a creer en lo que uno hace (no todos los científicos recitan el mismo credo) y a tener el coraje de resistir los ataques de los “incrédulos” por muy autoridades importantes que fueren hasta —sin quitar nada al mérito del premiado— opinar que ha habido injusticia a otros colegas que lo merecían por la misma razón. Shechtman hoy está en el TECHNION, Instituto Tecnológico de Israel en Haifa, pero su descubrimiento lo hizo cuando trabajaba en el *National Bureau of Standards* (hoy *National Institute of Standards and Technology*) en Washington, D.C., capital de EE.UU. Entonces se dedicaba a la exploración de las propiedades de aleaciones obtenidas mediante enfriamiento súbito. Congelando una mezcla líquida de aluminio con un poco de manganeso, produjo granos micrométricos con brazos como plumones. De esos granos hizo imágenes de difracción electrónica, o sea obtenidas al atravesarlos un haz de electrones (la difracción “ordinaria” es la que se obtiene mediante rayos X, difracción de Bragg descubierta en 1912 y origen de otro Premio Nobel) que permite ver los átomos en el espacio (de Fourier). Aprovecho para mencionar que mediante difracción de neutrones (térmicos) se pueden ver los movimientos atómicos espontáneos en equilibrio. La imagen de difracción permite, yendo del espacio de Fourier al espacio ordinario, reconstruir el ordenamiento espacial. El descubrimiento data del 8 de abril de 1982, según el cuaderno de laboratorio del descubridor (Figura 1). Dos publicaciones dieron fe de lo descubierto, una en *Metallurgical Transactions A*, llegada el 2 de Octubre de 1984 a esa revista, tras ser rechazada en JAP el mes anterior (publicada en Junio de 1985). La otra en *Physical*



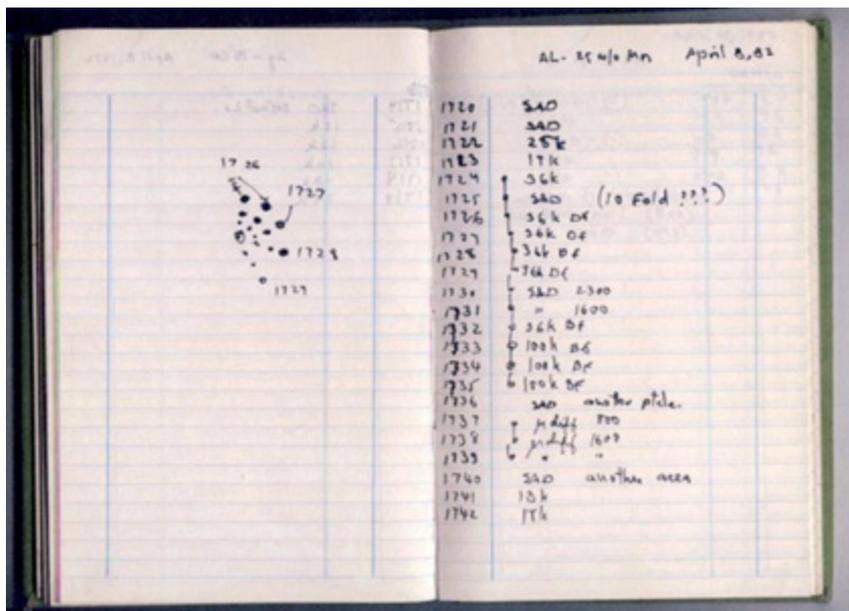


Figura 1. Hoja del cuaderno de laboratorio (8 de abril de 1982) del Premio Nobel de Química 2011.

Review Letters (PRL) recibida el 9 de octubre del mismo año (publicada el 12 de noviembre de ese año). Ambas tras dos años largos desde aquel abril de 1982.

¿Qué son los “cuasicristales”? No era la primera vez que se añadía un *adjetivo* al nombre *cristal*. Punto de orden, guárdese el lector de confundir los cristales con los vidrios mal llamados “cristales” de las ventanas. Tampoco confundir con cristales sólidos los líquidos denominados “cristales líquidos” que fluyen, o sea son líquidos mecánicamente, pero son “cristalinos” ópticamente (con rayos X; son los LCD-del inglés “liquid crystal display” en pantallas de computadores, de TV o de relojes, asociados al Premio Nobel de 1991 concedido en Física a P. G. de Gennes). Veamos, previo a responder la pregunta, algunos conceptos que iluminen nuestro camino. Los vidrios son considerados sólidos amorfos (sus átomos están apilados sin orden alguno) o líquidos (digamos que sus átomos están libres o todo lo más forman paquetitos de tamaño aleatorio, sin ordenamiento alguno) que, cabe pensar, están fluyendo muy lentamente, tanto que su cambio puede ser apreciado ja escala astronómica! Sería el caso de las vidrieras recientemente reemplazadas en la catedral de León, que acabarán, como las primitivas, por engordar en su base tras el paso del tiempo (tras muchos millones de años).

¿Cuáles son las variables y magnitudes físicas de un problema? Quizá también precisemos conocer cuáles son las escalas involucradas. Consideremos una cuerda de guitarra o de violín. ¿Para qué propósito la queremos? Para visualizar mejor lo que quiero decir, imaginemos un rosario “equivalente” de igual longitud. Si es para oír música o describir cómo suena ¿nos sirve de algo seguirle la pista a los puntos de la cuerda, o sea a las cuentas del rosario? El sonido proviene de las vibraciones de la cuerda, que, por tener fijos los extremos, pueden ser transversas a la inicial línea/dirección de la cuerda en equilibrio. La vibración básica es la forma arqueada con un máximo en el centro que es como la forma del seno de un ángulo que va de cero en un extremo al valor uno, el máximo, en el centro a 90 grados, y vuelve a cero en el otro extremo fijo, como si hubiésemos llegado a 180 grados. Tras ese modo de vibración podemos ver el segundo modo de vibración, que ofrece un máximo y un mínimo con un cero en medio, como si fuésemos de cero a 180 grados (pasando por el máximo) y luego a 360 grados (pasando por el mínimo que en valor absoluto vale uno como el máximo), o sea al cero de nuevo, en un círculo. Fue Fourier quien nos alertó que para conocer las notas y describir las vibraciones de la cuerda o los puntos materiales del rosario, las cuentas no han de preocuparnos sino esos mencionados modos vibratorios colectivos de todos los puntos operando al unísono. Hoy se denominan modos de Fourier. Cada modo define una periodicidad, de cero en un extremo a cero en el otro extremo pasando por un máximo en el centro, y así sucesivamente otros modos con máximos y mínimos y ceros intermediarios. Todos esos modos son periódicos o sea que tarde o temprano vuelven al mismo valor o mismo punto, en el espacio o en el tiempo. Imaginemos que por mucho que esperemos o busquemos en el espacio nunca volvemos al mismo punto, pero volvemos a una posición muy cerca del punto de partida, tan cerca como queramos. Entonces se dice que la función es “cuasi periódica”. Es una forma de imperfección pero es real. Un “cuasicristal” es un cristal cuasi periódico, de la contracción de las palabras inglesas “*quasi periodic crystals*”.

Para describir una función periódica a lo largo del espacio o del tiempo no necesitamos darla toda, sino que basta con describir la primera “unidad” y el resto sigue repitiéndose la primera unidad o “celda” (Figura 2). Los cristales son aglomerados “periódicos”, donde basta con dar una tal “celda” base o unidad y el criterio de reproducción y así se saca la descripción del todo. Todas las “celdas unidad” tienen la misma orientación espacial. Así un cristal es un sólido compuesto de átomos ordenadamente apilados en una estructura periódica en las tres dimensiones del espacio. Además, prácticamente, todas las propiedades de un cristal se pueden deducir de nuestro entendimiento del comportamiento de la unidad.

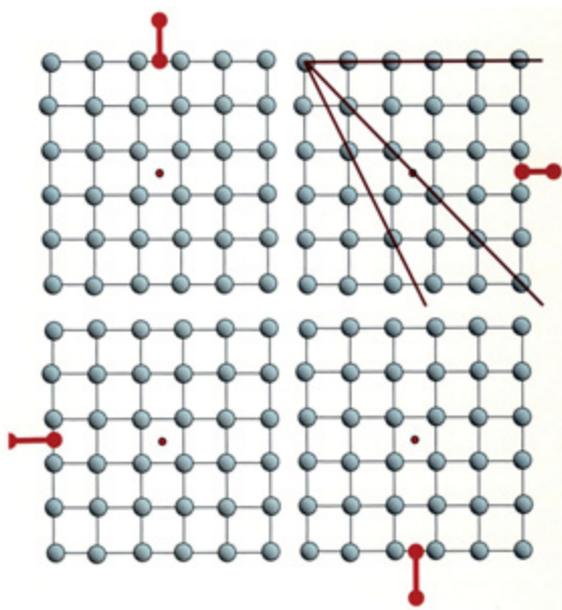


Figura 2. Simetría cuaternaria.

Los “cuasicristales” no poseen la unidad de base que por repetición construye el todo como en una función periódica a lo largo del espacio. La definición de “cuasicristal” fue dada por P. J. Steinhardt el 24 de Diciembre de 1984 en un artículo publicado en *Physical Review Letters*, recibido el 2 de Noviembre, o sea antes de la publicación de Schechtman arriba mencionada. Este último cita en el párrafo final técnico varias publicaciones de aquél, indicando que lo encontrado experimentalmente, como posibilidad, había sido predicho en simulaciones numéricas con computador. ¿Fue Steinhardt juez del manuscrito de Shechtman? Así, pues, cuasicristal (cuasiperiódico) es como la extensión natural del concepto de cristal (periódico) a estructuras que posean ordenamiento o invariancia de traslación cuasiperiódica. De otro modo, un cuasicristal posee ordenamiento espacial cuasiperiódico con ordenamiento orientacional no cristalino. Steinhardt andaba tratando de entender, mediante simulaciones computacionales, las propiedades de los vidrios congelados mediante súbito enfriamiento de líquidos ¡en el computador!

En una estructura cuasiperiódica las posiciones de los átomos a lo largo de cualquier eje de simetría se pueden obtener sumando dos o más funciones periódicas cuyas longitudes tengan un cociente “irracional”, o sea que no son ni múltiplos ni submúltiplos

uno del otro (el número “pi” es irracional, como también lo es la raíz cuadrada de dos). Como antes señalé, un cuasicristal tiene ordenamiento —apilamiento— cuasi periódico en vez de periódico. Una superficie plana —un techo, una pared o un suelo— se puede cubrir perfectamente con tejas o azulejos triangulares, cuadrados o hexagonales pero no con pentágonos, o sea que los ejes quinarios están “prohibidos” (Figura 3). Los pentágonos permiten rellenar un balón, es decir una superficie esférica (Figura 4). Se puede cubrir una pared, un tejado o un suelo con azulejos rómbicos si se combinan rombos agudos con obtusos con una razón entre lados que es $1.618 = 1 + \text{raíz de } 5 \text{ dividido por } 2$, que es la razón áurea! (Figuras 5 y 6).

Si algo se descubre en el laboratorio que antes se había encontrado en la naturaleza ¿se puede recibir el Premio Nobel? Desde 1984 Steinhardt ha hecho esfuerzos ímprobos para encontrar los cuasicristales en museos y en la naturaleza incluso fuera de la

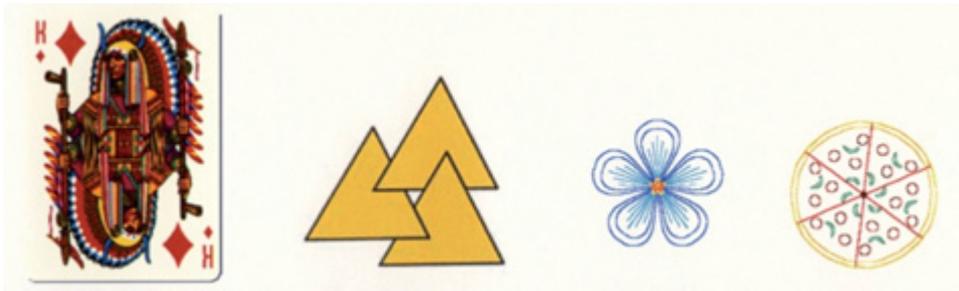


Figura 3. Secuencia de objetos con simetría de rotación: busque el centro y gire dos veces (binaria), tres veces (ternaria), cinco veces (quinaria) y seis veces.



Figura 4. Un balón de fútbol visto desde tres ejes: binario, ternario y quinario.

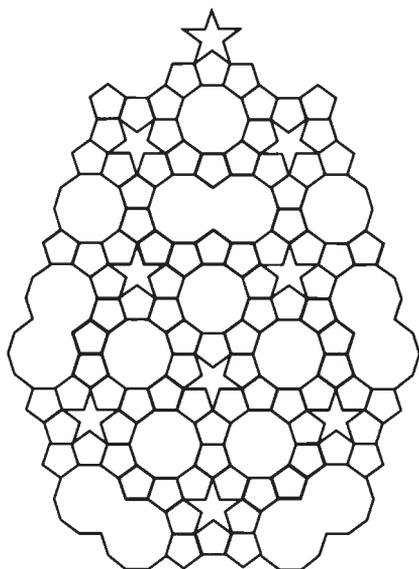


Figura 5. Suelo (azulejos) de Kepler usando decágonos y pentágonos... con pentágonos y estrellas pentagonales necesarios para no dejar espacio vacío.

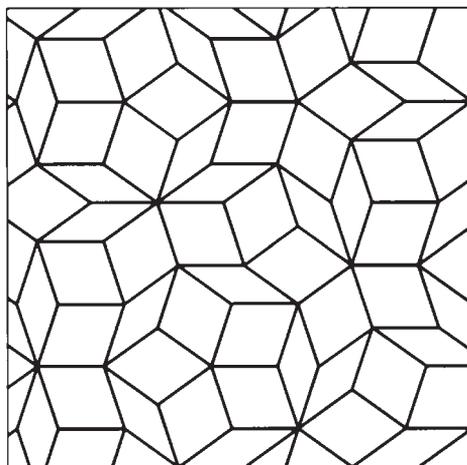


Figura 6. Suelo (azulejos) de Roger Penrose con rombos delgados y gordos.

Tierra en materiales que aquí llegaron como meteoritos. La búsqueda ha dado resultados positivos, llegando a proponer en la revista *Science* (5 de junio de 2009, p. 1306) y en *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* de EE.UU., (21 de noviembre de 2011 junos pocos días antes del anuncio de los Premios Nobel!) evidencia del origen extra terrestre de algunos cuasicristales encontrados en la península de Kamchatka y que andan por museos de Florencia y San Petersburgo. Steinhardt en un artículo en *Science* (23 febrero 2007, p. 1106) ya indicaba la existencia de “cuasicristales” en la arquitectura/mejor decorado medieval islámico. Para conocer la cristalografía nada mejor que recorrer la Alhambra. Si el descubrimiento de Shechtman hubiese sido posterior al conocimiento de la existencia de esos cuasicristales naturales ¿le habrían dado el Premio Nobel a él o a Steinhardt por haberlos predicho e inventado? Y dadas las circunstancias todas ¿por qué no el Premio Nobel a ambos? Como dijo Steinhardt en el artículo de *Science* de 2009, p. 1306, el concepto de “cuasicristal” fue introducido hace 25 años en su publicación en *PRL*, p. 2477, y el primer ejemplo observado en la publicación de Shechtman también en *PRL*, p. 1951, unas quinientas páginas antes.

Shechtman no lo tuvo fácil, pues sus muestras indicaban un ordenamiento difraccional no más allá de unos cuantos cientos de Angstroms, cuando de un cristal cabe esperar ordenamiento hasta el “infinito”, o sea hasta milímetros, digamos. Por eso surgieron críticas señalando que quizá lo observado por el ahora Premio Nobel podrían ser apilamientos de cristalitos organizados con cierto ordenamiento “icosaédrico”, como decía él (Figuras 7 y 8), pero en una especie de “gemelado” espacial de cristales de ordenamiento inferior. Las publicaciones de 1984 tanto de Shechtman como de Steinhardt dejaron claro que algo nuevo realmente se había descubierto. Los primeros cuasicristales no eran estables o sea de duración “infinita” sino que duraban un tiempo finito, limitado (se dice *metaestables*). Pero ya desde 1984 los hay estables (por ejemplo aleaciones de manganeso, zinc y cerio, aluminio, litio y cobre o aluminio, cobre y hierro, obtenidas por investigadores japoneses) y suficientemente “grandes” (hasta centimétricos) como para poder manipularlos a voluntad, o sea estudiar su propiedades mecánicas, térmicas y electrónicas a placer.

No obstante, Linus Pauling, Premio Nobel de Química y algo más, tuvo uno de sus deslices (otro fue el énfasis en el papel de la vitamina C en dosis “enormes” para la salud, algo que probé y dejé cuando empecé a sentir dolor en los riñones). En 1987, publicó en *Physical Review Letters* (26 de enero, pp. 365-368) una nota con el título “So-called Icosahedral and Decagonal Quasicrystals Are Twins of an 820-Atom Cubic Crystal”. La introducción de la nota no podía ser más demoledora: “El descubrimiento

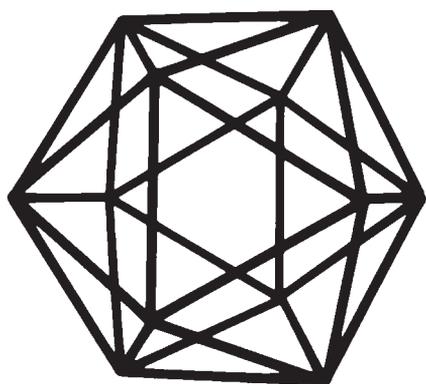


Figura 7. Icosaedro: seis ejes quaternarios, diez ejes ternarios y quince ejes binarios, que aparecen en la fig. 4 del balón de fútbol.

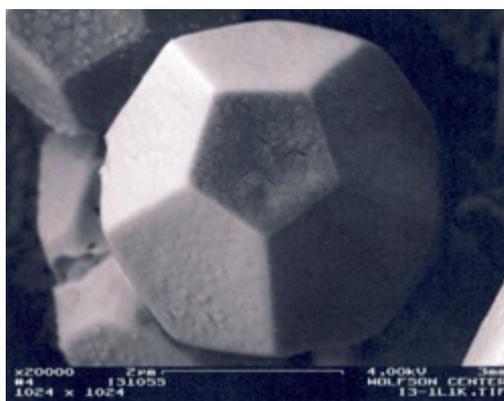


Figura 8. El icosaedro de la aleación Mg-Zn-Ce.

de Shechtman y otros... ha atraído un gran interés, con casi 500 artículos publicados sobre el tema en los últimos dos años... Los pocos esfuerzos para presentar el caso como gemelado (de cristales de inferior ordenamiento) han sido ampliamente ignorados". Sobre el mismo asunto ya había publicado otra nota en 1985 en la revista *Nature* (Londres). Su conclusión también era demoledora: "Concluyo diciendo que la evidencia a favor de interpretar los cuasicristales icosaédricos y decaédricos como *icosatwins* de cristales cúbicos es muy convincente. Por tanto no hay razón alguna para esperar que esas aleaciones tengan propiedades físicas inusuales". ¡Vivan los jueces "expertos" y vaya con las autoridades! Y menudo papelón el de Shechtman... quien aguantó el tipo creyendo en lo que había observado. Convencidos de la originalidad y del valor del descubrimiento la comunidad científica internacional y el Comité Nobel de Química (y la asamblea de la Academia de Ciencias de Suecia), se le concedió el Premio Nobel. Lástima que no lo compartió con Paul Joseph Steinhardt. Larga vida y novedosas, genuinas, propiedades tengan los cuasicristales, pues aunque la perfección da belleza, no hay posible evolución sin acudir a las "imperfecciones" ¿son acaso los cuasicristales por muy poco cristales "imperfectos"?