

La Química en el siglo XX y lo que nos depara el siglo XXI

Por la celebración de
nuestros primeros diez
años

La Química hacia los albores del siglo XXI

*Lydia Ethel Cascarini de Torre**

Abstract

A brief introduction is presented to show some fundamental steps in the development of chemistry. The extraordinary acceleration in knowledge production with improved quality and quantity observed at the end of this century is also mentioned. The influence of this process in society and culture that will be incremented in the next century is also discussed.

Resumen

Con una breve introducción de los comienzos de la química se pretende mostrar algunos hitos fundamentales en su evolución, la aceleración extraordinaria que en profundidad y en cantidad de conocimientos se muestra a fin de este siglo, y algunas implicaciones socioculturales notables que se incrementarán en el próximo siglo.

Cuando se intenta hacer una prospectiva en la evolución de una ciencia es conveniente reflexionar sobre su pasado, considerando su despertar, recordando su evolución para imaginar los cambios que tendrá en el futuro, cambios que muchas veces de cuantitativos se transforman en cualitativos por las variaciones no sólo de la cantidad de conocimientos sino por las diversas modalidades que van surgiendo en el contexto donde dicha ciencia tiene influencia y de esa tan importante demanda que le hace la sociedad de acuerdo con sus necesidades.

Conocer el pasado, imaginar con certidumbre el futuro, es lo que nos permitirá conducirnos inteligentemente en el presente.

Hace un poco más de dos siglos, Antoine Lavoisier introduce el uso de instrumental que permite cuantificar las observaciones; toma dicho instrumental del campo de trabajo de los físicos: la balanza, el termómetro, el barómetro, el calorímetro entre otros, porque reconoce que de esta manera se

pueden obtener medidas precisas. Su naturaleza intelectual polifacética lo llevó a incursionar en temas diversos gracias a una formación integral de excelencia. Había estudiado en los mejores colegios de París y trabajado con los más destacados científicos del momento, como Rouelle en los cursos de química, Bernard de Jussieu en los de botánica, y Guettard en los de mineralogía. Logró la solución de problemas concretos y se anticipó a algunas características de la actividad científica actual, como la interdisciplinariedad, para encarar problemas reales. Así trabajó con el físico y matemático Laplace para sentar las bases fisicoquímicas de la fisiología, entendiendo la importancia del oxígeno en la respiración y como factor fundamental del desarrollo del calor animal.

Lavoisier explicó la importancia del lenguaje e incursionó en la lógica con el fin de escribir una obra sobre nomenclatura y desarrolló sus ideas pedagógicas en sus tratados. Al tratar de explicar la secuencia del pensamiento científico reconoce: "La serie de hechos que constituyen la ciencia, las ideas que los evocan, las palabras que los expresan. La palabra debe hacer nacer la idea, la idea debe comprender el hecho".

La química nació buscando soluciones a requerimientos de la comunidad: aliviar enfermedades, conseguir la conservación de los comestibles, preparar pigmentos para expresarse, comunicándose o manifestándose artísticamente, obtener cosméticos para embellecerse, buscar materiales y transformarlos para preparar utensilios domésticos, fabricar armas y herramientas. Se pasó del hechicero al alquimista que se sirvió de la filosofía hermética y de la simbología ocultando su saber, reservándolo solamente para los iniciados. Después, en un proceso muy lento dentro de la civilización, se llegó a la química moderna, y esto ocurrió no hace mucho más de dos siglos cuando se reconocen los átomos, se cuantifican los estudios, se descubren nuevas sustancias, se estudia cómo prepararlas y cómo transformarlas; pero es en este siglo donde la química acelera su evolución y muestra todo su esplendor. Así, esta ciencia capaz de explicar estructuras y propiedades de los sistemas materiales, incorporó nuevos temas y se incorporó al quehacer de otras disciplinas. Esta

* Investigador de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA). Casilla de Correo 16, Sucursal 4. (1900) La Plata, Argentina.

superposición ha llevado a que muchas de ellas se solapen y hoy día lo común es que el químico no trabaje solo sino que forme parte de un grupo con el cual interactúa; es decir, que el químico debe estar preparado para actuar junto a otros especialistas. Así aparecen, entre otros, el campo de la Bioquímica, con sus múltiples ramas; el de la Farmacia; el de la Ingeniería Química y todas las ramas de la Ingeniería incluyendo la Agronómica y la Metalúrgica; las profesiones vinculadas con la salud; la Tecnología de Alimentos y los maestros de Ciencias. De esta forma se ha llegado a la interdisciplina que plantea una nueva situación para la cual el químico tendrá que estar preparado.

Por otra parte, el conocimiento creció exponencialmente; se dice que en 1965 se duplicaba cada 12 años, cinco años después este plazo se acortó a una década y hoy en las áreas nuevas de avanzada se duplica la cantidad en meses.

Este avance —que era impensable a principios del siglo— ha traído otros problemas que comentaremos más adelante con respecto a la transferencia tanto en la educación formal individual como en la colectiva y social, lo que ha movilizó también a otras disciplinas comprendidas en la educación química y ha llevado a que se desarrolle la investigación educativa.

El hilo conductor en los fantásticos desarrollos de la era actual ha sido el conocimiento de la estructura molecular y de la mecánica cuántica que permitió tener una visión cierta del comportamiento de los átomos y conocer la estructura y reactividad de las sustancias. Esto, junto con la computación y la nueva instrumentación, han facilitado el trabajo de análisis y síntesis. Así, los químicos no solamente prueban las propiedades y el comportamiento de las moléculas existentes, sino que crean materiales que tienen nuevas propiedades de acuerdo con las demandas; como ejemplo aparecen la química combinatoria y el modelaje. Poder diseñar moléculas con propiedades predeterminadas es un tema de primordial importancia en la ciencia de los materiales, incluyendo los polímeros, o en el diseño de nuevos fármacos, muchos de los cuales son modificaciones de productos naturales o de otras drogas en las cuales se quiere mejorar alguna propiedad o lograr una nueva.

Se profundizó en el estudio de las macromoléculas y la obtención de polímeros, de gran importancia por sus aplicaciones. Al comienzo se creyó que los polímeros eran pequeñas moléculas unidas por fuerzas intermoleculares débiles; posteriormen-

te, Staudinguer crea el concepto de macromoléculas que demostró experimentalmente usando difracción de rayos X. Mediante la condensación polimérica los investigadores de Du Pont desarrollaron en 1935 el nylon 66, la entonces llamada “seda artificial” que revolucionó los materiales de las vestimentas tanto femenina como masculina. Todos los días asistimos a la creación de un nuevo material diseñado para satisfacer distintas necesidades en hilados y plásticos en general, y seguramente la historia futura nos irá mostrando otros nuevos que cumplan otras exigencias y respondan al pedido de la industria, como por ejemplo plásticos de alto impacto, de resistencia a la tracción, de bajo peso, etcétera.

El comienzo de los trabajos sobre polímeros se inició con la búsqueda de goma sintética, pues la natural era limitada. Backland, inventor de la bakelita, la logró calentando fenol con formaldehído. En los años 30, juguetes y piezas de uso doméstico eran fabricadas con bakelita y muy apreciadas. Éstas son algunas menciones de procesos de síntesis basados en la modificación de polímeros naturales, como el rayón viscosa y el acetato de celulosa.

Hoy se prevé que una de las áreas de la química que tendrá un gran impacto en los próximos años, es la ciencia de los materiales, y dentro de ella, nuevos materiales como los fullerenos, superconductores y zeolitas tienen interesantes historias recientes.

Si bien las zeolitas se conocían como mineral desde el siglo XVII, recién en 1948 Richard Barrer comunica su síntesis. Desde entonces, estos silicoaluminatos con su estructura tridimensional formada por tetrahedros de AlO_4 y SiO_4 unidos por átomos de oxígeno —donde pequeños iones y moléculas pueden entrar en sus poros de acuerdo con su tamaño—, han cobrado gran importancia. Hoy se las conoce en una gran variedad de estructuras y composiciones y se usan como: catalizadores, adsorbentes, filtros moleculares, desecantes e intercambiadores iónicos, sustitutos de los fosfatos de los detergentes, entre otros usos.

El fenómeno de la superconductividad fue descubierto en 1911 en el mercurio enfriado en helio líquido. Desde 1980 los científicos buscaron aleaciones metálicas que fueran superconductores a temperaturas altas. Recién en 1986, J. George Bednorz y K. Alex Müller, investigadores de IBM, en Suiza, descubrieron que el óxido de cobre y lantano, dopado con bario, adquiriría propiedades de superconductor con una temperatura de transición de 35K. Desde entonces continúan las investigaciones sobre otros

óxidos, buscando materiales cuyas propiedades físicas y temperaturas de transición se adapten a su aplicación. En la actualidad se han logrado materiales que muestran propiedades superconductoras a 100K.

En 1980, Robert Curl y Richard Smalley —trabajando sobre cúmulos de especies moleculares producidas por vaporización con láser y luego condensadas en una atmósfera de gas inerte, mientras estudiaban superconductores como germanio y silicio—, recibieron la visita de Harry Kroto de la Universidad de Sussex, quien les propuso vaporizar sobre grafito. Su fin era entender cómo se formaban algunas moléculas en las proximidades de una estrella gigante roja donde se producían explosiones de carbono que era proyectado al vacío. En sus experimentos observaron que se formaban algunas moléculas de 60 átomos de carbono, y les llamó la atención su poca reactividad. Cuando buscaron su estructura encontraron que estaban dispuestas con una configuración con forma de pelota de fútbol hueca, formada por 20 caras hexagonales unidas alternativamente por 12 pentagonales. De allí surgió su nombre vulgar de “Bucky balls” o “Buckminster fullerene”, —en recuerdo del arquitecto Buckminster Fuller quien diseñó la cúpula que sirvió a los Estados Unidos de Norte América como pabellón en la Feria Mundial de Montreal en el año 1967— y su posterior denominación genérica de fullerenos. Ya Leonardo Da Vinci había dibujado esta alta simetría y el matemático Luca Pacioli, en 1509, la había representado en su libro *De Divina Proportione*.

Las investigaciones sobre los fullerenos se incrementaron desde 1990, cuando se pudieron sintetizar en cantidades mayores, y en 1996 Robert Curl, Richard Smalley y Harold Kroto ganaron el Premio Nobel de Química. Fue el Nobel otorgado en el menor tiempo transcurrido desde que se produjo su descubrimiento.

Los fullerenos dopados con metales alcalinos tienen propiedades de superconductores. Ellos son la base para fabricar los nanotubos, que poseen además una serie de aplicaciones ópticas y electrónicas lo que los hace materiales con gran porvenir y a medida que se los produce en mayor escala, se están realizando un gran número de interesantes investigaciones.

También la química teórica ha tenido y tendrá su parte importante en la historia. El conocimiento de las uniones químicas y saber cómo reaccionan los átomos y moléculas condujo al desafío de los quími-

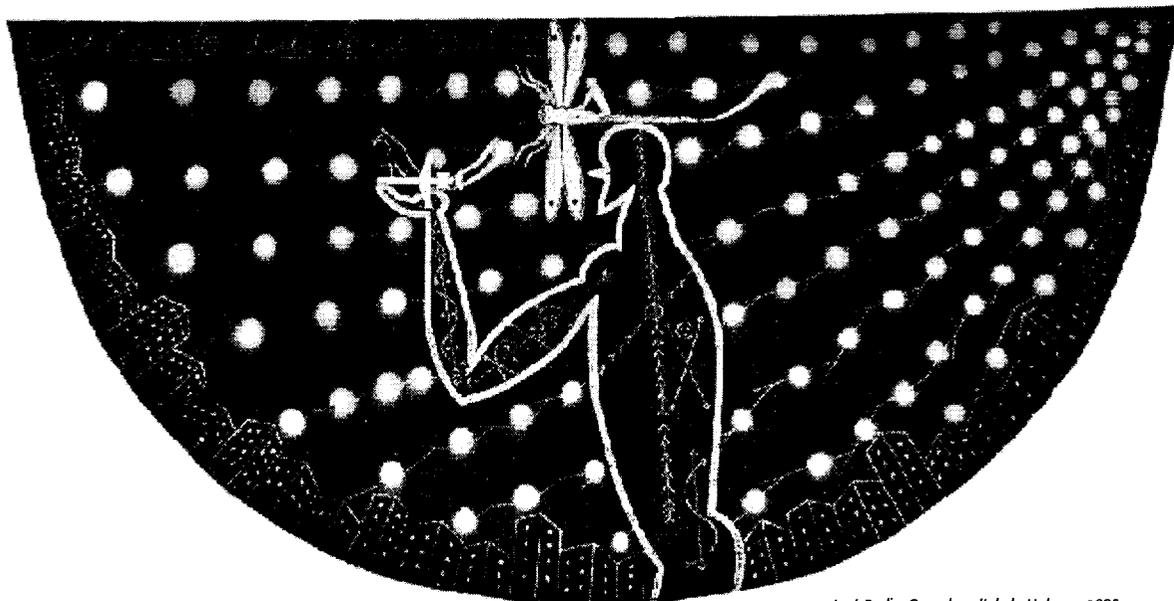
cos teóricos. Todo ocurrió en este siglo desde los estudios del físico inglés J.J. Thomson (1904) que involucró al electrón en la unión química, a G.N. Lewis (1923) que en su obra *Valencia y estructura de los átomos y moléculas*, describe la covalencia. Les siguen Bohr, Pauli, Heisenberg, Dirac y Schrödinger quienes presentan una nueva forma de comprender al átomo. La ecuación de onda, la teoría cuántica y su desarrollo como mecánica cuántica, las teorías de unión valencia y la de orbitales moleculares permitieron una nueva visión del átomo en sus combinaciones.

Por otra parte, el nuevo instrumental que cada día se perfecciona en cuanto a precisión, intervalo de medida, etcétera, ha sido y será la herramienta disponible para poder abordar los trabajos de análisis y síntesis; se trata en general de instrumentos analíticos y tecnologías que involucran por ejemplo el uso del láser. Cada nuevo instrumental ha traído aparejado nuevos desarrollos. La espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN) y la espectroscopía de masa permitieron el avance de la Química Orgánica; la espectroscopía ultravioleta y de rayos X llevaron al gran avance en la Química Inorgánica. La Biología Molecular encontró su gran desarrollo mediante el uso de RMN y de la cristalografía, que permitieron determinar las estructuras de proteínas y conocer la secuencia de los ácidos nucleicos.

Con el láser se pudieron manipular moléculas y pequeñas partículas en suspensión, siguiendo las reacciones químicas en tiempo real, lo que permitió confirmar los resultados teóricos de la mecánica cuántica con la reacción experimental.

El estudio cristalográfico con rayos X, las cromatografías y la espectroscopía de masas permitieron avanzar, entre otras cosas, en la determinación exacta de pesos atómicos, descubrimiento de isótopos, caracterización de nuevos elementos y de estructuras moleculares. También han producido grandes aportes en el análisis atómico y molecular las espectroscopías: de emisión atómica, de absorción atómica, ultravioleta visible, Raman y todas las nanoscopías, donde las distintas formas de microscopías nos permiten ver los átomos o seguir sus movimientos.

Todos estos instrumentos analíticos y las nuevas formas de microscopías permiten comparar muchas veces la teoría con la realidad. Así también todas las técnicas computacionales no solamente confirman resultados de experiencias, sino que pueden modelar situaciones que no se alcanzan en con-



José Bedía, *Cuando salí de la Habana*, 1995.
Tomado de *The Sciences*, Julio-agosto de 1998, p. 52.

diciones experimentales o diseñar nuevos materiales con las propiedades deseadas para luego experimentarlos.

El *Chemical and Engineering News* en una reciente y excelente publicación conmemorando su 75 aniversario y comentando que la evolución en la química se produjo fundamentalmente en estos últimos años, menciona que cerca del 23% de todos los elementos conocidos fueron descubiertos a partir de 1923, incluyendo los 20 con peso atómico mayor que el U (92). Muchos de esos elementos se crearon artificialmente mediante reacciones nucleares y algunos de ellos se encontraron posteriormente en la naturaleza. Si bien los primeros elementos aparecieron en el siglo XVIII, 20 fueron descubiertos en los últimos 75 años y el último aún sin nombre en 1996. Recién en agosto de 1997, en la Asamblea General de IUPAC, en Ginebra, se aprobó el nombre de los elementos 101 al 109, faltando aún dar nombre definitivo a los restantes.

El número de publicaciones es uno de los índices que se emplea para medir el desarrollo de un país o de una región. En la época alquimista, las memorias se escribían con lenguaje hermético y se reservaban sólo para los iniciados, quedando bajo las normas del ocultismo. Recién cuando la química sale a la luz, las experiencias se comunicaban en libros o en memorias. Muchos científicos de hace dos siglos enviaban sus memorias a otros colegas con los cuales discu-

tían sus resultados o a ciertas sociedades como la Royal Society of Chemistry, que en Londres publicaba sus *Memorias*. Las publicaciones no eran especializadas sino que incluían todo el producto científico de la época.

Posteriormente fueron apareciendo publicaciones dedicadas a cada ciencia. Después vinieron las correspondientes a cada aspecto particular que comprendía esa ciencia incluyendo la enseñanza de las mismas como es el caso de *Educación Química*, que ahora cumple su primera década. Los países en desarrollo que tienen revistas periódicas generalmente comprenden todo el espectro de la disciplina. La American Chemical Society (ACS) en los Estados Unidos de Norte América, es la sociedad química que tiene el mayor número de publicaciones y están dedicadas a cada especialidad. A medida que aparecen aspectos de avanzada dentro de una especialidad, y hay suficientes trabajos, surge una nueva publicación referida a ese nuevo desarrollo científico. El número de publicaciones seguramente continuará modificándose y aumentando de acuerdo con la evolución de los temas y de los que vendrán en un futuro cercano.

En Europa se notan algunos cambios. España contaba con los *Anales de Química* la cual, con la formación de la Comunidad Europea, se ha fundido con varias publicaciones europeas muy reconocidas de Francia, Italia, Países Bajos y Alemania. Se ha

elegido el inglés como lengua de referencia y el año próximo aparecerá una publicación de la Comunidad; se anuncia también la edición conjunta de otras publicaciones dedicadas a cada rama de la química.

La industria también ha cambiado y esto ha generado fuertes modificaciones sociales que han tenido impacto no solamente en la distribución de la población, del campo a la ciudad, sino también en la formación de las grandes metrópolis industriales cuando aparece la industria pesada con los grandes complejos fabriles que propiciaron migraciones incluso internacionales. Desde 1985 los factores de cambio están en la microelectrónica, la genética, el diseño de fármacos y los nuevos materiales; también se ha modificado el tipo de demanda de insumos y su uso.

La pequeña y mediana empresas aparecen cuando la producción industrial cambia su programación ya que debe ser flexible, automática, de pequeñas series. También cambiaron los hábitos de consumo y la forma de educación que la industria requiere.

Otro aspecto a tener en cuenta es el impacto sobre el medio. Con las técnicas analíticas actuales cada vez se podrán detectar impurezas en menor concentración, facilitando el control de los contaminantes.

Desde 1980, la industria química tiene dos grandes campos, la fabricación de productos químicos en gran escala y la química fina, con productos de alto valor agregado, como la biotecnología.

Paralelo con el desarrollo explosivo de la química se plantean situaciones nuevas en la transferencia de los conocimientos: ya no podemos pensar en una ciencia estructurada y acabada sino que permanentemente aparecen situaciones nuevas que llevan a una discusión constante en la problemática educativa y en los aspectos de una educación formal en todos los niveles de aprendizaje. Ha surgido así la idea de la alfabetización científica de los ciudadanos que busca adquieran un cierto conocimiento de las ciencias y la tecnología, y que hoy se considera indispensable para la sociedad. De este modo se ha ampliado no solamente el espectro de conocimientos sino las edades de los que los debieran recibir y de las necesidades que demanda cada conjunto dentro de su contexto sociocultural.

En cuanto a la alfabetización científica han aparecido distintos programas de promoción y difusión de la ciencia de acuerdo con las necesidades de cada país, cada región y cada cultura. No me referiré a ninguno en particular pero será de gran importancia

que se fortalezcan y aumente el número de los mismos. Están auspiciados en general y coordinados por organismos internacionales, nacionales o regionales o fundaciones.

Pero el interés por la ciencia debe ser promovido en los niveles educativos pre-universitarios y en esa promoción deben participar no solamente el sistema educativo sino también las asociaciones científicas y muy especialmente la industria. Hay que indagar cómo se hace más atractiva la química para este nivel y el modo de transferir los conocimientos lo cual conduce a la investigación educativa, dentro de la docencia, interesante área de trabajo interdisciplinaria y que tiene un importante porvenir.

Sin contacto con la vida y el contexto social, los temas químicos no interesan a los niños y a los jóvenes que deberían vivir su aprendizaje como una aventura. Con esta idea se formularon y ensayaron una serie de proyectos enraizados en la trilogía: Ciencia, Tecnología y Sociedad, como el Chemistry in the Community de la ACS, y el Salter y Satis, en Gran Bretaña, entre otros.

La universidad —que en sus orígenes buscó el conocimiento por el conocimiento mismo—, hoy además de producirlos y transmitirlos debe generar y transferir conocimientos útiles que en muchos casos justifican su financiamiento. La universidad actual no es exclusivamente productora de conocimientos sino un agente fundamental del crecimiento económico, donde la capacidad de manejar ideas es más importante y más valorada que los tradicionales valores de producción. Tiene que ser un laboratorio de investigación que permita lograr el capital humano que pueda competir globalmente. Por eso es que la investigación y la educación deben estar próximas, pues la excelencia en investigación crea las bases profundas para una excelencia en la enseñanza. La situación compleja y cambiante obliga a la universidad a diseñar nuevas estrategias, y así han aparecido distintos niveles o grados en sus currículas.

Si se logran químicos que tengan una mente ágil, que sean capaces de absorber los cambios que surgirán en su vida, conseguiremos los artífices que harán que los beneficios del nuevo conocimiento desarrollado en las investigaciones en química básica y en innovación tecnológica, respondan realmente a las demandas sociales de modo que la química en el esplendor de este fin de siglo y ya en los albores del próximo, sea una fuente de esperanza para el próximo milenio. ■