

LA QUÍMICA DEL SIGLO XXI

Palabras clave: síntesis química - análisis químico - tecnologías emergentes.

Key words: chemical synthesis - chemical analysis - emergent technologies.

Desde sus inicios la Química se centró en el análisis de la materia que nos rodea y en el desarrollo de procedimientos de síntesis, ya sea de sustancias conocidas o de nuevas sustancias. Aunque también se desarrollaron armas de guerra, la síntesis de nuevas sustancias buscó principalmente obtener productos útiles para mejorar el bienestar de los seres humanos; sin embargo las sustancias sintetizadas en ciertos casos demostraron a la larga ser nocivas, y de allí se popularizó el (mal) uso del término "químico" para hacer alusión a sustancias muchas veces peligrosas. Sin embargo la habilidad de los químicos (término bien usado en este caso) para sintetizar moléculas y complejos ensamblajes moleculares sigue siendo la base del gran valor de la Química en el siglo XXI. Como ejemplo de eso, se discuten las diez tecnologías químicas que según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) se destacaron como emergentes en 2022. También discutimos la integración de la Química con otras ciencias en grandes paquetes (Ciencias Biomoleculares, de Materiales, y Ambientales)

■ Miguel A. Blesa

Escuela de Hábitat y Sostenibilidad, Universidad Nacional de San Martín

*E-mail: miblesa7@gmail.com

From the very beginning, Chemistry focused in the analysis of matter and in the synthesis of known and unknown substances. Leaving aside chemical warfare, in general the aim was to synthesize chemicals that were useful for mankind, although in some cases these chemicals showed later properties that made them dangerous. Chemist's skill to synthesize molecules and complex molecular arrays is still the basis of the importance of Chemistry in the XXI century. In this article we discuss the 10 top emerging chemical technologies identified by IUPAC in 2022 in order to illustrate this remarkable ability. We also discuss the integration of Chemistry with other sciences in great integrated packages (Biomolecular, Materials and Environmental Sciences).

■ EL NACIMIENTO DE LA QUÍMICA COMO DISCIPLINA CIENTÍFICA

Cada uno de nosotros, después de nacer y al ir creciendo, va reinventando el mundo, mundo que va desapareciendo después de que nosotros también nos vamos, para ser remplazado por otros mundos, los de los nuevos seres humanos. No debe extrañar entonces que las instituciones y todas las creaciones de los seres humanos vayan mutando permanentemente, en la medida en que están siendo albergadas por diferentes personas. Las disciplinas científicas, y entre ellas la Química, no escapa a esos cambios. La Química cambió –y mucho– a lo largo de su historia de más de tres siglos. .

Hagamos un poco –solo un poco– de historia antigua. Tratemos de establecer de qué forma fue sur-

giendo eso que ahora llamamos Química. Ubicar el nacimiento de una ciencia es sin duda un proceso de alta subjetividad. Las actividades que ahora vinculamos con las aplicaciones de la química se comenzaron a desarrollar en los albores de la humanidad: la cocción de alimentos, la metalurgia, la química medicinal son ejemplos de ello. Pero esas actividades no se reconocían como parte de algo llamado Química.

La Química toma el estatus de ciencia hacia fines del siglo XVIII muy especialmente con el advenimiento de la teoría atómico-molecular, y con los trabajos de Lavoisier de la conservación de la masa en las reacciones químicas y el establecimiento de un sistema de nomenclatura que puso orden en la descripción de las sustancias químicas conocidas. En la búsqueda de

entender cómo funciona el mundo material que nos rodea, cómo está compuesta la materia y cómo se transforma una forma material en otra, el *análisis* y la *síntesis* configuraron el corazón de la Química. Y esas actividades encontraron un corpus que las describía en la teoría atómico-molecular. Los químicos postularon que no había un único principio de conservación de la materia, sino tantos principios como elementos químicos – y la búsqueda de nuevos elementos fue en buena medida el santo grial de una etapa de la química que nació con la tabla periódica de Mendeléyev y otros. Hasta entrado el siglo XX los átomos no eran para muchos químicos entidades reales, sino un mero concepto que permitía ordenar el caos de la materia que nos rodea.

Hay un famoso librito de divulgación de Einstein e Infeld, *La física aventura del pensamiento*. Podría

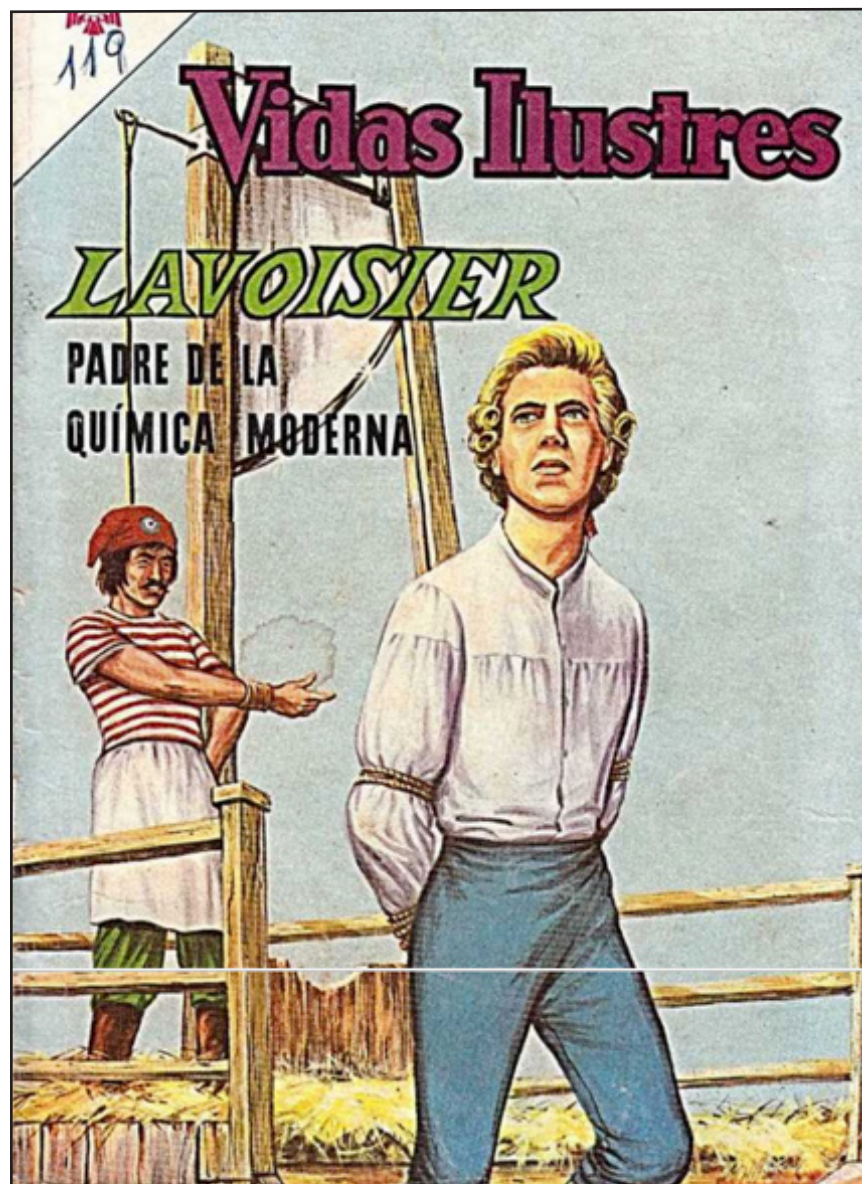
mentonar también el libro de Courant y Robbins *Qué es la matemática*, que también describe a esa ciencia

como una aventura del pensamiento; la magia y encanto de las matemáticas aparentemente también fue propuesta por Stephen Hawking.

La química siempre fue más pedestre, aunque no menos pretenciosa, como lo ilustra el título de algún libro de texto de Química General (ver Figura 3).

La química se desarrolló siempre atendiendo a las necesidades de las sociedades —de la producción industrial, de la farmacología, incluso del comercio y las finanzas. Como ciencia, átomos y moléculas eran su territorio, la tabla periódica su plan estratégico.

El volumen que fue tomando la Química causó la creación de subdivisiones. La primera fue la Química Mineral, la Química Inorgánica, que se arrogó el estudio de las combinaciones químicas de todos los



Una Cabeza Inmortal

ANTONIO Lorenzo Lavoisier, el ilustre científico francés llamado con justicia "padre de la química moderna", fue y sigue siendo un valioso ejemplo para todos aquellos que se deciden a seguir el difícil camino de la ciencia. Devoto de su profesión...

La Convención Revolucionaria dispuso que todos los recaudadores fueran arrestados, y la gloria de los grandes descubrimientos hechos por Lavoisier no bastaron para protegerlo. El 8 de mayo de 1794 fue condenado a muerte, y el sábado...

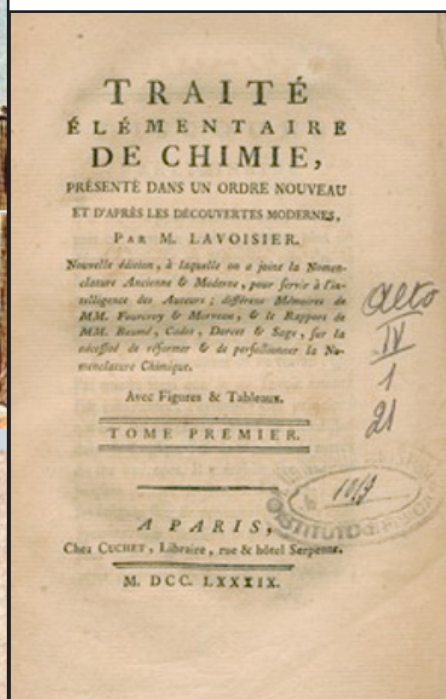


Figura 1: Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1798) fue un químico francés que escribió un célebre libro de texto *Traité élémentaire de Chimie*. Entre sus muchos logros sentó las bases de la nomenclatura química, del concepto de elemento químico y de la conservación de la materia en las transformaciones químicas. Como ilustra la figura, tomada y recortada de un opúsculo para jóvenes, murió guillotinado (por acusaciones vinculadas con su trabajo como recaudador de impuestos).

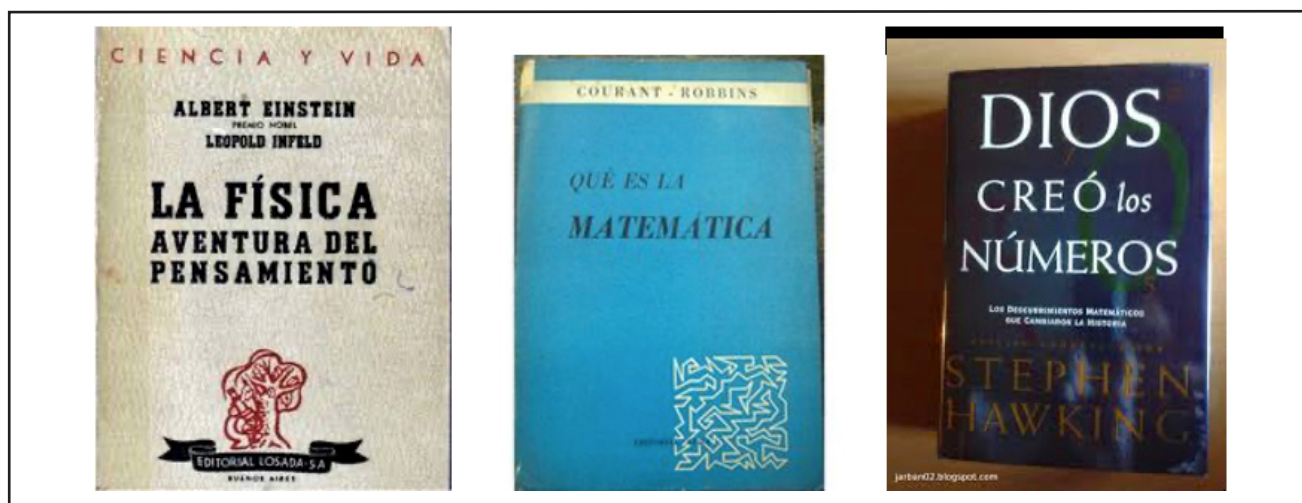


Figura 2: Portada de libros icónicos sobre la fascinación de las ciencias.

átomos de la tabla periódica. Pero... la química del carbono se mostró tan rica y tan variada, y además parecía entroncarse con los seres vivos, que pronto se transformó en otra rama, la Química Orgánica. Las Químicas Inorgánica y Orgánica se entregaron de lleno a la tarea de sintetizar sustancias, a veces nuevas, a veces ya existentes en la naturaleza, por medios eficientes. Y por supuesto, estaba también la omnipresente Química Analítica, la otra cara de la química de síntesis que exploraban la Inorgánica y la Orgánica.

La interacción de la radiación electromagnética con la materia fue el caballo de Troya con el que en los albores del siglo XX los físicos se metieron en el territorio, hasta entonces bastante cercado, de la química. Es cierto que Pasteur (1822-1895) había explorado el tema de la interacción con luz polarizada en sus estudios de las formas del tartrato de sodio y amonio; y que la emisión de luz había sido usada para caracterizar elementos químicos—el químico Robert Bunsen (1811-1899) y el físico Gustav Kirchhoff (1824-1887) descubrieron el cesio y el rubidio por el color de su emisión luminosa en

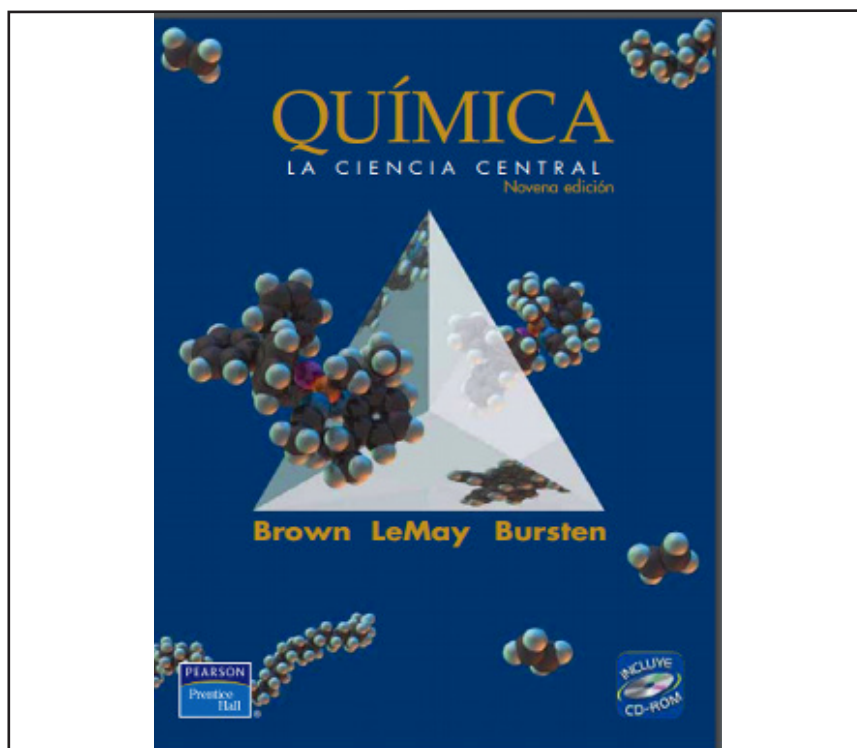


Figura 3: Portada del libro de Theodore L. Brown, H. Eugene LeMay Jr y Bruce E. Bursten, *Química La Ciencia Central*.

«No hay sabios que gustosamente no colocaran la ciencia de la que se ocupan en el centro de todas las ciencias, casi en la misma forma que los hombres primitivos se colocaban en el centro del mundo, persuadidos de que el universo había sido creado por ellos. Las profesiones de muchos de estos sabios, examinándose filosóficamente, encontrarían, posiblemente, incluso, además del amor propio, causas de peso suficiente para su justificación»

Discours préliminaire de l'Encyclopedie, París 1929, pág. 61

llama. Pero la gran explosión vino con el advenimiento de radiaciones de longitud de onda más corta que la luz, electromagnéticas como los rayos X o de partículas, como los electrones de alta energía.

Los átomos se transformaron en realidad, y la Física fue sentando las bases teóricas de la Química. Ello contribuyó al progreso de una interdisciplina, la Química Física o Fisicoquímica, que con el tiempo se fue transformando en la base fundamental de toda la Química. Por esos avatares del destino, Química Física y Química Inorgánica quedaron unidas inextricablemente; la Química Orgánica mantuvo cierta –no mucha– distancia. La clasificación en Fisicoquímica, Química Analítica, Química Inorgánica y Química Orgánica pierde vigencia aceleradamente en el siglo XXI.

■ ¿QUÉ HACEN LOS QUÍMICOS HASTA LOS COMIENZOS DEL SIGLO XXI?

Como decía Walter White, el químico protagonista de la serie *Breaking Bad*, “We have to cook” (ver Figura 4 y https://youtu.be/dNRELzU_Ibl), aunque por supuesto no lo que cocina White.

Sin duda nuestro territorio es el de transformar la materia que nos rodea para generar nuevas formas materiales de interés. La historia del desarrollo de la química está íntimamente ligada al desarrollo de nuevos métodos de síntesis de sustancias importantes. Centrándonos en la Química Inorgánica, la industria química pesada tuvo sus comienzos con los procesos Leblanc y Solvay, para sintetizar carbonato de sodio y con el método de las cámaras de plomo para sintetizar ácido sulfúrico. El proceso cloro álcali para sintetizar cloro e hidróxido de sodio y el proceso Haber-Bosch para sintetizar amoníaco son más recientes – este último se remonta a los comienzos

del siglo XX. La Química Orgánica de síntesis también se desarrolló aceleradamente a partir de la síntesis de colorantes –anilina– por William H. Perkin (1838-1907), hasta el desarrollo de la industria petroquímica en el siglo XX. Y continúa aun hoy con el desarrollo de nuevos procesos más eficientes, como la química click.¹

La síntesis de nuevas sustancias químicas alcanzó madurez durante el siglo XX, y trajo aparejada grandes éxitos para la química, que desarrolló sofisticados procedimientos para sintetizar todo tipo de moléculas.

Algunas de esas moléculas son las que generaron una imagen negativa de la química –las dioxinas, los bifenilos policlorados, etc., por no mencionar las sustancias desarrolladas para la guerra química Y para peor ahora para la prensa esas sustancias son ¡los químicos!² El autor de estas líneas es (o lo era) un químico (mala palabra) que se dedicó a la energía nuclear (peor aún), que para expiar sus culpas se



Figura 4: Walter White en *Breaking Bad*. Lo que “cocina” Walter White es clorhidrato de metanfetamina (conocida en la jerga en inglés como *crystal meth*)

reconvirtió en químico ambiental (lo que no es ninguna garantía). En mi defensa, puedo recordar que la química no es más que una herramienta que usan los seres humanos para sintetizar productos cuyo uso puede o no ser beneficioso para la humanidad. Es más, a medida que avanzamos en

nuestros conocimientos muchas veces sintetizamos *sustancias maravillosas* en ese momento que pueden ser luego *los malos de la película*. Tal es el caso, entre muchos otros, del DDT, que permitió la erradicación del paludismo y de las mangas de langosta en la Argentina hacia 1950, y que ahora

está incluido en *la docena sucia*, los compuestos prohibidos o regulados por el Convenio de Estocolmo de 1972 porque no son biodegradables, se acumulan en la cadena trófica y tienen mucho impacto negativo sobre la salud de personas y seres vivos en general.

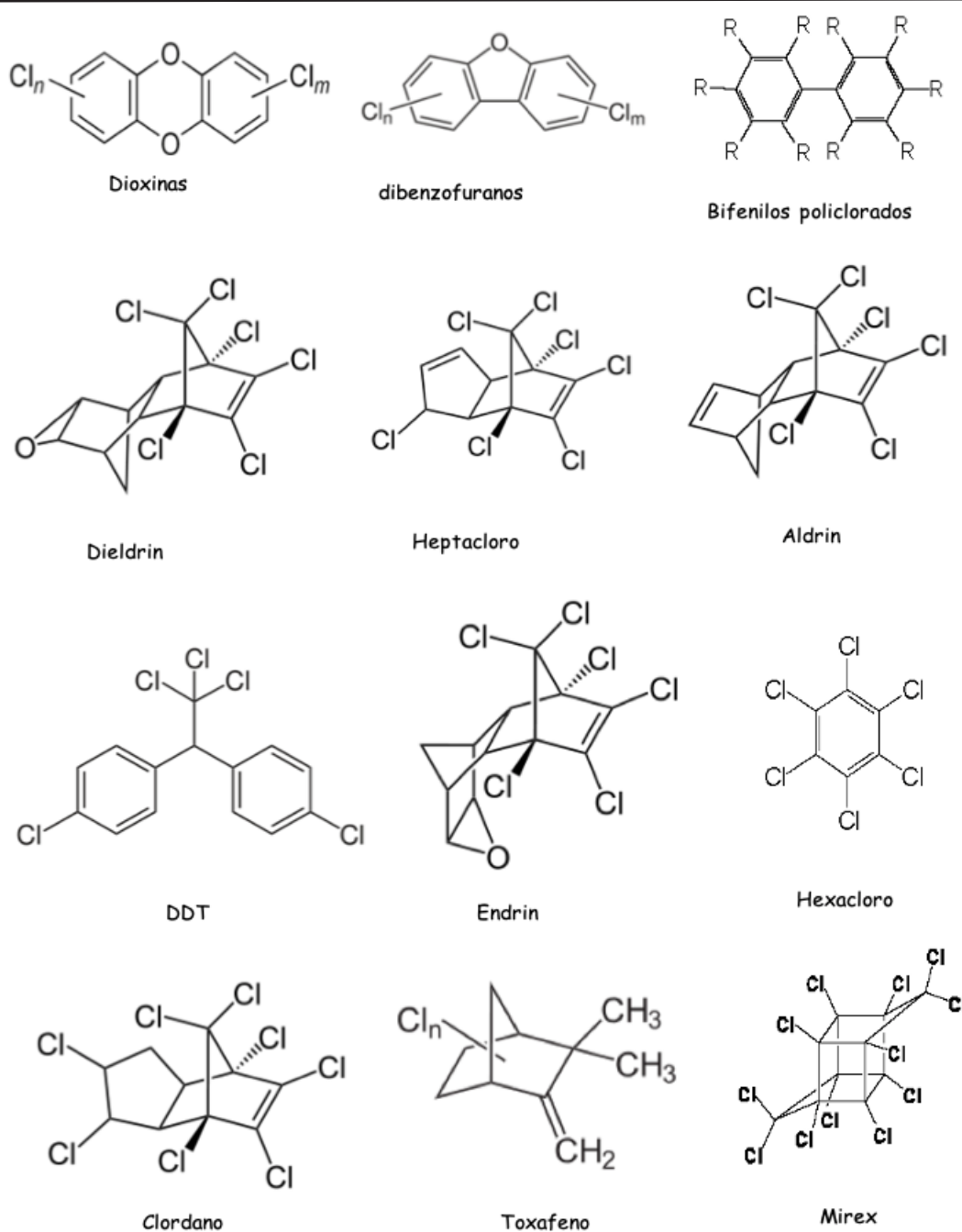


Figura 5: La docena sucia. En la actualidad los anexos del Convenio de Estocolmo incluyen más de 20 compuestos.

Pero también se sintetizó moléculas maravillosas, como el sildenafil (Figura 6), o encontró sustitutos a sustancias que se tornaron peligrosas, como los freones que afectaban la capa de ozono estratosférico. En definitiva los químicos pueden ser más bien parte de la solución que del problema.

En la actualidad la síntesis de nuevas moléculas es una actividad que está lejos de ser *una aventura del pensamiento*. Suele ser más bien un gran emprendimiento en el que los recursos financieros y la estructura empresarial juegan un papel crucial. Desarrollar un nuevo fármaco comienza típicamente en la computadora, con el uso de *Big-Data*, ensayos de preselección de alto rendimiento en el laboratorio, y luego enfrenta las etapas más complicadas y onerosas, que solo empresas poderosas pueden encarar. Complejidades similares se presentan si se busca desarrollar por ejemplo una batería de sodio (ver más abajo).

■ ¿QUÉ SINTETIZARÁN LOS QUÍMICOS EN EL FUTURO?

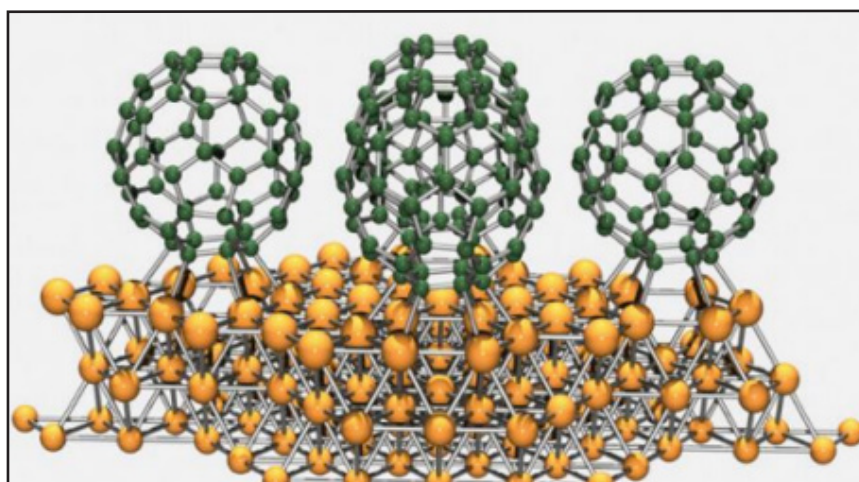
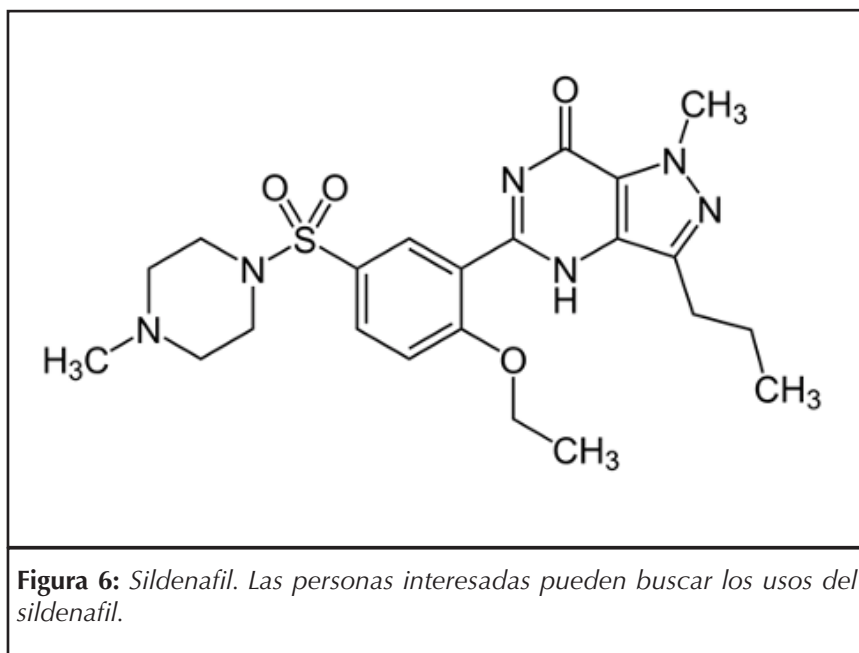
La nueva síntesis química no descansa únicamente en el concepto de molécula. Solo en los gases ideales hay moléculas aisladas. Los átomos que forman parte de la molécula están fuertemente ligados entre sí, por enlaces químicos; dos moléculas vecinas interactúan poco y nada en un gas ideal. En cambio en la materia condensada no hay moléculas aisladas; hay interacciones de todo tipo, como uniones químicas, uniones de hidrógeno, fuerzas de van der Waals, etc. todas ellas centrales en la determinación de la arquitectura de la materia y sus propiedades.

Y ahora sí estamos en la química del siglo XXI. Se sintetizan materiales complejos formados por interacción de sustancias más simples, con estructuras extendidas y una

arquitectura también compleja. Por ejemplo, se sintetizan nanomateriales autoensamblados, en los que los diversos componentes del material se van organizando guiados por las fuerzas atractivas y repulsivas entre los componentes. Los electrodos de las baterías de litio, las membranas de las celdas de combustible, son

ejemplo de materiales complejos sintetizados actualmente.

¿Para qué sirven las habilidades de los químicos en el siglo XXI? IUPAC propuso en 2022 cuales eran las 10 principales tecnologías emergentes en Química. Se las muestra en la Figura 8.



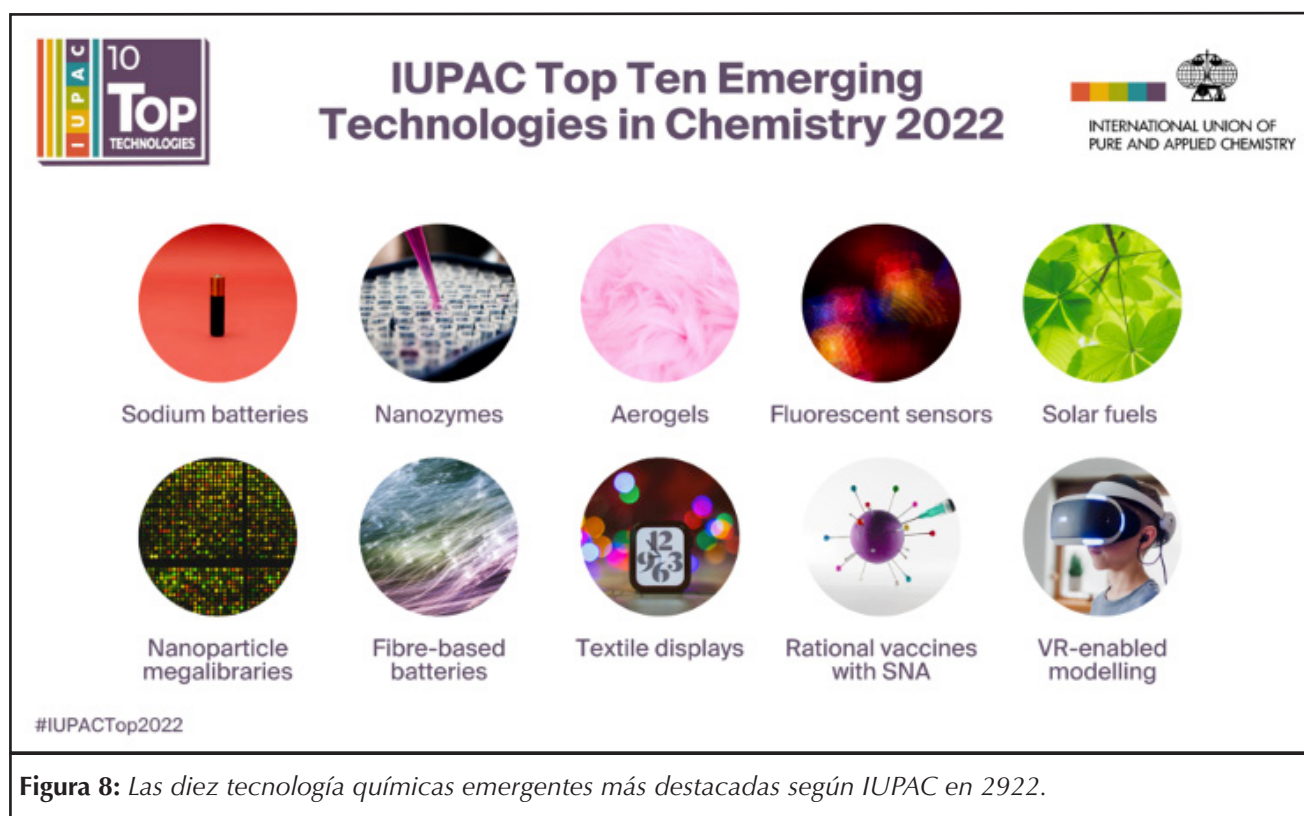


Figura 8: Las diez tecnología químicas emergentes más destacadas según IUPAC en 2022.

Esta lista deja afuera muchas áreas de alta relevancia que hacen los químicos en la actualidad, pero bien puede servir para ilustrar los desafíos actuales de la Química.

En general, ninguna de estas tecnologías está madura, y es necesario todavía desarrollarlas para que puedan alcanzar una etapa competitiva. Seguramente no todas serán realmente exitosas, pero sus potencialidades son tan importantes que valen la pena los esfuerzos por elaborarlás. La lista incluye:

Baterías de sodio: El desarrollo de nuevas baterías capaces de almacenar la energía solar o la eólica es constante. Las baterías de ion sodio funcionan con los mismos principios fundamentales que las baterías de ion litio. El cátodo contiene sodio intercalado en una matriz inorgánica, y su pasaje al electrolito permite la generación de la corriente eléctrica.

El sodio es mucho más abundante y fácil de obtener que el litio, así que si se desarrollan adecuadamente, estas baterías podrán desplazar a las de ion litio. Las baterías de ion sodio tienen otras ventajas adicionales; por ejemplo menor riesgo de inflamabilidad. Además, el cátodo de las de ion litio se basa en óxidos de cobalto (LiCoO_2 o compuestos similares en los que el cobalto está parcialmente sustituido por manganeso y níquel) y la provisión de cobalto es tan crítica como la de litio.³ Sin embargo, las baterías de ion litio tienen alta estabilidad (*shelf life*) alta densidad de carga, y soportan muchos ciclos de carga y descarga, lo que hasta ahora no se ha conseguido con las de sodio.

Nanozimas: Conceptualmente son nanopartículas que pueden presentar propiedades enzimáticas, aunque muchas veces se incluye en el grupo a nanopartículas que no funcionan

realmente como enzimas. Las nanopartículas pueden ser muy diversas, basadas en metales, del tipo de arquitectura metal-orgánica (MOFs, por *metal organic frameworks*) o de sustancias no metálicas. En su uso como catalizadores que reemplazan a las enzimas es muy difícil alcanzar la especificidad y los números de recambio (*turnover number*) de las enzimas naturales; sin embargo, pueden tener una serie de ventajas: las enzimas naturales pierden actividad fácilmente por cambios de temperatura, pH u otras condiciones y son difíciles de almacenar y por contraposición las nanozimas pueden almacenarse por tiempos prolongados y pueden operar en un amplio rango de pH y temperatura. Sus posibles usos son muy extensos y van más allá de la catálisis de reacciones específicas: pueden ser antioxidantes, antibacterias, biosensores, agentes terapéuticos, etc.

Aerogeles: son dispersiones coloidales de aire en una matriz sólida, con la peculiaridad de que más del 99% de la masa del material es aire. La fase sólida puede ser muy variada: óxidos metálicos, polímeros orgánicos, carbono, etc. Son extremadamente livianos (su densidad puede ser sólo tres veces mayor que la del aire) y muy buenos aislantes térmicos. No debe sorprender entonces que se hayan desarrollado originalmente para la industria aero-espacial y más tarde como aislantes térmicos en múltiples aplicaciones. Sin embargo, los materiales prometen mucho más: su porosidad, su alta superficie específica y la posibilidad de dotar a la superficie de propiedades químicas específicas (derivatizándola), los hace excelentes materiales para su uso en descontaminación de aire y de agua, en el desarrollo de sensores específicos y catalizadores. Incluso la NASA considera su uso para la construcción de invernaderos en Marte. Su biocompatibilidad ofrece también promesa en aplicaciones biomédicas, como biosensores, o para liberación controlada de drogas. Como es el caso de las otras tecnologías, todavía hay problemas de estabilidad y de costes.

Sensores de fluorescencia: En su versión más simple, un sensor de fluorescencia está formado por partículas (incluso nanopartículas) que contiene moléculas fluorescentes, cuya fluorescencia es alterada por la interacción con las moléculas de la sustancia que se desea analizar. Es una técnica analítica muy sensible y específica. En la actualidad, se desarrollan sensores de fluorescencia en forma de películas, en cuya superficie se adsorbe la(s) sustancia(s) fluorescente(s). Son sensores de pequeño tamaño y su versatilidad los hace ideales para análisis ambiental, como marcadores biológicos y en otras aplicaciones. Por ejemplo, se visualiza una red de monitoreo

ambiental interconectada en tiempo real a través de la Internet de las cosas (IoT).

Combustibles solares: Se puede almacenar la energía solar sintetizando combustibles a partir de la misma. La fotosíntesis es el ejemplo de la naturaleza que guía muchos intentos: las plantas con clorofila sintetizan biomasa (combustible) usando la luz solar. Hay intentos de lograr la fotosíntesis artificial, pero también se buscan métodos eficientes para la fotólisis directa de sustancias que generen combustibles. Los combustibles solares más típicos son el hidrógeno, el amoníaco y compuestos orgánicos obtenidos por reducción solar de dióxido de carbono. Se busca intensamente la fotólisis del agua para generar hidrógeno (además de oxígeno). También es posible concentrar la luz solar para alcanzar altas temperaturas y llevar a cabo reacciones químicas que producen combustibles. Más indirectamente, se pueden obtener combustible solar por vía electroquímica, alimentando una celda electroquímica con electricidad proveniente de paneles solares.

Megabibliotecas de nanopartículas: Es una nueva herramienta para la búsqueda de nuevos materiales, que va más allá de los ya clásicos ensayos de preselección (*screening*). Es una técnica litográfica que permite depositar millones de nanopartículas de composición y tamaño variable sobre un sustrato. Esas nanopartículas son después usadas como nanoreactores, por ejemplo en reacciones catalíticas. Se puede identificar muy eficientemente cuáles son la composición, la estructura y el tamaño más adecuados para una determinada reacción química.

Baterías basadas en fibras: A diferencia de las baterías tradicionales, estas baterías se construyen con ca-

bles metálicos entrelazados como electrodos, y con un electrolito adecuado, todo sellado con un material adecuado. Son prácticamente unidimensionales y se pueden construir de varios metros de largo. Estas baterías pueden incorporarse a textiles, ya que son lavables y por lo tanto útiles para sensado de funciones corporales. También pueden usarse para fabricar artefactos electrónicos altamente flexibles.

Visores textiles: Los visores LED (*displays*) textiles tradicionales son visores rígidos insertados en textiles. Ahora comenzaron a desarrollarse visores flexibles basados en fibras de LED, ya sea orgánicos o poliméricos, incorporados con naturalidad en el tejido. Se están realizando muchos esfuerzos por optimizar estos últimos. De lograrse, se producirá una verdadera revolución en la transmisión de información.

Vacunas racionales con ácidos nucleicos esféricos (SNA): Los SNA son nanopartículas de oro u otro material recubiertas con cadenas de ácidos nucleicos. En esa arquitectura se puede controlar las posiciones de las moléculas de adyuvante y de antígeno, optimizando la respuesta inmune, no solo frente a agentes patógenos sino también en terapias oncológicas.

Modelado aumentado por realidad virtual (VR): En una sala de realidad virtual, el químico interactúa con las moléculas, cambiando con sus manos las posiciones de los átomos, reemplazando grupos funcionales, etc. y la computadora va calculando en tiempo real las propiedades de las moléculas que se van creando. Es un procedimiento que perfecciona las herramientas que brindan la dinámica molecular y la química computacional.

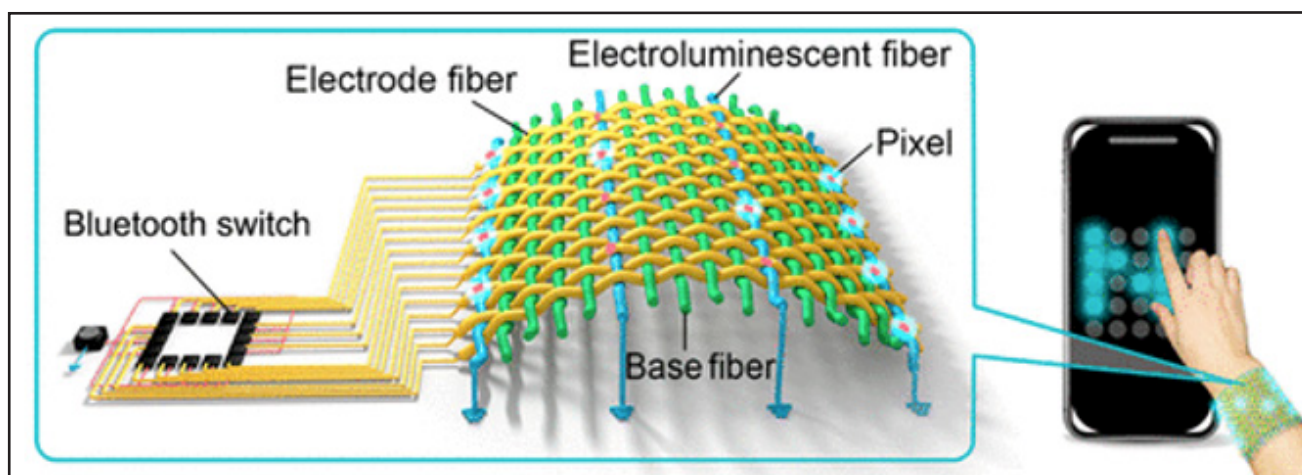


Figura 9: Un visor textil. Tomado de Mi y col. 2021.

Todas estas tecnologías buscan novedosos métodos o productos de síntesis química para diversas aplicaciones, incluyendo nuevos sensores específicos para el análisis de la materia. De nuevo, síntesis y análisis resumen la tarea de los químicos del siglo XXI. Y lo que se fabrica son complejos artefactos compuestos de moléculas y estructuras extendidas, en las que operan enlaces químicos, fuerzas de adsorción, y todo tipo de interacciones fuertes y débiles.

La gran revolución tecnológica que estamos presenciando en la actualidad, como parte del llamado Cambio Global (Climático y Social) lleva a organizar a la investigación científica alrededor de grandes desafíos o preguntas, para enfrentar los cuales se requieren habitualmente más de una disciplina científica. Ejemplos de grandes desafíos actuales son la Transición Energética, el Cambio Climático, la Inteligencia Artificial, el Sistema Tierra,⁴ el funcionamiento del cerebro y el del sistema inmunológico, etc.

La Química como ciencia está llamada a jugar un papel central en este panorama. Pero la Química “desnuda”, centrada en sí misma,

está perdiendo protagonismo rápidamente.

Se avizora claramente el surgimiento de grandes paquetes científicos en los cuales la Química es central, pero integrada con otras disciplinas: Las Ciencias de los Materiales; las Ciencias Biomoleculares; las Ciencias Ambientales. Si bien esta clasificación no está libre de ambigüedades,⁵ representa claramente las tendencias actuales. Podemos pensar que la química de hecho está ingresando de manera penetrante en otras disciplinas, y en las nacientes formas de hacer ciencia y tecnología. La formación universitaria parece estar evolucionando en la misma dirección, y es urgente repensar qué ofertas deben diseñarse para atraer a las vocaciones químicas.

■ AGRADECIMIENTOS

Por muchas discusiones e intercambios de ideas, a Sara A. Bilmes y a Galo Soler Illia.

■ BIBLIOGRAFÍA

Ai Y., Hu Z-N., Liang X., Sun H., Xin H., y Liang Q. (2021) *Recent Advances in Nanozymes* :

From Matters to Bioapplications. Advanced Functional Materials. Diciembre 2021. <https://doi.org/10.1002/adfm.202110432>

Blesa M.A. (2020) *La industria química y la contaminación: HISTORIA DEL AZUFRE Y DEL ÁCIDO SULFÚRICO*. Industria y Química 2020, número 370, págs. 25-32.

Blesa, M.A. *La industria química pesada y la contaminación: Evolución de la producción de soda Solvay*. En Sección Grandes Temas Ambientales, AAPC. <https://aargentinapciencias.org/grandes-temas-ambientales/la-industria-quimica-pesada-y-la-contaminacion-evolucion-de-la-produccion-de-soda-solvay/>

Choi HW, Shin DW, Yang J, Lee G, Figueiredo S, Sinopoli S, Ullrich K, Jovančić P, Marrani A. (2022) Smart textile lighting/display system with multifunctional fibre devices for large scale smart home and IoT applications. *Nature communications*, 13, 814, <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28459-6>.

Gomollón-Bel, F. (2022) IUPAC Top Ten Emerging Technologies in Chemistry 2022. *Chemistry International*, vol. 44, no. 4, pp. 4-13. <https://doi.org/10.1515/ci2022-0402>.

Hanbing M., Leni Z., Xiaoxiao T., Pengtao X., Xingyi L., Tianzhi L. y Xingyu J. (2021). Electroluminescent Fabric Woven by Ulstretchable Fibers for Arbitrarily Controllable Pattern Display, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 13, 9, 11260– 11267.

Kluender E.J., Hedrick J.L., Brown K.A. y Mirkin C.A. (2018). *Catalyst discovery through megalleries of nanomaterials*. *PNAS* **116** (1), 40-45.

Shuya W., Shuya W., Lei Q., Gokay Y. y C.A. Mirkin (2019). Rational vaccinology with spherical nucleic acids. *PNAS* **116** (21) 10473-10481.

Young-Ho S. y col. (2021) J. *Electrochem. Soc.* **168** (1) 017502

■ NOTAS

1. La química click es un concepto que busca guiar la forma de encontrar maneras más eficientes para sintetizar moléculas complejas. Usualmente se basa en la idea de ensamblar unidades pequeñas, fragmentos de la molécula buscada. La química click se inspira en buena medida en la idea de imitar a la naturaleza.

2. En inglés, quien practica la Química es un chemist, y las sustancias químicas son chemicals; últimamente se puso de moda la desafortunada práctica de traducir ambas palabras como químico(s).

3. Se calcula que habrá un fuerte incremento en la demanda de cobalto en los próximos años. En la actualidad cerca del 70% del cobalto es extraído en la República Democrática de Congo.

4. La Ciencia del Sistema Tierra comprende a la química, la física, la biología, las matemáticas y las ciencias aplicadas trascendiendo los confines disciplinares para tratar a la Tierra como un sistema integrado y busca una comprensión más profunda de las interacciones físicas, químicas, biológicas y humanas que determinan los estados pasado, presente y futuro de la Tierra. La Ciencia del Sistema Tierra provee las bases físicas para comprender el mundo en el que vivimos y sobre el cual la humanidad busca alcanzar sustentabilidad (tomado de <https://serc.carleton.edu/introgeo/earthsystem/nutshell/index.html>, traducción libre propia)

5. Muchos de los ejemplos dados en las diez tecnologías emergentes de 2022 de IUPAC tienen simultáneamente aspectos de nanotecnología, de ciencias biomoleculares y/o de aplicaciones ambientales.