



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Desde tiempos inmemoriales, los colores generan un efecto mágico en las personas. Ya hace milenios nuestros antepasados eran capaces de manipular virtuosamente los colores, como demuestran las impresionantes pinturas rupestres. Los artistas del período glacial utilizaban principalmente **pinturas minerales** como el ocre para sus dinámicos *graffitis*. Miles de generaciones más tarde, los artistas de hoy, ya no encuentran sus materiales en la naturaleza sino hasta en los estantes de cualquier mercado de la

en 1464 decidió abaratar costos tiñendo el atuendo de cardenales con rojo escarlata obtenido a partir de las Cochinillas de Polonia.

En 1856, el joven químico londinense William Henry Perkin quería desarrollar un fármaco contra la malaria a partir de compuestos de alquitrán. Si bien eso no resultó, él descubrió el primer tinte puramente sintético. Este tinte de anilina producía un violeta fuerte que podía teñir bien la seda y Perkin lo bautizó malva. Este color se puso de moda

Colores “frescos” en autos calientes

Cómo los químicos mezclan el espectro

construcción: el aerosol puede proporcionar colores brillantes con bastante buena adherencia en todo momento – y a menudo más rápido de lo que la policía querría.

UN ROJO “COCHINO” PARA LA VESTIMENTA DE CARDENALES

Los modernos **colores sintéticos** son producidos a nivel mundial por la industria química que ha cambiado *visiblemente* nuestro mundo. Los colores fuertes y brillantes no siempre fueron tan habituales en la ropa u objetos cotidianos. Anteriormente, la naturaleza proveía muy pocos colorantes verdaderamente brillantes. Éstos eran extremadamente costosos, como la púrpura que hasta la Edad Media teñía las capas de emperadores y cardenales. Este lujoso color proviene de las secreciones glandulares de un caracol llamado Cañadilla. El procedimiento era tan caro que incluso la acaudalada iglesia

y desencadenó una revolución industrial. En la segunda mitad de siglo XIX, las fábricas de tinturas florecían como hoy lo hacen las empresas de Internet. Incluso en la actualidad, algún nombre de empresa refiere a este comienzo con orgullo: la anilina como precursor para muchos colores se encuentra, por ejemplo, en la sigla de la firma BASF, que en alemán significa “Fábrica de Anilina y Soda de Baden”.

Mientras tanto, los químicos han sintetizado aproximadamente un millón de compuestos químicos de tinción. Cerca de diez mil de ellos son, o fueron alguna vez, producidos a escala industrial. Estos “colorantes” –



A Tintes de ryleno nuevos en solución desarrollados en el Instituto Max Planck para la Investigación de Polímeros.

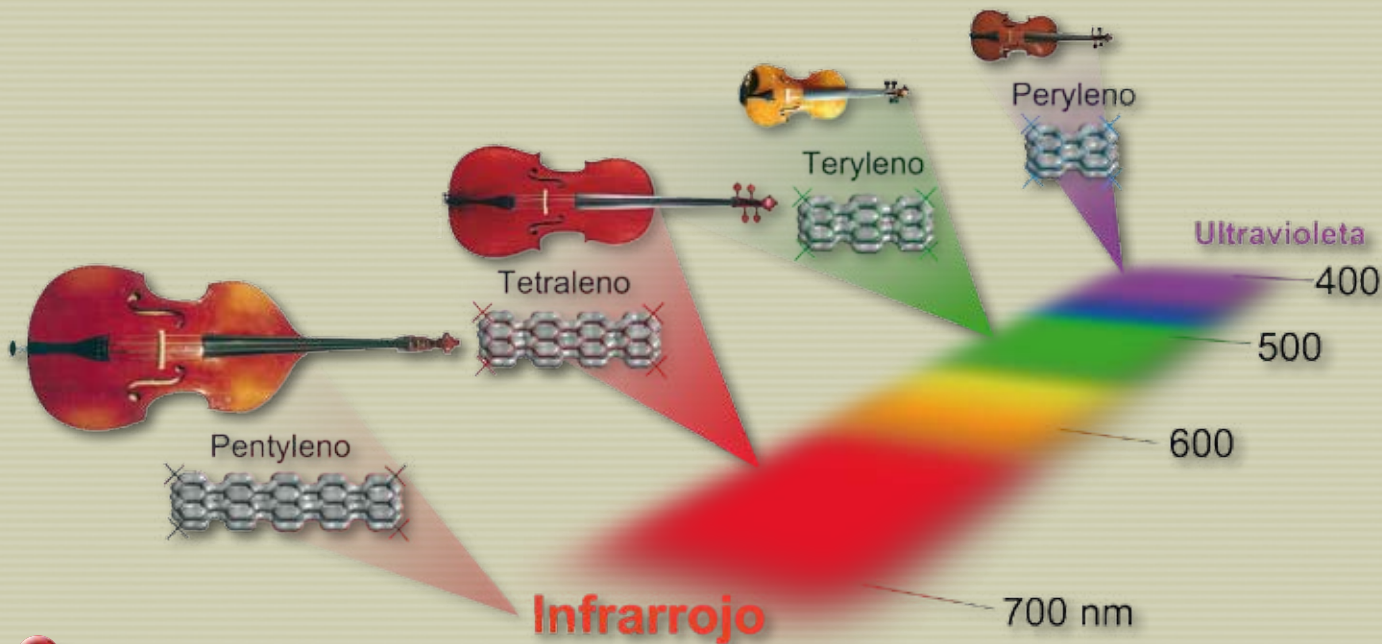


Ilustración: Roland Wengemayr

B

▲ Las moléculas del “complejo de peryleno” muestran que las moléculas de tinte orgánicos se comportan casi como las cuerdas de instrumentos musicales: cuanto más grande su sistema- π conjugado (gris), mayor es la longitud de onda de la radiación electromagnética que absorben. En el caso del peryleno son 436 nm, en el tetraleno 660 nm, en el teryleno 557 nm y en el pentyleno 748 nm ubicándose ya en el infrarrojo. Paralelamente se presenta el espectro de luz visible.

→ ese es el término técnico para los componentes que otorgan color – están compuestos por tintes o pigmentos.

“A diferencia de los pigmentos, los tintes son solubles en el medio utilizado para su aplicación”, explica Andreas Herrmann. El investigador es parte del equipo de Klaus Mullen en el Instituto Max Planck para la Investigación de Polímeros. Los investigadores de Maguncia participan en la invención de una serie de nuevos colorantes, algunos de los cuales han sido patentados por la Sociedad Max Planck o por la empresa BASF AG.

UN JUEGO QUÍMICO MUY VERSÁTIL

Un pigmento es, por ejemplo, el ocre de los artistas de la era glacial. Los pigmentos son polvos hechos de diminutas partículas de color que, para pintar, deben ser mezclados con un líquido generando una suspensión. Además, se agrega un vehículo que fija el polvo a la superficie. Los pigmentos se encuentran en pinturas para artistas, murales o autos. Muchos son inorgánicos, como el dióxido de titanio (TiO_2) que permite un color blanco con verdadero poder cubritivo. La mayor parte de los tintes orgánicos solubles no logran

esto. Éstos se prestan muy bien para otras aplicaciones, por ejemplo, para la tinción de fibras textiles.

Andreas Herrmann y sus colegas desarrollan colores con propiedades completamente nuevas. “La era de la investigación clásica de colorantes en realidad ha terminado”, explica el químico. Hoy en día, no sólo interesa el efecto de color, el colorante debe poder hacer aún más. Estos versátiles colorantes se denominan ‘colores funcionales’, algunos de los cuales incluso son “invisibles” para nosotros. Incluyen colores infrarrojos que, incorporados a ventanas o parabrisas, protegen al habitáculo del calor del sol. Los investigadores del Instituto Max Planck sintetizan sus nuevas moléculas de tinción a partir de un complejo químico, cuyo componente básico es una molécula orgánica constituida por cuatro anillos de benceno. “Se llama peryleno, y es inherente a muchos tintes orgánicos formados por un sistema- π aromático conjugado”, explica Herrmann. Este sistema de nombre complicado está formado por electrones, y en él se oculta el secreto del efecto de color.

La información sobre el color de un objeto llega a nuestros ojos a través de la luz. Sus ondas electromagnéticas vibran con diferentes frecuencias. Se aplica lo siguiente: si la frecuencia de la luz es alta, entonces su longitud de onda es corta, y a frecuencias bajas ocurre lo inverso. Por lo tanto, longitud de onda y frecuencia describen el mismo fenómeno físico. En el espectro de luz visible

percibimos cualquier longitud de onda (o frecuencia) como un color particular, empezando por el violeta pasando por el azul, amarillo y verde hasta llegar al rojo. El violeta posee la longitud de onda más corta que nuestros ojos pueden procesar con aproximadamente 410 nanómetros (mil millonésimas de metro). La luz violeta vibra a una frecuencia de 799 billones de hercios. El rojo lejano, con alrededor de 690 nanómetros, apenas puede ser percibido y vibra a una frecuencia de 399 billones de hercios. Por el contrario, el infrarrojo posee una longitud de onda demasiado larga y el ultravioleta una demasiado corta.

CUANDO LOS ELECTRONES VIBRAN COMO TONOS

Cuando la luz impacta sobre un objeto interacciona con su materia y los electrones son los responsables – como pequeñas antenas logran percibir la radiación electromagnética de ciertas longitudes de onda y remitirla; como “partículas cuánticas” ellos mismos se comportan como una onda. Por lo tanto, uno puede imaginar a los electrones como las vibrantes cuerdas de un instrumento musical. A qué frecuencia vibran tales “cuerdas electrónicas” está determinado por los átomos y las moléculas del material.

¿Por qué percibimos de color verde a las plantas? En sus hojas se encuentra el pigmento clorofila. Este pigmento molecular actúa de manera similar a un instrumento de dos “cuerdas de electrones”: especialmente dominante es una cuerda que vibra en una región espectral muy amplia que abarca el

rojo y el amarillo, es decir, longitudes de onda larga. Una segunda cuerda de menor jerarquía vibra con mayor rapidez entre el azul y el violeta. Estas cuerdas, sin embargo, no emiten ningún tono "colorido" por sí mismas, sino que vibran junto a la luz de ambas regiones espectrales quitándole energía: la "absorben", es decir que literalmente la tragan. Desde la hoja de las plantas a nuestros ojos llega sólo un remanente del espectro de luz visible que corresponde a la gama espectral del verde. El verde es el **color complementario**, es decir, el "negativo" del dominante espectro de absorción amarillo-rojo de las plantas verdes. Según la teoría del color, en la síntesis aditiva los dos colores complementarios se adicionan a blanco. Sin embargo, con la clorofila es un poco más complicado: sólo si se tiene en cuenta la absorción menos jerárquica del azul-violeta del tinte, se obtiene un verdadero blanco en la adición.

ANILLOS DE BENCENO DISPUESTOS EN COLORIDA FILA

Mediante sus complejos de peryleno, los químicos de Mainz pueden producir moléculas cuyos sistemas de electrones generan colores muy diversos. Para ello aprovechan las propiedades especiales del **anillo de benceno**. Cuando seis átomos de carbono y seis átomos de hidrógeno se fusionan, generan una de estas moléculas anulares en la que los electrones cumplen dos tareas fundamentales: por un lado, "pegan" los átomos entre sí para formar la molécula. Por el otro, forman una nube en forma de anillo por encima y por debajo de la molécula de benceno, dado que parte de los electrones todavía se puede mover libremente. Este es el **sistema- π** aromático. Si, como en el peryleno, se unen cuatro anillos de benceno, sus sistemas- π se combinan en uno único más grande. Ahora está "conjugado", lo que significa que prevalece por sobre todos los anillos. Esta vasta nube de electrones forma una "cuerda" que vibra en una determinada tonalidad. El peryleno absorbe longitudes de onda de la región del azul-violeta, por eso lo vemos de amarillo, el color complementario.

Para obtener tonos de color con longitudes de onda mayores, los investigadores agregan progresivamente otros dos anillos de benceno a la molécula de peryleno. De esta manera, en el laboratorio surgen las moléculas de teryleno, tetraleno y pentyleno con seis, ocho y hasta 10 anillos respectivamente. Con la longitud de las moléculas también aumenta el sistema- π . Como las cuerdas de un violín,

una viola, un violonchelo, y un aún mayor contrabajo, las "cuerdas" de estas moléculas también vibran en tonalidades cada vez más graves: violeta, verde, rojo, infrarrojo cercano y lejano (**Fig. B**).

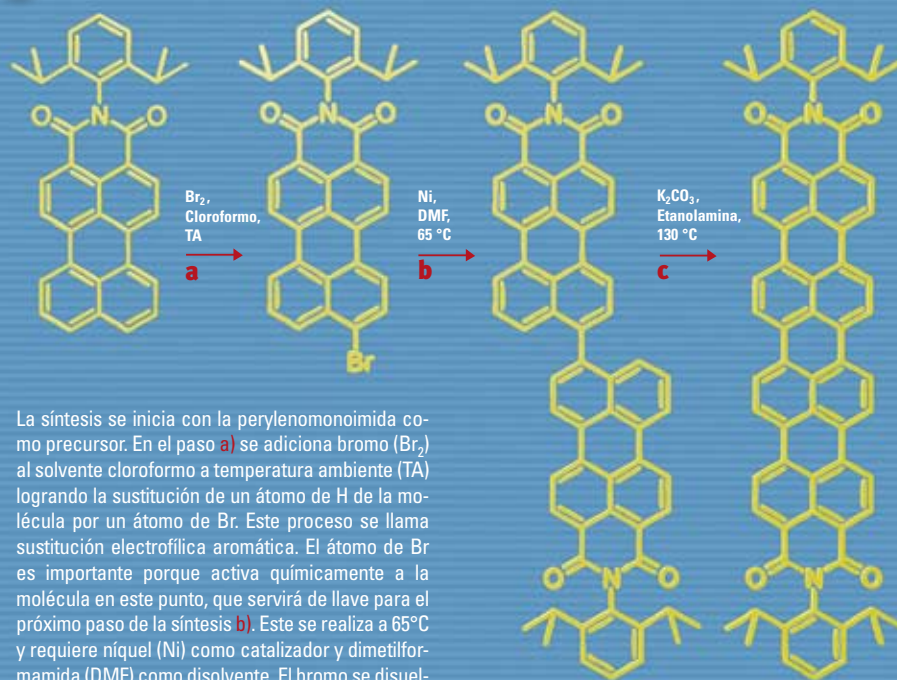
El tetraleno constituye la base de la nueva pintura de protección infrarroja para ventanas y parabrisas, cuya molécula prototipo fue desarrollada por los investigadores de Mainz para BASF AG (**Fig. C**): la tetralenodiimina, esa es su denominación química exacta, pertenece a las moléculas que absorben el NIR (sigla en inglés para "infrarrojo cercano"). La estructura básica responsable del tono de color de esta molécula, el cromóforo, es muy similar a la del tetraleno. La molécula **NIR-absorbente** filtra la radiación térmica infrarroja del espectro de luz solar y sólo permite ingresar al habitáculo aquellas radiaciones con menor longitud de onda. Durante el proceso, la molécula del pigmento con su sistema- π de oscilación lenta, convierte la energía radiativa en pura energía térmica. El aire ascendente del exterior evita el calentamiento del vidrio recubierto, al llevarse consigo la energía térmica liberada, enfriando el vidrio de protección térmica y asegurando así su función.

Aunque la síntesis de una nueva molécula de pigmento en el laboratorio de investigación resulte exitosa, el camino hacia un color reproducible a nivel industrial todavía es muy largo. Los científicos de BASF y del Instituto Max Planck tuvieron que investigar otros diez años juntos, hasta tener éxito.

TESTEO EN EL DESIERTO PARA COLORES HIGH-TECH

"Incluso en la actualidad el colorante es más caro que el oro, pero los clientes desean tenerlo a toda costa", revela Böhm. El motivo son las características sobresalientes de la tetralenodiimina. En duras pruebas demostró poder soportar años de fuerte radiación solar. Finalmente debe proteger a un auto contra el calor de forma eficaz a lo largo de toda su vida; en ventanas de casas incluso durante más tiempo. Investigadores de BASF sometieron al material a una prueba llamada "Accelerated Arizona" que quiere decir Arizona acelerada. En un desierto en el sudoeste de Norteamérica, expusieron los vidrios recubiertos al implacable sol. Espejos concentraron su radiación unas diez veces: esto permite que la muestra envejezca en sólo dos años casi tanto como lo haría →

C SÍNTESIS DEL TINTE DE PROTECCIÓN AL INFRARROJO

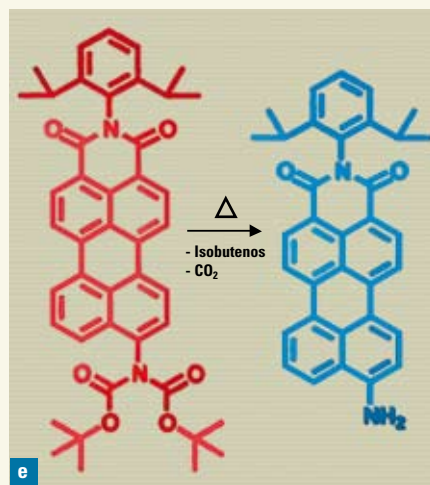
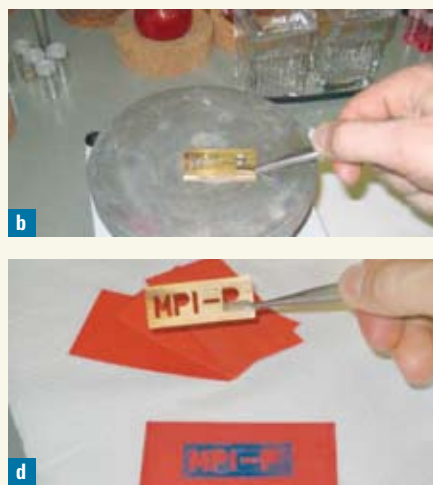


La síntesis se inicia con la perylenomonoimida como precursor. En el paso **a**) se adiciona bromo (Br_2) al solvente cloroformo a temperatura ambiente (TA) logrando la sustitución de un átomo de H de la molécula por un átomo de Br. Este proceso se llama sustitución electrofílica aromática. El átomo de Br es importante porque activa químicamente a la molécula en este punto, que servirá de llave para el próximo paso de la síntesis **b**). Este se realiza a 65°C y requiere níquel (Ni) como catalizador y dimetilformamida (DMF) como disolvente. El bromo se disuelve de la perylenomonoimida y permite vincular una segunda molécula de perylenomonoimida igualmente activada con bromo. Así se forma la molécula biperylenomonoimida dos veces más grande. Ambas moléculas de peryleno todavía están unidas mediante un enlace simple - este "cuello de botella" impide la formación de un sistema- π . Por eso,

en la etapa de síntesis **c**) estas dos moléculas se vinculan con un segundo enlace simple mediante la ayuda del carbonato de potasio y el oxígeno atmosférico, a 130°C. En la molécula de tetralendiimida terminada, el sistema- π ahora se extiende a lo largo de toda la molécula y puede absorber la luz del infrarrojo lejano de onda larga.



▲ Una placa absorbente de gel de sílice se satura con el tinte rojo para inscripciones láser (a). Una plantilla de metal se calienta a 250° C (b) sustituyendo en esta prueba el efecto de la luz del láser. En los lugares en los que descansa (c), produce un viraje hacia el azul dejando una inscripción del mismo color (d). En la molécula de colorante aminoperylenomonoimida se encuentra un grupo amino con dos grupos butilcarbonilo "captadores de electrones". Estos son destruidos por el calor. Sólo al estar "desprotegido" el grupo amino (NH_2) puede ceder electrones al sistema- π de la molécula colorante (e).



→ normalmente en una década, reduciendo el período de prueba a una quinta parte. "El efecto de las moléculas de tetralenodiimina disminuyó sólo en un 3%", se entusiasma Böhm. "¡Eso es absolutamente fenomenal y un récord mundial!" Esta enorme "fotoestabilidad" les permite a los fabricantes de vidrio aislante aplicar el tinte nuevo de forma muy diluida compensando así el elevado precio. El beneficio es un producto con mucho mejores propiedades a largo plazo que la generación actual. Además, existe otra ventaja: "Si las moléculas NIR-absorbentes de ventanillas de autos trabajan de manera muy eficiente, el acondicionador de aire tiene que sustraer menos calor desde su interior", explica Herrmann. "Así el auto consume menos energía". Y lo mismo se aplica a casas con una gran cantidad de ventanas. A finales de 2004, BASF AG trajo los nuevos colorantes infrarrojos al mercado.

TATUAJES DURADEROS SOBRE CABLES DEL MOTOR

Las moléculas NIR-absorbentes no son el único fruto de la colaboración entre investigadores de Mainz y los químicos industriales de BASF. Desarrollaron, por ejemplo, un nuevo colorante para inscripciones láser que también proviene de la familia del peryleno. Estas inscripciones son extremadamente duraderas y, por eso, se utilizan, para la

identificación de los cables eléctricos en los motores de automóviles, entre otras cosas. Sucede que el aceite y la gasolina deterioran los colorantes convencionales. Estas inscripciones también son muy útiles en la fabricación de tarjetas de crédito infalsificables. El láser tiñe el plástico con una profundidad de algunas pocas micras (millonésimas de metro), mientras que tintas convencionales sólo se adhieren mediante una fina capa sobre la superficie. Sin embargo, estos láseres en su mayoría todavía escriben sólo en negro, simplemente quemando el plástico.

Si se quieren inscripciones coloreadas, entonces el material debe contener un colorante especial que reaccione a la luz láser. Para esto, en el nuevo sistema desarrollado por los investigadores de Mainz, dos moléculas de colorante trabajan en conjunto. Para el cambio de color real actúa un llamado "tinte termotrópico", que inicialmente es rojo. Cuando se lo calienta por encima de los 180°C, entonces su color vira permanentemente al azul (Fig. D). Para que esto funcione de manera confiable, un segundo tinte NIR-absorbente es añadido a la mezcla. Éste garantiza una eficaz conversión de la energía de la luz láser en calor, que a su vez hace virar al tinte termotrópico que es una aminoperylenomonoimida. En esta molécula se encuentra nuestra vieja y familiar estructura del peryleno. Aquí, sin embargo, está ampliado por un grupo amino (NH_2). El factor crucial es el nitrógeno (N), ya que con gusto le dona electrones adicionales al sistema- π de la molécula del tinte. Así, el sistema- π crece, vibra más lentamente que en el peryleno y absorbe luz roja, lo que resulta en el complementario color azul.

Mientras la molécula de colorante no haya sido calentada por el láser, otros dos grupos químicos evitan la "boda electrónica" entre

el grupo amino y el peryleno. Estos dos grupos butiloxycarbonilos se cuelgan del grupo amino y toman para sí los electrones del nitrógeno. Por lo tanto, el sistema- π de la estructura del peryleno vibra con longitudes de onda corta, absorbe la luz en el espectro del azul y genera el color rojo. Sólo el calor destruye a los dos captadores de electrones en el extremo de la molécula desintegrándolos en isobuteno y dióxido de carbono (CO_2). Ahora los electrones del nitrógeno pueden combinarse con el sistema- π , y la "desprotegida" aminoperylenomonoimida proporciona el efecto de color azul. Así, el láser puede lograr una duradera inscripción azul sobre un plástico rojo.

La vida diaria en los laboratorios de investigación química ha cambiado completamente desde la época de William Henry Perkin. Los descubrimientos fortuitos son prácticamente cosa del pasado. Hoy en día, los investigadores pueden desarrollar de manera dirigida un tinte nuevo mediante sus conocimientos y sofisticadas técnicas de laboratorio, explica Herrmann: "Nosotros diseñamos una molécula cuasi según las propiedades deseadas." Así, los inventores de colores textiles se convirtieron en diseñadores de moléculas a medida.

PIE DE IMPRENTA

Sociedad Max-Planck, Departamento de Información y Relaciones Públicas, Hofgartenstraße 8, 80539 München / e-mail: presse@gv.mpg.de

Redacción: Dra. Christina Beck

Texto: Roland Wengenmayr

Traducción: Ing. Agr. Roberto Neuwald

Diseño: www.haak-nakat.de

La versión en español se hizo con el apoyo del DAAD y con fondos del Ministerio de Relaciones Exteriores de Alemania.

SIEMENS

DAAD Deutscher Akademischer Austausch Dienst Servicio Alemán de Intercambio Académico

