



Charles Gerhardt, precursor de la segunda revolución química

Jorge Meinguer Ledesma*

Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Ciencias y Humanidades, México.

(*) jormeinguer@yahoo.com.mx

Recibido: 11/05/2023

Revisado: 05/06/2023

Aceptado: 16/06/2023

Resumen

Promover la reflexión sobre las preguntas, evidencias, personajes y controversias que potenciaron el desarrollo del conocimiento científico a lo largo de la historia, es una cuestión ampliamente reconocida en la educación científica. En este trabajo se presenta una reconstrucción histórica de la vida, obra y legado de Charles Gerhardt (1816-1856). Un brillante y polémico químico francés que realizó valiosas aportaciones en el marco de la teoría unitaria, las cuales sentaron las bases del incipiente campo de la química orgánica en la década de 1850. El impacto de su obra fue tan relevante que, algunos especialistas, lo consideran un precursor del periodo de desarrollo epistemológico denominado como segunda revolución química.

Palabras claves: teoría unitaria; historia de la química; educación química; epistemología; química orgánica.

Abstract

Charles Gerhardt, precursor of the Second Chemical Revolution. Promoting reflection on the questions, evidence, characters, and controversies that enhanced the development of scientific knowledge throughout history is a widely recognized issue in the science education. This paper presents a historical reconstruction of the life, work, and legacy of Charles Gerhardt (1816-1856), a brilliant and controversial French chemist who made valuable contributions within the framework of the unitary theory, which laid the foundations of the incipient field of organic chemistry in the 1850s. The impact of his work was so relevant that some specialists consider him a precursor of the period of epistemological development known as the second chemical revolution.

Keywords: unitary theory; history of chemistry, chemical education; epistemology; organic chemistry.

Introducción

La historia de la ciencia en la educación química

Desde hace algunas décadas en la literatura educativa se ha argumentado sobre la importancia que tiene incorporar contenidos relacionados con la historia, la filosofía y la epistemología de la ciencia en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las disciplinas científicas. Algunos autores mencionan que, incluir este tipo de contenidos permite dotar de contexto, significado y reflexión tanto al aprendizaje de la ciencia como a la formación docente¹. A pesar de que se han conseguido avances al respecto en reformas educativas suscitadas en los últimos años, sigue predominando en los currículos de las asignaturas científicas una visión de la ciencia como un saber erudito, lineal, fragmentado, objetivo, neutro e incontrovertible^{2,3}. Esta anacrónica visión de la actividad científica tiene su origen en la corriente neopositivista que predominó en el ámbito académico y en los círculos intelectuales durante buena parte del siglo XX.

Como resultado de esta deformada visión, se ha dificultado en el contexto escolar dar cauce a algunos de los objetivos que las teorías y modelos pedagógicos contemporáneos asocian a la educación científica, como es el caso de potenciar el entendimiento del papel de la ciencia en el desarrollo de la humanidad, la utilización del conocimiento científico en

la resolución de problemas y la toma de decisiones en los entornos cotidianos, así como la participación informada en asuntos relacionados con la ciencia y la tecnología que tienen incidencia social⁴. Ante este panorama, resulta pertinente señalar algunos de los beneficios que reviste el análisis histórico de la ciencia y sus repercusiones en la educación escolarizada.

El análisis histórico de la ciencia comenzó a cobrar fuerza en el ámbito educativo cuando en 1962 el físico y filósofo Thomas Kuhn, demostró en su libro la estructura de las revoluciones científicas⁵ que una forma viable de trazar una aproximación epistemológica a la evolución del conocimiento científico en sus diferentes disciplinas es acudiendo a su historia. En esta obra el filósofo norteamericano muestra que, el avance de la ciencia es dinámico y está basado en discontinuidades y transformaciones que se suscitan en dos etapas del acontecer científico, lo que denomina ciencia normal y ciencia revolucionaria⁵. La primera de ellas corresponde al escenario convencional en el que opera la comunidad científica, explicando fenómenos y resolviendo problemas mediante el uso de elementos teóricos preestablecidos (teorías, modelos, postulados, etc.). Mientras que, los periodos de ciencia revolucionaria se caracterizan por la acumulación de anomalías y contradicciones de los presupuestos teóricos establecidos con nueva evidencia empírica disponible,

dando lugar a su transformación. Como consecuencia de este proceso, se generan nuevos recursos teóricos más precisos, abarcales y congruentes en un campo o fenómenos científico de interés⁶. Años después de la célebre obra de Khun, Imre Lakatos planteó con lucidez la idea de que, para investigar en torno a la historia de la ciencia, es necesario implementar un proceso de reconstrucción, el cual debe permitir demostrar en el presente como se han edificado, sostenido y transformado los programas de investigación que han estado presente y han potenciado el desarrollo de las diferentes disciplinas científicas⁷.

Con el surgimiento del movimiento CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad), el análisis histórico de la ciencia amplió sus horizontes al incluir aspectos relacionados con las implicaciones sociales, políticas, las motivaciones y los valores que posibilitan la evaluación de la actividad científica⁸. Por su parte, Stephen Toulmin defendió la idea de que las ciencias han sido el resultado de una especie de genealogía entre maestros y sus discípulos, lo que invitó a contemplar en su análisis histórico a los sistemas educativos, esto es, a las concepciones epistemológicas y didácticas de épocas o periodos específicos, así como el desempeño de los profesores y su integración en grupos o circuitos académicos determinados⁹. Esto con la finalidad de mostrar en las aulas y laboratorios que, la construcción del conocimiento científico ha sido producto de disputas internas y externas entre grupos, de incesantes periodos de deliberación de ideas y justificación de evidencias, así como de los intereses que una comunidad pone en juego al establecer consensos².

En el ámbito educativo, Izquierdo y Quintanilla¹⁰ señalan algunas aportaciones que la historia de la ciencia puede hacer a la educación científica.

- Proporciona contexto a los conocimientos que se comunican en las aulas y pone al descubierto elementos teóricos y descubrimientos que no han sido adecuadamente valorados, debido a que fueron desarrollados por colectivos o personajes cuya obra fue considerada irrelevante por los cánones historiográficos de la ciencia positivista (mujeres o personajes que no se ajustaron al *status quo* de su época).
- Sugiere el planteamiento de preguntas desafiantes sobre la emergencia de nuevas teorías y modelos científicos.
- Permite reconocer las ideas de los estudiantes al interpretar fenómenos o teorías en disputa que posibilitaron el desarrollo de las disciplinas científicas.
- Posibilita a los docentes generar nuevas estrategias al secuenciar y presentar contenidos complejos que se consideran curricularmente relevantes.
- Genera procesos sinérgicos entre las ciencias, su historia, su filosofía y su enseñanza.
- Potencia la formación docente, ya que los profesores al considerar a la historia de la ciencia como un elemento relevante en el proceso de enseñanza estarán investigando, recreando y discutiendo como se generó el conocimiento que suelen transmitir durante su práctica docente¹⁰.

De manera general, lo que busca el análisis histórico de la ciencia, es fomentar el entendimiento y la reflexión de cómo se han construido las teorías, los postulados y los modelos que han permitido tanto el desarrollo como la consolidación de las disciplinas científicas contemporáneas. Para que esto ocurra, es necesario situar a los alumnos en un momento histórico determinado donde puedan reconocer las preguntas y los desafíos que resultaron clave en la construcción de nuevo conocimiento, así como el impacto que tiene en este proceso factores sociales, políticos, económicos y culturales³. En el ámbito de la educación química, recurrir al análisis histórico contribuye a robustecer el aprendizaje de contenidos que se consideran curricularmente relevantes y a promover el interés, la reflexión y la formación de actitudes positivas del estudiantado hacia la denominada ciencia central¹¹.

En este trabajo se analiza la vida, parte de la obra y el contexto que permitió al químico francés Charles Frédéric Gerhardt (1816-1856) realizar aportaciones que resultaron valiosas para el establecimiento de la teoría unitaria y el desarrollo de la química orgánica durante el siglo XIX. Siendo un precursor del periodo de desarrollo epistemológico que algunos autores han denominado como segunda revolución química¹².

Datos biográficos

Charles Frédéric Gerhardt nace en la ciudad de Estrasburgo el 21 de agosto de 1816, cursa su educación básica en un gimnasio protestante a cargo de la Confesión Luterana de Augsburgo, en donde se benefició de una educación bilingüe, ya que en este centro educativo se impartían clases tanto en francés como en alemán. Cursó su educación media en la Escuela Politécnica de Karlsruhe. Su padre Samuel Gerhardt forjó una carrera como banquero y en el año de 1825 decidió invertir la mayor parte de sus ahorros en la adquisición de una fábrica de plomo blanco, un negocio que se convertiría en el sustento familiar. Al concluir su educación media en Karlsruhe, se matriculó en la Escuela de Comercio de la ciudad de Leipzig por indicaciones de su padre, quien identificó en él habilidades para que se convirtiera en apoyo y sucesor del negocio familiar¹³. En 1834 a la edad de 18 años, el joven Charles regresa a su ciudad natal para contribuir en la fábrica de su padre. En poco tiempo se da cuenta que, las actividades de supervisión, producción y ventas de la empresa familiar le resultan aburridas, reafirmando su convicción de especializarse en ciencias puras.

Mientras atiende el negocio familiar, Gerhardt acude por las tardes a la Universidad de Estrasburgo a charlar con Frédéric Kirshleger (1804-1869), un profesor de botánica y a tomar un curso de toxicología con Frédéric Opperman (1806-1872) en la Escuela de Medicina, actividades que le permiten realizar un poco de trabajo experimental. Como resultado de su estancia informal en la Universidad de Estrasburgo, Gerhardt publica una revisión de las fórmulas de los silicatos naturales que por su alto rigor es aceptado en el *Journal für*

Praktische Chemie en el año de 1835¹⁴, siendo su primera publicación científica. Por su deseo de profesionalizarse en ciencias puras y no en la administración, comenzó a tener diferencias con su padre. Este distanciamiento, lo obligó a matricularse en un regimiento militar. Una acción que le permitió desatender de forma decorosa la empresa familiar, pero la disciplina y la monotonía de las labores militares pronto lo asfixiaron¹⁵. Después de unos cuantos meses, reconsideró su decisión y comunicó a su padre, la necesidad de contar con dos mil francos para poder cubrir la cuota que le permitiría abandonar la carrera militar a cambio de regresar nuevamente a la empresa de la familia. El químico e historiador de la ciencia Edouard Grimaux (1835-1900) señala que, el dinero necesario para que Gerhardt abandonara las instalaciones militares fue cubierto por un amigo alemán de su padre quien parece ser tenía cercanía con el célebre químico Justus von Liebig (1803-1873), quien poco tiempo después invitaría al joven Charles a trabajar en su laboratorio en Giessen¹⁶. Este será su primer contacto formal con lo que se convertirá en el fervor académico de su vida, la química orgánica.

En Gissen, Charles Gerhardt asiste a varias conferencias impartidas por Liebig y recibe una modesta remuneración económica por la traducción al francés de un libro de este prestigioso químico, el cual fue titulado *Introduction a l'Étude de la Chimie* —introducción al estudio de la química—¹⁷. Después de casi dos años en Alemania, Gerhardt retorna por un lapso corto de tiempo a Estrasburgo donde publica algunos artículos relacionados con la composición y los derivados de los alcoholes¹⁸. Manuscritos que dan cuenta del trabajo experimental que emprendió en el laboratorio de Liebig. En 1838, se muda a la ciudad de París con la intención de culminar su formación como científico. En París establece contacto primero como estudiante y luego como colaborador con Jean Baptiste Dumas (1800-1884) en el Colegio de la Sorbona. Por esa época J. Dumas, tenía como asistente a Auguste Laurent (1807-1853), un brillante cristalógrafo y químico experimental, quien se convertiría en el transcurrir de los años en un aliado y el mejor amigo de Gerhardt. A la edad de 22 años, Gerhardt publica en París su primer trabajo teórico relacionado con una nueva clasificación de los compuestos orgánicos¹⁹. En este trabajo polemiza en torno a algunas ideas de Liebig y Dumas, al postular que la mayoría de los compuestos orgánicos tienen como estructura unitaria solamente a unos cuantos elementos en diferentes proporciones, en contraposición de las extensas y arbitrarias agrupaciones que Liebig y Dumas asumían al adherirse a las ideas de Berzelius sobre los compuestos orgánicos¹³. En esta publicación Gerhardt exhibe dos rasgos muy distintivos de toda su obra, el uso sistemático de ecuaciones químicas como recurso explicativo y el gusto por polemizar ideas con miras de robustecer y normar el cuerpo de conocimiento de la incipiente química orgánica. Un hábito que le haría acreedor de ataques y una mala imagen durante buena parte de su ejercicio profesional²⁰.



Fig. 1: Retrato del químico Charles F. Gerhardt¹⁶.

Gerhardt bajo la tutela de Dumas obtiene su Diploma de Bachelier y el grado de Doctor en ciencias físicas. Su tesis doctoral estuvo basada en el estudio de la helenina, una sustancia incolora que se obtiene de las raíces de varias plantas como la émula o *Inula helenium* que ha sido usada como antiinflamatorio y en el tratamiento de enfermedades como la tuberculosis²¹. Meses después de obtener su doctorado, Gerhardt se traslada a la ciudad de Montpellier, donde ocupó el cargo de profesor titular de química en la facultad de ciencias por cerca de diez años y en donde publica dos libros de texto que le confirieron fama internacional: *Introduction à l'Étude de la Chimie par le Système Unitaire*²² y *Précis de Chimie Organique*²³.

En este periodo de tiempo contrae matrimonio con una joven escocesa de nombre Jane Sanders con quien tiene tres hijos. En 1844 crea con su amigo y colega Auguste Laurent (quien se desempeñaba en la universidad de Burdeos) una nueva revista de química titulada *Comptes Rendus Mensuels de Travaux Chimiques de l'Étranger* (informes mensuales de trabajos químicos desde el extranjero). Sus biógrafos narran que, en esta etapa de su vida Gerhardt no se encuentra del todo satisfecho, pues añora la incesante actividad intelectual y política que vivificó en la capital francesa^{13,15}. Excusándose en limitaciones en cuanto a equipo e instalaciones para realizar su labor de investigación, viaja de manera continua a París donde se involucra activamente al movimiento revolucionario que se suscita en la capital francesa durante esos años²⁴. Gerhardt fue un férreo defensor de los postulados de la revolución francesa, por lo que simpatizaba con las ideas

políticas liberales de su época como la oposición a la monarquía, la defensa del voto universal, la soberanía y el derecho al trabajo.

En 1851, Charles Gerhardt solicita una licencia para instalarse una larga temporada en París y culminar diversos proyectos de investigación pendientes. Una solicitud que es aceptada por el Rector de la Facultad de Ciencias de Montpellier, pero denegada por el Consejo Académico de esta institución a petición del químico Louis J. Thénard (1777-1857). Gerhardt molesto por esta decisión renuncia a su cargo en Montpellier y se traslada a la ciudad parisina²⁵. Para cubrir sus gastos en la capital francesa, abre una escuela privada con el nombre de *École de Chimie Pratique* (Escuela de Química Práctica). Un proyecto educativo ambicioso que centraba la formación de los alumnos en el trabajo experimental, aunque también ofrecía cursos de química teórica, industrial, farmacia y filosofía de la química¹⁵. Durante este tiempo, Gerhardt comienza a escribir su tratado de química orgánica (*Traité de Chimie Organique*)²⁶. Una obra de cuatro volúmenes con traducción al alemán que tuvo una fuerte influencia en la formación de químicos durante todo el siglo XIX.

A pesar de que la Escuela de Química Práctica fundada por Gerhardt contaba con un plan de estudios sólido y ambicioso, pronto se vio envuelta en problemas financieros debido a la crisis económica que imperaba en toda Francia producto del golpe de Estado efectuado por Napoleón III (1808-1873) y a una mala administración de su fundador. A inicios de 1854, Gerhardt se ve obligado a cerrar este centro escolar y padece severos problemas económicos. Sin embargo, en ese mismo año recibe una invitación para incorporarse como profesor titular de química en la Facultad de Ciencias de Estrasburgo—su ciudad natal—. Un cargo que ocupa en sustitución del connotado químico Louis Pasteur (1822-1895)²⁵.

En Estrasburgo reestructura la introducción de su libro de texto *Introduction a l'Étude de la Chimie par le Systeme Unitaire*—*Introducción al Estudio de la Química por el Sistema Unitario*—²². En esta nueva edición, exhibe madurez, pericia y solidez al exponer sus ideas sobre el comportamiento químico de los compuestos orgánicos. Charles Gerhardt muere en el mes de agosto de 1856, a unos cuantos días de cumplir cuarenta años por complicaciones cardíacas asociadas a un antiguo padecimiento de fiebre reumática, el cual contrajo en su juventud por la exposición al plomo (al laburar en la empresa de su padre). Fue sepultado en el Panteón de Santa Helena en la ciudad de Estrasburgo.

Desarrollo

La obra de Gerhardt como precursora de la segunda revolución química

En 1838 cuando Charles Gerhardt inició formalmente su formación como químico en París, la química orgánica era apenas una subdisciplina emergente e incierta. En esa época, se

debatía aún en algunos circuitos académicos sobre la fuerza vital asociada a los compuestos orgánicos, indistintamente se hacía uso del modelo atómico de Dalton y de la noción de equivalente para explicar la composición de las sustancias y aunque se desarrollaron métodos gravimétricos para la determinación de pesos moleculares, estos aún estaban lejos de ofrecer resultados precisos y confiables²⁷.

El historiador de la química William Jensen señala que, el periodo de tiempo comprendido entre 1840 a 1850 es uno de los más difíciles de analizar y comprender en el desarrollo de la química¹². En esta década caracterizada por la incertidumbre y los incesantes debates para validar teorías en torno a los compuestos orgánicos fueron Auguste Laurent y Charles Gerhardt quienes dotaron de cierta coherencia y regularidad explicativa a los conocimientos generados en este campo²⁸. A pesar de haber muerto relativamente joven, las aportaciones de Gerhardt al desarrollo de la química son numerosas. Comunicó varios procesos de síntesis de compuestos orgánicos, contribuyó a refinar algunas teorías, escribió libros de texto que se convirtieron en clásicos en la formación de químicos en toda Europa — *Introduction a l'Étude de la Chimie par le Systeme Unitaire*²², *Precis de Chimie Organique*²³ y *Traité de Chimie Organique*²⁸, fue un docente e investigador ampliamente conocido en las academias de química de todo el mundo y un referente de químicos de generaciones posteriores. En los siguientes párrafos, se describen las contribuciones más relevantes que realizó Gerhardt al avance de la química durante el siglo XIX, estas son, la corrección al sistema de pesos atómicos y moleculares, el establecimiento de la noción de series homólogas y la denominada teoría de tipos.

En la década de 1840, Jacob Berzelius y el amplio grupo de químicos en el que ejercía influencia, utilizaban el método de densidades de vapor para determinar los pesos moleculares de los ácidos orgánicos junto con el estándar de los cuatro volúmenes. Un principio que, era definido como la cantidad de sustancia que ocupaba en estado gaseoso el mismo volumen que cuatro volúmenes de hidrógeno²⁹. A las fórmulas que se obtenían bajo este método se les conocía como las fórmulas de los cuatro volúmenes. Gerhardt para entonces conocía ampliamente las reacciones de sustitución que estaba reportando Laurent de los compuestos orgánicos clorados. Al analizar con cautela estas reacciones de sustitución, se dio cuenta que las masas reportadas de los compuestos orgánicos obtenidos eran múltiplos de relaciones de combinación más pequeñas, un error que podía ser corregido si las masas se dividían entre dos¹³. El químico francés hizo notar que esta anomalía se debía a que Berzelius había definido como equivalente de los ácidos orgánicos a las cantidades que se unían a una molécula de óxido de plata denotado con la fórmula AgO, pero esta fórmula era errónea pues solo consideraba la presencia de un átomo de plata y la corrigió tal como se conoce en la actualidad con dos átomos de plata (Ag₂O). Por esta omisión, se obtenían fórmulas que eran el

doble de las relaciones de combinación mínimas que se dan entre los elementos que constituyen a los compuestos orgánicos.

La corrección anteriormente descrita, condujo a Gerhardt a proponer que la fórmula del ácido acético es $C_2H_4O_2$ y no $C_4H_8O_4$ o $C_4H_6O_3 + H_2O$ como indistintamente se reportaba a este ácido en las publicaciones de la época. Las modificaciones hechas por Gerhardt en la determinación de las fórmulas y pesos moleculares de los compuestos orgánicos, surtió efecto también en aquellas sustancias inorgánicas que eran eliminadas en las reacciones de sustitución. Por ejemplo, las fórmulas reportadas para estas sustancias eran H_4O_2 , H_2Cl_2 , C_2O_4 y N_2H_6 correspondientes al agua, ácido clorhídrico, dióxido de carbono y amoníaco respectivamente. Gerhardt reportó que las fórmulas correctas de estos compuestos eran H_2O , HCl , CO_2 y NH_3 como se conocen en la actualidad. Las modificaciones hechas por el químico francés a los pesos y fórmulas de los compuestos antes mencionados se develaron en años posteriores como correctas e irrefutables. De hecho, las correcciones de Gerhardt junto con la consolidación de los pesos atómicos del carbono ($C=12$), oxígeno ($O=16$) y el azufre ($S=32$) permitieron que las fórmulas de los compuestos orgánicos mostrarán consistencia con las de los inorgánicos, dando lugar a un nuevo sistema de pesos atómicos y moleculares más preciso y unificado²⁵.

Una segunda aportación relevante de Gerhardt fue la noción de sustancias homólogas, hoy en día referenciadas como series o familias homólogas en la química orgánica. Este concepto lo esbozó en una publicación realizada en 1843 que tituló *Recherches sur la Classification Chimique des Substances Organiques*³⁰ y que desarrolló más ampliamente en su libro *Précis de Chimie Organique*²⁴ dos años después. Las evidencias experimentales en las que se basó para formular la noción de sustancias homólogas fueron el comportamiento químico que reportó Dumas sobre los ácidos grasos en 1841³¹ y Jacob Schiel—un cercano colaborador de Liebig— sobre los alcoholes. Al revisar estas publicaciones, Gerhardt infirió que adiciones sucesivas de metileno (CH_2) dan lugar a agrupaciones de compuestos orgánicos con patrones de comportamiento químico similares. De tal forma que, solamente es necesario conocer las reacciones que experimenta un compuesto que pertenece a un grupo determinado para predecir el comportamiento químico de los demás. Específicamente, el químico francés definió a los compuestos homólogos como “*aquellos que tienen las mismas propiedades químicas y cuya composición ofrece ciertas analogías en las proporciones relativas de los elementos que las constituyen*”²³.

La noción de sustancias homólogas desarrollada por Gerhardt resultó útil no solamente para explicar las propiedades de los compuestos orgánicos que exhibían un parecido químico y estructural, sino también para representarlos mediante fórmulas generales. Ejemplo de ello es la denotación de los alcoholes como $R_{-2}O$ (donde R designa nCH_2) y RO_2

para los ácidos orgánicos²⁵. No faltaron las descalificaciones del grupo de químicos influenciados por Berzelius a la noción de sustancias homólogas, al acusar al químico francés de hacer uso del algebra para resolver problemas químicos. Pero el criticismo que caracterizaba a Gerhardt, le permitió sortear sarcásticamente esta severa opinión, al referenciarla como un elocuente cumplido de sus colegas¹³.

La contribución más referenciada de Gerhardt por los historiadores de la química es la teoría de los tipos. Un trabajo que comienza a desarrollar en 1850 y que comunica formalmente tres años después en un artículo relacionado con la síntesis de ácidos orgánicos³². Sin embargo, es en su libro *Traité de Chimie Organique*²⁶ donde presenta de forma amplia, refinada y convincente la teoría de tipos al ejemplificar su poder explicativo en el marco de la teoría unitaria. Un recurso teórico desarrollado por Laurent y Gerhardt, en el que se restaba importancia a las fuerzas eléctricas en la explicación de la naturaleza de los compuestos orgánicos. En su lugar, se postulaba la existencia de fragmentos moleculares estables con sitios activos o susceptibles a reaccionar, los cuales eran referenciados como una especie de núcleos a los que se enlazaban diferentes grupos de átomos para formar una variedad de compuestos³³. En este contexto, la teoría de tipos establecía que la mayoría de los compuestos orgánicos puede organizarse y derivarse por la sustitución de cuatro moléculas simples: hidrógeno, ácido clorhídrico, agua y amoníaco²⁸. Según esta teoría, del tipo agua se derivan los alcoholes, ácidos, óxidos, sulfuros y éteres; del tipo ácido clorhídrico se obtienen los cloruros, bromuros, yoduros, cianuros y fluoruros; del tipo amoníaco se desprenden los nitruros, fosfuros, arseniuros y, finalmente, del tipo hidrogeno se pueden derivar los haluros metálicos y los hidrocarburos²⁹.

Los trabajos en los que se basó Gerhardt para establecer su teoría de tipos fueron la síntesis de la metilamina y la etilamina reportada por Würtz en 1849³⁴, así como las reacciones para producir éteres publicadas por A. W. Williamson en 1850³⁵. Según Würtz, la obtención de diferentes tipos de aminas era el resultado de sustituir uno o dos átomos de hidrógeno del amoníaco por radicales³⁴. Por su parte, A. W. Williamson informaba que se podían obtener éteres si se sustituía el átomo de hidrógeno de algunos alcoholes conocidos por fragmentos hidrocarbonados e inclusive fue más allá al informar que, si se sustituían los hidrógenos de la molécula del agua por el radical acetilo (C_2H_3O), era posible obtener ácido acético³⁵. Gerhardt era un conocedor del comportamiento químico de los ácidos orgánicos, por lo que corroboró la hipótesis de Williamson al preparar el ácido acético mediante una reacción entre el cloruro de acetilo y al acetato de sodio anhidro³². Los trabajos de Würtz y Williamson fueron clave para dar sustento a los compuestos orgánicos que eran derivados del tipo amoníaco y agua respectivamente. Mientras que, el soporte empírico alrededor de los dos tipos restantes (hidrógeno y ácido clorhídrico) era producto del

Tipo	Derivado etílico	Derivado benzoílico
$\text{O} \begin{cases} \text{H} \\ \text{H} \end{cases}$ Agua	$\text{O} \begin{cases} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \text{H} \end{cases}$ Alcohol	$\text{O} \begin{cases} \text{C}_7\text{H}_5\text{O} \\ \text{H} \end{cases}$ Ácido benzoico
$\begin{cases} \text{H} \\ \text{Cl} \end{cases}$ Ácido clorhídrico	$\begin{cases} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \text{Cl} \end{cases}$ Cloruro de etilo	$\begin{cases} \text{C}_7\text{H}_5\text{O} \\ \text{Cl} \end{cases}$ Cloruro de benzoilo
$\text{N} \begin{cases} \text{H} \\ \text{H} \\ \text{H} \end{cases}$ Amoníaco	$\begin{cases} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \text{H} \\ \text{H} \end{cases}$ Etilamina	$\begin{cases} \text{C}_7\text{H}_5\text{O} \\ \text{H} \\ \text{H} \end{cases}$ Benzamida
$\begin{cases} \text{H} \\ \text{H} \end{cases}$ Hidrógeno	$\begin{cases} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \text{H} \end{cases}$ Hidruro de etilo	$\begin{cases} \text{C}_7\text{H}_5\text{O} \\ \text{H} \end{cases}$ benzaldehido

Fig. 2: Representación del sistema de tipos propuesto por Gerhardt²⁹.

amplio conocimiento químico que Gerhardt y Laurent habían compilado sobre las reacciones de sustitución que experimentaban los compuestos orgánicos, al postular y defender la teoría unitaria.

La teoría de tipos fue aceptada por la mayoría de las academias de química europeas en un lapso corto de tiempo. Esto se debió a que resultaba el sistema más útil para clasificar y predecir el comportamiento químico de una amplia cantidad de compuestos orgánicos que constantemente crecía. Además, postulaba a las moléculas como las entidades químicas que dotaban de identidad a las sustancias orgánicas en contraposición de los ambiguos radicales acuñados por Berzelius. Una idea novedosa que comenzaba a ser ampliamente aceptada por la comunidad de especialistas²⁷. Químicos de generaciones posteriores como Edward Frankland (1825-1899) contribuyeron en la consolidación del concepto de tipo, al describir en el marco de esta teoría la síntesis de los primeros compuestos organometálicos²⁹.

El legado de Gerhardt y su abordaje en la educación química

En la literatura se menciona que, Gerhardt poseía una personalidad contrastante. En su labor como químico se caracterizó por ser riguroso, comprometido y meticuloso al familiarizarse con la evidencia empírica disponible y el estado del arte de la química de su época, así como poseer una apertura de mente al resolver problemas disciplinares de interés. Estos atributos intelectuales contrastaban con ciertos rasgos de efusividad y una actitud desafiante al debatir ideas que consideraba equivocadas²⁰. Cabe señalar que, su fuerte temperamento y su hábito por polemizar era producto de su ideología radical y su activa militancia política, así como su ambiciosa intención de normar y regularizar el incipiente campo de la química orgánica. A causa de lo anterior, fue blanco de severas críticas por parte de influyentes químicos

que formaban parte de la élite conservadora que predominaba en las academias científicas decimonónicas. Esta animadversión por la obra y personalidad de Gerhardt se puede rastrear inclusive en los trabajos de algunos historiadores de la química influenciados por la historiografía neopositivista de la primera mitad del siglo XX que, al aludir la obra del químico francés, lo hacen describiéndolo como un personaje marginal, incomprendido o desacreditado²⁴.

Al respecto, no es menester de este escrito polemizar sino enfatizar que los preceptos teóricos de la historiografía de la ciencia contemporánea se han modificado sustancialmente, dotando a este campo de conocimientos de mayor reflexión y amplitud al analizar los elementos que dieron pauta al desarrollo de la actividad científica en un momento determinado¹⁰. Por tal razón, la obra de Gerhardt y la de otros químicos excepcionales como August Laurent (1901-1944), Henry Moseley (1887-1915), Linus Pauling (1901-1994), Dorothy Hodgkin (1910-1994), entre otros debe ser reexaminada y debidamente ponderada, otorgándoles el debido reconocimiento a sus aportaciones.

Gerhardt publicó cientos de análisis críticos sobre química en las revistas francesas, 9 libros de texto, 7 traducciones de la obra de Liebig y otros químicos contemporáneos, decenas de publicaciones donde reportó métodos para sintetizar y caracterizar alcoholes, aceites esenciales, ácidos orgánicos, aminas y amidas. A estos trabajos hay que agregar sus relevantes contribuciones en el ámbito teórico, las cuales han sido descritas en la sección anterior de este escrito. Perteneció a la Sociedad de Historia Natural de Estrasburgo, al Círculo Farmacéutico de Montpellier, al Colegio de Farmacia de Filadelfia y al Instituto de París. En febrero de 1858, la Real Academia de Ciencias de Francia le otorgó de forma póstuma el Premio *Jecker* por sus contribuciones al avance de la Química Orgánica²⁵. La presencia de Gerhardt en un amplio número de organizaciones académicas y el impacto que tuvo su obra en la comunidad de especialistas en el campo de la química orgánica durante el siglo XIX, son las razones que permiten reconocerlo como un precursor de la segunda revolución química.

El historiador de la química William Jensen señala que, la segunda revolución química comenzó formalmente en 1852 cuando el químico Edward Frankland (1825-1899) refina y comunica el concepto de valencia y culminó en 1874 cuando el químico alemán Jacobus van't Hoff reporta la descripción tetraédrica de los átomos de carbono¹². Los logros más representativos de este periodo de desarrollo epistemológico fueron la descripción de la materia a través de estructuras o fragmentos moleculares, la consolidación de la química orgánica y la obtención de un sistema más preciso y generalizable de los pesos atómicos y moleculares. Los trabajos de Gerhardt incidieron favorablemente en la consecución de estos avances, ya que, con el establecimiento de la teoría unitaria, se comenzó a fincar la tradición en la comunidad de

químicos orgánicos de explicar las propiedades de los compuestos orgánicos en función de su composición y representación espacial²⁰. Una visión que se consolidó en años posteriores con la formulación de la teoría estructural¹¹. La teoría unitaria fue también un precedente importante en la clasificación de los compuestos orgánicos.

En lo referente a la obtención de un nuevo sistema de pesos atómicos y moleculares, diversos historiadores coinciden que, el antecedente directo de este avance disciplinar fue un congreso de química que se celebró en el año de 1860 en la ciudad alemana de Karlsruhe^{27,36}. En este evento, el químico italiano Stanislao Cannizzaro (1826-1910) realizó una brillante y elocuente intervención en la que basándose en la hipótesis de Amadeo Avogadro (1776-1856) sobre el estudio de los gases y las correcciones hechas por Charles Gerhardt a algunos pesos moleculares, reformuló la metodología para obtener medidas más precisas y generalizables del peso de las sustancias químicas, obteniéndose valores que persisten hasta nuestros días³⁶. Al congreso de Karlsruhe asistieron químicos ilustres como Adolph Würtz (1817-1884) y Auguste Kekulé (1829-1896), quienes conocían bien la obra de Gerhardt y compartían algunas de sus ideas, así como el químico ruso Dimitri Mendeléyev (1834-1907) quien en una década posterior formularía la ley periódica, una de las bases de la química contemporánea.

SUBSTANCES HOMOLOGUES.	SUBSTANCES HOMOLOGUES.	SUBSTANCES HOMOLOGUES.	SUBSTANCES HOMOLOGUES.
CH ⁴ O. Esprit de bois.	CH ² O ² . Acide formique.	CH ⁴ O ⁴ S. Ac. sulfométhylque.	CH ³ Cl. Hydrochl. de méthylène.
C ² H ⁶ O. Esprit de vin.	C ² H ⁴ O ² . Acide acétique.	C ² H ⁶ O ⁴ S. Acide sulfovinique.	C ² H ⁵ Cl. Hydrochl. d'éthère.
C ³ H ¹² O. Huile de pom. de terre.	C ³ H ¹⁰ O ² . Acide valérianique.	C ³ H ¹² O ⁴ S. Acide sulfo-amilique.	C ³ H ¹¹ Cl. Hydroc. d'amilène.
C ¹⁶ H ³⁴ O. Éthal.	C ¹⁶ H ³² O ² . Acide éthalique.	C ¹⁶ H ³⁴ O ⁴ S. Acide sulfocétique.	C ¹⁶ H ³³ Cl. Hydroc. de cétène.

Fig. 3: Representación de las sustancias homólogas en el libro de texto *Précis de Chimie Organique*²³.

Por lo expuesto con anterioridad, resulta claro porque Gerhardt es considerado uno de los químicos brillantes del siglo XIX. Pues a pesar de haber realizado su trabajo académico en instituciones periféricas distantes de París, de haber participado en intensos debates con los mejores químicos de su época y haber muerto relativamente joven, su obra se mantuvo como un referente en las generaciones de químicos posteriores, siendo un connotado fundador del campo de la química orgánica.

En el ámbito de la educación química, el espacio en el que se puede referenciar la vida y obra de Charles Gerhardt, es en los cursos de química orgánica o química de carbono que se imparten en el bachillerato y en etapas tempranas de la educación superior. Específicamente, cuando se aborda el concepto de series homólogas o se estudian las reacciones

de sustitución que experimentan los halogenuros de alquilo. En el primer caso se puede indicar a los alumnos que, investiguen los antecedentes históricos de la definición de sustancias homólogas y las implicaciones que esta noción tiene en la clasificación de los compuestos orgánicos. Mientras que, en el segundo caso se pueden elaborar e implementar planeaciones didácticas que orienten al alumnado al reconocimiento de las reacciones de sustitución que experimentan los compuestos orgánicos clorados como la base empírica de la teoría unitaria. Una tercera ruta para referenciar la obra de Gerhardt y de otros químicos brillantes en las aulas y laboratorios, es promover el análisis de las tres etapas revolucionarias de la química que postula el historiador W. Jensen¹². Esto, con la finalidad de que los alumnos comprendan y reflexionen sobre los cambios epistemológicos más significativos que ha experimentado esta ciencia desde su etapa fundacional. La obra de Gerhardt será un referente obligado al analizar el segundo periodo revolucionario de la química. Específicamente, en lo relativo al surgimiento y consolidación de la química orgánica. En las tres rutas educativas antes mencionadas, la indagación que efectúen los estudiantes los conducirá a compilar datos biográficos sobre el químico francés y al reconocimiento de su legado disciplinar.

En este trabajo se considera que, fomentar el análisis histórico de la química en el ámbito educativo, posibilita mostrar la relación dinámica que existe entre esta ciencia y su contexto. Un aspecto que contribuye a que los alumnos internalicen una imagen más adecuada de la química. Esto, al comprender que la construcción del conocimiento químico es un proceso en evolución constante y con una fuerte dimensión humana en donde la experimentación, el rigor, la competencia entre grupos académicos de diferentes ideologías, la colectividad y la búsqueda de consensos juegan un papel relevante³⁷. Finalmente, en el plano de la docencia fomentar el análisis del papel que tuvo la obra de Gerhardt en el establecimiento de la teoría unitaria y sus implicaciones en el desarrollo de la química orgánica, contribuye a robustecer la formación del profesorado en lo relativo al dominio de contenidos químicos y a incrementar el acervo de episodios que se pueden referenciar en el salón de clases en el análisis histórico y filosófico de la química, evitando con ello el reduccionismo.

Conclusiones

En este trabajo se ha presentado una reconstrucción histórica de los hechos, evidencias, trabajos y vicisitudes que permitieron al químico francés Charles Gerhardt hacer valiosas contribuciones al desarrollo y consolidación del campo de la química orgánica. En el ámbito experimental, este connotado químico comunicó métodos de síntesis y reacciones características de los alcoholes, ácidos orgánicos, amidas y diversos productos naturales. En el dominio de lo teórico, contribuyó en la obtención de un sistema más preciso de los pesos atómicos y moleculares, su noción de sustancias homó-

logas junto con la teoría de tipos ampliaron el poder explicativo de la teoría unitaria. Un precepto teórico que potenció un cambio metodológico entre la comunidad de especialistas enfocados en el estudio de los compuestos de carbono, dotando de coherencia al uso de algunas nociones disciplinares que se consideran clave en el desarrollo de la química como es el caso de radical, equivalente, molécula y átomo²⁸. Después de su muerte, sus ideas fueron retomadas por brillantes químicos de generaciones posteriores, siendo referenciadas y defendidas en el histórico congreso de Karlsruhe de 1860. Uno de los eventos más representativos e importante de la química moderna. Por su amplio legado, Gerhardt es considerado un precursor de la segunda revolución química y uno de los químicos más representativos del siglo XIX.

En el campo de la educación química, el análisis de la vida y obra de Gerhardt se puede referenciar en el nivel medio y superior en los cursos de química de carbono. Esto, al abordar contenidos que guardan relación con la teoría unitaria como es el caso de la clasificación y la reactividad que experimentan algunos compuestos orgánicos. Finalmente, este trabajo puede servir como una guía en la elaboración de investigaciones que tengan como fundamento el análisis histórico y epistemológico de temas químicos curricularmente relevantes, esto con el propósito de hacer más amplia y significativa su enseñanza.

Referencias

1. JA Acevedo-Díaz, A García. Uso de la historia de la ciencia para comprender aspectos de la naturaleza de la ciencia. Fundamentación de una propuesta basada en la controversia Pasteur *versus* Liebig sobre la fermentación. **Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad**, **11(33)**, 203-226 (2016).
2. A Gallego-Torres, R Gallego-Badillo. Historia, epistemología y didáctica de las ciencias: Unas relaciones necesarias. **Ciência & Educação (Bauru)**, **13(1)**, 85-98 (2007).
3. L Cuellar, M Quintanilla, A Marzabal. La importancia de la historia de la química en la enseñanza escolar: Análisis del pensamiento y elaboración de material didáctico de profesores en formación. **Ciência & Educação**, **16(2)**, 277-291 (2010).
4. R Santos, D Auler. Práticas educativas CTS: Busca de uma participação social para além da avaliação de impactos da Ciência-Tecnologia na Sociedade. **Ciência & Educação**, **25(2)**, 485-503 (2019).
5. S Kuhn. *The Structure of Scientific Revolutions*. 1ª Edition. University of Chicago Press. Chicago (1962).
6. C Cortassa. Thomas Kuhn: ¿El último de los clásicos o el primer revolucionario? A 50 años de *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. **Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad CTS**, **8(22)**, 91-104 (2013).
7. I Lakatos. *La Metodología de los Programas de Investigación Científica*. Alianza Editorial. Madrid (1983).
8. E Sosiuk. Sociología de la ciencia y sociología de los problemas sociales. Discusiones y perspectivas. **Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS**, **16(47)**, 95-117 (2021).
9. S Toulmin. *La Comprensión Humana: El Uso Colectivo y la Evolución de los Conceptos*, Vol. I. Alianza Editorial. Madrid (1977).
10. M Izquierdo, A García, M Quintanilla, A Aduriz. Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias. DIE-Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá (2016).
11. J Meinguer. La caracterización estructural del benceno de Kekulé: Un ejemplo de creatividad y heurística en la construcción del conocimiento químico. **Ciência & Educação**, **26**, 1-13 (2020).
12. W. Jensen. Logic, history, and the teaching of chemistry: III. One chemical revolution or three? **Journal of Chemical Education**, **75(8)**, 961-969 (1998).
13. J Dickerson. Charles Gerhardt and the theory of organic combination. **Journal of Chemical Education**, **62(4)**, 323-325 (1985).
14. C Gerhardt. Sur les Formules des Silicates Naturels. **J. Praktische Chemie**, **4**, 44-79 (1835).
15. M Blondel. Quelques aspects méconnus de la personne et de l'oeuvre de Charles Gerhardt (1816-1856). **Revue d' Histoire de la Pharmacie**, **95 (357)**, 39-62 (2008).
16. E Grimaux. Charles Gerhardt, sa Vie, son Oeuvre, sa Correspondence, 1816-1856: Document d'Histoire de la Chimie. Masson et Cie. Paris (1900).
17. J Liebig. *Introduction à l'Étude de la Chimie*, translated from the German by Charles Gerhardt. Paris (1837).
18. C Gerhardt. Sur la constitution de l'alcool et de ses dérivées. **J. Praktische Chemie**, **14**, 17-54 (1838).
19. C Gerhardt. Recherches sur la classification chimique des corps organiques, **Revue Scientifique et Industrielle**, **7**, 104-106 (1841).
20. A Rocke. *The Quiet Revolution: Hermann Kolbe and the Science of Organic Chemistry*. University of California Press. Berkeley (1993).
21. C Gerhardt. Recherches Chimiques sur l'Hellénine. **Ann. Chim. Phys.**, **72**, 163-183 (1840).
22. C Gerhardt. *Introduction à l'Étude de la Chimie par le Système Unitaire*, 2 vols. Chamerot. Paris (1844).
23. C Gerhardt. *Précis de Chimie Organique*, 2 vols. Fortin et Masson. Paris (1845).
24. JR Partington. *A History of Chemistry*, Vol. IV. Macmillan. London (1964).
25. J Wisniak. Charles Frédéric Gerhardt. **Educación Química**, **17 (3)**, 343-356 (2006).
26. C Gerhardt. *Traité de Chimie Organique*, 4 vols. Firmin-Didot. Paris (1856).
27. I Asimov. *Breve Historia de la Química*. Alianza Editorial. Madrid (1990).
28. L Aguilera, F Garay. La estructuración de la química orgánica a partir de las teorías dual y unitaria: Una mirada Kuhniana. **Educación Química**, **25(2)**, 148-153 (2014).

29. M Katz. Temas de Historia de la Química. Asociación Química Argentina. Buenos Aires (2016).
30. C Gerhardt. Recherches sur la Classification Chimique des Corps Organiques, **Revue Scientifique et Industrielle**, **12**, 592-600 (1843).
31. JB Dumas. On the chemical statics of organized beings. **Philosophical Magazine**, **19**, 337-347 (1841).
32. C Gerhardt. Recherches sur les acides organiques anhydres. **Ann. Chim. Phys.**, **37**, 285-342 (1853).
33. B Bensaude-Vincent, I Stengers. Historia de la Química. Addison Wesley. Madrid (1997).
34. A Würtz. Sur une série d'alcalis organiques homologues avec l'ammoniaque. **Comptes Rendus**, **28**, 223-226 (1849).
35. AW Williamson. Theory of etherification. **Philosophical Magazine**, **37**, 350-356 (1851).
36. P Román. El Congreso de Karlsruhe. **Anales de la Real Sociedad Española de Química**, **4**, 45-53 (2000).
37. J Meinguer. La virtud, un paradigma filosófico loable en la educación química. **Educación Química**, **26(1)**, 43-49 (2015).