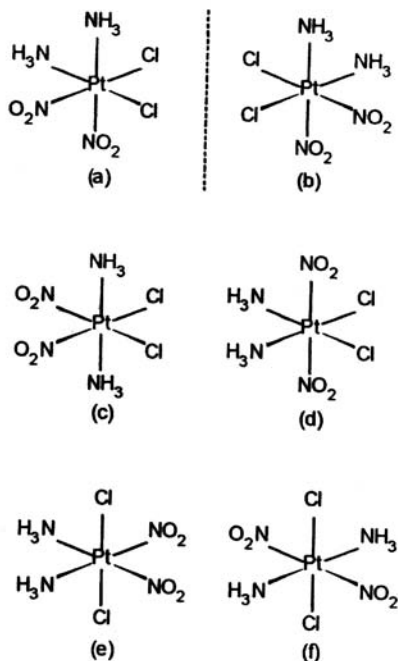


codesarrollaría la tabla periódica, seguía siendo un gran escéptico sobre el átomo, como también lo era el gran químico orgánico August von Hofmann, a pesar de sus fórmulas moleculares y las masas atómicas que para entonces ya estaban bien establecidas. Como corolario de la confusión que en ese entonces existía sobre estos tópicos citamos un párrafo de Kekulé de 1867: “La cuestión de si los átomos existen o no tiene muy poco significado bajo el punto de vista químico. Su discusión pertenece más bien a la metafísica. En química, sólo tenemos que decidir si el hecho de asumir el átomo es una hipótesis adaptada a la explicación del fenómeno”.

III. Actividades

- Glosario
Para comprender mejor el tema de estudio, vale la pena que los alumnos consulten los siguientes términos o conceptos:
 - quiralidad
 - luz polarizada
 - tetraedro
 - valencia
 - isómero
 - estereoisómero
 - actividad óptica
 - enantiómero
- Realizar una investigación sobre los trabajos relevantes de química orgánica desde mediados del siglo XIX hasta inicios del XX, con el advenimiento de los trabajos de G. N. Lewis. Relacionar este trabajo con el artículo y la guía de *¿Cómo ves?* y analizar con los alumnos los elementos que distinguen a un trabajo escrito de divulgación con uno de investigación escolar.
- En algunos de los siguientes compuestos hay un átomo de carbono quiral, ¿cuál es en cada caso?
 - ácido láctico $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$
 - 2-bromopropano
 - 2-bromopentano
 - etanal
- Identifica los isómeros del hexanol que presentan actividad óptica.
- La isomería óptica no se presenta únicamente en compuestos de carbono. De las moléculas

inorgánicas de la ilustración identifica cuáles son quirales.



Isómeros de un compuesto de platino.

IV. Bibliografía

- Chamizo, J. A. “La fuerza vital de Berzelius”, *¿Cómo ves?* No. 11, octubre 1999.
- Garriz, A. y J. A. Chamizo, *Química*, Addison Wesley Iberoamericana, México, 1994.
- Salzberg, Hugh W., *From Caveman to Chemist*, American Chemical Society, 1991.

Esperamos sus comentarios y sugerencias, que pueden hacer con atención a: Rosa María Catalá, al teléfono 56 22 72 97, fax 54 24 01 38, correo electrónico comoves@universum.unam.mx

Los profesores pueden copiar esta guía para su uso en clase. Para cualquier otro uso es necesaria la autorización por escrito del editor de la revista.



Pasteur y las moléculas en el espejo

Mauricio Trujillo y Norma Valdez

(No. 44, p. 26)

Maestros:

Esta guía se ha diseñado para que un artículo de cada número de *¿Cómo ves?* pueda trabajarse en clase con los alumnos, de modo que se adapte a los programas de ciencias naturales y a los objetivos generales de estas disciplinas a nivel bachillerato. Esperamos que la información y las actividades propuestas sean un atractivo punto de partida o un novedoso “broche de oro” para dar un ingrediente de motivación adicional a sus cursos.

I. Ubicación de la temática en los programas del bachillerato de la UNAM

Sistemas ENP y CCH

El artículo y esta guía pueden abordarse de forma integrada en cursos medios y superiores de biología y química, particularmente cuando se estudian temas de química orgánica, estereoisomería y sus implicaciones en las reacciones bioquímicas. Para un curso de física, y de forma integrada con las otras materias, podría abordarse el tema de luz polarizada.

II. Más información

El enigma de los racematos

Uno de los grandes desarrollos de la química estructural orgánica a mediados del siglo XIX fue el de la estereoisomería, o el estudio de la confor-

mación de las moléculas en el espacio. El inicio de esta parte de la química se debió a la teoría de “núcleos” de Auguste Laurent (1808-1853), quien en su tesis doctoral propuso una hipótesis para explicar la sustitución de grupos funcionales orgánicos en las moléculas. No sólo propuso que las propiedades de un compuesto dependían del arreglo atómico, sino que estableció la idea de una estructura tridimensional. Los radicales o “núcleos” como les llamó, eran presentados en forma de cubos y otras figuras tridimensionales. Por ejemplo, el radical C_8H_{12} tenía ocho caras, cada una ocupada por un átomo de carbono y doce esquinas, en cuyo centro colocaba un átomo de hidrógeno. Si se agregaban o retiraban átomos de carbono de las caras o de las esquinas, la geometría de la sustancia también debería cambiar, y por lo tanto su naturaleza fundamental. Por otro lado, si un átomo de hidrógeno era reemplazado por otro átomo como el de cloro, la geometría del radical no podría cambiar mucho. Hay muchos errores en esta teoría, pero contiene las primeras ideas que encaminaron luego a otros científicos como Pasteur. Entre sus aciertos está el que Laurent pudo distinguir entre adición y sustitución como base de la estereoquímica y reconoció que la contribución de un átomo a las propiedades moleculares dependían de su posición, lo cual implica que las propiedades básicas de una sustancia química dependen de la forma de la molécula.

La teoría de Laurent fue ignorada por mucho tiempo, pero en 1848, el joven Louis Pasteur re-

vivió la idea de la química espacial. Pasteur y Laurent eran amigos, y en su tesis doctoral, el primero trabajó en una idea propuesta por Laurent, quien para entonces estaba muy interesado en la cristalografía. Ambos científicos partían de la base de que moléculas similares debían tener estructuras cristalinas similares. Por ejemplo, el tartrato de sodio monohidratado y el tartrato de potasio monohidratado deberían tener la misma estructura cristalina y ser isomórficos, es decir, los cristales de cualquiera de las dos sales podrían servir como núcleo de cristalización de la otra por lo que cada uno de los nuevos cristales que se formaran debería tener una mezcla de ambos compuestos. Además consideraban que cada nuevo cristal debería tener la misma actividad óptica, propiedad que se explica ampliamente en el artículo y que fue descubierta por Jean B. Biot (1774-1862) al observar que ciertos líquidos, disoluciones y sólidos cristalinos rotaban la luz polarizada que pasaba a través de ellos.

Laurent sugirió a Pasteur que para su tesis doctoral de química estudiara las sales del ácido tartárico y las correlacionara con sus fórmulas, sus propiedades y su estructura cristalina, especialmente su actividad óptica. Pasteur se adentró en el problema esperando poder ratificar la teoría de núcleos de su asesor, por lo que inició haciendo un estudio bibliográfico sobre los tartratos y pronto encontró que se había reportado un caso muy peculiar: el del racemato de tartrato sódico-amónico o paratartrato, como se le llamó en su momento. Encontró que Eilhard Mitscherlich había reportado en 1844 que las dos sales (la de sodio y amonio, respectivamente) tenían la misma composición química, la misma forma cristalina y propiedades químicas idénticas, pero a pesar de que el tartrato era ópticamente activo, el racemato era inactivo. La actividad óptica debía entonces depender de la forma del cristal y, por lo tanto, si Mitscherlich se hallaba en lo correcto, Laurent y su hipótesis estaban equivocados. Como de ello dependía el éxito de su proyecto, Pasteur se vio obligado a corroborar los resultados experimentales de Mitscherlich.

Pasteur empezó examinando los cristales al microscopio, como ya otros lo habían hecho. Su escrutinio cuidadoso demostró lo que sus predecesores no habían visto: que efectivamente los

cristales eran ligeramente diferentes. Ambas sales eran hemiedrales, pero los cristales de tartrato eran todos idénticos, mientras que los de la mezcla racémica eran dos tipos de cristales. Los cristales de tartrato tenían todos el mismo ángulo y dirección, pero la mitad de los cristales del racemato estaban orientados hacia la derecha, y la otra mitad a la izquierda. Otro detalle que observó es que los cristales del racemato orientados a la derecha, eran cristalográficamente idénticos a los cristales de tartrato.

Pasteur llegó a la inmediata conclusión de que el racemato era inactivo porque había dos juegos de moléculas en el racemato, y que las rotaciones de ambas se cancelaban mutuamente. Para probarlo, realizó la separación manual de ambos tipos, con los resultados que ya conocemos. El enigma de los racematos se había resuelto, no se trataba de una sola sustancia, sino de una mezcla de dos, pero lo más importante fue que Pasteur estaba abriendo toda una nueva área de investigación, la de la estereoisomería.

¿Qué pasó después?

Pasteur sabía que en las disoluciones ópticamente activas que utilizó en su tesis doctoral no había cristales presentes, por lo que la quiralidad se debía a las moléculas por sí mismas y se conserva-



ba en disolución. Debido a que la actividad óptica de los cristales depende de su estructura, la actividad de las moléculas también debía depender de su estructura tridimensional. Dos tipos de cristales de racemato implicaban entonces dos tipos de configuración espacial, además, dado que las rotaciones ópticas eran iguales en magnitud pero en direcciones opuestas, las moléculas tenían que ser imágenes especulares una de la otra. ¿Pero cómo estaban dispuestos los átomos en esas moléculas? Por más que pensaba en ello, Pasteur no pudo inicialmente resolver este nuevo problema. En 1860 se le ocurrió que las moléculas involucradas debían ser asimétricas, tal vez tenían forma de hélice, o con átomos unidos en diferentes puntos de un tetraedro irregular. Pasteur dejó el problema de la estereoisomería a otros científicos, ya que para entonces su línea principal de investigación se centró en la bacteriología, donde, como sabemos, también fue muy exitoso.

Retomando nuestra historia, al mismo tiempo que Pasteur había pensado en moléculas tetraédricas, otro científico lo hacía en Rusia. Alexander Michailovich Butlerow (1828-1886) propuso en 1862 que el átomo de carbono era un tetraedro, con las valencias dirigidas hacia el centro de las caras en lugar de las esquinas, como ya

lo visualizamos hoy en día. De forma realmente extraña, Kekulé, quien nunca había aceptado la realidad del átomo, sugirió en 1859 que los átomos de carbono era tetraédricos y en 1867 habló de las unidades de valencia del átomo de carbono dirigidas en el espacio. Era obvio que el problema estaba siendo atacado por grandes químicos de la época, dada su relevancia en la comprensión de la química orgánica que de forma tan espectacular se desarrollaba por entonces.

La explicación de la actividad óptica llegó finalmente en 1874, cuando dos jóvenes científicos publicaron la respuesta simultáneamente. Por coincidencia se conocían uno al otro, e inclusive habían trabajado un tiempo en el mismo laboratorio, pero habían guardado sus ideas acerca de la actividad óptica celosamente para sí, por lo que llegaron a la misma conclusión de forma independiente. Esos dos jóvenes eran Jacobus van't Hoff (1852-1911), de 22 años en ese tiempo y Joseph Achille Le Bel (1847-1930) de 27. El trabajo de Le Bel era más abstracto, y los diagramas de Van't Hoff eran más concretos y específicos, a pesar de que al principio el mundo científico no reparó mucho en ninguno de los dos trabajos.

Van't Hoff sugirió que las valencias de un átomo de carbono están dirigidas a las esquinas de un tetraedro. Un átomo de carbono con cuatro grupos diferentes unidos a él, es decir, un carbono asimétrico, es por lo tanto capaz de existir espacialmente de dos formas. Él ilustró la idea de un gran número de compuestos, resaltando sus derivados cuyos carbonos asimétricos son también ópticamente activos. Explicó la mezcla racémica de mezclas y los compuestos "meso", basándose en los carbonos asimétricos e incluso explicó el isomerismo *cis-trans* en los compuestos con doble y triple enlace.

Van't Hoff envió copias de su trabajo a Wurtz y otros, pero muy pocos químicos le prestaron atención, lo más probable es que todavía dudaran de la existencia de átomos y moléculas. Las deficiencias de la teoría atómica de Dalton y su incapacidad de explicar la valencia y la electricidad de las sustancias, los había llevado a pensar en términos del átomo de Boscovitch, al cual le faltaba muy poco para no representar un átomo en lo absoluto. En 1864, Lothar Meyer, que más tarde