La materialidad del color. Los tintes y la enseñanza de la química orgánica

José Antonio Chamizo

Instituto de Investigaciones Filosóficas, Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

Identificando los procesos de la química orgánica en el interior de la recientemente identificada cultura material, se puede integrar en su enseñanza, además de aspectos estrictamente académicos, otros diferentes, como los relacionados con la tecnología, el comercio o la ética. Lo anterior se ilustra con el descubrimiento accidental de la mauveína por el joven W. Perkin durante la primera transformación química.

> *¡Qué asombroso cuando se nos enseña, en los primeros cursos de química, que bajo la forma de hoja delgada, lo bastante delgada como para perder su cualidad de sustancia opaca, el oro deja pasar una hermosa luz verde! Pero el realista ha tratado rápidamente de asimilar esta contradicción cualitativa. Dice tranquilamente: el oro es amarillo por reflexión, el oro es verde por transparencia. He allí dos propiedades de esta substancia… Pero… las láminas delgadas no tienen un color bien definido si precisamente no se les da un espesor muy regular, un espesor bien definido. Por transparencia, he aquí un juego de colores del oro según los espesores de la hoja: "es verde amarillento por encima de 4 mμ; se torna azul-verdoso, luego francamente azul hacia 2,7 mμ y finalmente rosa violáceo hacia 1,5 mμ". Dicho de otra manera, la definición del color está ligada a una definición meticulosa del espesor de la materia. El color de una materia es un fenómeno de la extensión material o, más exactamente, de la extensión de la materia.*
>
> G. Bachelard (1976, pp. 304-305).

El color de un material depende de su extensión

Seguramente muchos de los lectores conocerán al poderoso oxidante $KMnO_4$. En su forma sólida y cristalina, como lo encontramos en los recipientes comerciales presentes en los laboratorios de química, aparece de color gris brillante, pero cuando molemos los cristales o los disolvemos en agua lo reconocemos por su intenso color violeta. Esparcir el permanganato de potasio cristalino (gris) o el polvo resultante de su molienda (violeta), es decir, en cualquiera de sus dos presentaciones macroscópicas, pero de diferente extensión material, sobre un pedazo de algodón (que se quemará, por lo tanto hay que colocarlo sobre un vidrio de reloj o una cápsula de porcelana) y agregarle unas gotas de glicerina, sustancia precursora de los jabones miles de años atrás, es una de las maneras más simples de ejemplificar una reacción exotérmica. Producir fuego sin cerillos es espectacular y una práctica experimental inolvidable

(Chamizo 2024). La reacción de oxidación de la glicerina (una sustancia orgánica) utilizando permanganato de potasio es rápida y también de balanceo complicado como muchos de los balanceos de reacciones en los que participan sustancias orgánicas, ya que dan lugar a muchos productos:

$$14KMnO_4 + 4C_3H_8O_3 \rightarrow 7K_2CO_3 + 7Mn_2O_3 + 5CO_2 + 16H_2O$$

El que una determinada sustancia tenga un específico color de acuerdo a su extensión material no es un asunto fácil de comprender, en la medida que asumimos erróneamente, como aquí se indica, que el color es una cualidad inequívoca e intrínseca de una sustancia (Figura 1). Para continuar con el tema del oro las suspensiones coloidales de nanopartículas de oro tienen diferentes colores dependiendo del tamaño de las nanopartículas, es decir, del número de átomos que las constituyen. En la misma dirección, cuando diluimos una disolución de algún colorante, (sustancia química capaz de proporcionar color a productos de la industria textil, cosmética y alimentaria), cien, mil o más veces, el color se va desvaneciendo y al final también desaparece mientras que la sustancia que la coloreó permanece en la disolución. Lamentablemente muchas veces enseñamos química, de manera simple y aburrida cuando resulta que es divertidamente compleja. En el presente texto, una subdisciplina de la química, la identificada hace más de dos siglos como química orgánica, nos proporcionará un magnífico ejemplo.

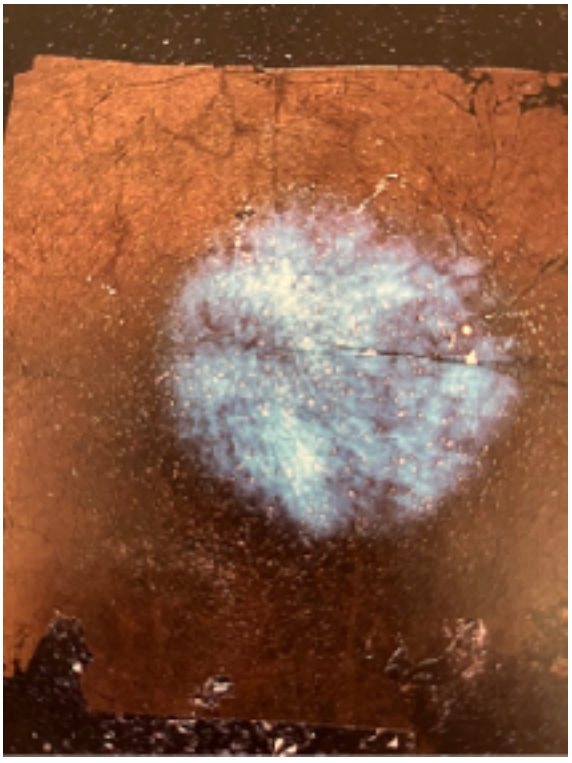


Figura 1. El oro es amarillo por reflexión, el oro es azul por transparencia.

La materialidad del color en los tintes

La materialidad del color es un ejemplo de cultura material, campo de estudio que desde hace varios años enfatiza, de diversas maneras, la relación dialéctica y recursiva entre las personas y las cosas. Brevemente: que las personas hacen y usan cosas y que las cosas hacen a las personas. Sin la multitud de sustancias naturales, puras y mezcladas, que macroscópicamente presentan un determinado color y que comerciamos y empleamos en ropas y comidas seríamos personas diferentes. Sin la multitud de colores artificiales, construidos a través de las centenarias prácticas químicas, también seríamos personas diferentes. La cultura material apela a la pluralidad (Klein & Lefevre 2007).

Actualmente se reconoce que las comunidades científicas y tecnológicas son comunidades de prácticas, como también lo eran, y lo son, las comunidades de prácticas artesanales antiguas y modernas. Por práctica se entiende la serie de actividades coordinadas y compartidas (procedimientos, propósitos, creencias) que se disciplinan mediante el cambio de normas o procedimientos «correctos» en el interior de una determinada comunidad, que es la que identifica y corrige los «errores». Una práctica tiene una estructura estable con capacidad de reproducirse a través de diferentes procesos de aprendizaje (Chamizo 2021). La química fue la primera, de entre todas las demás ciencias, en dotarse de un laboratorio. Tanto entonces como ahora, el laboratorio sigue siendo el lugar privilegiado de práctica donde los químicos producen tanto modelos como sustancias, en pequeñas y en muy grandes cantidades. Las comunidades de prácticas químicas, herederas de milenarios oficios artesanales, son experimentales y se consolidaron y crecieron con la incorporación de nuevos instrumentos. Para su enseñanza, he dividido la historia de las comunidades de prácticas alquímicas y químicas en siete periodos: alquimia, protoquímica (1661-1718), química (1732-1818), primera transformación química (1828-1874), segunda transformación química (1887-1923), tercera transformación química (1945-1966) y cuarta transformación química (1973-1999). A partir del surgimiento de la química que incorporó en sus prácticas a los átomos, en cada una de las transformaciones se añadieron y acumularon otras tantas “entidades ocultas”: moléculas, electrones (núcleos e iones), espín y nanopartículas (Chamizo 2023).

Los tintes, particularmente utilizados en los tejidos, tienen una larga tradición artesanal. Se usaban en China hace más de 4 000 años, para teñir lana en Roma, algodón en la India, o el lino que cubría a las momias en Egipto. Los tintes se extraían de plantas y animales: de las flores de azafrán (amarillo); de las hojas del índigo (azul); del insecto femenino conocido como cochinilla (grana-rojo); del caracol Murex (rojo-púrpura); de la corteza de los árboles de Brasil o de Campeche (rojo). El caso de la cochinilla es particular. Se encuentra en los cactus de México, siendo los nopales su hábitat natural. Después de la conquista española, el rojo cochinilla se volvió uno de los productos de la Nueva España más cotizados en Europa, solo después del oro y de la plata. Las mujeres del México prehispánico se pintaban con el colorante de la cochinilla, tinte que también se empleó ampliamente en los códices prehispánicos y fue durante los tres siglos de la colonia española el colorante rojo más brillante y durable, lo que además lo convirtió en el más costoso. Así la grana cochinilla

mexicana, como las especies asiáticas, se volvió un producto de especulación financiera y un ejemplo de la temprana globalización comercial de los siglos XVI-XVIII. En la Europa protoquímica de finales del siglo XVII y principios del XVIII los tintes naturales se preparaban y utilizaban en pequeños talleres, supervisados por una organización gremial en la que el conocimiento tácito desempeñaba un papel muy importante. Los procedimientos de teñido requerían de una mano de obra altamente calificada capaz de manejar tintes naturales y sus variaciones regionales, además de aquellos tintes provenientes de las colonias y una diversidad de productos auxiliares como mordientes, líquidos decolorantes y astringentes (Nieto 2010).

En 1793, durante el periodo histórico de constitución de la química, A. Lavoisier la identificó como “la ciencia del análisis” contribuyendo a dotarla de una particular identidad. Años después, durante la primera transformación de la química otro francés, M. Berthelot, sostuvo que Lavoisier se había equivocado indicando que: a través de la síntesis, la química creaba su propio objeto. La primera transformación química es el periodo de consolidación de la química orgánica y de la misma química. Momento que se identifica su propio método: análisis y síntesis.



Figura 2. Diferentes muestras de la época de la mauveína con la estructura entonces propuesta. Hoy sabemos que dicha estructura es una simplificación ya que, resultado de la síntesis, se obtienen al menos cuatro isómeros.

La síntesis de la mauveina

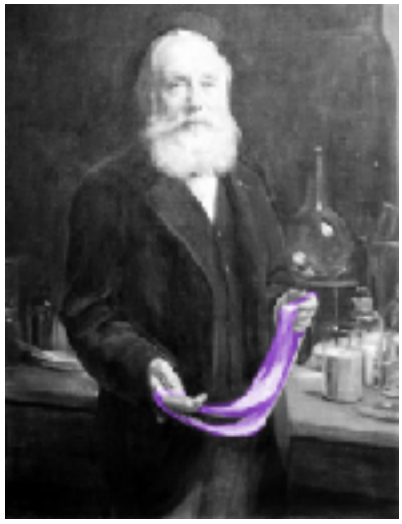
En el periodo histórico de la primera transformación de la química (1828-1874), específicamente en 1856, el joven W. H. Perkin, con entonces dieciocho años de edad, estudiante del londinense *Royal College of Chemistry,* asumió la tarea propuesta por su tutor de preparar quinina. Esta sustancia, blanca y cristalina, proveniente de la corteza del árbol de *Cinchona* originario de América del Sur, se utilizaba para tratar la malaria y ya se había purificado años atrás e identificado su fórmula mínima: $C_{20}H_{22}O_2N_2$. De acuerdo con lo que hoy sabemos estaba ligeramente equivocada, ya que el número de átomos de hidrógeno en la molécula es veinticuatro.

Perkin calentó una mezcla de sulfato de anilina con dicromato de potasio (otro poderoso oxidante) obteniendo un precipitado negro que no era quinina. En lugar de desecharlo decidió investigar su composición. Al agregarle etanol observó que la disolución adquiría un hermoso color violeta que podía utilizarse como un tinte, el nuevo tinte de color malva, que terminó conociéndose como **mauveína** (Cuadro 1). Posteriormente preparó y envió muestras de telas de seda teñidas con malva a diferentes tintoreros para sopesar el valor de su azaroso descubrimiento.

Cuadro 1. Síntesis de mauveína e imagen retocada de W. Perkin (Chamizo 2023 p.127)

Materiales y sustancias sugeridas

- Un vaso de precipitados de 500 mL
- Dos matraces Erlenmeyer de 250 mL
- Un embudo
- Un tubo de ensayo con capacidad superior a 25 ml
- Pequeños trozos de seda, algodón y poliéster blancos
- Una varilla de vidrio
- Toallas de papel o papel absorbente
- Papel filtro
- Dicromato del potasio
- Sulfato de anilina (sulfato de fenilamonio)
- 25 mL de etanol



Un procedimiento posible

1. Disolver aproximadamente una pequeña cucharada del sulfato de anilina en 100 mL de agua, después agregar unos cuantos cristales de dicromato de potasio.
2. Calentar la disolución hasta que aparezca un precipitado color negro.
3. Filtrar el precipitado negro y lavarlo con agua caliente.
4. Pasar el precipitado al tubo de ensayo que contiene los 25 mL de etanol.
5. Introducir el tubo de ensaye al vaso de precipitados y calentar a baño María con a g u a y raspar las paredes del tubo con ayuda de la varilla de vidrio, agitando muy bien.

No calentar con una flama ya que se van a producir vapores de etanol

6. Filtrar en un matraz Erlenmeyer de nuevo, pero en este momento, la solución filtrada debe tener un color morado oscuro.
7. Agregar una de las piezas de tela, a la solución del colorante. Calentar la solución en el baño María durante varios minutos, retirar la tela, lavarla y dejar secar. Repetir con los otros tipos de tela.

En aquella época no se conocían tintes naturales lilas o morados para teñir robustamente algodón o seda. Las opiniones fueron favorables. Perkin y su hermano escalaron el proceso de producción y lo patentaron. Cuando la reina Victoria de Inglaterra empleo vestidos teñidos de mauveína en sus reuniones sociales, la aristocracia europea adoptó el nuevo tinte en sus propias vestimentas. El éxito fue tan grande que casi inmediatamente la técnica fue copiada en Inglaterra y en Francia y poco más tarde en Alemania. El joven Perkin, resultado de un acto de serendipia sintética, se volvió un empresario influyente y exitoso (Roberts 1989).

La industria de los colorantes

En todos estos países se empezó a experimentar en síntesis similares a partir de la destilación del alquitrán de hulla, que se nitraba para obtener nitrobenceno y nitrotolueno y posteriormente se reducían a anilina y toluidina. Cuando en 1860 esta mezcla, conocida como anilina industrial, se hizo reaccionar con ácido arsénico se obtuvo la anilina roja (fucsina o magenta). obteniéndose diferentes colorantes (fucsina o magenta, negro de anilina, alizarina, azoicos, etc) que patentados dieron lugar a importantes industrias químicas como *La Fuchsine* en Francia, la *Badische Anilin & Soda Fabrik* (BASF) en Alemania y la *Imperial Chemical Industries* (ICI) en Inglaterra. Muy pronto los tintes sintéticos resultaron más baratos que los naturales desplazándolos prácticamente en todo el mundo.

La síntesis de tintes se extendió a la síntesis de fármacos y con ello a la consolidación de un modelo tecnocientífico que reunió la industria y la academia, propio de Alemania. No solo se sintetizaron nuevas sustancias orgánicas sino que también organometálicas, como el dietil zinc, que propiciaron el desarrollo del modelo de valencia y que evidenció la artificial división entre química inorgánica y orgánica (Russell 1987). Así, alrededor de la síntesis en la química orgánica se precisaron la unidad de las prácticas químicas, sus principios teóricos, sus relaciones con la industria y la defensa de una ideología propia en oposición al vitalismo.

La industria del alquitrán, es decir la química orgánica industrial, se desarrolló tanto que cincuenta años después una de las varias industrias químicas, la *Bayer* en Alemania, tenía 8 000 empleados, 300 de los cuales eran químicos con estudios universitarios. A partir de la primera transformación de la química (1828-1874), estudiar química, particularmente orgánica, se volvió una profesión rentable y respetable.

A finales de 1864 y después de protestas de la población asentada a orillas del Rin, se promulgó en Basilea la *Ley de Fabricación de anilina*, en la que las industrias, como Geigy, que vertían sus residuos a las aguas de ríos y lagos empezaron a ser inspeccionadas para garantizar que no contaminaban las aguas superficiales ni las freáticas. Desde entonces los nuevos colores con los que se reconocían y reconocen hoy en día las sociedades humanas, fueron uno de sus principales productos y sus residuos uno de sus problemas (Travis 1997).

Uno de los modelos para explicar el color

En 1876, el químico alemán O. N. Witt observó que en las estructuras moleculares de cada uno de los colorantes conocidos en aquella época se encontraban sistemas conjugados de anillos de benceno que portaban grupos insaturados simples (por ejemplo, —NO_2, —N=N—, —C=O), a los que llamó cromóforos (portadores de color) y grupos polares (por ejemplo, —NH_2, —OH), a los que llamó auxocromos (aumentadores de color). Así estableció una primera explicación empírica de la existencia molecular del color (Juster 1962). Por ello, como bien lo ha indicado el profesor de química devenido filósofo de las ciencias Gastón Bachelard, insistiendo que un átomo de oro aislado NO es dorado, ni uno de carbono negro (1976, p. 312):

> *La prueba del racionalismo químico del color cabe en algunas líneas: ¿qué era el color antes de la construcción de los grupos crómoforos en una génesis molecular? Nada. El color de una molécula no pertenece a los átomos aislados. Por medio de una geometría de ensamble de los átomos no coloreados se establecen colores bien característicos del ensamble. El color es un resultado de la construcción; es un hecho de estructura. El químico sigue fragmento a fragmento esta estructura y en muchos casos construye pieza por pieza el fenómeno del color.*

Por ejemplo en las prácticas experimentales de la química, el benceno es un líquido transparente e incoloro, pero al sustituir uno de sus átomos de hidrógeno por un grupo nitro (NO_2) a través de la reacción química conocida como nitración del benceno, se obtiene un líquido amarillento: el nitrobenceno. El color es un asunto de ensamblaje, de estructura.

Con el descubrimiento de la estructura electrónica de átomos y moléculas durante la segunda transformación química (1887-1923) esa explicación ha sido superada (Orna 2013), pero no su sustrato material, como tampoco que con la construcción material del color, es decir con la síntesis de nuevas sustancias orgánicas coloreadas, que inclusive desde antes de sintetizarlas se puede prever su coloración, se fueron dando los primeros y tímidos pasos acerca de la responsabilidad social de las prácticas químicas (Hottois 1999, p.160) :

> *Una ética pragmática renuncia a prever y resolver de antemano todos los problemas o a buscar, "a priori", la solución a todas las preguntas. Ésta no pretende controlar simbólica o tecnocráticamente el futuro, sino reconocer su imprevisibilidad, acomodarse a su indeterminabilidad*.

Referencias bibliográficas

Bachelard, G. (1976). *El materialismo racional.* Paidos: Buenos Aires.

Chamizo, J. (2024). Las prácticas experimentales de la química, *Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química,* https://doi.org/10.56117/ReSBEnQ.2024.v5.e052402

Chamizo, J.A. (2023). *Química General. Una aproximación histórica filosófica.* UNAM: México. Acceso libre en https://librosoa.unam.mx/handle/123456789/3794

Chamizo, J.A. (2021). La química como un sistema de prácticas. Una alternativa para su enseñanza, *Educación Química EduQ*, 29,12-18.

Hottois ,G. (1999). *El paradigma biótico. Una ética para la tecnociencia*. Antrophos: Barcelona.

Juster, N.J. (1962). Color and chemical constitution, *Journal of Chemical Education*, 39, 596-601.

Klein U. and Lefèvre W. (2007). *Materials in Eighteenth-Century Science. A Historical Ontology.* The MIT Press: Cambridge Ma.

Nieto, A. (2010). ".Between Craft Routines and Academic Rules: Natural Dyestuffs and the "Art" of Dyeing in the Eighteenth Century" en U. Klein & E.C. Spary (eds), *Materials and Expertise in Early Modern Europe. Between Market and Laboratory.* Chicago University Press: Chicago.

Orna, M.V. (2013). *The Chemical History of Color.* Springer: Dordrecht.

Roberts, R.M. (1989). *Serendipity. Accidental discoveries in science.* Wiley: New York.

Russell, C.A. (1987). The changing role of synthesis in organic chemistry, *Ambix*, XXXIV, 169-180.

Travis, A.S. (1997). Poisoned Groundwater and Contaminated Soil: The Tribulations and Trial of the First Major Manufacturer of Aniline Dyes in Basel, *Environmental History,* 2, 343-365.