



HAL
open science

Cristales líquidos

Michel Mitov

► **To cite this version:**

| Michel Mitov. Cristales líquidos. Mundo Científico, 2002, 235, pp.80-83. hal-03708975

HAL Id: hal-03708975

<https://hal.science/hal-03708975>

Submitted on 29 Jun 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Cristales líquidos

Descubiertos hace poco más de un siglo, estos materiales de nombre paradójico están presentes en todo nuestro entorno. No sólo en las pantallas planas de nuestros relojes y ordenadores sino también en los billetes de banco e incluso en nuestro propio cuerpo.

Michel Mitov

es encargado de investigación del Centro de Elaboración de Materiales y de Estudios Estructurales del CNRS en Toulouse.
mitov@cemes.fr

◆ ¿De dónde viene su nombre?

Dulce violencia, silencio elocuente, desconocido célebre, cristales líquidos... todas estas expresiones tienen un punto en común: la figura del oximoron, unión de dos términos contradictorios. En 1922, el cristalógrafo francés Georges Friedel fustigaba a quienes, al aceptar y difundir el término «cristales líquidos», «no los habían observado por sí mismos» o bien, «habiéndolos observado, sólo tenían una vaga idea acerca de los cristales y de la materia cristalizada⁽¹⁾». ¿Qué condiciones históricas valieron a los cristales líquidos un nombre tan difícil de llevar? En 1988, el botánico austriaco Reinitzer estudiaba en Praga unos cristales de benzoato de colesterol, extraídos de los cálculos biliares, que no se comportaban como cristales habituales. Se fundían a 145,5 °C transformándose en un fluido lechoso que, a 178,5 °C, se convertía en un líquido perfectamente claro. Reinitzer escribió a uno de los cristalógrafos más experimentados de la época, Lehmann, que residía en Aquisgrán, para hacerle partícipe de sus sorprendentes observaciones. Lehmann había construido una platina calefactora que le permitía seguir en directo los cambios ópticos de un cristal al variar su temperatura. La utilizó para proseguir la observación al microscopio de los cambios de estado del benzoato de colesterol y de otras sustancias, sintetizadas o extraídas de distintas plantas. Aquellos productos tenían el aspecto característico de un cristal cuando se iluminaban con luz polarizada* pero también fluían como líquidos ordinarios. La conjunción de estas propiedades sugirió a un Lehmann vacilante varios nombres distintos: «cristales fluidos» en 1889, «líquidos cristalinos» en 1890; y por último «cristales líquidos» en 1900.

*La polarización de la luz es la orientación del campo eléctrico de la onda asociada con respecto a la dirección de propagación.

*Pierre-Gilles de Gennes es un físico francés nacido en 1932 que recibió el premio Nobel de física en 1991 por sus trabajos sobre los cristales líquidos y los polímeros.

(1) G. Friedel, *Annales de physique, serie 9*, 18, 275, 1922.

(2) H. Zocher, *Z. Anorg. Allg. Chem.*, 147, 91, 1925; J.-C. Gabriel y P. Davidson, *Advanced Materials*, 12, 9, 2000.

◆ ¿Cómo son las moléculas de un cristal líquido?

Desde el punto de vista de la forma, las moléculas de cristal líquido suelen presentarse como bastoncillos de unos pocos nanómetros de longitud y varias décimas de nanómetro de sección. Pero otras son discos o pirámides.

Desde el punto de vista de su estructura química, la mayoría de cristales líquidos están formados por moléculas orgánicas (a base de carbono) que constan de dos partes que difieren en estructura (una parte rígida y otra flexible), propiedades (una parte hidrófila y otra hidrófoba) y en la mezcla de los grupos asociados (un grupo hidrocarbonado y otro fluorocarbonado). Volvemos a encontrar aquí el doble rostro de los cristales líquidos, que concilian dos entidades que muchos criterios parecen tener que separar.

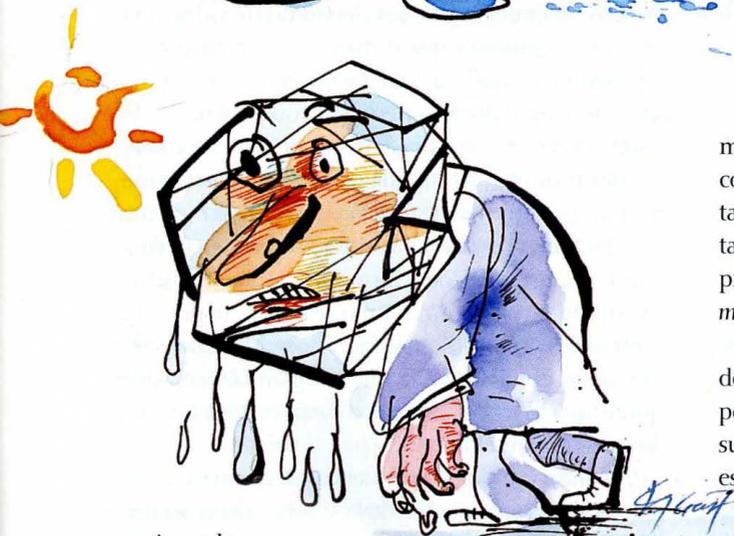
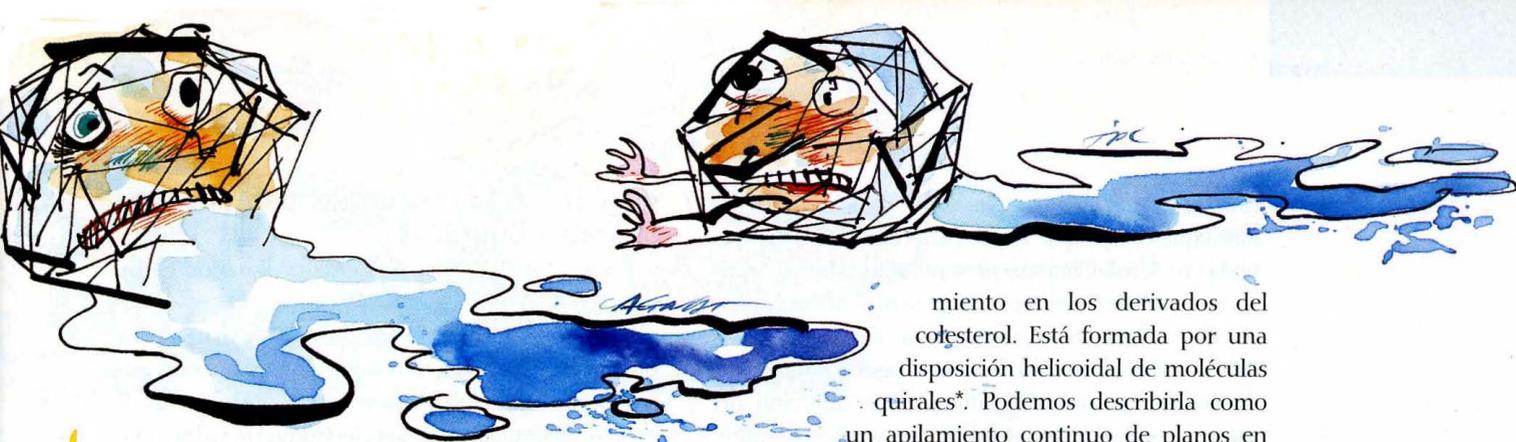
Existen también objetos rígidos minerales en forma de agujas, cintas o placas que, en dispersión en un disolvente, presentan fases de cristal líquido. Abandonado desde las primeras observaciones realizadas en 1925, el estudio de los cristales líquidos minerales se reanudó en los años 1990.⁽²⁾

◆ ¿Qué tienen de cristales y qué de líquidos?

En la escuela, se suelen distinguir tres estados fundamentales de la materia basándose en el orden de las moléculas: sólido cristalino, líquido y gas. Esta clasificación es útil en primera aproximación, pero hay otros muchos estados que ponen en entredicho estas fronteras: emulsiones, geles, polímeros, espumas... o cristales líquidos, todos ellos miembros de la gran familia de la materia blanda, según la expresión popularizada por Pierre-Gilles de Gennes.*

Un cristal es una disposición ordenada y periódica de átomos o moléculas. Por término medio, el orden es total tanto para la posición como para la orientación de las moléculas. Estos órdenes se pierden completamente en un líquido. En un cristal líquido estándar, la situación es intermedia (se habla entonces de mesofase, del griego *mesos*, intermedio). Las moléculas bastoncillos están ubicadas del cualquier manera, pero pese a desplazarse unas con respecto a otras por obra de la agitación térmica se mantienen paralelas en promedio.





A escala macroscópica, un cristal líquido no es necesariamente líquido. El nombre se refiere exclusivamente a dicho orden parcial en la organización de las moléculas. Así es como los cristales líquidos pueden, sin usurpar su nombre, adoptar aspectos muy distintos: sólido, gomoso, gelatinoso o pastoso.

◆ ¿Se los puede clasificar en familias?

En 1957, G.H. Brown y W.G. Shaw, basándose en los trabajos de G. Friedel, A.S Lawrence y E.E. Jelley, establecieron una clasificación fundada en las condiciones experimentales que permiten observar las fases de cristal líquido.⁽⁵⁾ Distinguieron entre cristales termótropos, para los cuales las fases se revelan cuando se calienta o enfría la sustancia, y cristales liótropos, que requieren la dilución de un compuesto en un disolvente. Se habla de anfótropos cuando los dos procesos se acumulan en una misma sustancia.

Friedel, por su parte, había establecido una clasificación basada en criterios de orden y simetría de las disposiciones moleculares. Una tarde que jugaba con sus hijas, buenas helenistas, bautizó las tres grandes clases de cristales líquidos con los nombres de nemática, colestérica y esméctica (fig.1). La fase nemática es la menos ordenada. Las moléculas tienden simplemente a alinearse paralelamente unas a otras. Observada con un microscopio de luz polarizada, esta fase presenta a menudo defectos semejantes a hilos (*nêmatos* en griego).

La fase colestérica debe su nombre a su descubri-

miento en los derivados del colesterol. Está formada por una disposición helicoidal de moléculas quirales*. Podemos describirla como un apilamiento continuo de planos en cada uno de los cuales reina un orden nemático. Si nos movemos a lo largo de un eje perpendicular a los planos, la orientación de las moléculas va girando. Esta construcción vale a la fase colestérica su otro nombre de «nemática quiral», tanto más justificada cuanto que la fase se presenta también en sustancias distintas del colesterol. Friedel presentó con elegancia la fase colestérica como «un modo de ser especial de la fase nemática».

La fase esméctica, por último, se llama así a causa de sus propiedades mecánicas similares a las de una película jabonosa (*smectos* en griego). Hay numerosas subfamilias de esmécticos. En el caso más simple, el esméctico A, las moléculas están orientadas paralelamente unas a otras como en la fase nemática, pero se agrupan en capas paralelas regularmente espaciadas. Dentro de cada capa, las moléculas están ubicadas al azar.

◆ ¿Cómo reaccionan ante una tensión eléctrica?

Responderemos a esta pregunta para el caso más elemental, el de los nemáticos constituidos por moléculas bastoncillos. La mayoría de los cristales líquidos están formados por moléculas neutras. No obstante, según la naturaleza de los átomos que las componen, pueden estar cargadas positivamente en un extremo y negativamente en el otro. Esta separación de cargas permite asimilar la molécula bastoncillo a un dipolo eléctrico* permanente. Los dipolos están orientados al azar y para cada molécula orientada en un sentido encontramos otra orientada en sentido contrario. En presencia de un campo eléctrico, en cambio, las partes cargadas de una molécula sufren fuerzas opuestas proporcionales a su carga y al

*Una molécula es quiral si no coincide con su imagen en un espejo.

*Un dipolo eléctrico está formado por dos cargas eléctricas puntuales iguales y de signo contrario.

(5) G.H. Brown y W.G. Shaw, *Chemical Reviews*, 37, 1050, 1957.

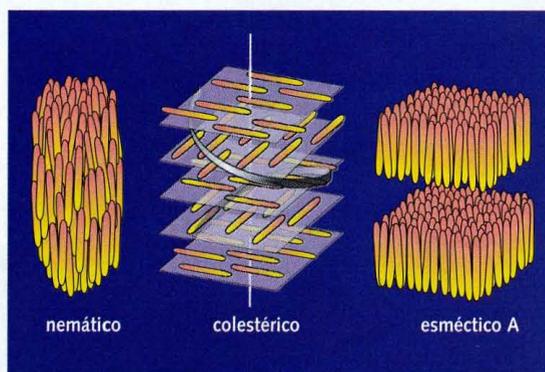


Figura 1. Las moléculas bastoncillos de los cristales líquidos son simplemente paralelas entre sí, sin otra organización, en la fase nemática; están dispuestas en planos en la fase colestérica, con una rotación helicoidal de la dirección preferencial; forman capas en la fase esméctica.

campo, lo cual provoca una rotación de la molécula hasta que el dipolo se alinea paralelamente al campo. En las moléculas que no presentan inicialmente ninguna separación de cargas, la presencia de un campo eléctrico crea de todos modos unas fuerzas sobre las cargas de los átomos, de lo que se sigue un desplazamiento de las cargas positivas en la dirección del campo eléctrico y de las cargas negativas en sentido opuesto, lo cual induce un dipolo eléctrico.

◆ ¿Reflejan la luz?

Los cristales líquidos disponen de varias maneras de interactuar con la luz: reflejándola, refractándola en parte, difundiéndola en todas las direcciones del espacio o modificando su polarización. Los cristales líquidos colestéricos presentan la peculiaridad de reflejar la luz de manera selectiva. Consideremos una luz incidente no polarizada que contiene varias longitudes de onda. Coloquemos una muestra de colestérico entre dos superficies planas de vidrio de tal modo el eje de la hélice sea perpendicular a las superficies. El colestérico refleja luz polarizada con una sola longitud de onda, proporcional al producto del paso de hélice por el coseno del ángulo que forma el haz incidente con la dirección perpendicular a la superficie de la muestra. En otras palabras, el color del colestérico depende a la vez de paso de hélice y del ángulo de observación. Esta luz reflejada tiene una anchura espectral de unos cincuenta nanómetros cuando la longitud de onda media está en el dominio visible. Cualquier haz luminoso cuya longitud de onda esté fuera de esta banda atraviesa el colestérico sin sufrir otro proceso que una ligera absorción. Además, la luz reflejada está polarizada circularmente y hay una relación entre su sentido de polarización y el sentido de la hélice (izquierda o derecha) según una correspondencia característica de los colestéricos. Un espejo ordinario refleja una onda polarizada circularmente invirtiendo su sentido de rotación. En cambio, una onda circular derecha es reflejada por una hélice colestérica derecha (y transmitida por una hélice izquierda) conservando su sentido.

◆ ¿Cómo se fabrican las pantallas de cristales líquidos?

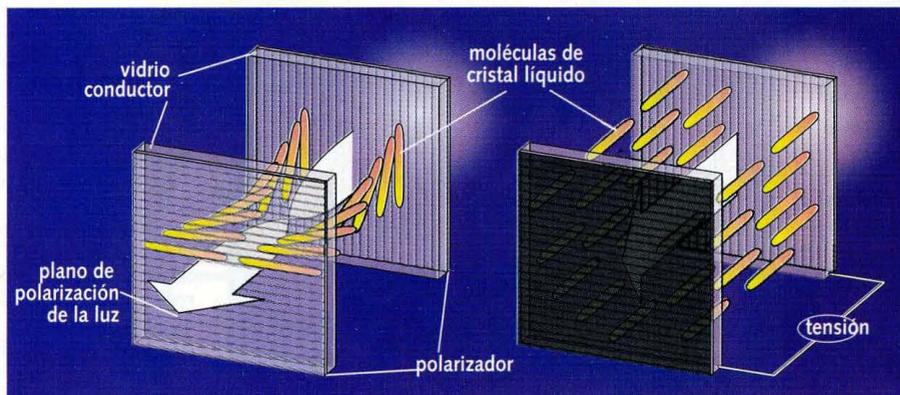
Una pantalla plana de cristales líquidos es un mosaico de puntos elementales, los píxeles, cuyo estado, encendido o apagado, permite escribir una cifra, una letra o cualquier otro signo. Cada píxel está formado por una célula de unos pocos micrómetros de espesor delimitada por dos electrodos de vidrio, planos y transparentes, que contiene un nemático (fig.2). El vidrio es tratado del tal modo que las moléculas de cristal líquido se orienten paralelamente a los electrodos cerca de éstos y todas en una determinada dirección. Los electrodos se orientan de tal manera que esta dirección sufra un cambio de 90° entre las dos caras de la célula; el espesor de la célula se ajusta para que el nemático adopte una estructura en cuarto de hélice. Un último requisito: se pega a la cara externa de cada electrodo un polarizador cuya dirección es paralela a la que adoptan las moléculas junto al electrodo. Los polarizadores forman pues entre sí un ángulo de 90° .

Cuando un haz de luz blanca no polarizada incide sobre la cara anterior de la célula, sólo la atraviesa una onda polarizada rectilíneamente. A medida que esta onda va progresando por la célula, su dirección de polarización va girando siguiendo la orientación en cuarto de hélice del nemático: el cristal líquido hace las veces de guía de ondas. Por último, la onda llega polarizada paralelamente a la dirección del segundo polarizador, lo que le permite salir libremente de la célula. Pero si el nemático ha sido bien elegido, cuando se aplica entre los electrodos una tensión que supera un cierto umbral, las moléculas se alinean perpendicularmente a aquéllos (siguiendo la dirección del campo eléctrico). Desaparece entonces la estructura en cuarto de hélice y la dirección de polarización de la luz que atraviesa la célula ya no gira. La luz queda bloqueada por el polarizador de salida, que la absorbe. Una pantalla como ésta puede iluminarse con luz natural (en cuyo caso se coloca un espejo detrás de la pantalla) o con una fuente luminosa situada detrás. Hay una tercera posibilidad: un espejo parabólico combinado con una lámpara permite ambos modos de funcionamiento. Se gobierna pues el encendido y la extinción de un píxel por medio de una tensión eléctrica. Notemos que ninguna corriente eléctrica atraviesa los píxeles, cosa que degradaría el material.

◆ ¿Y las pantallas en color?

En los televisores planos se utilizan otros tipos de cristales líquidos cuya rapidez de reacción ante una excitación eléctrica se adapta a las exigencias de la cadencia vídeo, y que permiten así modu-

Figura 2. La luz que entra en una pantalla de cristales líquidos con las caras provistas de sendos filtros polarizadores sólo pasa al otro lado si la disposición de las moléculas bastoncillos en cuarto de hélice permite la rotación de su plano de polarización (a la izquierda). La aplicación de una tensión (a la derecha) altera este orden y apaga la pantalla.





lar por medio de la tensión la luz que atraviesa la célula. Los colores fundamentales, rojo, verde y azul, se obtienen añadiendo filtros coloreados a los píxels de cristales líquidos. Estas pantallas requieren una electrónica de mando perfeccionada y onerosa: cada píxel va equipado con un transistor y hacen falta entre cien mil y un millón de píxels para elaborar una pantalla de un metro de diagonal.

◆ ¿Qué más se fabrica con cristales líquidos?

En telecomunicaciones, unas válvulas ópticas que utilizan cristales líquidos ofrecen la posibilidad de modular muy rápidamente (a escala del microsegundo) la intensidad, la fase o la polarización de una onda luminosa. En ciertos detectores, se saca partido de la variación de color de los colestéricos en función de la temperatura y la presión aplicada a un objeto.

Los cristales líquidos de polímeros combinan las propiedades específicas de los cristales líquidos, ya sean mecánicas u ópticas, con la forma sólida o maleable del material. El kevlar es un polímero nemático que combina ligereza y robustez en cascos, tablas de surf y chalecos antibalas. Los sectores industriales que más utilizan los cristales líquidos son la cosmética y la farmacología. La fase colestérica presta sus reflejos irisados a varias cremas para el contorno de los ojos. En ciertos productos, la estabilización de emulsiones, el principio básico de un desmaquillador o la solubilización de vitaminas en un gel acuoso proceden de la estructura de cristal líquido del producto, independientemente de su composición química: sólo una estructura laminar de tipo esméctico ofrece las mencionadas prestaciones, que no aparecen o están atenuadas en la versión desordenada del gel.

Otras aplicaciones tienen que ver con las lentes de contacto, las artes decorativas, la seguridad en los billetes de banco. Están ya disponibles y prestas a sustituir a las persianas unas cristalerías de opacidad variable hechas con inclusiones de nemático en una capa de polímero que pueden pasar de un estado opaco a otro transparente por



aplicación de una tensión eléctrica. Más ambiciosa es la posibilidad de que los cristales, gracias a la propiedad de los colestéricos de reflejar la luz, puedan filtrar una banda de longitudes de onda cuya amplitud y

situación en el espectro solar sean ajustables a través de una tensión eléctrica. Se ahorraría así energía regulando los flujos térmicos. Esta vía de investigación implica que se consiga ampliar en un factor diez la banda de reflexión de los colestéricos.⁽⁴⁾

◆ ¿Qué son los cristales líquidos biológicos?

Como hemos visto, el primer cristal líquido que se descubrió era un extracto biológico. Los cristales líquidos, en efecto, son omnipresentes en los tejidos vivos. Las células pasan buena parte de su tiempo intercambiando sustancia con su entorno. Su estructura debe ser lo bastante fluida como para permitir la difusión de las moléculas e iones y lo bastante ordenada como, por ejemplo, para seleccionar los que atravesarán la membrana celular. Esta doble exigencia la cumplen los cristales líquidos cuyo disolvente es el agua. La bicapa lipídica de la membrana celular, por ejemplo, posee una estructura laminar. Más generalmente, los cristales líquidos biológicos están presentes a distintas escalas y desempeñan distintas funciones. Los largos filamentos de proteínas que forman los músculos tienen un orden nemático o esméctico.⁽⁵⁾ Analizando la disposición de las fibrillas de los caparzones de numerosos artrópodos, como la cetonía de los escarabajos, se encuentran con frecuencia disposiciones colestéricas. El ADN, *in vivo* o *in vitro*, en estado condensado o en solución, presenta una amplia variedad de mesofases que constituyen buenos modelos para comprender el orden creado espontáneamente entre moléculas.⁽⁶⁾ Un mejor conocimiento de estos órdenes supramoleculares abre nuevas perspectivas sobre la regulación de la actividad de la molécula de ADN.

También se han encontrado relaciones entre la aparición de ciertas enfermedades y las alteraciones de un orden de cristal líquido local. En el caso del cáncer, por ejemplo, uno de los primeros indicios de la malignidad de una célula es una pérdida de adhesión con sus vecinas, lo que facilita ulteriormente la migración indeseable de unas células que en condiciones normales no se moverían. En estos mecanismos interviene un cambio de composición de la membrana celular y también de su estructura mesomórfica.⁽⁷⁾ El funcionamiento normal de las células biológicas descansa en un compromiso entre orden y desorden, un compromiso que es la esencia misma del estado de cristal líquido.

(4) A. Mitov, A. Boudet y P. Sopena, *European Physical Journal B*, 8, 527, 1999.

(5) Y. Bouligand, *Solid State Physics*, supl. 14, 259, 1978.

(6) F. Livolant y A. Leforestier, *Progress in Polymer Science*, 21, 1115, 1996.

(7) P.J. Collings, *Liquid Crystals: Nature's Delicate Phase of Matter*, Adam Hilger.

Para más información:

- Michel Mitov, *Les Cristaux liquides*, PUF, 2000.
- Pierre-Gilles de Gennes y Madeleine Veyssié, *CD Rom Matière molle*, Arte Éditions, 1998.
- Pierre-Gilles de Gennes y Jacques Badoz, *Les Objets fragiles*, Presses Pocket, 1996.
- M. Daoud y C. Williams (dir.), *La Juste Argile*, Les Éditions de physique, 1995.