

ENCUENTRO CON LA QUÍMICA



UNA REVISTA DE LA SOCIEDAD CUBANA DE QUÍMICA

Volumen 3. Número 3. Año 2017



Encuentro con la Química

Volumen 3 - Número 3

Septiembre-Diciembre 2017

PORTADA



Imágenes tomadas de
GuoGuiyan Wallpapers

Elaborada por:



Leonardo González
Ceballos

GRUPO EDITORIAL

Editora:
Prof. Dra. Margarita
Suárez Navarro
msuarez@fq.uh.cu

Colaboradora:
Dra. Rebeca Vega Miche
vega@fq.uh.cu

Lic. Claudia Iriarte Mesa
ciriarte@fq.uh.cu

Composición y producción:
Lic. Leonardo González
Ceballos
leo@fq.uh.cu

Editorial.....	1
Investigación Química	
<i>Premio Nobel de Química 2016</i>	
Nazario Martín León y Emilio M. Pérez.....	3
<i>Las proteínas dirigentes y la estereoespecificidad en la síntesis de lignina o lignanos en las plantas</i>	
Roberto de Armas Urquiza	26
<i>Colorantes en la Antigüedad</i>	
Roberto Cao Vázquez.....	32
<i>La Química en la Cosmética</i>	
Patricia Pérez Ramos e Irela Pérez Sánchez.....	35
<i>Moléculas Híbridas</i>	
Margarita Suarez Navarro.....	40
<i>De cómo calificar a los buenos científicos y a la buena ciencia: ¿El índice Hirsch?</i>	
Luis A. Montero Cabrera.....	42
Enseñanza de la Química	
<i>Una visión personal de los principios del trabajo científico. Parte 8: El aprendizaje autodidacta</i>	
Manuel Álvarez Prieto.....	46
Historia de la Química	
<i>Breve Historia de las Armas Químicas: de la Antigüedad a Nuestros Días</i>	
Roberto Martínez Álvarez.....	50
<i>La Historia del Desarrollo Químico en Alemania en los Siglos XIX y Principios de Siglo XX</i>	
David Wende	65
<i>Luces y Sombras, Gerardo Fernández Abreu (1869-1949)</i>	
Rebeca Vega Miche	73
Perfiles	
<i>Ricardo Martínez Sánchez</i>	
Claudia Iriarte Mesa y Yeisy C. López Conde.....	79
Nuestra Comunidad	
<i>El SEADIM: la ventana de la Química Teórica cubana</i>	
Claudia Iriarte Mesa y David Hernández Castillo.....	84
Noticias	
<i>Primera Circular del Evento de Historia de la Química.....</i>	86
<i>Primera Circular del evento QUIMICUBA 2018.....</i>	87
Normas de publicación de la revista Encuentro con la Química.....	90

Editorial



Con este número de *Encuentro con la Química* concluimos el tercer año de existencia de esta revista. Su publicación ha sido posible por la contribución de profesionales que nos han enviado sus trabajos para que sean divulgados a la comunidad química cubana.

Desde sus inicios *Encuentro con la Química* fue diseñada para facilitar la divulgación de la investigación actual en todos los ámbitos de la Química. Por su condición de revista electrónica y por el carácter multidisciplinar de sus contenidos proporciona materiales de actualidad de fácil acceso a los lectores.

En este Editorial queremos comentar acerca de algunas cuestiones éticas relacionadas con la química. Las circunstancias del mundo actual proporcionan retos tanto científicos como éticos para la química. Una de sus actividades principales es la creación de nuevas sustancias. Anualmente, los químicos mediante la síntesis, crean miles de compuestos, la mayoría beneficiosos, pero otros no lo son. La química ha contribuido más al mejoramiento de la vida humana que ninguna otra ciencia; pero al mismo tiempo ha contribuido significativamente al deterioro ambiental a partir del desarrollo de la industria química en el siglo XIX. Actualmente los químicos también han contribuido a reducir la contaminación.

Los productos sintéticos se han vuelto una parte importante de nuestras vidas. Cuando se crea una sustancia nueva, los químicos deben considerar los efectos de este compuesto a largo plazo. Si la sustancia se produce comercialmente, se deben desarrollar métodos de producción más “verdes” que conserven los recursos no renovables y disminuyan los efectos ambientales. Los químicos también

deben pensar cuidadosamente sobre su rol en la preservación de la salud y seguridad del planeta, incluyendo su rol en la creación de armas.

Más que las otras ciencias, la química se centra en el laboratorio, por lo que es importante que la práctica de laboratorio se adhiera a los más altos estándares profesionales y éticos que respondan a los del mundo actual. Hay que mantener una conducta responsable en todas las actividades relacionadas con nuestra profesión.

Para el próximo año tenemos como objetivos mantener la calidad del contenido de los manuscritos y conocer aún más sobre las necesidades de los lectores y de sus intereses. Además, como el formato electrónico es especialmente apto para la representación visual, la animación y los recursos interactivos, pensamos aprovechar las posibilidades que ofrece este medio. Se ruega a los autores revisen las normas de publicación que aparecen al final de la revista y envíen sus manuscritos según ese formato.

En este número podrán leer la contribución de los profesores de la Universidad Complutense de Madrid acerca del aporte que realizaron los investigadores a los que se les concedió el Premio Nobel de Química en el 2016 y de la historia de las armas químicas desde la antigüedad hasta nuestros días. Además aparecen contribuciones referidas a temas de investigación que se realizan actualmente en el campo de la química, a saber, como influyen las proteínas dirigidas en la síntesis de metabolitos en las plantas, el desarrollo de moléculas híbridas para potenciar las propiedades de los compuestos. Un artículo que les va a interesar es el relacionado con la química y la cosmética. También aparecen artículos relacionados con

la utilización de los colorantes en la antigüedad, el empleo del índice-h como forma de evaluar a los científicos, artículos referidos a la historia de la Química y a la importancia del aprendizaje autodidacta.

En este número se incluye la sesión perfiles y se ofrecen noticias de nuestra comunidad.

Insistimos en invitar a los profesionales relacionados con los distintos perfiles de la Química, a que nos envíen sus contribuciones

para permitirnos divulgar sus trabajos.

Deseamos nos remitan sus sugerencias, críticas y aprobaciones, para mejorar Encuentro con la Química que es una revista de todas y de todos.

Espero que disfruten de este material.

Margarita Suárez Navarro
Editora

Sir J. Fraser Stoddart, Jean-Pierre Sauvage, y Bernard L. Feringa reciben el Nobel de Química por "Diseñar y producir Máquinas Moleculares"

Departamento de Química Orgánica, Facultad de Química,
Universidad Complutense. IMDEA-Nanociencia



Emilio M. Pérez
emilio.perez.nanociencia@imdea.org



Nazario Martín León
nazmar@ucm.es

Introducción

El concepto de máquina, en su sentido más amplio, ha sido, sin duda, una de las claves para el desarrollo de la tecnología producida por el ser humano a lo largo de su historia. Una máquina, según una de las muchas acepciones de esta palabra en el diccionario de la Real Academia de la Lengua española, es “un conjunto de aparatos combinados para recibir cierta forma de energía y transformarla en otra más adecuada, o para producir un efecto determinado”. Pues bien, esto es exactamente lo que algunas de las moléculas sintetizadas por estos tres grandes químicos son capaces de hacer. Como un automóvil eléctrico de última generación, estas moléculas, de tamaño nanométrico, es decir, unos mil millones de veces más pequeñas que un automóvil, son capaces de moverse sobre una superficie si se les suministra energía, en este caso, si se les irradia con luz. Pero, además, este movimiento no es al azar y, con el diseño adecuado, sus movimientos pueden ser controlables.

Esto es precisamente uno de los logros que se valoran con la concesión de este premio Nobel, el hecho de diseñar y controlar el movimiento de las moléculas. Lejos de ser algo puramente anecdótico o de interés académico, puede llegar a tener importantísimas consecuencias para el

desarrollo de la tecnología futura, y en cierto modo ya presente, en la denominada nanotecnología.¹

El hecho de poder fabricar máquinas de tamaño nanométrico supone una nueva revolución científica en la que “moléculas inteligentes” son capaces de desarrollar un trabajo bajo las condiciones adecuadas, dando así una nueva dimensión a la síntesis y uso de las moléculas por parte de los científicos. En palabras del propio Feringa, “*no me podía creer que funcionara. Me siento como los hermanos Wright cuando volaron por primera vez hace un siglo y la gente les preguntaba que para qué se necesitaba una máquina voladora*”.

Este premio Nobel de 2016 no podría entenderse sin hacer mención al anterior premio Nobel de 1987 otorgado a Jean-Marie Lehn, Donald J. Cram y Charles J. Pedersen quienes sentaron las bases de la denominada “química supramolecular”. Esta disciplina surgida en torno a los años sesenta y setenta del pasado siglo, hoy está presente en las universidades de todo el mundo como una

¹ Este artículo sobre los Premios Nobel de Química pertenece al reciente libro de los Premios Nobel correspondientes al año 2016 publicado por la Fundación Ramón Areces de España.

parte fundamental de la ciencia química moderna en la que se estudia, fundamentalmente, las interacciones más allá de la molécula y la formación de ensamblajes moleculares sencillamente espectaculares.

Sobre esta base se asienta el trabajo de Jean-Pierre Sauvage (París, 1944), profesor de la Universidad de Estrasburgo (Francia), quien en un trabajo pionero en 1983 utilizó por primera vez el “efecto plantilla” para sintetizar un catenano, es decir, una molécula compuesta por dos partes con forma de anillo enlazadas entre sí formando una cadena. Formalmente la unión de estas dos moléculas en forma de anillo para dar lugar a una cadena de dos eslabones tiene lugar mediante la creación de una unión mecánica, distinta a la forma habitual de unirse dos moléculas entre sí por interacciones covalentes o supramoleculares. Curiosamente, este nuevo tipo de enlace químico, denominado “enlace mecánico” tiene lugar sin la formación de enlaces covalentes entre los fragmentos submoleculares y sin que, necesariamente, interactúen supramolecularmente. Sin embargo, su ruptura requiere de energías comparables a las de los enlaces covalentes, siendo, por tanto, una nueva forma de enlace para formar moléculas más complejas con nuevas propiedades.

Esta singularidad de que dos fragmentos moleculares se unan entre sí manteniendo una libertad de movimiento es la clave y condición necesaria para poder crear máquinas moleculares. Aunque en los años 60 ya se habían sintetizado otras estructuras con enlace mecánico, siempre había sido con rendimientos prácticamente ridículos, inútiles desde el punto de vista preparativo. La contribución de Jean-Pierre Sauvage, utilizando la química supramolecular, consigue que la síntesis de catenanos y rotaxanos pase a ser abordable. Este salto cualitativo en el método de síntesis hace posible todo el trabajo que viene después.

Igualmente espectacular resulta el trabajo de Sir J. Fraser Stoddart (Edimburgo, 1942), profesor de la Universidad Northwestern (EE.UU.), quien creó en 1991 de forma eficaz y controlada el primer rotaxano, una molécula en la que un anillo puede moverse a lo largo de un eje central cerrado en los extremos con dos topes voluminosos, de forma análoga a una mancuerna de gimnasio. De nuevo, esta capacidad de movimiento de unos fragmentos de la molécula sobre otros ha permitido formar otras máquinas moleculares tales como chips informáticos o, por ejemplo, la formación de un ascensor molecular.

El tercero de los premiados es el holandés Bernard L. Feringa (Barger-Compascum, 1951), de la Universidad de Groningen (Holanda), quien fue el primero que construyó un motor molecular. En 1999, Feringa diseñó y sintetizó una pala de rotor molecular que, al ser irradiada con luz ultravioleta, giraba continuamente en la misma dirección. Al igual que en los casos anteriores, sus motores moleculares tienen una estructura molecular fácilmente reconocible, habiendo conseguido rotar cilindros de vidrio de tamaño 10.000 veces más grandes que el propio motor. Sin embargo, es quizás su reciente nanocoche o coche molecular, en donde una molécula con forma de coche con cuatro ruedas podía moverse al ser irradiada con luz, lo que llamó la atención de la comunidad científica.

Es preciso destacar, finalmente, que el Nobel de este año no solo premia un hecho insólito realizado con moléculas en la escala nanométrica como es su capacidad de moverse y de actuar como máquinas moleculares sino, también, el ingenio necesario para realizar su diseño y, mediante las técnicas más avanzadas de la síntesis orgánica, llevar a cabo su síntesis de modo eficaz. El resultado es simplemente una nueva forma de ver y considerar las moléculas, nuestros “ladrillos” del futuro para la construcción de nuevos dispositivos electrónicos varios órdenes de magnitud más

pequeños de los que manejamos actualmente. Como suele ocurrir habitualmente, será el futuro próximo quien pondrá en valor el descubrimiento que la academia sueca ha destacado y premiado en este premio Nobel de 2016.

Antecedentes e inspiración

Al ser humano siempre le ha interesado lo pequeño, el mundo microscópico, si bien hoy habría que decir el mundo nanoscópico, es decir aquellos sistemas de dimensiones del nanómetro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Esto significa que pasamos a la escala de las moléculas y también de los átomos, los componentes fundamentales de la materia y con los que, sin duda, se está construyendo las bases de las denominadas nanociencia y nanotecnología que han de guiar el desarrollo futuro de la ciencia y que, ya hoy, empieza a ser una realidad.

En este sentido, es preciso referirse a uno de los científicos más singulares y brillantes, Richard Feynman, quien fue premio Nobel de Física en 1965 y quien de forma visionaria, en su ya famosa conferencia impartida en la reunión anual de la American Physical Society con el título "*There's plenty of room at the bottom*" en 1959, habló sobre la posibilidad de construir máquinas muy pequeñas a partir de átomos. Naturalmente, en su presentación destacó las posibilidades y problemas de trabajar en la escala atómica, abriendo, así, el debate de las potenciales máquinas moleculares.

En términos generales, la construcción de una máquina no es un proceso simple y requiere un número de elementos para ser integrados y ensamblados adecuadamente en un dispositivo. Por tanto, el diseño de los componentes y el control de su ensamblaje resultan esencial para su construcción. Además, se precisa el control del movimiento relativo de unas partes de la maquinaria con respecto a otras, es decir, el control del movimiento rotacional y traslacional de los

componentes mediante el aporte de energía. Una máquina presenta, también, una interfase con el entorno.

Esta descripción de una máquina a nivel macroscópico nos resulta familiar y, con sus dificultades, realizable. Ahora es preciso viajar en la escala de las dimensiones y llegar a la escala nanométrica, es decir la escala de átomos y moléculas. Lo dicho anteriormente como elementos esenciales y precisos para la construcción de una máquina, ha de darse, igualmente, en la máquina molecular. Esto no es tan evidente y aparecen circunstancias nuevas como, por ejemplo, la necesidad de impedir las fluctuaciones térmicas del movimiento Browniano que influye sobre los movimientos mecánicos. Por otra parte, el aporte de energía a la máquina molecular requiere, igualmente, unas consideraciones especiales, dado que ningún proceso de combustión a los que estamos acostumbrados en el mundo macroscópico real sería compatible con la propia naturaleza molecular. Es por ello, que las máquinas moleculares deben de estar alimentadas energéticamente por luz u otra fuente de energía compatible para operar fuera del equilibrio en sistemas disipativos.

En las últimas décadas, los químicos han demostrado poseer la suficiente imaginación y habilidades sintéticas para construir sistemas moleculares muy variados en forma, tamaño y funciones. Sin embargo, fabricar moléculas capaces de transformar la energía química en energía mecánica para llegar a realizar de forma controlada un trabajo requiere de un esfuerzo adicional y de un ingenio propio de los químicos laureados con este premio Nobel.

En este sentido, se acepta la definición de "máquina molecular" como un subconjunto de los "dispositivos moleculares" (sistemas moleculares funcionales) en los que un estímulo dispara, de forma controlada, un movimiento mecánico de gran amplitud o

direccionalidad de un componente con respecto a otro (o de un sustrato con respecto a la máquina) que resulta en la realización de un trabajo neto.

Por tanto, sistemas tales como complejos moleculares en los que los componentes pueden intercambiarse entre sí o sistemas que funcionan únicamente mediante cambios en su estructura electrónica no son considerados formalmente como máquinas moleculares. En este sentido, será el grado de control sobre el movimiento de los componentes o sustratos lo que nos permite hablar propiamente de máquinas moleculares.

Los efectos de la escala

El movimiento Browniano

La primera observación de los efectos del movimiento experimentado por cualquier objeto a escala molecular proviene del botánico escocés Robert Brown quien ya en 1827 señaló el movimiento incesante y aleatorio de diminutas partículas dentro de los granos de polen translúcidos suspendidos en agua. Una explicación de este fenómeno, hoy conocido como movimiento Browniano, fue dada por Albert Einstein en uno de sus ya célebres tres trabajos publicados en 1905, y que posteriormente fue demostrado experimentalmente por Jean Perrin en la década siguiente. Es importante destacar que los científicos han estado, desde entonces, fascinados por las implicaciones de la naturaleza estocástica del movimiento a escala molecular.

Las fluctuaciones térmicas aleatorias experimentadas por las moléculas son las que controlan el comportamiento mecánico a nivel molecular. Incluso las máquinas más eficaces en la nanoescala están sometidas a este efecto. Por tanto, a la hora de diseñar máquinas moleculares, es importante tener en cuenta que la presencia del movimiento Browniano es consecuencia de la escala, y no de la naturaleza del entorno. Incluso poniendo una

estructura a nivel molecular en condiciones de casi vacío se puede evitar este efecto. En estas condiciones en que habría pocas colisiones al azar para establecer tal partícula Browniana en movimiento, habría una cierta viscosidad para retardar el movimiento. Estos efectos siempre se neutralizan entre sí y, siempre que se pueda definir una temperatura para un objeto, este tendrá un movimiento Browniano para esa temperatura, lo que, a su vez, determina su energía cinética. Por consiguiente, solo el recorrido media entre colisiones estará afectado por la concentración de partículas.

En un tratamiento más profundo, incluso la temperatura no permite una modulación del movimiento Browniano adecuada ya que la velocidad de las partículas depende de la raíz cuadrada de la temperatura. Por tanto, reducir las fluctuaciones térmicas aleatorias al 10% de la cantidad presente a temperatura ambiente requeriría disminuir la temperatura de 300 K a 3 K. Resulta evidente, a la luz de los datos anteriores, que a la hora de diseñar máquinas moleculares, es más razonable utilizar favorablemente el movimiento Browniano en lugar de hacer estructuras que tengan que enfrentarse a él. En este sentido, la pregunta de cómo controlar el movimiento aleatorio inherente a escala molecular para generar un movimiento y hacer un trabajo a escalas mayores ha supuesto uno de los grandes retos para la comunidad científica.

La segunda ley de la termodinámica

Las leyes de la termodinámica son las que controlan como los sistemas ganan, procesan y ceden energía, siendo fundamentales para entender que una partícula en movimiento realice un trabajo en cualquier escala. En particular, es la segunda ley de la termodinámica la que gobierna muchos de los aspectos importantes a la hora de diseñar cómo aprovechar el movimiento Browniano para hacer máquinas a nivel molecular. De hecho, el diseño de máquinas diminutas capaces de

realizar un trabajo ha sido utilizado históricamente para probar la validez de la segunda ley de la termodinámica con ejemplos tan célebres como el famoso demonio de Maxwell (donde el demonio era percibido como un intento de perpetuar el movimiento de una máquina mediante fluctuaciones térmicas), el motor de Szilard o el trinquete de Feynman.

El número de Reynolds entra en juego

Mientras que, tal y como hemos visto, la rectificación del movimiento Browniano puede ser la llave para propulsar máquinas a la escala molecular, este no nos dice nada sobre como esa energía puede utilizarse para realizar un trabajo en la nanoescala ni qué máquinas mecánicas pueden o no hacerse. La presencia constante del movimiento Browniano no es la única diferencia entre el movimiento a nivel molecular y el mundo macroscópico. En este último, las ecuaciones del movimiento están gobernadas por los términos inerciales (dependen de la masa). Las fuerzas viscosas (dependiente del tamaño de las partículas) moderan el movimiento transformando la energía cinética en calor, y los objetos no se mueven hasta que la energía específica suficiente para hacerlo.

En una máquina macroscópica se suele conseguir mediante las fuerzas direccionales cuando el trabajo se hace para mover los componentes mecánicos de un modo concreto. A medida que los objetos se hacen más pequeños y, por tanto, con menos masa, los términos inerciales disminuyen en importancia y la viscosidad comienza a dominar. Este efecto se cuantifica mediante el número de Reynolds (R) que representa la relación entre las fuerzas inerciales y viscosas.

Así, el tamaño afecta al movimiento incluso antes de llegar a la nanoescala. Así, por ejemplo, en el nivel de la mesoescala donde se encuentran las bacterias (10^{-5} m), las fuerzas de viscosidad son las que dominan. A nivel

molecular, el número de Reynolds es extremadamente pequeño y el resultado es que las moléculas no pueden recibir un impulso en el sentido macroscópico. Por tanto, el movimiento de un objeto a nivel molecular está determinado completamente por las fuerzas que actúan sobre el en un instante concreto, tales como fuerzas externamente aplicadas, viscosidad o perturbaciones térmicas aleatorias y movimiento Browniano.

Las fuerzas gravitatorias en un objeto nanoscópico son igualmente insignificantes. Por tanto, puesto que los procesos que gobiernan la dinámica en la macro y nanoescala son diferentes, se precisan mecanismos diferentes para controlar el transporte y la propulsión. En este sentido, es preciso ser cautos a la hora de buscar la inspiración para construir máquinas moleculares en las máquinas reales del mundo macroscópico.

¡Las máquinas moleculares ya existen en la naturaleza!

Es bien sabido que las máquinas y motores moleculares son conceptualmente posibles y, de hecho, estos existen en los sistemas biológicos. La madre Naturaleza ha desarrollado una nanotecnología molecular en innumerables procesos biológicos. Comprender de la Naturaleza como controla aspectos tales como la escala, el entorno, el equilibrio, el movimiento Browniano y la viscosidad puede ser de gran ayuda para el diseño de las máquinas moleculares y de cómo utilizarlas.

Un hecho clave es que la presencia de membranas que permiten la compartimentación de los procesos celulares son esenciales para mantener las condiciones de no equilibrio necesarias para la vida. Las barreras lipofílicas que forman las membranas están decoradas de numerosas y diferentes funcionalidades químicas que permiten y facilitan el movimiento de especies

iónicas y polares a través de ciertos canales. En este sentido, son muchos y diferentes los mecanismos por los que se impulsa el movimiento de unos compartimentos a otros, siendo los más frecuentes, generalmente, gradientes de concentración, electroquímico o una combinación de ambos, así como la difusión pasiva en concentración. Independientemente del camino seguido, todos estos mecanismos operan hacia una posición de equilibrio termodinámico. Por tanto, se precisan las bombas de iones para mantener los procesos de transporte, de tal forma que los dispositivos mecánicos de transmembrana convierten las reacciones químicas no direccionales en un transporte vectorial de especies iónicas en contra del gradiente electroquímico. Un ejemplo es el mecanismo que opera en la bomba del retículo sarcoplásmico Ca^{2+} -ATPasa. La Naturaleza

también utiliza máquinas moleculares para transportar objetos en el interior de la célula. Un ejemplo representativo es la kinesina o dineína; para mover organismos completos o sus partes, como es el caso de la miosina o el motor de las bacterias flageladas; para procesar ADN y ARN como es el caso de las helicasas o polimerasas o, por ejemplo, para la síntesis de ATP (ATP sintasa) Figura 1. Es preciso señalar, sin embargo, que los detalles de la mayoría de estos procesos no son conocidos en su totalidad. Una última consideración es que los mecanismos de actuación y función de las máquinas biomoleculares son producto de una evolución biológica de miles de años, lo que ha resultado en máquinas de gran complejidad, prácticamente imposibles de fabricar mediante el diseño racional.

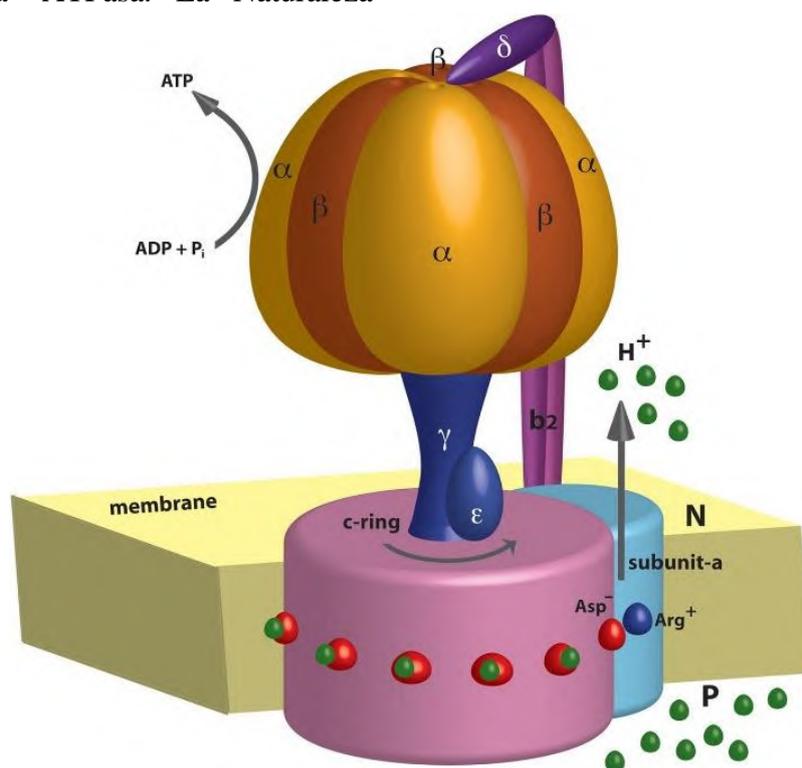


Figura 1. Estructura de la ATP-sintasa como ejemplo de máquina biomolecular. Shayantani Mukherjee, and Arieh Warshel, *PNAS*, 2012, 109, 14876. © 2012 National Academy of Sciences.

La necesidad de controlar el movimiento en los sistemas moleculares

La mayor parte de los sistemas biológicos conocidos siguen una "vía", a la manera de un

tren. Ejemplos representativos son la miosina utiliza los filamentos de actina como vía, y las kinesinas los microtúbulos. La presencia de estas vías por donde circulan reducen los grados de libertad de la proteína, de manera

que su movimiento no tiene que ser controlado en las tres dimensiones, sino sólo en una, lo que facilita enormemente el funcionamiento de estas máquinas biológicas. De igual forma, las máquinas moleculares artificiales de diseño deberán incluir algún tipo de restricción de los grados de libertad con que sus componentes pueden moverse entre sí. Esto facilita el proceso de síntesis ya que se parte de un punto de referencia respecto al cual definir el movimiento.

El perfil energético de rotación alrededor de un enlace C-C sencillo presenta tres mínimos, derivados directamente de la geometría tetraédrica del carbono saturado. En la práctica, la barrera energética de rotación alrededor de un enlace sencillo C-C es lo suficientemente baja ($\sim 3 \text{ kcal mol}^{-1}$) como para que éste sea considerado un proceso libre

a temperatura ambiente. Por lo tanto, si queremos ejercer algún tipo de control sobre la rotación debemos incrementar esa barrera. Tradicionalmente, esto se ha conseguido aumentando la demanda estérica de los grupos funcionales próximos al enlace cuya rotación queremos controlar (o mejor, restringir).

Este primer ejemplo fue seguido por otros muchos de diseño más sofisticado, pero conceptualmente muy parecidos, en los que no nos vamos a detener, como los famosos "engranajes moleculares" investigados independientemente por Mislow e Iwamura, o los "tornos moleculares" de Bedard y Moore.

Quizá más interesante sea la "rueda de trinquete molecular", diseñada por Kelly en un intento de obtener movimiento unidireccional (Figura 2).

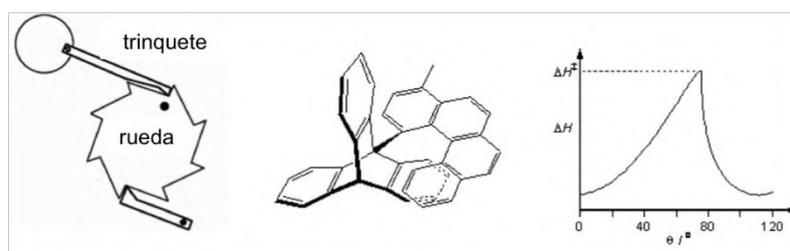


Figura 2. Estructura de una rueda de trinquete macroscópica, estructura molecular y perfil energético de giro de la rueda de trinquete molecular diseñada y sintetizada por Kelly y colaboradores.

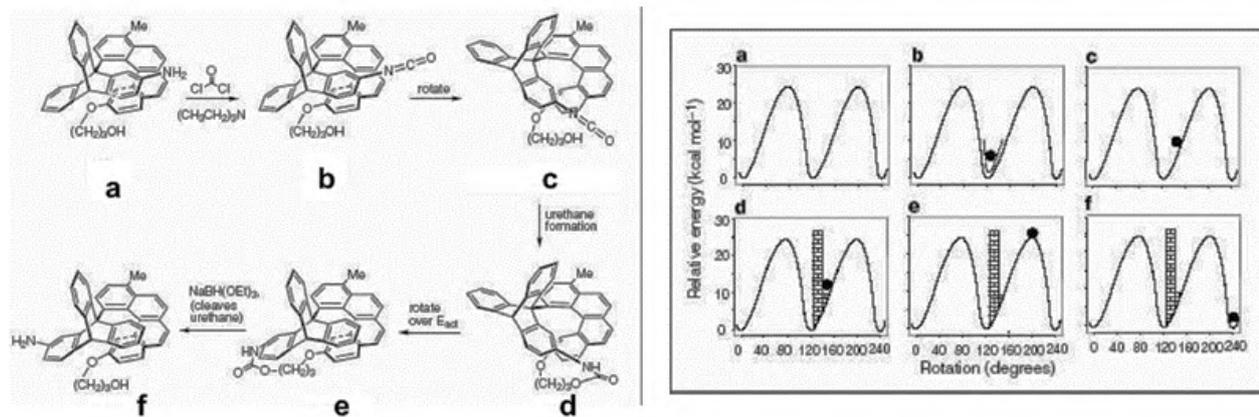
Las características estructurales de la rueda de trinquete molecular son idénticas a las de una rueda de trinquete macroscópica; la quiralidad del fragmento de heliceno, que actúa de trinquete, genera un perfil energético asimétrico para la rotación de la rueda de tripticeno, como vemos en la figura 2, que podría hacer creer que la rotación en una dirección está favorecida. Sin embargo, experimentos de RMN demostraron que la rotación en ambas direcciones tiene lugar con la misma frecuencia. En palabras de los autores *"In contrast to mountain climbing, [in the molecular-level world] it is only the height of the summit, not the steepness of the terrain that matters"* (Al contrario que en la escalada,

en el mundo molecular sólo importa la altura de la cima, y no la pendiente del terreno). De hecho, este resultado ya había sido predicho de manera teórica por Feynman más de 30 años antes. Desde el punto de vista de la termodinámica más elemental, el número de moléculas que se hallan en un estado energético concreto depende exclusivamente de sus funciones de estado y no del camino que hayan seguido para llegar a él.

En una extensión de este trabajo, Kelly marcó un hito en la breve historia de la maquinaria molecular, consiguiendo por primera vez movimiento submolecular unidireccional. Para ello, Kelly introdujo una reacción química en su diseño original, en este

caso la formación y ruptura de un uretano, como fuente de energía para evitar entrar en

conflicto con la Segunda Ley (esquema 1).



Esquema 1. Estructura química y operación del rotor de 120° descrito por Kelly y colaboradores. A la derecha se muestran los correspondientes perfiles energéticos.

Si ignoramos el grupo amino, las tres posiciones posibles del heliceno con respecto al tripticeno son idénticas, con lo que el diagrama de energía para una rotación de 360° presentaría tres mínimos, separados por barreras iguales y lo suficientemente grandes como para impedir la rotación rápida a temperatura ambiente (~ 25 kcal mol⁻¹). La reacción de **a** con fosgeno genera el isocianato **b**. Con el isocianato formado, la oscilación aleatoria del heliceno dentro de su "pozo" termodinámico acerca el alcohol al isocianato lo suficiente como para que reaccionen y formen el uretano **d**, atrapando el sistema en una posición termodinámicamente desfavorable respecto a la rotación. Así pues, la rotación en un sentido para formar **e** se convierte en un proceso exoérgico, mientras que en el otro sentido sería imposible sin provocar la ruptura del uretano. Por último, la hidrólisis nos devuelve el sistema inicial, pero girado 120°, **f**.

Aproximación química a las máquinas moleculares

El desarrollo de las máquinas moleculares desde el punto de vista de la metodología química se basa en dos conceptos fundamentales, por un lado la topología de las

máquinas y las interacciones de sus componentes y, por otro lado, la formación de los denominados enlaces mecánicos, los cuales generan ensamblajes moleculares con partes móviles interconectadas entre sí. En estos ensamblajes, las partes individuales no están directamente conectadas y se mantienen unidas mediante enlaces covalentes, tal y como sucede, por ejemplo entre los eslabones de una cadena.

El concepto de que dos entidades moleculares podían mantenerse juntas mediante enlaces mecánicos ya fue propuesta en los años cincuenta del pasado siglo, en la descripción de dos anillos entrelazados de oligosiloxano y ciclodextrina. Sin embargo, no fue hasta la década siguiente cuando estas estructuras pudieron, finalmente, ser sintetizadas y aisladas.

Las primeras síntesis descritas en la literatura, relacionadas con la formación de ensamblajes moleculares mediante enlaces mecánicos supusieron un auténtico reto sintético con resultados de productos entrelazados con rendimientos estadísticos muy bajos y, por tanto, de escasa utilidad práctica, ver Figura 3.

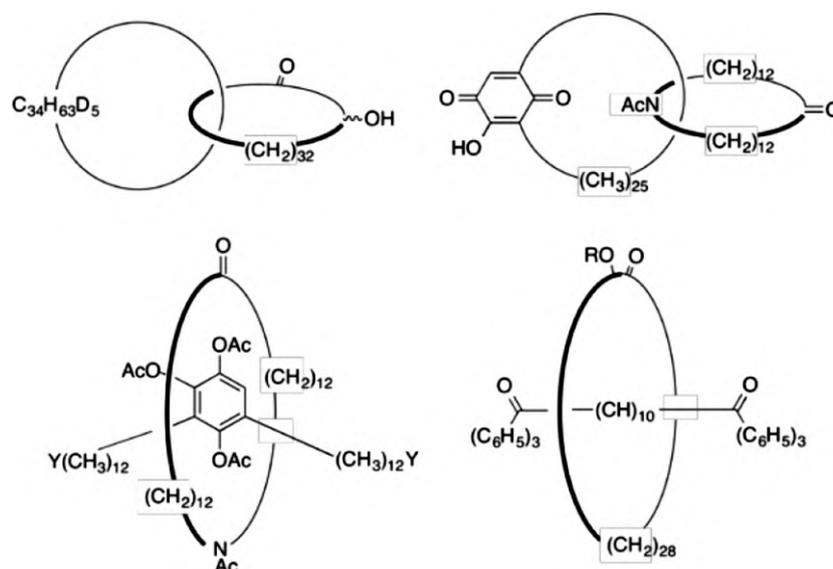


Figura 3. Primeras estructuras obtenidas basadas en la presencia de un enlace mecánico: catenanos (arriba) y rotaxanos (abajo).

El mérito, sin embargo, de estas estructuras reside en la propia propuesta de su existencia (Figura 3). Es en este escenario cuando el trabajo de los recientes premios Nobel marca la diferencia y permite el despegue de este nuevo campo de investigación.

Restricción del movimiento mediante enlace mecánico. Satélites moleculares.

Un catenano (del latín *catena*: cadena) es una especie química en la que dos o más macrociclos están entrelazados. En los

rotaxanos (del latín *rota*: rueda, y *axis*: eje) un macrociclo se encuentra atrapado cinéticamente a una parte lineal o "hebra" mediante dos grupos lo suficientemente voluminosos (Figura 4). A pesar de que sus constituyentes no están unidos covalentemente, tanto catenanos como rotaxanos son especies moleculares y no complejos supramoleculares, como a menudo aparecen descritos en la bibliografía, ya que es necesario romper enlaces covalentes para separar sus componentes submoleculares.

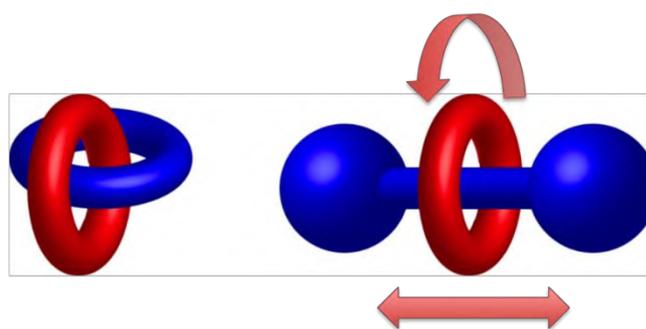


Figura 4. Representación esquemática de un [2]catenano y un [2]rotaxano; los números entre corchetes indican el número de componentes submoleculares. Las flechas indican los dos tipos de movimiento submolecular de gran amplitud: circunrotación ("pirouetting", flechas curvadas) y traslación ("shuttling", flecha doble).

El enlace mecánico mantiene los subcomponentes unidos cinéticamente y sirve de restricción de sus grados de libertad de movimiento, pero permite movimientos de

gran amplitud a lo largo de determinados vectores, lo que convierte a este tipo de estructuras en candidatos idóneos para la construcción de maquinaria molecular. En la

Figura 4 se muestran los dos tipos de movimiento submolecular de gran amplitud de estas especies químicas: 1) circunrotación ("pirouetting"), en la que un macrociclo se mueve *alrededor* de otro en un catenano, o de la hebra en un rotaxano, y 2) traslación ("shuttling") en el que el macrociclo de un rotaxano se desplaza a lo *largo* de la hebra. Aquí hablaremos sólo del control de la traslación en rotaxanos y de cómo utilizarlo

para construir máquinas moleculares. Los requisitos mínimos para obtener traslación controlada en un satélite molecular (rotaxanos en los que el macrociclo puede ser trasladado a voluntad entre distintas partes a lo largo de la hebra) de dos estaciones (partes de la hebra capaces de establecer una interacción positiva con el macrociclo) se indican esquemáticamente en la Figura 5.

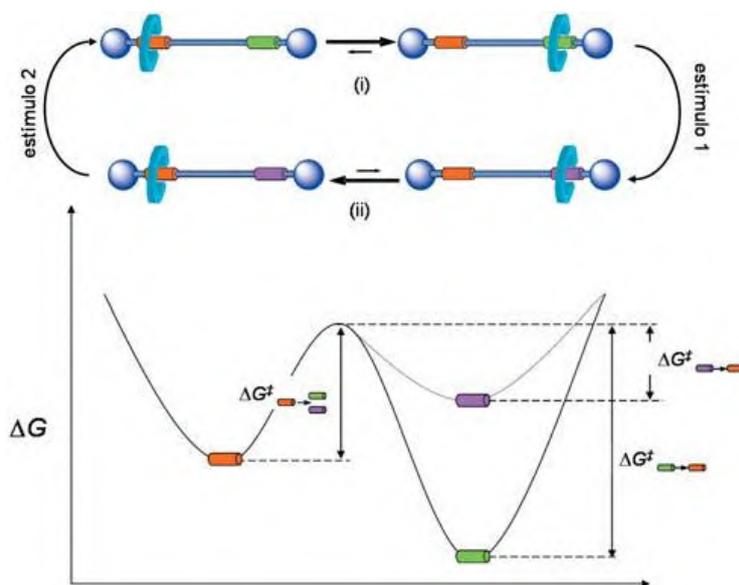


Figura 5. Perfiles energéticos ideales de un satélite molecular.

En primer lugar, se necesita una estación cuya afinidad por el macrociclo pueda ser modificada entre un estado de alta afinidad (verde) y uno de baja afinidad (morado) en respuesta a un estímulo externo. Además, debe existir una estación de afinidad intermedia entre los dos estados de la estación modulable (naranja).

En ausencia de barreras cinéticas significativas, el macrociclo poblará las estaciones disponibles de acuerdo con la diferencia de afinidades, siguiendo una distribución de Boltzmann. Así, en el primer estado (i) el macrociclo pasa la mayor parte del tiempo sobre la estación verde, de mayor afinidad que la naranja. Al aplicar el estímulo 1, se transforma la estación verde en la morada. En este nuevo estado (ii) la estación de mayor afinidad es la no modulable

(naranja), con lo que el macrociclo la poblará preferentemente.

En el caso ideal, el sistema debe ser reversible mediante la aplicación del estímulo 2. La Figura 5 también explica cómo se produce el flujo de macrociclos de una estación a la otra. En el estado (i) la energía de activación de traslación de la estación verde a la naranja es mayor que la del proceso inverso, de manera que el macrociclo se desplaza más "despacio" en esa dirección, con lo que permanece sobre la estación verde la mayor parte del tiempo. Al aplicar el estímulo 1 la diferencia de energías de activación se invierte, de manera que es más "barato" para el macrociclo trasladarse de la estación morada a la naranja que al revés y se produce un flujo neto de macrociclos hacia la estación naranja, hasta alcanzar el equilibrio co-conformacional.

Es decir, el estímulo externo no provoca directamente el movimiento del macrociclo, sino que al desestabilizar la estación verde (estímulo 1) y/o incrementar la afinidad de la estación menos poblada (estímulo 2) saca al sistema del equilibrio co-conformacional. La relajación hacia el nuevo mínimo de energía ocurre mediante movimiento Browniano condicionado.

El primer ejemplo de satélite molecular modulable de este tipo fue descrito por Stoddart en 1994 (Figura 6). Tanto la bencidina (verde) como el bifénol (naranja) pueden establecer interacciones de transferencia de carga con el macrociclo. En el estado inicial, el ciclofano prefiere asociarse a

la bencidina, mientras que al protonar la bencidina, las repulsiones electrostáticas entre el macrociclo y la estación protonada hacen que éste se desplace para encapsular al bifénol. El tratamiento de la especie protonada con una base (piridina) restablece el sistema inicial.

En la actualidad, se conocen satélites moleculares que responden a cambios de pH, electroquímica, naturaleza del medio, fotoquímica, temperatura (traslación debida a la entropía) y formación reversible de enlaces covalentes. Digamos que la obtención de movimiento submolecular controlado en este tipo de sistemas puede considerarse un objetivo cumplido. Nos encontramos de nuevo ante el desafío de hacer algo útil con él.

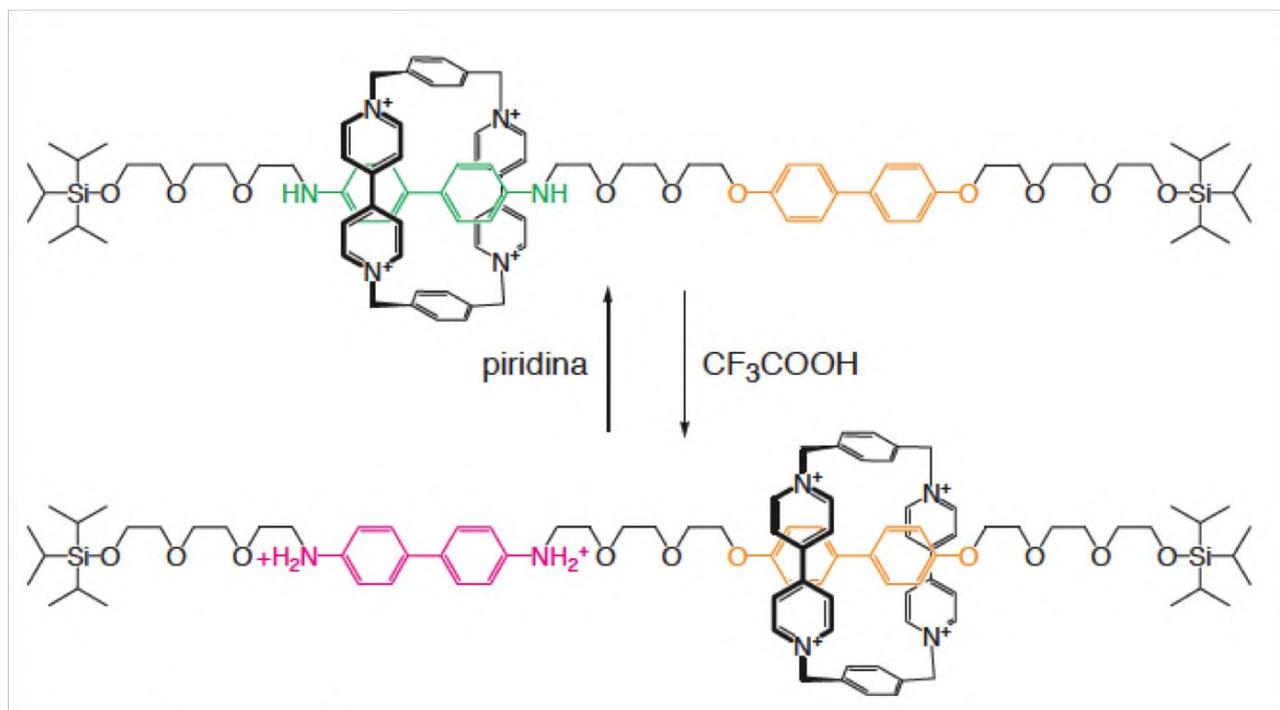


Figura 6. El primer satélite molecular, descrito por J. F. Stoddart.

Contribuciones de los Premios Nobel

Jean-Pierre Sauvage

Nació el 21 de octubre de 1944 en París, Francia. Obtuvo su doctorado por la Universidad Louis Pasteur bajo la supervisión de Jean-Marie Lehn (Premio Nobel de Química en 1987). Durante su trabajo de doctorado, contribuyó a la primera síntesis de

criptandos como ligandos. Tras realizar su estancia post-doctoral con Malcolm Green, regresó a Estrasburgo. Especialista en química supramolecular, desarrolla su labor en la Universidad de Estrasburgo. Ha trabajado en áreas como la reducción electroquímica de CO_2 . Sus investigaciones más importantes se han centrado en la topología molecular,

específicamente en las arquitecturas moleculares mecánicamente entrelazadas.

El pasado 5 de octubre de 2016, fue galardonado con el Premio Nobel de Química 2016 junto con James Fraser Stoddart, de la Universidad de Northwestern (EEUU) y a Bernard L. Feringa, de la Universidad de Gröningen (Holanda) por el "diseño y la síntesis de máquinas moleculares". Los investigadores desarrollaron moléculas con movimientos controlables, que pueden llevar a cabo tareas cuando se les proporciona energía. Su trabajo, según el comunicado de la Academia sueca, "demuestra cómo la miniaturización de la tecnología puede conducir a una revolución".



Jean-Pierre Sauvage (Paris, 1944)

Sauvage y su equipo lograron, en 1983, lo que supuso el punto de partida de un nuevo campo de investigación: las cadenas moleculares. La estrategia sintética que se utilizó para la construcción de estas estructuras en forma de cadena fue un ión de cobre. Éste se une a un anillo y atrae a su vez a otra molécula en forma de media luna. Una vez unida esa estructura, otra molécula en forma de media luna se une a la otra mitad cerrando

el anillo dentro de la otra molécula circular, de manera que quedan entrelazados como los eslabones de una cadena. Después el ion de cobre es eliminado y los eslabones quedan unidos de forma mecánica, no química, moviéndose con libertad, pero sin separarse un anillo de otro. Es lo que en el campo de la química se ha llamado *catenano*. Profesor emérito de la Universidad de Estrasburgo, fue elegido *correspondent* de la Academia de Ciencias de Francia el 26 de marzo de 1990, y miembro el 24 de noviembre de 1997. Director de investigaciones en el CNRS. En 2014, la Fundación de la Chimie Maison le otorgó su Gran Premio calificándolo como uno de los más creativos y más eminentes químicos franceses".

Aportaciones a las máquinas moleculares

Como se ha visto anteriormente, la gran aportación de Sauvage se produjo en 1983 cuando se introduce por vez primera el concepto de síntesis mediante el uso de una plantilla como un método directo y eficaz para la obtención de catenanos y rotaxanos (Figura 7).

Utilizando cobre como metal de coordinación, el entrelazado de las cadenas pudo conseguirse fácilmente y con rendimientos elevados. Esta estrategia sintética se basaba en estudios previos del mismo grupo en los que utilizaron unidades de fenantrolina para coordinarse con el Cu(I), forzando un tamaño y ángulo diedro adecuados entre los componentes para su cierre posterior.

El ensamblaje de los dos componentes en presencia de cobre (I) dio lugar a la nueva molécula donde el enhebrado del fragmento en forma de media luna estaba favorecido. La posterior eliminación del cobre condujo, así, al [2]catenano de forma muy eficaz.

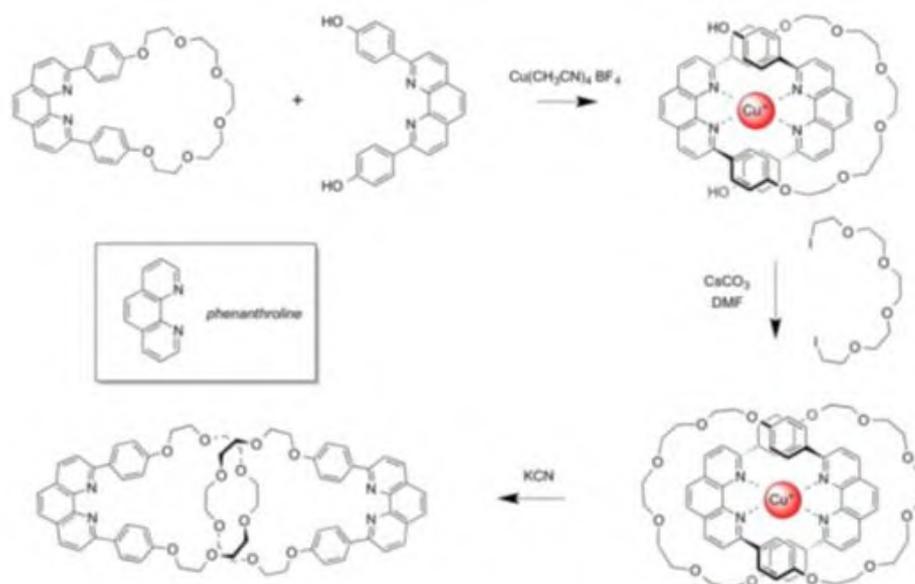


Figura 7. Síntesis de [2]catenano mediante un metal de coordinación, Cu(I), como plantilla

Este descubrimiento seminal supuso un enorme impulso para la preparación de estos compuestos que, finalmente, condujeron a las máquinas moleculares artificiales con topologías muy variadas.

Así, en el grupo de Sauvage y colaboradores se han obtenido numerosas moléculas con topologías sorprendentes como las mostradas en la Figura 8.

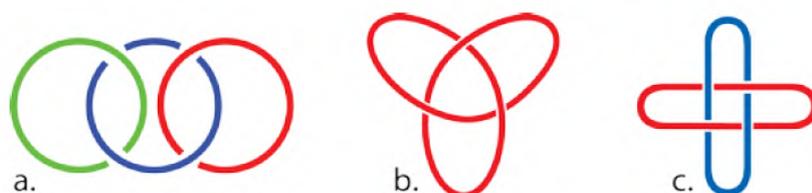


Figura 8. Estructuras moleculares de nueva topología: (a) [3]catenano; (b) nudo triple; (c) Lazo Salomón.

Sir J. Fraser Stoddart

Nació el 24 de mayo de 1942 en **Edimburgo**, Escocia. Criado en una granja sin energía eléctrica, ingresó de niño en una escuela del pueblo de Carrington, Midlothian, antes de entrar en el Melville College. Obtuvo su doctorado por la Universidad de Edimburgo en 1966. Un año después realizó su estancia post-doctoral en la Universidad de Queen (Canadá) como becario postdoctoral del Consejo de Investigación Nacional de Canadá, y en 1970, en la Universidad de Sheffield como becario de investigación de Imperial Chemical Industries (ICI), antes de ejercer como profesor de Química.

Tras una estancia en la Universidad de California, Los Ángeles (UCLA) en 1978 trabajó en el Laboratorio de ICI en Runcorn (1978-81), regresando a Sheffield en 1982. En 1980 se traslada a Edimburgo y en 1990, ocupa la cátedra de Química Orgánica en la Universidad de Birmingham, siendo director de su Escuela de Química (1993-97), volviendo a UCLA como profesor Saul Winstein de química en 1997.

Codirector interino desde 2002 del Instituto de Nanosistemas de California (CNSI), en 2003 obtiene la cátedra Fred Kavli de Ciencia de Nanosistemas, siendo desde 2007 director del CNSI. Fue nombrado Knight Bachelor en diciembre de 2006, por la Reina Isabel II.



Sir J. Fraser Stoddart (Escocia, 1942)

Su trabajo, según el comunicado de la Academia sueca, "demuestra cómo la miniaturización de la tecnología puede conducir a una revolución". Fraser Stoddart, ideó por primera vez un modelo para unir catenanos capaces de moverse uno sobre otro a un eje. Se trataba del primer motor molecular diseñado por el hombre: el llamado rotaxano. A estas máquinas les falta un elemento clave para su funcionamiento: la energía. Stoddart y su equipo consiguieron controlar a su antojo el movimiento provocado por una fuente de calor sobre el rotaxano. Posteriormente llegaron los ascensores moleculares, los chips o los músculos artificiales.

Aportaciones a las máquinas moleculares

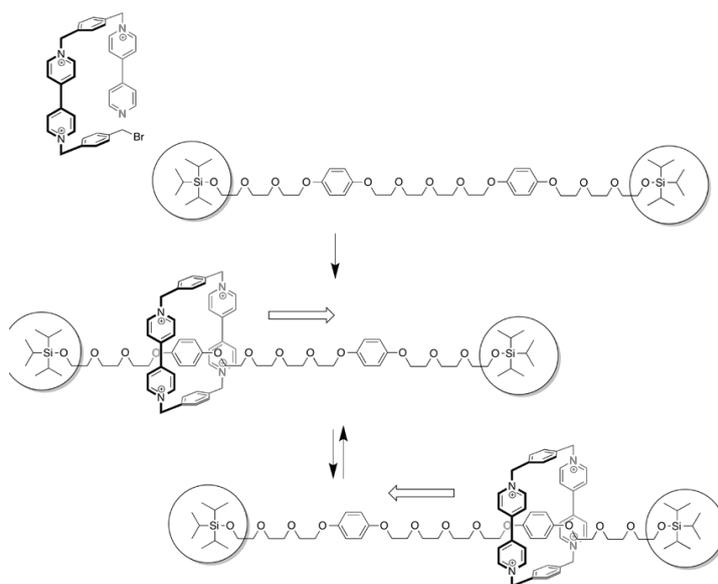


Figura 9. Síntesis y movimiento traslacional en un [2]rotaxano.

Las máquinas moleculares experimentaron otro tremendo impulso en 1991 cuando el grupo de Stoddart, entonces en la universidad de Sheffield, publicó una clara demostración de isomería traslacional. Este grupo, ya estaba trabajando desde la década anterior en una metodología sintética alternativa para la obtención de moléculas entrelazadas mecánicamente utilizando la interacción entre subunidades estructurales ricas y pobres en electrones. Estos estudios llevaron al desarrollo de la estructura de un ciclofano paraquat que podía cerrarse en torno a un eje conteniendo dos unidades de hidroquinol separadas por un espaciador. Como, además, el eje central soporta dos grupos voluminosos en las posiciones terminales, el resultado es un [2]rotaxano que se obtiene con buen rendimiento (Figura 9). El rotaxano ciclofano resultante actúa como una lanzadera molecular, capaz de moverse entre las dos estaciones de hidroquinol situadas en el eje central.

Este trabajo, junto con los anteriores de Sauvage de formación de catenanos marcan el inicio del uso del concepto de entrelazamiento topológico en el futuro desarrollo de las máquinas moleculares.

Es importante destacar que en el año 1994 ambos grupos pudieron demostrar el movimiento traslacional y rotacional controlado externamente en moléculas entrelazadas mecánicamente mediante la introducción adecuada de asimetrías en la estructura molecular (Figura 10).

El grupo de Stoddart introdujo dos unidades dadoras de electrones diferentes en el eje del rotaxano, bencidina y difenol, y pudo demostrar que un anillo de ciclofano bis-

paraquat podía desplazarse entre las dos estaciones mediante ciclos de oxidación y reducción electroquímica o cambios de pH como aporte de energía. El grupo de Sauvage diseñó una estructura de catenano con dos centros diferentes de coordinación en uno de los anillos, fenantrolina y terpiridina, dejando una sola unidad de fenantrolina en el otro anillo. Así, pudo observarse la rotación mediante ciclos de oxidación y reducción del ion cobre central.

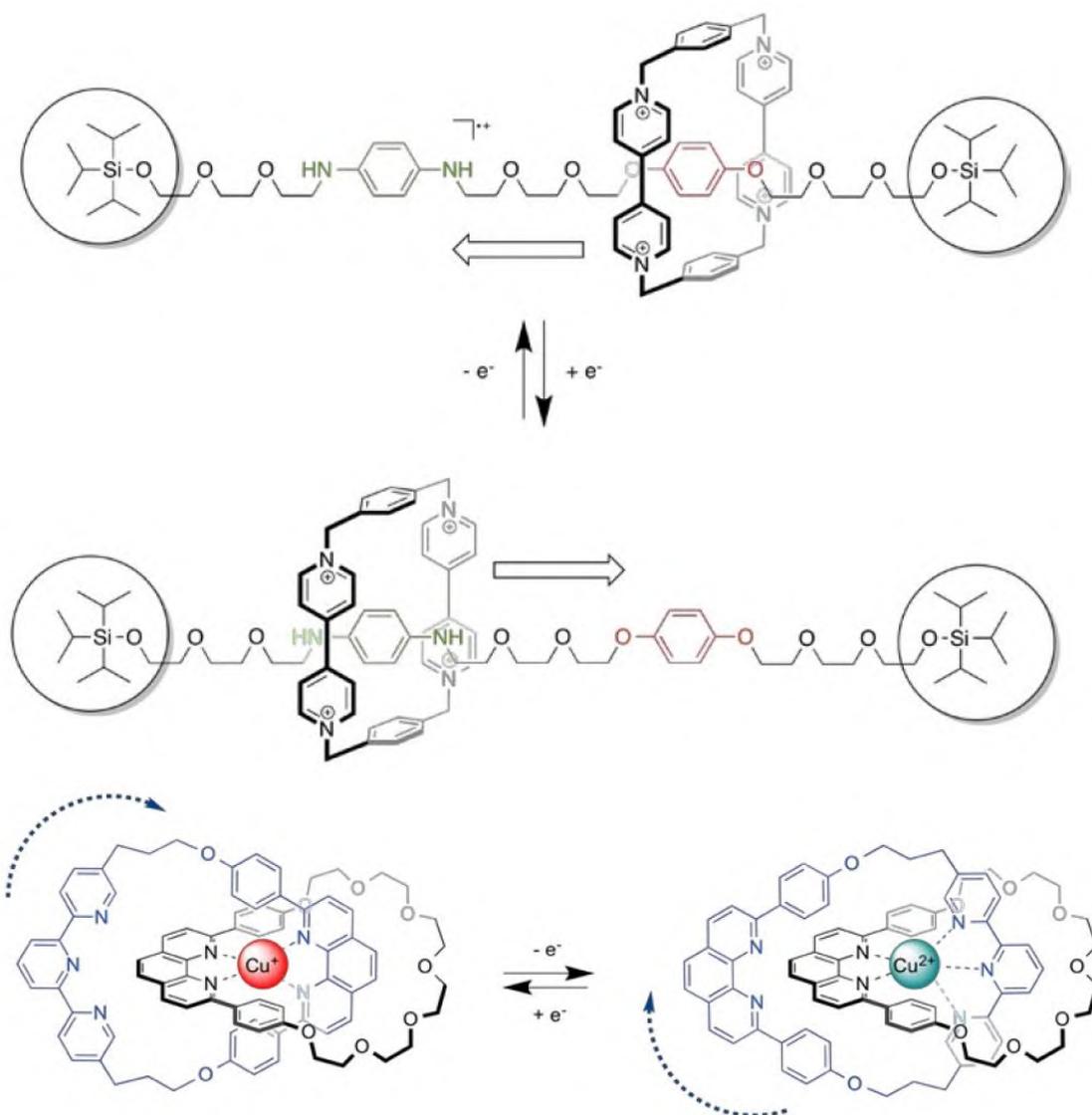


Figura 10. Movimiento controlable electroquímicamente en [2]rotaxanos (arriba) y [2]catenanos (abajo).

En los años siguientes a estos descubrimientos seminales, un elevado número de diferentes estructuras han sido sintetizadas. Un ejemplo destacado se produjo en 1996 con la síntesis y control

electroquímico de una estructura de pseudorotaxano con movimiento traslacional controlable en el grupo de Sauvage, y con rotación controlada en catenanos en un trabajo de colaboración con el grupo de Stoddart.

En ese mismo año, Stoddart demostró el enhebrado/desenhebrado en un pseudorotaxano de forma controlada. Por otro lado, Sauvage en 1997 demostró la rotación controlada por métodos electroquímicos o fotoquímicos en catenanos y, posteriormente, en 2004 mediante control térmico.

Desde finales de los noventa, numerosos grupos se han unido a estos estudios iniciales, extendiéndose su aplicación a otros sistemas

tales como músculos artificiales, lo que implica el control de la contracción/extensión de la molécula, imitando a los seres vivos. Como ejemplo, Sauvage sintetizó en el año 2000 una molécula con estas propiedades topológicas integrando dos rotaxanos entrelazados. Se pudo conseguir un elevado control del movimiento de hasta 2 nm en función del estímulo (Figura 11).

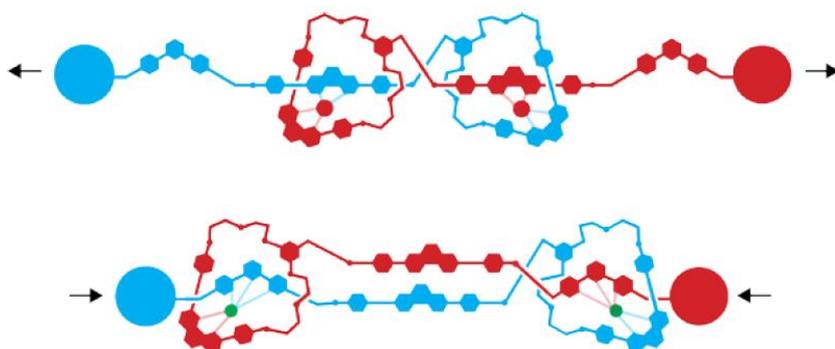


Figura 11. Extensión y contracción en una doble estructura de rotaxano.

De modo análogo, Stoddart desarrolló un dispositivo denominado “ascensor molecular” en 2004, en el que el movimiento se controlaba moviendo un plano entre dos pisos separados una distancia de 0,7 nm (Figura 12). La fuerza ejercida fue también determinada en

este caso, alcanzando un valor de 200 pN.

Igualmente diseñó dispositivos actuando como músculos artificiales que, anclados sobre una superficie de oro pudieron moverse hasta 2,8 nm en el movimiento de contracción/extensión.

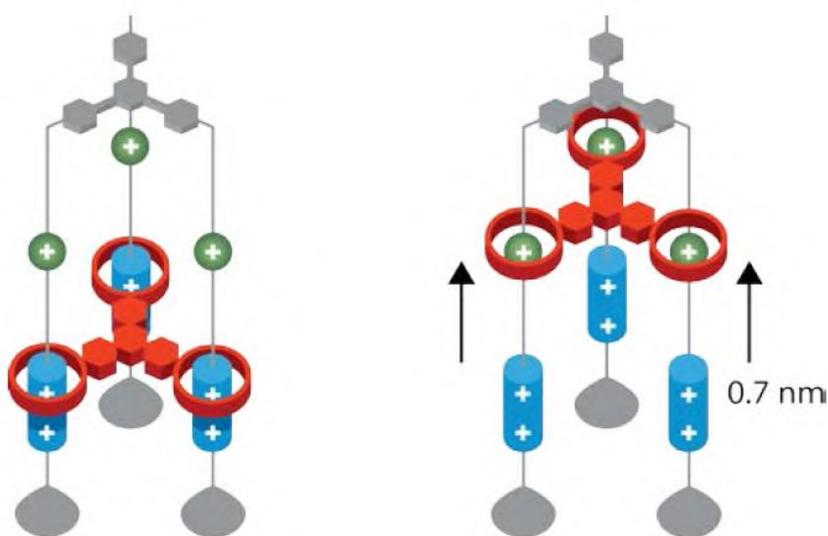


Figura 12. Ascensor molecular basado en una estructura de rotaxano.

Junto con otros colegas, el grupo de Stoddart ha perseguido el Desarrollo de

dispositivos electrónicos a escala molecular basados en rotaxanos y catenanos con la

intención última de fabricar puertas lógicas y memorias. El resultado condujo a un dispositivo de basado en una estructura de rotaxano con función memoria en 2007.

El dispositivo permitió obtener 160 kbit de memoria, estando formado por unos pocos cientos de rotaxanos/bit y una densidad ca. 100 Gbit/cm². Entre otros dispositivos más recientes realizados por Stoddart se puede indicar uno operado por luz para un motor molecular lineal en 2006.

Bernard L. Feringa

Nació el 18 de mayo de 1951 en Barger-Compascuum, Holanda. Realizó su doctorado en la Universidad de Groningen, bajo la supervisión del profesor Hans Wijnberg, universidad donde se graduó en 1978. Tras un breve periodo en la Shell en los Países Bajos y el Reino Unido, fue profesor de la Universidad de Groningen en 1984 y catedrático, sucediendo al Prof Wijnberg en 1988.



Bernard L. Feringa (Holanda)

Su interés científico se ha centrado en la catálisis homogénea y la catálisis en procesos de oxidación, especialmente en los aspectos estereoquímicos con importantes contribuciones en el campo de la catálisis enantioselectiva, la preparación de ligandos para la hidrogenación asimétrica, reacciones

de adiciones conjugadas asimétricas de reactivos organometálicos, así como en el estudio de reactivos de organolitio, fotoquímica orgánica y estereoquímica. En la década de 1990, su trabajo en estereoquímica produjo grandes contribuciones en el campo de la fotoquímica orgánica, como la primera luz unidireccional accionada por un motor rotatorio molecular y más tarde un vehículo molecular (el llamado nanocar) movido por impulsos eléctricos.

El 5 de octubre de 2016, fue galardonado con el Premio Nobel de Química 2016 junto con Jean-Pierre Sauvage, de la Universidad de Estrasburgo y a James Fraser Stoddart, de la Universidad de Northwestern (EEUU) por el "diseño y la síntesis de máquinas moleculares". Los investigadores desarrollaron moléculas con movimientos controlables, que pueden llevar a cabo tareas cuando se les proporciona energía. Su trabajo, según el comunicado de la Academia sueca, "demuestra cómo la miniaturización de la tecnología puede conducir a una revolución".

Puede afirmarse que mientras Sauvage y Stoddart pusieron las bases para la construcción de máquinas moleculares con el diseño y síntesis de los elementos esenciales, fue el tercer galardonado, Ben Feringa, quien logró construir en 1999 el primer motor molecular abriéndose, así, una nueva dimensión en el mundo molecular.

Aportaciones a las máquinas moleculares

El grupo de Ben Feringa ha descrito un rotor unidireccional reversible basado también en un mecanismo químico. Los dobles enlaces C-C tienen una barrera energética de rotación mucho más alta (25–65 kcal mol⁻¹), lo que, en general, confiere estabilidad cinética a sus dos posibles isómeros, *cis* y *trans*. Esta estabilidad, junto con la posibilidad de convertir los isómeros entre sí fotoquímicamente, se ha utilizado en la construcción de un gran número de rotores moleculares, e incluso de algún

motor unidireccional. Los sistemas de alquenos impedidos desarrollados por Feringa en Groningen desde 1977 representan quizá la contribución más abundante y sin duda la más significativa a esta área.

En 1999, simultáneamente con el rotor de Kelly, Feringa combinó las fotoisomerizaciones *cis-trans* de una olefina

impedida e interconversiones térmicas de helicidad para construir el primer rotor molecular capaz de realizar giros completos de 360° de forma unidireccional y repetitiva.

Feringa ha continuado desarrollando este tipo de rotor unidireccional, obteniendo rotores más rápidos mediante modificación estructural.

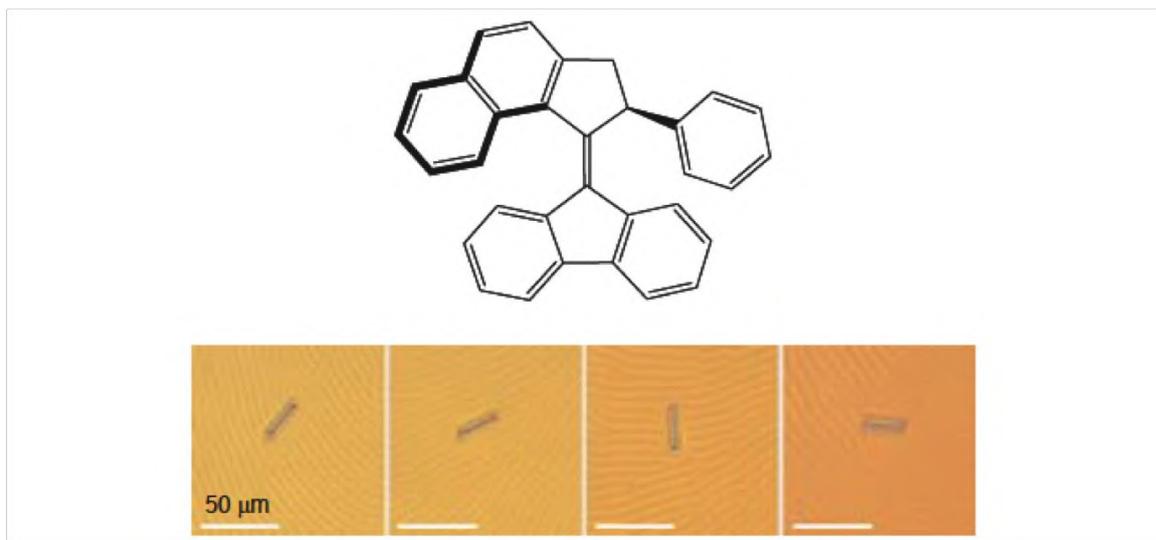


Figura 13. Estructura del motor molecular descrito por Feringa, y fotografías de la varilla de vidrio (tomadas a intervalos de 15 s) rotando al irradiar la superficie del cristal líquido con luz ultravioleta.

En el motor molecular de la figura 13 el movimiento submolecular unidireccional es utilizado para realizar una tarea útil, en este caso trabajo mecánico. El motor tiene la propiedad de inducir la organización helicoidal de una película de cristal líquido, produciendo una textura alineada como la que se ve en el fondo de las fotografías (figura 13). Al irradiar con luz ultravioleta ($\lambda = 365$ nm) una película de cristal líquido dopado con el compuesto mostrado en la figura (1 % en peso), la rotación unidireccional del motor molecular provoca el cambio de orientación de la textura del cristal líquido, lo que a su vez causa el giro de la varilla de vidrio. De esta manera, el motor molecular es capaz de utilizar la energía de la luz para, de forma colectiva, hacer girar un objeto unas 10.000 veces mayor que él.

Este ingenioso diseño representa un paso enorme en el desarrollo de las máquinas moleculares. La razón última es que, con este trabajo, no solo se trata el tema fundamental de producir un cambio a nivel molecular mediante la luz, sino que se aporta una solución al reto del movimiento unidireccional. Desde entonces, el grupo de Feringa ha desarrollado un elevado número de motores moleculares en los que la frecuencia de rotación ha sido incrementada de modo espectacular. Así, en 2014 en un motor optimizado pudo alcanzar una frecuencia de rotación superior a 12 MHz.

Cuando este motor se construye sobre una superficie de oro, anclando la parte fija del dispositivo al metal, se consigue un motor con una función de tipo hélice (Figura 14).

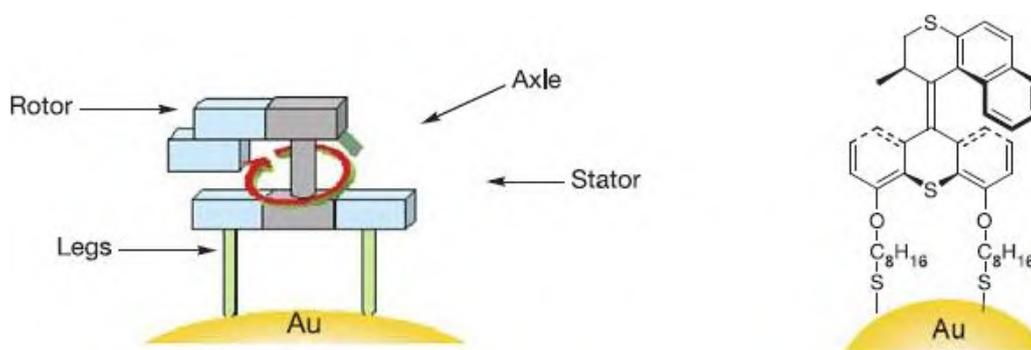


Figura 14. Motor molecular anclado a una superficie de oro

Finalmente, y a modo de último ejemplo, queremos destacar como el grupo de Feringa fue capaz de dar respuesta a la propuesta futurista de Feynman de construir un vehículo de tamaño diminuto en la escala nanométrica. Así, el grupo de Feringa pudo demostrar el movimiento de una molécula a modo de chasis de un vehículo con cuatro motores moleculares como componentes de forma que este vehículo es capaz de moverse propulsado por la luz sobre una superficie (Figura 15).

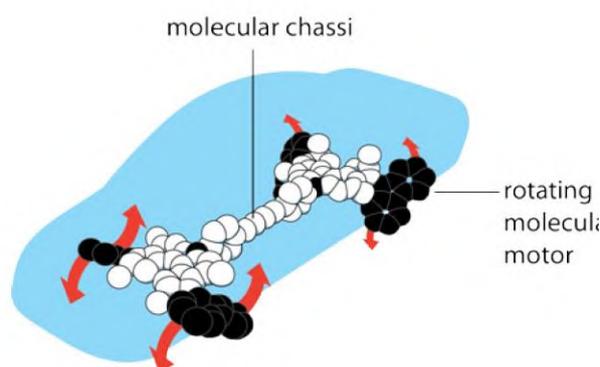


Figura 15. Nanovehículo de Feringa propulsado por cuatro motores moleculares actuando a modo de ruedas.

Conclusiones y perspectivas

"What would be the utility of such machines? Who knows? I cannot see exactly what should happen, but I can hardly doubt that when we have some control of the arrangement of things on a molecular scale we will get an enormously greater range of possible properties that substances can have, and of the different things we can do." Son parte de las palabras de Richard Feynman en

su célebre presentación en la American Physical Society en 1959.

Cuando aún no se han cumplido seis décadas de estas afirmaciones futuristas, el avance experimentado por las denominadas máquinas moleculares es sencillamente espectacular. Hoy ya se tiene un cierto control sobre la transformación de diferentes formas de energía en movimiento habiéndose desarrollado diferentes tipos de máquinas moleculares, incluyendo el denominado "nanocar" de Feringa. Es evidente que estos logros han llevado a una nueva dimensión del concepto de molécula. Sin embargo, si consideramos el alto grado de control que los químicos sintéticos tienen actualmente para producir moléculas de diseño a voluntad mediante los métodos, muy poderosos, de la síntesis moderna y de la determinación estructural mediante las técnicas analíticas, espectroscópicas y de microscopía, resulta evidente que estamos contemplando solo la punta del iceberg.

Sin embargo, aún queda mucho por hacer antes de que las máquinas moleculares artificiales puedan ser consideradas verdaderamente útiles. En particular, es preciso continuar trasladando las extraordinarias propiedades que ya han mostrado en disolución —donde están condenadas a ser curiosidades de laboratorio— a medios como el estado sólido, superficies o interfaces líquido-líquido, mucho más conciliables con posibles aplicaciones

tecnológicas. Por otro lado, la Naturaleza sigue siendo una inagotable fuente de inspiración, que también puede ayudar en el diseño y optimización de nuevas máquinas moleculares. En este sentido, es evidente que las nanomáquinas sintéticas están más próximas a las encontradas en el mundo biológico que a las máquinas de nuestro mundo macroscópico, cuyas leyes físicas son diferentes.

Una vez más, es importante recordar que el avance en este nuevo escenario de la ciencia solo será posible con el concurso de “todos” los que hacen ciencia. Es evidente la necesidad de científicos de diferente formación para un campo eminentemente multidisciplinar donde la física, la química, la biología y la ingeniería se encuentran con un reto común.

La Academia sueca ha tenido la sagacidad de poder ver más allá y de premiar a unos científicos que, haciendo una ciencia que se puede calificar de fundamental, han abierto las puertas a un mundo cuyas potenciales aplicaciones pueden ser infinitas. Pocas veces la concesión de un Premio Nobel a unos científicos ha sido tan aplaudida. Esto se debe a que, además de valorar la excelencia científica, también se ha valorado la calidad humana de los laureados con amigos en todos los continentes. Desde aquí nos unimos a este aplauso y felicitamos a los laureados y, también, a la Academia sueca por su acierto.

Bibliografía recomendada

Esta bibliografía está basada en la recogida en el informe científico publicado por la Academia Sueca en donde se incluyen los trabajos seminales de los laureados junto a otros trabajos fundamentales en el área de las máquinas moleculares. Para la redacción de este artículo, hemos utilizado fragmentos de E. M. Pérez, “Máquinas Moleculares Artificiales”, *An. Quím.*, **2006**, *102*, 5-12.

(1) Balzani, V.; Credi, A.; Raymo, F.; Stoddart, J. Artificial Molecular Machines. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2000**, *39* (19), 3348–3391.

(2) Feynman, R. P. There's Plenty of Room at the Bottom (Transcript of Talk Given on December 29, 1959, at the Annual Meeting of the American Physical Society). *Caltech Eng. Sci.* **1960**, *23:5*, 22–36.

(3) Feynman, R. P.; Leighton, R. B.; Sands, M. *The Feynman Lectures on Physics*; Addison-Wesley, Reading, MA, 1966; Vol. 1, Chapter 46.

(4) Ajdari, A.; Prost, J. Drift Induced by a Spatially Periodic Potential of Low Symmetry – Pulsed Dielectrophoresis. *C. R. Acad. Sci. Paris* **1992**, *315* (13), 1635–1639.

(5) Astumian, R. D. Thermodynamics and Kinetics of a Brownian Motor. *Science* **1997**, *276* (5314), 917–922.

(6) Frisch, H.; Martin, I.; Mark, H. Zur Struktur der Polysiloxene. I. *Monatsh. Chem.* **1953**, *84* (2), 250–256.

(7) Lüttringhaus, A.; Cramer, F.; Prinzbach, H.; Henglein, F. M. Cyclisationen von Langkettigen Dithiolen. Versuche zur Darstellung sich umfassender Ringe mit Hilfe von Einschlußverbindungen. *Justus Liebigs Ann. Chem.* **1958**, *613* (1), 185–198.

(8) Wasserman, E. The Preparation of Interlocking Rings: A Catenane. *J. Am. Chem. Soc.* **1960**, *82* (16), 4433–4434.

(9) Schill, G.; Lüttringhaus, A. The Preparation of Catena Compounds by Directed Synthesis. *Angew. Chem. Int. Ed.* **1964**, *3* (8), 546–547.

(10) Schill, G. Die gezielte Synthese von Catena-Verbindungen, VIII. Umwandlung einer Triansa-Verbindung in eine Catena-Verbindung. *Chem. Ber.* **1967**, *100* (6), 2021–2037.

- (11) Vetter, W.; Schill, G. Die gezielte Synthese von Catena-Verbindungen—IX: Das Massenspektrum einer Catena-Verbindung. *Tetrahedron* **1967**, *23* (7), 3079–3093.
- (12) Harrison, I. T.; Harrison, S. Synthesis of a Stable Complex of a Macrocyclic and a Threaded Chain. *J. Am. Chem. Soc.* **1967**, *89* (22), 5723–5724.
- (13) Notizen. *Nachr. Chem.* **1967**, *15* (9), 149–150.
- (14) Schill, G.; Zollenkopf, H. Rotaxan-Verbindungen, I. *Justus Liebigs Ann. Chem.* **1969**, *721* (1), 53–74.
- (15) Dietrich-Buchecker, C. O.; Sauvage, J. P.; Kintzinger, J. P. Une nouvelle famille de molécules: Les métallo-caténanes. *Tetrahedron Lett.* **1983**, *24* (46), 5095–5098.
- (16) Dietrich-Buchecker, C. O.; Marnot, P. A.; Sauvage, J. P. *Tetrahedron Lett.* **1982**, *23*, 5291.
- (17) Sauvage, J.-P.; Weiss, J. Synthesis of Dicopper(I) [3]Catenates: Multiring Interlocked Coordinating Systems. *J. Am. Chem. Soc.* **1985**, *107*, 6108–6110.
- (18) Dietrich-Buchecker, C. O.; Sauvage, J.-P. A Synthetic Molecular Trefoil Knot. *Angew. Chem. Int. Ed.* **1989**, *28* (2), 189–192.
- (19) Nierengarten, J.-F.; Dietrich-Buchecker, C. O.; Sauvage, J.-P. Synthesis of a Doubly Interlocked [2]-Catenane. *J. Am. Chem. Soc.* **1994**, *116*, 375–376.
- (20) Cesario, M.; Dietrich-Buchecker, C.; Guilhem, J.; Pascard, C.; Sauvage, J.-P. Molecular Structure of a Catenand and Its Copper(I) Catenate: Complete Rearrangement of the Interlocked Macrocyclic Ligands by Complexation. *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* **1985**, 244–247.
- (21) Anelli, P. L.; Spencer, N.; Stoddart, J. F. A Molecular Shuttle. *J. Am. Chem. Soc.* **1991**, *113* (13), 5131–5133.
- (22) Odell, B.; Reddington, M. V.; Slawin, A. M. Z.; Spencer, N.; Stoddart, J. F.; Williams, D. J. Cyclobis(paraquat-P-Phenylene). A Tetracationic Multipurpose Receptor. *Angew. Chem. Int. Ed.* **1988**, *27* (11), 1547–1550.
- (23) Bissell, R. A.; Córdova, E.; Kaifer, A. E.; Stoddart, J. F. A Chemically and Electrochemically Switchable Molecular Shuttle. *Nature* **1994**, *369* (6476), 133–137.
- (24) Livoreil, A.; Dietrich-Buchecker, C. O.; Sauvage, J. P. Electrochemically Triggered Swinging of a [2]-Catenate. *J. Am. Chem. Soc.* **1994**, *116* (20), 9399–9400.
- (25) Collin, J. P.; Gavina, P.; Sauvage, J. P. Electrochemically Induced Molecular Motions in a Copper(I) Complex Pseudorotaxane. *Chem. Commun.* **1996**, No. 17, 2005–2006.
- (26) Amabilino, D. B.; Dietrich-Buchecker, C. O.; Livoreil, A.; Perez-Garcia, L.; Sauvage, J. P.; Stoddart, J. F. A Switchable Hybrid [2]-Catenane Based on Transition Metal Complexation and $\pi\pi$ -Electron Donor–Acceptor Interactions. *J. Am. Chem. Soc.* **1996**, *118* (16), 3905–3913.
- (27) Ballardini, R.; Balzani, V.; Credi, A.; Gandolfi, M. T.; Langford, S. J.; Menzer, S.; Prodi, L.; Stoddart, J. F.; Venturi, M.; Williams, D. J. Simple Molecular Machines: Chemically Driven Unthreading and Rethreading of a [2]pseudorotaxane. *Angew. Chem. Int. Ed.* **1996**, *35* (9), 978–981.
- (28) Livoreil, A.; Sauvage, J. P.; Armaroli, N.; Balzani, V.; Flamigni, L.; Ventura, B. Electrochemically and Photochemically Driven Ring Motions in a Disymmetrical Copper [2]-Catenate. *J. Am. Chem. Soc.* **1997**, *119* (50), 12114–12124.
- (29) Raehm, L.; Kern, J. M.; Sauvage, J. P. A Transition Metal Containing Rotaxane in Motion: Electrochemically Induced Pirouetting of the Ring on the Threaded

Dumbbell. *Chem. Eur. J.* **1999**, *5* (11), 3310–3317.

(30) Mobian, P.; Kern, J.-M.; Sauvage, J.-P. Light-Driven Machine Prototypes Based on Dissociative Excited States: Photoinduced Decoordination and Thermal Reoordination of a Ring in a Ruthenium(II)-Containing [2]Catenane. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2004**, *43*, 2392–2395.

(31) Jiménez, M. C.; Dietrich-Buchecker, C.; Sauvage, J.-P. Towards Synthetic Molecular Muscles: Contraction and Stretching of a Linear Rotaxane Dimer. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2000**, *39* (18), 3284–3287.

(32) Badjić, J. D.; Balzani, V.; Credi, A.; Silvi, S.; Stoddart, J. F. A Molecular Elevator. *Science* **2004**, *303* (5665), 1845–1849.

(33) Huang, T. J.; Brough, B.; Hoa, C.-M.; Liu, Y.; Flood, A. H.; Bonvallet, P. A.; Tseng, H.-R.; Stoddart, J. F.; Baller, M.; Magonov, S. A Nanomechanical Device Based on Linear Molecular Motors. *Appl. Phys. Lett.* **2004**, *85*, 5391–5193.

(34) Liu, Y.; Flood, A. H.; Bonvallet, P. A.; Vignon, S. A.; Northrop, B. H.; Tseng, H.-R.; Jeppesen, J. O.; Huang, T. J.; Brough, B.; Baller, M.; et al. Linear Artificial Molecular Muscles. *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, *127* (27), 9745–9759.

(35) Collier, C. P.; Wong, E. W.; Belohradský, M.; Raymo, F. M.; Stoddart, J. F.; Kuekes, P. J.; Williams, R. S.; Heath, J. R. Electronically Configurable Molecular-Based Logic Gates. *Science* **1999**, *285* (5426), 391–394.

(36) Collier, C. P.; Mattersteig, G.; Wong, E. W.; Luo, Y.; Beverly, K.; Sampaio, J.; Raymo, F. M.; Stoddart, J. F.; Heath, J. R. A [2]Catenane-Based Solid State Electronically Reconfigurable Switch. *Science* **2000**, *289* (5482), 1172–1175.

(37) Collier, C. P.; Jeppesen, J. O.; Luo, Y.; Perkins, J.; Wong, E. W.; Heath, J. R.; Stoddart, J. F. Molecular-Based Electronically Switchable Tunnel Junction Devices. *J. Am. Chem. Soc.* **2001**, *123* (50), 12632–12641.

(38) Green, J. E.; Wook Choi, J.; Boukai, A.; Bunimovich, Y.; Johnston-Halperin, E.; DeIonno, E.; Luo, Y.; Sheriff, B. A.; Xu, K.; Shik Shin, Y.; et al. A 160-Kilobit Molecular Electronic Memory Patterned at 1011 Bits Per Square Centimetre. *Nature* **2007**, *445* (7126), 414–417.

(39) Balzani, V.; Clemente-Len, M.; Credi, A.; Ferrer, B.; Venturi, M.; Flood, A. H.; Stoddart, J. F. Autonomous Artificial Nanomotor Powered by Sunlight. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2006**, *103* (5), 1178–1183.

(40) Cheng, P. R. S., C.; McGonigal. An Artificial Molecular Pump. *Nat. Nanotech* **2015**, *10*, 547–553.

(41) Browne, W. R.; Feringa, B. L. Making Molecular Machines Work. *Nat. Nanotechn.* **2006**, *1* (1), 25–35.

(42) Kay, E.; Leigh, D.; Zerbetto, F. Synthetic Molecular Motors and Mechanical Machines. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, *46* (1-2), 72–191.

(43) Blount, J. F.; Finocchiaro, P.; Gust, D.; Mislow, K. Conformational Analysis of Triarylboranes. *J. Am. Chem. Soc.* **1973**, *95* (21), 7019–7029.

(44) Iwamura, H. Stable Isomers of 1,6-Bis-(1-Cyano-1-Methylethyl)triptycenes. *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* **1973**, No. 7, 232–232.

(45) Mislow, K. Stereochemical Consequences of Correlated Rotation in Molecular Propellers. *Acc. Chem. Res.* **1976**, *9* (1), 26–33.

(46) Ōki, M. Unusually High Barriers to Rotation Involving the Tetrahedral Carbon Atom. *Angew. Chem. Int. Ed.* **1976**, *15* (2), 87–93.

- (47) Koumura, N.; Zijlstra, R. W. J.; Delden, R. A. van; Harada, N.; Feringa, B. L. Light-Driven Monodirectional Molecular Rotor. *Nature* **1999**, *401* (6749), 152–155.
- (48) Vachon, J.; Carroll, G. T.; Pollard, M. M.; Mes, E. M.; Brouwer, A. M.; Feringa, B. L. An Ultrafast Surface-Bound Photo-Active Molecular Motor. *Photochem. Photobiol. Sci* **2014**, *13*, 241–246.
- (49) Delden, R. A. van; Wiel, M. K. J. ter; Pollard, M. M.; Vicario, J.; Koumura, N.; Feringa, B. L. Unidirectional Molecular Motor on a Gold Surface. *Nature* **2005**, *437* (7063), 1337–1340.
- (50) Eelkema, R.; Pollard, M. M.; Vicario, J.; Katsonis, N.; Ramon, B. S.; Bastiaansen, C. W. M.; Broer, D. J.; Feringa, B. L. Molecular Machines: Nanomotor Rotates Microscale Objects. *Nature* **2006**, *440* (7081), 163–163.
- (51) Fletcher, S. P.; Dumur, F.; Pollard, M. M.; Feringa, B. L. A Reversible, Unidirectional Molecular Rotary Motor Driven by Chemical Energy. *Science* **2005**, *310* (5745), 80–82.
- (52) Ruangsupapichat, N.; Pollard, M. M.; Harutyunyan, S. R.; Feringa, B. L. Reversing the Direction in a Light-Driven Rotary Molecular Motor. *Nat. Chem.* **2011**, *3*, 53–60.
- (53) Shirai, Y.; Osgood, A. J.; Zhao, Y. M.; Kelly, K. F.; Tour, J. M. Directional Control in Thermally Driven Single-Molecule Nanocars. *Nano Lett.* **2005**, *5* (11), 2330–2334.
- (54) Morin, J.-F.; Shirai, Y.; Tour, J. M. En Route to a Motorized Nanocar. *Org. Lett.* **2006**, *8* (8), 1713–1716.
- (55) Kudernac, T.; Ruangsupapichat, N.; Parschau, M.; Maci. Electrically Driven Directional Motion of a Four-Wheeled Molecule on a Metal Surface. *Nature* **2011**, *479* (7372), 208–211.
- (56) Izatt, R. M. *Macrocyclic and Supramolecular Chemistry*; Wiley, 2016.
- (57) Peplow, M. The Tiniest Lego: A Tale of Nanoscale Motors, Switches and Pumps. *Nature* **2015**, *525*, 18–21.
- (58) Balzani, V.; Credi, A.; Venturi, M. *Molecular Devices and Machines: Concepts and Perspectives for the Nanoworld*; Wiley-VCH, 200.

Las proteínas dirigentes y la estereoespecificidad en la síntesis de lignina o lignanos en las plantas

Investigación
Química

Roberto de Armas Urquiza
Facultad de Biología. Universidad de La Habana
roberto@rect.uh.cu



Algo de historia

Me gradúo de Química en 1968 en la Escuela de Química de la Universidad de La Habana y me sitúan en el Departamento de Química Analítica, en el que me encontraba trabajando como Instructor no graduado en actividades docentes desde 1965.

En 1970 en el ámbito de la Zafra del '70, se creó un grupo de investigación dirigido por el Dr. Arturo Amaral Rodríguez, quien fue mi mentor en la investigación científica, por lo que al Prof. Amaral y a la Zafra del 70, le debo el haber comenzado a trabajar con la caña de azúcar, lo que he estado realizando durante prácticamente toda mi vida profesional.

Grupo de caña de la Escuela de Química

La Zafra del 70 fue un reto para la Universidad. Para averiguar que ocurría cuando se cosechaba caña quemada se creó un verdadero grupo multidisciplinario formado en aquella gran universidad por profesores y alumnos de las ciencias naturales, las ingenierías, las ciencias agrícolas, la medicina y la economía entre otras.

Yo participé en el grupo que estudió el deterioro de la caña de azúcar producto de la quema y que dirigió el Dr. Amaral, por lo cual estuve durante varios meses en diferentes centrales azucareros realizando diversas tareas. Esta etapa constituyó una verdadera escuela

pues aprendí el valor social de la profesión que había estudiado, sus amplias aplicaciones. También aprendí lo difícil de introducir un conocimiento científico y que otras profesiones reconocieran la importancia de las ciencias naturales para el desarrollo de una nueva agricultura así como el valor de la investigación en la formación de los estudiantes.

Al terminar esta tarea se decidió mantener un grupo de investigaciones que estudiara aspectos de la nutrición de la caña de azúcar a partir de determinados resultados obtenidos, lo que devino en el Laboratorio de Nutrición de la Caña que quedó adscrito a la dirección de la Escuela de Química y posteriormente, como centro de investigación, pasó a ser atendido directamente por el Decano de la Facultad de Ciencias.

El Grupo de Caña de Azúcar se transforma en Departamento de Fisiología Vegetal de la Facultad de Biología.

Con la creación del Ministerio de Educación Superior en 1976, el desgajamiento de la gran Universidad de La Habana en varias Universidades y la transformación de la estructura de Escuelas en nuevas Facultades, se decidió que el Laboratorio de Nutrición de la Caña se incorporara a la naciente Facultad de Biología que estaba integrando las Escuelas de Bioquímica Farmacéutica y de Biología, el

Jardín Botánico Nacional y el Centro de Investigaciones Marinas. Al grupo se le asigna la responsabilidad de desarrollar los estudios de Fisiología Vegetal, primero dentro del Departamento de Fisiología y Biofísica y después de manera independiente como Departamento de Fisiología Vegetal. Una característica durante muchos años del mismo fue que si bien ya no se realizaban investigaciones solamente en aspectos de la nutrición del cultivo si se mantuvo durante muchos años el trabajo solamente en caña de azúcar.

Nuevos polisacáridos del jugo de la caña de azúcar.

Uno de los estudios en que se comenzó a profundizar estuvo relacionado con la maduración de la caña de azúcar, específicamente en la búsqueda de indicadores que posibilitaran orientar el momento óptimo de corte. Era una etapa en que se estaban introduciendo máquinas cosechadoras que a diferencia del corte manual, troceaban el tallo en pequeños trozos. Varios colegas comenzaron a detectar que cuando se incrementaba el número de heridas en un tallo de caña, en condiciones asépticas, en el jugo se acumulaban determinados compuestos que fraccionados en función de sus masas moleculares fueron nombrados como carbohidratos de mediana masa molecular (CMP) y carbohidratos de alta masa molecular (PS). Estos compuestos eran producto del metabolismo de la planta como respuesta al estrés y no a contaminación microbiana, por lo que establecieron una línea de trabajo que ha prevalecido hasta nuestros días y ha posibilitado mantener la colaboración científica con el grupo del Dr. Carlos Vicente Córdoba y la Dra. María Estrella Legaz González de la Universidad Complutense de Madrid desde 1986.

No son polisacáridos, son glicoproteínas.

Profundizando acerca de los estudios con los CMP y PS se detecta la emisión de fluorescencia (Figura 1) por lo que se llega a la conclusión que no pueden ser polisacáridos. Después de diferentes estudios se reporta la presencia de glicoproteínas que se acumulan en el jugo de la caña de azúcar como respuesta al estrés tanto biótico como abiótico, pues también se detecta la acumulación de las mismas frente a la presencia de algunas enfermedades fúngicas, bacterianas o virales, y se reportan asociadas a determinados mecanismos de resistencia. Así, una temprana respuesta de la caña a la infección consiste en la liberación de glicoproteínas, moléculas definidas como macromoléculas de mediana (MMM, Mid-molecular mass glycoproteins) y alta (HMM, High-molecular mass glycoproteins) masa molecular, las cuales se corresponden con los antiguos CMP y PS. La cantidad de estas glicoproteínas tras la infección suele incrementarse en las plantas tras la llegada del patógeno. La mitad glucídica de estas glicoproteínas se reportó que son heterofructanos compuestos por cadenas de enlaces β -1,2 fructofuranosidos, capaces de ser hidrolizados por actividad invertasa y unidos a segmentos variables de poligalactitol mediante enlaces éter β -1,2, resistentes a la acción de la invertasa. Se ha descrito que los heterofructanos aislados actúan como agentes cicatrizantes de lesiones mecánicas. Sin embargo, también aparecen como resto glicosídico en las glicoproteínas de defensa producidas en respuesta a lesiones mecánicas o infecciones, desempeñando un papel importante en procesos de reconocimiento de endófitos compatibles (*Gluconacetobacter diazotrophicus*) o en reacciones de señalización contra patógenos (*Sporisorium scitamineum* o *Xanthomonas albilineans*).

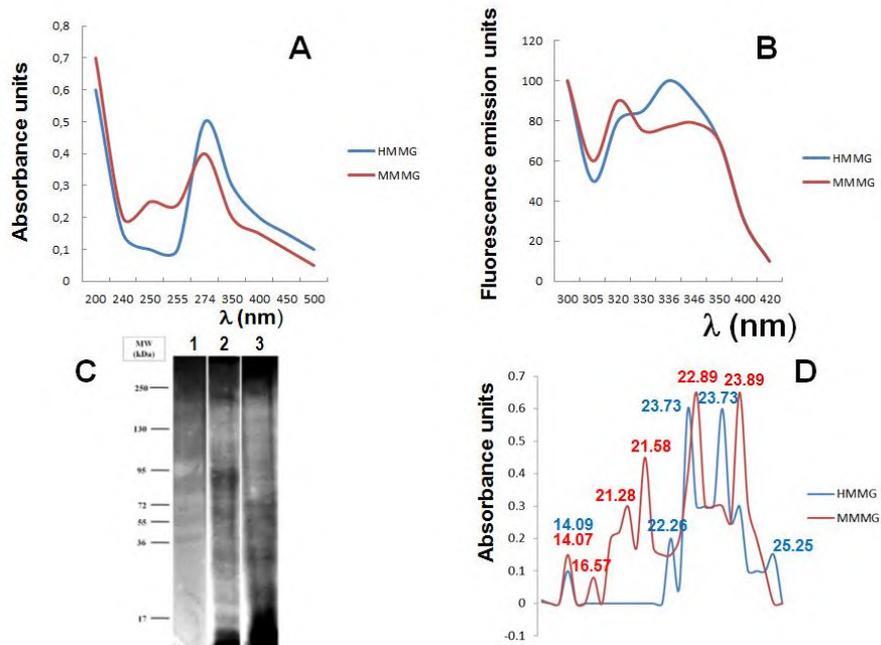


Figura 1. A) Espectro de absorción de HMMG y MMMG. B) Espectro de emisión de fluorescencia de HMMG y MMMG. C) Electroforesis en gel de poliacrilamida de HMMG y MMMG. Carril 1, marcadores moleculares; carril 2, HMMG; carril 3, MMMG. D) Electroferograma de separación de componentes de HMMG y MMMG por electrophoresis capilar. El número cerca del pico indica el tiempo en min. *Tomado de Metabolic responses of sugar cane plants upon different plant-pathogen interactions de C. Vicente et al. 2017, en Plant Metabolites and Regulation under Environmental stress. Ed. Elsevier.*

Las HMMG y MMMG incluyen un conjunto de diferentes glicoproteínas. Entre ellas han sido identificadas diferentes actividades enzimáticas, como son la quitinasa, la arginasa y la actividad hidrolítica de glucanasas. Más recientemente se detectó la presencia de proteínas dirigentes.

Defensa vegetal basada en la producción de lignina y lignanos.

La lignina es el segundo producto natural más abundante en la naturaleza, después de la celulosa. Es un polímero fenólico, que proporciona a la pared vegetal un soporte estructural adicional, hidrofobicidad y una mayor resistencia ante la entrada de potenciales patógenos. De hecho, el refuerzo de la barrera física por medio del incremento de la lignificación aparece como respuesta frecuente ante una infección o tras la aparición de heridas.

El polímero lignina contiene unidades de *p*-hidroxifenil (H), guayacil (G) y siringil (S), moléculas derivadas, respectivamente, de los monolignoles *p*-cumaril, coniferil y sinapil alcohol que actúan como precursores (Figura 2).

El primer paso en la formación de la lignina es la generación de dos radicales libres a partir de una mezcla de monolignoles por reacciones de oxidación, seguido de su acoplamiento para formar un dímero. Las proteínas dirigentes (DIR) favorecen el acoplamiento estereoespecífico de los monolignoles para formar los dímeros correspondientes. Las unidades activadas por acción de lacasas y peroxidases, y dimerizadas por las proteínas DIR, se depositan sobre los extremos del polímero de lignina en formación. El acoplamiento entre dímeros y oligómeros propaga la construcción del polímero de lignina. Las proteínas DIR son responsables de la estereoselectividad de los radicales

derivados de los monolignoles para producir, o bien lignina, o bien lignanos, como refleja la Figura 2.

Se ha observado que la actividad de las proteínas DIR tiene lugar en presencia de oxidasas, como lacasas o peroxidases. Estas enzimas generan radicales libres como intermediarios que son capturados por las proteínas DIR. Éstas los orientan adecuadamente para la formación de (+)pinoresinol.

Sin embargo, la ausencia de proteínas DIR se traduce en el acoplamiento de dos radicales del monolignol "al azar", dando lugar a dímeros como el (\pm)- dihidroconiferil alcohol, el (\pm)-pinoresinol o el (\pm)- guaiacilglicerol. En presencia de proteínas DIR, cada molécula de coniferil alcohol debe unirse a un sitio del

dímero enzimático con una alta especificidad, lo que conlleva la producción incrementada de (+)-pinoresinol y evita la síntesis del otro isómero.

Los lignanos son compuestos producidos por numerosas familias de plantas, ampliamente distribuidos entre angiospermas y gimnospermas. Por ello, se encuentran comúnmente en muchos alimentos y bebidas cotidianas, como las verduras, las semillas, el té, el café o el vino. Los lignanos poseen propiedades antivirales, antioxidantes y anticancerígenas y su toxicidad sobre hongos, insectos y vertebrados ha sido largamente demostrada. Muchos elicitores producidos por organismos patogénicos incrementan la síntesis de lignanos y otros compuestos defensivos en plantas.

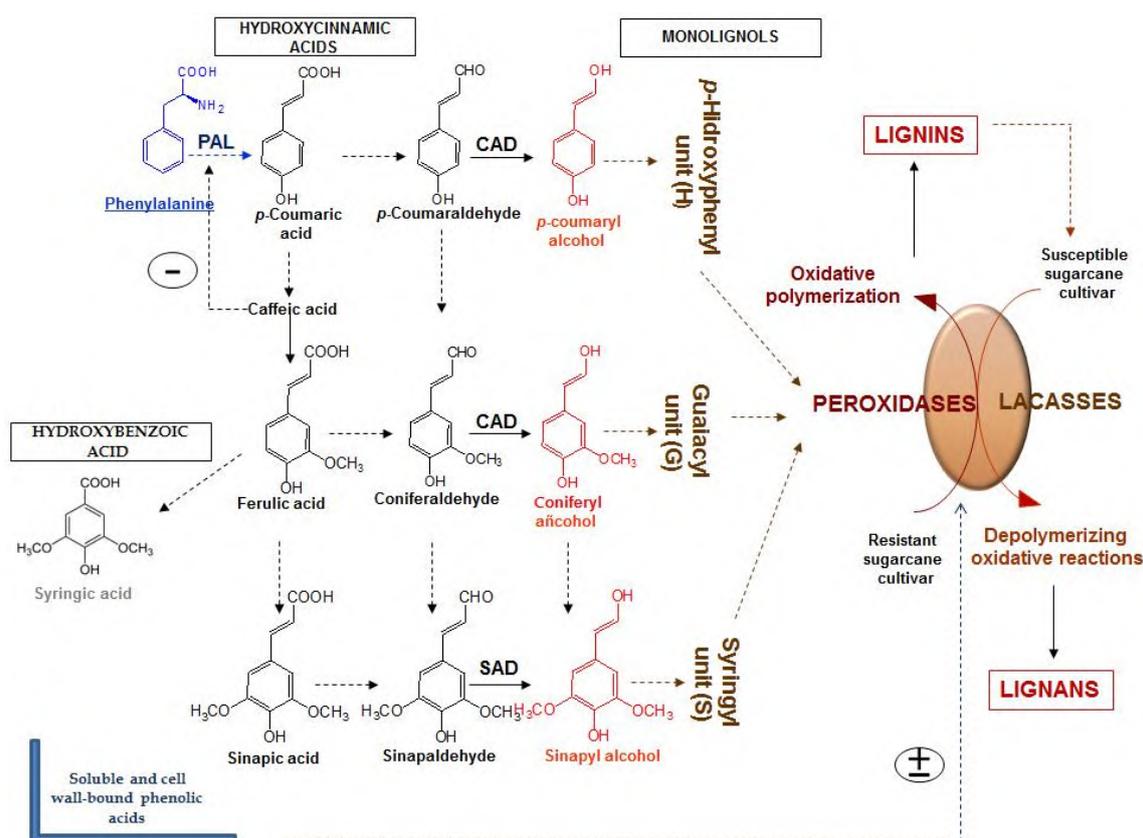


Figura 2. Ruta esquemática de los fenilpropanoides y la biosíntesis de lignina y lignanos. Tomado de Metabolic responses of sugar cane plants upon different plant–pathogen interactions de C. Vicente et al. 2017, en Plant Metabolites and Regulation under Environmental stress. Ed. Elsevier.

Concluyendo, podemos decir que las ligninas y los lignanos son producidos de todo el conjunto de monolignoles formados a partir

de los *p*-cumaril, coniferil y sinapil alcoholes. Estos alcoholes son dirigidos hacia rutas específicas de biosíntesis. Las ligninas son

componentes estructurales de la pared celular, mientras que los lignanos son moléculas implicadas en procesos defensivos en plantas. La formación de (+)-pinoresinol se ve favorecida en presencia de proteínas DIR. Sin embargo, en ausencia de proteínas DIR aumenta la formación de la mezcla racémica de (\pm)-pinoresinol. Un incremento en los niveles del enantiómero levógiro derivará en la formación de otros lignanos, como el (-)-lariciresinol, el (-)-secoisolariciresinol o el (-)-matairesinol.

Dando vueltas a la espiral del conocimiento

Aquellos compuestos que inicialmente fueron bautizados como CMP y PS pensando en su naturaleza polisacáridica pasaron a la literatura internacional como MMMG y HMMG al manifestarse como glicoproteínas que aumentan su concentración frente a los estreses abióticos (heridas) y bióticos (interacción con microorganismos patógenos y no). Dentro de estas glicoproteínas se han detectado varias proteínas de resistencia y proteínas DIR.

Las proteínas DIR juegan un control importante en la formación de lignina o lignanos. La lignina siempre es sintetizada por su importante papel en el reforzamiento de la pared celular y las proteínas DIR propician esto al dirigir la estereoespecificidad de la síntesis hacia la producción de (+)-pinoresinol. Por el contrario, una menor concentración de DIR posibilita la formación de ambos isómeros e incrementa entonces no solo la formación de lignina que es una barrera de reforzamiento a la entrada de patógenos, sino de lignanos que son moléculas implicadas en procesos de resistencia a patógenos. Así un cultivar que active ambos mecanismos pudiera ser más eficiente en la resistencia a determinados patógenos.

Estos estudios han permitido avanzar en los mecanismos de defensa de la caña de azúcar

frente a la enfermedad del carbón producida por el hongo *S. scitamineum* a partir del establecimiento de un modelo biológico de interacción en el cual participan de manera significativa las distintas glicoproteínas que fueron descubiertas del estudio de la composición de los CMP y los PS, pero estos aspectos podrán ser presentados en próximos artículos y aparecen muy bien explicados en la tesis “Mecanismos tempranos de resistencia de la caña de azúcar a la infección por *Sporisorium scitamineum* comprometen la organización del citoesqueleto de las células fúngicas” defendida exitosamente recientemente por la Lic. Elena Sánchez Elordi, para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Biológicas en la Universidad Complutense de Madrid y en cuyo tribunal fui invitado a participar.

Referencias

- 1.- Alarcón, B., Santiago, R., de Armas, R., SánchezElordi, E., Vicente, C., Legaz, M.E. **2017**. An elicitor isolated from *Sporisorium scitamineum* multiplies xylem bridges between vascular neighboring bundles in sugarcane leaves. *Research & Reviews in Biosciences* 12 (1): 1-11.
- 2.- de Armas, R., Legaz, M.E., Martínez, M., Medina, I., Rodríguez, C.W., Vicente, C. **1989**. Composition of some soluble carbohydrate fractions from sugarcane juice. En: *Proceeding XX Congress ISSCT* (pp. 625-633). San Paulo, Brasil: Oct. 12-21.
- 3.- de Armas, R., Santiago, R., Legaz, M.E., Vicente, C. **2007**. Levels of phenolic compounds and enzyme activity can be used to screen for resistance of sugarcane to smut (*Ustilago scitaminea*). *Australasian Plant Pathology* 36 (1): 32-38.
- 4.- Legaz, M.E., de Armas, R., Millanes, A.M., Rodríguez, C.W., Vicente, C. **2005**. Heterofructans and heterofructan containing glycoproteins from sugarcane: structure and

function. Recent Research Developments in Biochemistry 6: 31–51.

5.- Legaz, M.E., Pedrosa, M.M., de Armas, R., Rodríguez, C.W., de los Ríos, V., Vicente, C. **1998**. Separation of soluble glycoproteins from sugarcane juice by capillary electrophoresis. Analytica Chimica Acta 372 (1): 201–208.

6.- Santiago, R., de Armas, R., Fontaniella, B., Vicente, C., Legaz, M.E. **2009**. Changes in soluble and cell wall-bound hydroxycinnamic and hydroxybenzoic acids in sugarcane cultivars inoculated with *Sporisorium scitamineum* sporidia. European Journal of Plant Pathology 124 (3): 439-450.

Roberto Cao Vázquez
Profesor Titular (jubilado). Facultad de Química. Universidad de La Habana



Los colores alegran nuestras vidas y embellecen los paisajes naturales y las obras, artísticas o no, creadas por el hombre. Existe una enorme variedad de colores y si lo duda mire un catálogo de tintes de pelo, pintura labial o de pintura de uñas.

Los colores influyen en nuestro estado anímico. El rojo nos excita, el gris entristece, el rosado nos tranquiliza.

¿Por qué las sustancias son coloreadas? Cuando le incide luz visible a una sustancia absorbe una parte y refleja el resto de los componentes de la luz. El color negro se debe a que absorbe toda la luz, mientras que el blanco la refleja totalmente. La luz está compuesta de tres colores primarios: rojo, amarillo y azul y, por ello, la sustancia que absorba el rojo la veremos de color verde (combinación del azul con amarillo). Para que una sustancia absorba parte de la luz visible debe excitarse energéticamente y, con ello, ocurren transiciones electrónicas en las moléculas constituyentes. No todas las moléculas tienen esa propiedad. El agua no absorbe luz visible y, por ello, es incolora. Los polifenoles contenidos en el vino tinto absorben la luz amarilla y algo de azul, y por eso tienen color rojizo. Si teñimos una camisa blanca con vino tinto obtendremos una prenda rosada que irá perdiendo el color paulatinamente.

Desde la antigüedad el hombre ha coloreado sus obras mediante el uso de pigmentos y tintes, que pueden ser de origen

vegetal, animal, mineral o sintético. La principal diferencia entre los pigmentos y los tintes se debe al tamaño de partícula de la que están formados. Un tinte está constituido por partículas pequeñas, por lo que es soluble en agua, mientras que las del pigmento son grandes e insolubles. Los pigmentos se utilizan para colorear o pintar cerámicas, paredes, etc. Los tintes, por su parte, se utilizan en los textiles para darles un color diferente al blanco. Para ello requieren de otro tipo de sustancia que garantice la adherencia a la tela, llamado mordiente.

Cualquier persona de nivel cultural medio sabe de los aportes de los egipcios y chinos en la obtención de pigmentos y tintes, que son mundialmente reconocidos como iniciadores del arte de desarrollar colores en diferentes obras de arte y tejidos.¹ Sin embargo, lo más probable es que muy pocos conozcan de los aportes hecho por algunas culturas precolombinas en Nuestra América.

En la antigüedad, los colores se desarrollaban a partir de minerales y extractos orgánicos (fundamentalmente de plantas, aunque también de algunos animales), unos u otros o mezclados. El extracto orgánico más utilizado por las diferentes culturas milenarias fue el índigo, que ofrece coloraciones entre amarillo y naranja.

Los colores azulosos se obtenían fundamentalmente de minerales del tipo de silicatos. En la antigüedad se conocieron 3 tipos de color azul de naturaleza mineral, cada

uno de una procedencia diferente: el azul Egipcio, el Han (de China),¹ así como el Maya.² Estos tres tipos de color azul se pueden observar en la Figura 1.

La tonalidad y colores que se pueden obtener de los minerales azules son amplias si se someten a distintos tipos de tratamiento térmico. De por sí, el azul maya se obtenía al calentar el mineral (de color blanco) con el extracto de índigo a unos 180-200 °C.



Figura 1. Tipos de color azul conocidos en la antigüedad: a) Egipcio ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$), b) Han ($\text{BaCuSi}_4\text{O}_{10}$) y c) Maya ($(\text{Mg,Al})_4(\text{Si})_8(\text{O,OH,H}_2\text{O})_{26.n}\text{H}_2\text{O} + \text{índigo}$).

El cambio de color de los minerales al ser mezclados con extractos orgánicos, como el caso del azul maya, se debe a que ocurre una fuerte interacción química entre ambos componentes del tipo de enlace coordinado y/o formación de enlaces de hidrógeno. Así, variando el tratamiento térmico y la relación entre mineral y extracto orgánico, nuestros ancestros pudieron desarrollar infinidad de pigmentos con colores percederos y dignos de admirar.

Un excelente ejemplo del ordenamiento estructural que puede alcanzar una mezcla de mineral y extracto orgánico en un pigmento lo constituye precisamente el azul maya, para lo cual se presenta su estructura en la Figura 2.

Hace unos 40 años pude visitar el Perú y conocer sobre la cultura Paracas y realmente quedé muy impresionado, como latinoamericano y como químico. La civilización Paracas es vergonzosamente poco conocida. Muchos han oído hablar de la cultura preincaica Nazca que existiera al sur de Lima, famosa por los dibujos hechos sobre el terreno y sólo visualizables desde gran altura. Sin embargo, pocos saben que los Paracas

precedieron a los Nazcas y realizaron aportes no menos importantes que esos famosos dibujos.

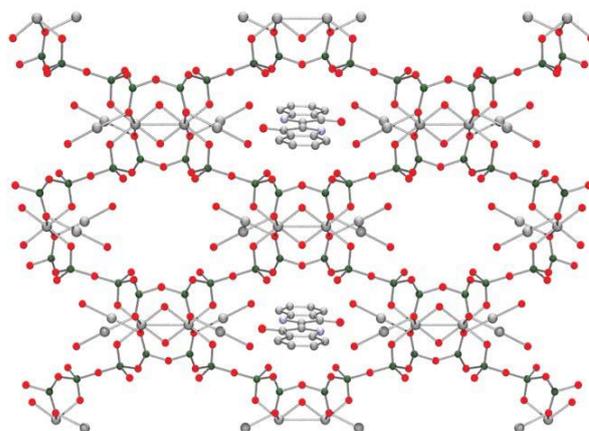


Figura 2. Estructura del maya azul en el que se observa el extracto ordenamiento de las moléculas de índigo dentro del sistema tridimensional del mineral (paligorskita).¹

Uno de los mayores aportes de los Paracas consiste en la gran variedad y excelente calidad de los tintes y pigmentos, que desarrollaron. Los paracas enterraban a sus muertos en posición fetal sobre una cesta de mimbre y envueltos en paños. A los cadáveres de personajes relevantes se les recubría con preciosos mantos teñidos con los más diversos colores y figuras. Muchos de esos mantos han perdurados hasta nuestros días y aún presentan brillantes colores, realmente envidiables para cualquier productor textil.



Figura 3. Tres ejemplos de mantos sagrados paracas.

Los mantos miden, como promedio, dos metros y medio de largo por un poco más de un metro de ancho y su manufactura es aún un misterio, pues los telares de mano no pueden ser tan anchos. Los motivos policromados representados en los mantos son pequeños y se repiten con diferentes combinaciones. Representan seres mitológicos y, muy eventualmente, motivos geométricos. En la Figura 3 se muestran tres ejemplos de los mantos sagrados paracas.

Los colores que lograron los paracas y, sobre todo, la gran estabilidad de los tintes aplicados sigue siendo un misterio aunque algo se sabe de las composiciones usadas. El rojo lo obtenían de extractos de cochinilla o magnu (parásito del cactus). Para el azul usaban el índigo, a semejanza de los mayas. Las diferentes tonalidades de marrón las obtenían de semillas de algarrobo y de otros frutos secos. Mezclaban esos extractos con alúmina y hematita para aclarar (rosado) u oscurecer el

rojo, respectivamente. El color morado, que lo podían obtener de combinaciones de rojo y azul, lo lograban preferentemente del murice, un tinte de molusco, ya que era buenos pescadores.

Como puede comprobarse con los datos aquí presentados, no es nada casual que los romanos vistieran solo túnicas blancas hasta que invadieron Egipto. Por otra parte, no debe sorprendernos el que los ponchos peruanos, los sarapes mexicanos y los bellos bordados en los vestidos guatemaltecos que conocemos hoy en día sean tan ricos en preciosos y duraderos colores.

Referencias

1. Berke, H. *Chem. Soc. Rev.* 2007, 36, 15–30.
2. Giustetto, R.; Llabrés i Xamena, F. X.; Ricchiardi, G.; Bordiga, S.; Damin, A.; Gobetto, R.; Chierotti, M. R. *J. Phys. Chem. B* 2005, 109, 19360-19368.



**Instituto de Farmacia y Alimentos de la
Universidad de la Habana**
**Grupo de Cosmetología de la Sociedad Cubana de
Ciencias Farmacéuticas**

Irela Pérez Sánchez
irela@ifal.uh.cu

Patricia Pérez Ramos
patry@ifal.uh.cu



La Química Cosmética estudia los ingredientes químicos que componen los cosméticos y sus propiedades químicas y fisicoquímicas. Se utiliza para especificar el tratamiento, evaluación, chequeo y producción de ingredientes activos que serán utilizados para el cuidado de la piel a nivel cosmetológico y estético.

Existe un conjunto de sustancias químicas o sus mezclas, que forman un sistema fisicoquímico de uso externo (dirigido a la epidermis) llamado cosmético y cuyas funciones pueden ser higiénicas, estéticas y decorativas. Pero existen otras sustancias que también se utilizan para fines estéticos, que no se consideran, ni cosméticos ni medicamentos (no están reguladas), porque se inyectan (toxina botulínica, tatuajes, dióxido de carbono), inhalan, ingieren (nutracéutico y nutricosméticos) o implantan (biopolímeros, siliconas) en el cuerpo humano.

Es importante resaltar que los reactivos químicos juegan un papel importante en las reacciones que producen tantos los cosméticos como estas otras sustancias no reguladas. Estas reacciones pueden estar relacionadas con su excelente eficacia o con sus posibles efectos adversos.

La Química Cosmética conjuntamente con la Tecnología Cosmética y la Cosmetología constituyen las tres ciencias básicas que forman la Ciencia Cosmética. Específicamente la Química Cosmética estudia los ingredientes químicos que

componen los cosméticos y sus propiedades químicas y fisicoquímicas. Es una rama de la química y la farmacia que se utiliza para especificar el tratamiento, evaluación, chequeo y producción de ingredientes activos que serán utilizados para el cuidado de la piel a nivel cosmetológico y estético.

Es importante resaltar que los reactivos químicos juegan un papel importante en las reacciones que producen los cosméticos, tanto las relacionadas con su excelente funcionalidad para lo cual fueron diseñados, como por los posibles efectos adversos que pudieran provocar.

En el manejo de conocimientos de todo cuanto refiere a la Ciencia Cosmética (ingrediente activo, vehículos, aditivos, efectos y seguridad) es imprescindible estar actualizado en conceptos de cosmética.

Las Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria de Brasil, la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica de Argentina y MERCOSUR, definen Cosmético de manera similar.

Los cosméticos son preparaciones constituidas por sustancias naturales o sintéticas, de uso externo en las diversas partes del cuerpo humano: piel, sistema capilar, uñas, labios, órganos genitales externos, dientes y membranas mucosas de la cavidad oral, con el objetivo exclusivo o principal de limpiarlos, perfumarlos, alterar su

aparición y/o corregir olores corporales y/o protegerlos o mantenerlos en buen estado. Estos productos no podrán proclamar actividad terapéutica.

Los cosméticos tienen tres funciones fundamentales: higiénica, nutritiva y estética. Por lo que según estas funciones, se pueden clasificar en cosméticos de higiene, acondicionamiento, mantenimiento y protección, decorativos y de tratamiento (para tratamientos capilares como alopecia o caspa, endurecedores de uñas, control de las arrugas, control de las caries, protector solar, etc.)

Todos los componentes que constituyen un cosmético pueden englobarse en tres grandes categorías: ingredientes activos, excipientes, aditivos y correctores.

Un cosmético puede tener, en su composición química, uno o varios ingredientes activos diferentes y además, dado que puede cumplir varias funciones a la vez, puede tener activos cuya finalidad no sea exactamente la misma. Un producto químico cualquiera puede ser el ingrediente activo en un cosmético determinado y un excipiente, aditivo o corrector en otro cosmético diferente. Por ejemplo, los colorantes de un maquillaje constituyen su ingrediente activo, mientras que en un jabón líquido, los colorantes son meros aditivos que hacen más agradable el uso del cosmético o mejoran sus propiedades.

La variedad de ingredientes activos usados en cosmetología es muy amplia. Clasificándolos según su función, podemos encontrar abrasivos, acondicionadores, antioxidantes, antisolares, desodorantes, detergentes, decolorantes, emolientes, epitelizantes, fijadores capilares o filmógenos, tónicos, tintes, suavizantes, pilomotores, pigmentos, perfumes, lubricantes, hiperemiantes, etc.

Los excipientes son los responsables de la forma cosmética (forma de presentación del

producto), deben ser capaces de disolver o incorporar (en emulsión o en suspensión) a multitud de sustancias (incluidas, los ingredientes activos, los aditivos y correctores). Además, dado que se trata del componente mayoritario, debe ser totalmente compatible con la piel, las uñas, la mucosa oral y el pelo.

Continuamente se experimentan nuevos cosméticos, cada vez más específicos atendiendo a diversos factores: la etnia, la edad, el género, zonas del cuerpo, el clima donde se va a usar, etc. En general, para la elaboración de cosméticos, se deben mantener un pH determinado para evitar trastornos en la piel y sus anexos. Por ejemplo, se altera la composición química del cabello al colocar productos con diferente pH que traten de brindar más brillo, hidratación, ondulado o laceado y color, pues las proteínas que lo conforma interactúan por medio de enlaces, los cuales modifican su estructura.

La Federación de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA) y la Unión Europea (EU), también armonizan con las agencias reguladoras antes mencionadas, en cuanto a la definición de estos productos. En el caso de la FDA, aparecen regulados los cosméticos que también pueden ser medicamentos (OTC: dentífricos anticaries con fluoruro, cremas con hormonas, preparaciones para protegerse contra las quemaduras de los rayos solares, antisudorales que a la vez son desodorantes y champús para el cabello que al mismo tiempo combaten la caspa) los cuales, son aquellos que se encuentran en una función limítrofe entre ambos sistemas fisicoquímicos y que desde 1951 el Dr. Albert Kligman denominó “Cosmecéticos” al ver efecto de una crema con vitamina A que disminuía la aparición de las arrugas.

Los cosmecéticos constituyen sistemas fisicoquímicos que no sólo ayudan a una

humectación prolongada, sino presentan una mayor especificidad en su acción sobre la piel para muchas afecciones no patológicas como: las imperfecciones estéticas adquiridas, el eritema permanente, la pigmentación e incluso las arrugas superficiales y profundas. Además incluyen productos para el control del acné, la caspa, el crecimiento del cabello, bloqueadores solares, cremas antioxidantes, implantes y blanqueadores dentales. En todos los casos, no tienen la intención de afectar la estructura o función del cuerpo humano, no tratan una enfermedad ni una disfunción orgánica.

Existen además, otras sustancias químicas que no se consideran cosméticos, aunque se utilizan en los tratamientos estéticos y cosmetológicos. Tales como, aquellos preparados destinados a la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades, a la protección frente a la contaminación o infección por microorganismos, hongos o parásitos. Así como, los destinados a ser ingeridos (nutracéutico y nutricosméticos), inhalados, inyectados o implantados (toxina botulínica, tatuajes, dióxido de carbono, biopolímeros, siliconas) en el cuerpo humano.

Los nutracéuticos son alimentos o parte de un alimento que proporciona beneficios a la salud, tales como la prevención o el tratamiento de enfermedades (nutrientes aislados, suplementos dietéticos y alimentos procesados, como sopas y bebidas. Productos con bajo valor calórico, bajo tenor de azúcares y grasas y los que presentan altas concentraciones de vitaminas. Mientras que, los nutricosméticos son combinaciones de sustancias, administradas bajo la forma de cápsulas, líquidos y alimentos, tales como caramelos, un yogurt con polifenoles de té verde y vitamina E o cápsula hidratante omega-3. Compuestos suplementarios que combinan nutrientes específicos para la piel, el cabello y las uñas.

El peeling químico es una exfoliación o descamación química al aplicar sustancias como fenol, ácido salicílico, ácido tricloroacético y ácido glicólico (molécula más pequeña de los alfa-hidroxiácidos), por lo que, se logra profundizar con el agente químico hasta la dermis (peelings medios y profundos), logrando por tanto un efecto mucho más duradero e importante que con las descamaciones superficiales.

Los productos de relleno inyectables en dermatocósmica pueden ser permanentes (gel de polímero homogéneo, suspensión de microesferas o fragmentos de polímeros insolubles y líquido reabsorbible y suspensión de microesferas de polímero lentamente degradable y líquido reabsorbible) o no permanentes (geles de colágeno, de ácido hialurónico, los formados por microesferas de hidroxiapatita cálcica en un gel de carboximetilcelulosa y los formados por una combinación de ácido hialurónico y dextranómeros). Por otro lado, la toxina botulínica relaja la musculatura facial al ser inyectada, de modo que su contracción disminuye, así la piel que está sobre dicha musculatura permanece lisa, evitando arrugas y líneas de expresión.

Las sustancias químicas de los cosméticos ayudan a la estética, la higiene y la eutrofia de la piel, pero en las investigaciones se indica enfáticamente que a ciertos niveles de exposición algunas de las sustancias químicas de estos productos pueden contribuir al desarrollo de cáncer u otras afecciones en las personas. No obstante, debido a que los productos de cuidado personal contienen distintas combinaciones de productos químicos, es casi imposible comprobar una causa y un efecto claros para cada sustancia química específica.

Existen un grupo de ingredientes restringidos o prohibidos en la cosmética,

dado las posibles reacciones adversas que pudieran provocar.

- El ácido bórico y borato sódico alteran las hormonas y dañan el sistema reproductor masculino
- El formaldehído considerado un carcinógeno humano, asmágeno y neurotóxico, pero está presente en muchos productos de cuidado personal como antiséptico.
- La hidroquinona usada como blanqueador de la piel, puede causar ocronosis, unas lesiones cutáneas de color negro azuladas, que en los peores casos son permanentes
- Las nanopartículas de óxido de zinc y dióxido de titanio parecen estar entre los ingredientes activos más seguros y eficaces en las cremas de protección solar, porque no atraviesan la piel, pero si se aplican por pulverización, sí podrían penetrar hasta los pulmones y pasar al torrente sanguíneo.
- La oxybenzona, usada como agente de la protección solar y absorbente de la luz ultravioleta, tiene estudios epidemiológicos humanos que la relacionan con irritación y sensibilización cutánea, un aumento de las alergias y sus metabolitos pueden alterar el sistema hormonal.
- El resorcinol, común en los tintes para el cabello y productos blanqueadores, es un agente irritante para la piel, tóxico para el sistema inmunológico y que resulta altamente alérgico.
- El tolueno se emplea en lacas para uñas y otros productos, es un potente neurotóxico, que actúa como un irritante, altera la respiración y causa náuseas, sus vapores puede perjudicar el desarrollo fetal.
- El triclocarban, componentes antimicrobianos por excelencia, junto al triclosán resultan muy tóxicos para el Medio Ambiente acuático y su uso excesivo puede promover el desarrollo de resistencia bacteriana y aumentar el riesgo de alergias.

El gran auge de la industria cosmética actual y sus avances significativos, se deben fundamentalmente al protagonismo alcanzado por la ciencia en esta esfera, que abarca desde el estudio de las materias primas y sus compatibilidades, el diseño y desarrollo de los cosméticos, sus estudios de estabilidad y seguridad, así como diversas técnicas para verificar su eficacia y vigilar los efectos adversos.

En Cuba, la producción de artículos de perfumería y cosmética comenzó en el siglo XIX en algunas farmacias como Sarrá y Le Triolet, así como con la fundación de las primeras compañías dedicadas a estos fines: Sabatés, Crusellas y Gravi, los tres Grandes Consorcios Cubanos, que en 1951 se convirtieron en las primeras Plantas de Detergentes Sintéticos en Latinoamérica. A partir de 1960 se nacionalizaron estas compañías y se formaron empresas estatales organizadas en la Empresa Consolidada de Jabonería y Perfumería, que desde 1985 hasta la actualidad, se identificó como Unión Suchel (única empresa cosmética del país), con gran diversidad de productos para el consumo interno del país y para la exportación.

Hoy día, conjuntamente con la Unión Suchel, otras instituciones están desarrollando y produciendo cosmeceúticos con IFA naturales, ya sea a partir de placenta humana, caléndula, *Spirulina*, corteza del mango, minerales, plantas y algas marinas, entre otras, con el objetivo de desarrollar una industria cosmética basada en una

infraestructura compatible con las tendencias a nivel mundial.

El 8 de mayo de 2012 se crea la Sección de Cosmetología, dentro de la Sociedad Cubana de Ciencias Farmacéuticas. Esta sección a nivel internacional existe como Sociedad Cubana de Ciencias Cosméticas (SCCC) constituyendo el oncenavo país de Latinoamérica que integra la Federación Latinoamericana de Sociedades de Ciencias Cosméticas (FELASCC). Fue creada para promover el desarrollo de la ciencia y tecnología cosmética, así como enfatizar en los conocimientos científicos relacionados con la temática.

En septiembre de 2017 se abre la primera edición de la Maestría de ciencias Cosmética, la cual tiene dos menciones, una dirigida a la Producción de estos cosméticos y otra, a la

Dermocosmética, abarcando todo lo concerniente al estudio de estos sistemas. Esta maestría fue precedida por tres diplomados: Producciones cosméticas, Calidad en cosméticos y Dermocosmética.

En los últimos años la Química Cosmética se enfrenta a grandes retos, dirigidos a la obtención de activos naturales o sintéticos, que ayuden a la prevención y protección de las radiaciones, la lucha contra los radicales libres que alteran estructuras de la piel y la reestructuración de la capa córnea. Por lo que el estudio de las sustancias químicas a utilizar, con sus beneficios y posibles efectos adversos, las nuevas tecnologías y el trabajo colaborativo entre diferentes profesionales de la salud y otros campos de la ciencia, permite el uso responsable de los cosméticos y otros productos para uso cosmetológico y estético.

Margarita Suarez Navarro
Departamento de Química Orgánica. Facultad de Química. Universidad de La Habana
msuarez@fq.uh.cu



Uno de los principales objetivos de la síntesis orgánica es la obtención de nuevos compuestos que muestren nuevas propiedades físicas, químicas o biológicas. En esta búsqueda, la intuición humana y la Naturaleza han jugado un papel esencial.

La Naturaleza genera productos de gran diversidad y complejidad, a través de caminos biosintéticos, dando lugar a la formación de estructuras con gran actividad, en muchos casos por unión covalente entre componentes derivados de diferentes procesos.

Por ejemplo, la clorofila y los glicósidos esteroidales, son conocidas muestras de productos naturales en los cuales varios segmentos de la molécula tienen orígenes biosintéticos diferentes y se unen covalentemente para dar lugar a una nueva entidad funcional (Ver Figura 1).

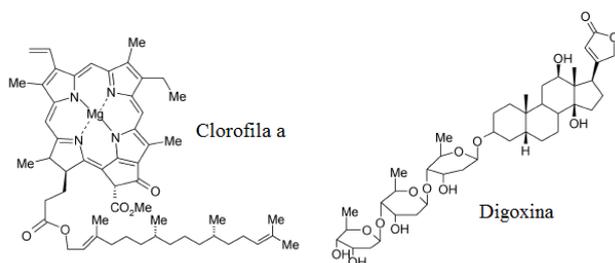


Figura 1. Moléculas híbridas naturales

Muchos de estos productos naturales muestran propiedades y actividad biológica diferente a la de los segmentos y actúan de forma cooperativa para controlar y modular la conformación, la comunicación, el transporte y la solubilidad entre otras propiedades. Estos resultados han sugerido la idea de generar

nuevas entidades moleculares por combinación racional de dos o más sustancias activas, ya sean naturales o sintéticas, en una molécula que pueda incrementar o modular las características de los componentes individuales o generar un nuevo tipo de propiedades. Esto da la posibilidad de crear moléculas que puedan ser utilizadas en biología o en la ciencia de los materiales.

A partir de la década del '90 del pasado siglo, el diseño de tales entidades ha recibido una atención creciente y en la literatura han sido nombradas como “moléculas híbridas”, o “conjugados” o “quimeras” o también “sirenas”.

En la Figura 2 se muestra la estructura del benorilato, híbrido que se obtiene por la unión del paracetamol y la aspirina. Este híbrido es un medicamento del tipo antiinflamatorio no esteroideo que inhibe la producción de prostaglandina, por lo que se indica para el alivio del dolor y la inflamación en pacientes con osteoartritis, artritis reumatoide, dolor muscular, dolor tras intervención dental, obstétrica u ortopédica, bursitis, tendinitis, dolor de cabeza, neuralgia y, por sus efectos antipiréticos, para el alivio de la fiebre.

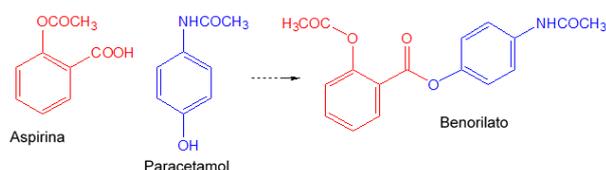


Figura 2. Unión covalente de la aspirina con el paracetamol para formar el híbrido benorilato.

Existen otros ejemplos de moléculas híbridas en las que se han utilizado como plataforma el fullereno, ya que sus derivados muestran un amplio rango de propiedades bioactivas, especialmente en los campos de la terapia fotodinámica, la inhibición de la proteasa del VIH, la neuroprotección y la apoptosis. Sin embargo existe el problema de que el C₆₀ es insoluble en agua y muy poco soluble en la mayoría de los disolventes orgánicos ya que forma muy fácilmente agregados moleculares, que disminuyen su solubilidad. Por este motivo, la funcionalización del C₆₀ es de marcado interés en la búsqueda de derivados más solubles con nuevas propiedades químicas y biológicas.

Los métodos sintéticos reportados que pueden utilizarse para preparar híbridos unidos covalentemente a los fullerenos, están basados en el carácter electrofílico del C₆₀, siendo las reacciones de cicloadición las más comúnmente empleadas. Por ejemplo, la reacción de cicloadición 1,3-dipolar [3+2] de iluros de azometino al C₆₀ da lugar a las fulleropirrolidinas (reacción de Prato), la reacción de ciclopropanación [1+2] genera metanofullerenos (reacción de Bigel-Hirsch) y la de Diels-Alder [4+2] se obtienen compuestos donde al fullereno se le adiciona un ciclo de cuatro átomos de carbono.

A partir del 2000, se han reportado diferentes híbridos donde la molécula de fullereno está unida covalentemente a entidades biológicamente activas empleando las reacciones de cicloadición. En la Figura se muestran los híbridos dihidropiridina-fullereno (I) y esteroide-fullereno (II, III).

La posibilidad de generar sistemas híbridos para la creación de diversidad molecular es prácticamente ilimitada, por lo que ensamblar

entidades de todo tipo y tamaño, continúa siendo un reto para los químicos orgánicos.

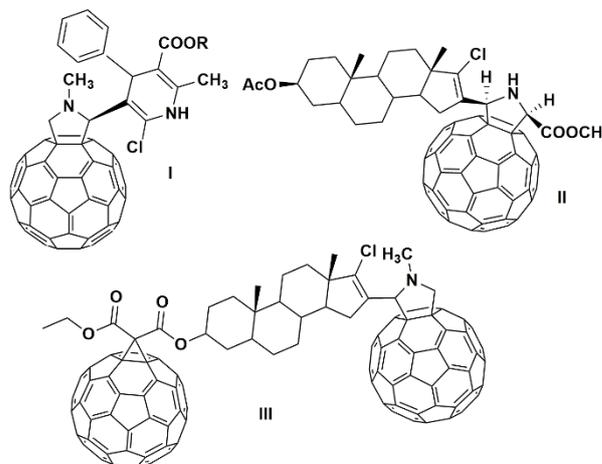


Figura 3. Híbridos obtenidos utilizando como plataforma el [60]fullereno.

Referencias.

- 1.- M. Suárez, Y. Verdecia, B. Illescas, N. Martín, R. Martínez, E. Ochoa. *Tetrahedron*, **2003**, 59, 9179-9136.
- 2.- J. Coro, H. Rodríguez, D. G. Rivera, M. Suárez, D. Molero, M.A. Herranz, R. Martínez-Alvarez, S. Filippone, N. Martín, *Eur. J. Org. Chem.* **2009**, (28), 4810-4817.
- 3.- A. Ruiz, J. Coro, L. Almagro, J. A. Ruiz, D. Molero, E. E. Maroto, S. Filippone, M. Herranz, R. Martínez, M. Suárez, N. Martín. *J. Org. Chem.* **2013**, 78, 2819–2826.
- 4.- A. Ruiz, C. Morera, L. Almagro, J. Coro, E. E. Maroto, M. Herranz, S. Filippone, R. Martínez, D. Molero, J. García, M. Suárez, N. Martín. *J. Org. Chem.* **2014**, 79, 3473–3486.
- 5.- M. Suárez, A. Ruiz, L. Almagro, J. Coro, E. Maroto, S. Filippone, D. Molero, R. Martínez, N. Martín. *J. Org. Chem.* **2017**, 82, 4654–4660.

De cómo calificar a los buenos científicos y la buena ciencia: El índice Hirsch?

Investigación
Química

Luis Montero Cabrera
Departamento de Química Física. Facultad de Química. Universidad de La Habana
lmc@fq.uh.cu



Uno de los aspectos en los que los seres humanos hemos trabajado mucho como especie natural es en la de identificarnos. Eso pasa por aplicar medidas que permitan diferenciar unos de otros. En ese proceso pueden existir simples apreciaciones, que llamamos subjetivas. Muchas veces decidimos que una persona es mejor o más adecuada para un determinado propósito a partir de nuestros gustos o impresiones personales acerca de ella. Estos gustos o criterios han sido construidos por nuestra mente a lo largo de nuestra experiencia vital individual. Debemos reconocer que, a pesar de lo habitual de tal ejercicio evaluativo en nuestra vida diaria, este responde a criterios no reproducibles. Una persona puede apreciar que otra es la indicada para tal tarea o reconocimiento, y otra pensar todo lo contrario, si de apreciaciones se trata. Esto funciona igual al gusto por un tipo de música, o de ropa, o de colores. “Para gustos se hacen colores”, dice un viejo refrán.

La producción de nuevos saberes es hoy en día un pilar de la civilización. Se suele reconocer a la ciencia como la principal protagonista de esta actividad. ¿Qué es buena ciencia? ¿Qué es mala ciencia? Se pueden escribir enciclopedias con criterios personales acerca de esto. Sin embargo, existe un buen consenso de que se puede confiar en los resultados de la buena ciencia mientras que los de la mala deben tomarse con cautela. La confiabilidad solo se puede comprobar inequívocamente repitiendo los resultados que se hayan obtenido y esa es una tarea ingente y

muy cara. Por ello, la práctica científica actual se realiza dando por confiables los resultados que se publican en una revista reconocida, donde se ha requerido la opinión positiva de especialistas muy calificados y anónimos para autorizar la publicación, que son los árbitros editoriales.

Un resultado de calidad y bien publicado implica que sus autores también describan detalladamente cómo lo obtuvieron. Eso permite que los interesados puedan por sí mismos repetir el procedimiento independientemente y obtenerlo de nuevo. Cuando ha ocurrido que alguien intenta repetir lo que un autor ha descrito como su procedimiento y no obtiene el mismo resultado, la comunidad científica se estremece, se desacredita el autor original y con él la revista que lo publicó. Gracias a estos a veces complejos procedimientos la ciencia contemporánea ha podido llegar hasta donde estamos, y se podrá seguir avanzando y confiando en ella cada vez más.

Por otra parte, la necesidad de disponer de elementos de calificación de los autores de resultados científicos también aparece en primer plano. Hoy en día se otorga financiamiento para la realización de la ciencia sobre la base de la confiabilidad científica de los que lo reciben. El financiamiento de la ciencia es una inversión a riesgo. El que pone los fondos, casi siempre por adelantado, necesita un resultado y tiene que saber si la persona que le ofrece obtenerlo está debidamente preparada, es confiable, para recibir el dinero y logrará los resultados

deseados a cambio.

Un caso típico podría ser que una agencia gubernamental requiriera un veredicto acerca de las condiciones de una determinada cuenca hidrográfica para autorizar la utilización de sus aguas para el consumo humano. Se pueden presentar tres grupos científicos con propuestas de presupuesto, procedimientos a seguir y plazos de obtención de la información deseada. Obviamente que la agencia que otorgará los fondos tendrá en cuenta todos estos factores en el momento de decidir cuál de los tres grupos obtendrá los fondos. Pero también debe tener un elemento de calificación de los científicos que lo van a obtener, para saber cuan confiables serán los resultados que se prometen.

Una forma para obtener esto suele ser el análisis de los currículos de vida científica de los postulantes. Un autor que haya publicado poco, o artículos con poca relación con los resultados deseados, puede quedar rezagado en la decisión con respecto a otros. Pero el juicio va a tener un importante grado de subjetividad si no aparece alguna cifra complementaria de calificación que sea independiente de lo que los propios científicos escriben en sus currículos.

Por eso resulta muy importante una idea que sugirió Jorge E. Hirsch, un físico de la Universidad de California en San Diego en 2005 para estimar la relativa calidad de los físicos teóricos. Este científico propuso una calificación acumulativa, o índice, o número, que dependiera de cuantas publicaciones haya hecho un autor y de cuantas veces esas publicaciones fueran citadas. Una publicación puede ser leída muchas veces y eso es muy difícil de medir, pero cuando se sabe cuántas veces se le cita ya la medición es más justa. Al citársele se comprueba que no solo fue leída, sino que también fue “usada” de alguna manera la información que esa publicación portaba. De esa forma se puede tener un indicador comparable que permite con cierta confiabilidad ayudar a decidir quién puede ser

más confiable con respecto a otro.

La definición de este “número” o “índice de Hirsch”, o simplemente “índice h ”, es difícil en abstracto. Su comprensión se facilita cuando se refiere a un caso particular. Un autor puede calificarse con un valor de índice h si ha publicado h artículos que han sido citados en otros artículos al menos h veces.

En términos de una fórmula matemática puede expresarse como que:

$$\text{Índice } h(f) = \mathbf{max}_i [\mathbf{min}(f(i), i)]$$

donde f es el número de citas de cada artículo i .

La popularidad de esta calificación es enorme hoy en día porque las grandes casas procesadoras de la información científica contabilizan cuidadosamente las citas que reciben los artículos que manipulan o publican. Esto se ha convertido en algo tan capital para la ciencia como la venta de libros para un autor de novelas o la asistencia a los cines para los directores de películas.

A modo de ejemplo y para utilizar un caso de modesto hacer, el autor de estas líneas tiene reportado actualmente en la herramienta “Google Scholar” un índice h de 20. Eso quiere decir que de sus 169 publicaciones 20 han sido citadas al menos 20 veces. Eso también nos sirve para saber cuáles de nuestros resultados han sido más trascendentales.

Ejemplificando, Hirsch propuso que para los físicos un índice h de 12 podía ser suficiente para que un joven científico pudiera ser contratado para un cargo de profesor auxiliar en una universidad respetable. Sin embargo, proponía que una posición de profesor titular no podía tener un índice h menor de 18. Para él la membresía en la Sociedad Americana de Física solo se podría aceptar para personas con un índice h mínimo alrededor de 15 o 20. Por supuesto, para él, un físico miembro de la Academia de Ciencias

de los Estados Unidos no puede tener menos de 45 como índice *h*. Como puede observarse de estas consideraciones, el índice *h* puede presentar también una enorme interdependencia con los sistemas de gestión de la educación superior y de la ciencia en cada país.

Se puede usar también el índice *h* para comparar instituciones y países. Esto implicaría siempre establecer valores absolutos o relativos en dependencia de como deseamos la comparación. Comparar el índice *h* de la ciencia de los EEUU con el de Suiza en términos absolutos puede dar información acerca de cuál ciencia es más influyente en el mundo, y es fácil anticipar que sería la del país americano, por una evidente disparidad volumétrica. No está claro, sin embargo, cuál sería el resultado de comparación si se sacara a partir de índices *h* por investigador o por habitante. Eso queda para los científicos de la ciencia.

El índice *h* tiene muchas posibilidades de ser objetado, como casi todo en la vida. Una de ellas se refiere a que un autor con una larga trayectoria científica es difícil de comparar con uno que comienza su carrera. Esto se atenúa con al menos dos argumentos o modificaciones. Uno de ellos es que el índice *h* se hace muy bueno cuando se usa para comparar científicos del mismo campo del conocimiento y de la misma generación. En la medida en la que los campos y las trayectorias científicas difieren las equiparaciones son menos confiables. Existe además una modificación que se denomina en índice *h10*, que se refiere al número de publicaciones de un científico, o una institución o un país que tienen al menos 10 citas en otros artículos.

Las fuentes más importantes hoy en día para conocer el índice *h* de un investigador dado son sistemas muy conocidos por los científicos y gestionados por empresas procesadoras de información. Las especializadas en la ciencia son *Scopus* (del

gigante Elsevier) y la *Web del Conocimiento* (de Thomson – Reuters). La especializada en el todo es Google, con el *Google Scholar*. No siempre coinciden y todas tienen sus campos de especialización en las que son más o menos fuertes.

Este índice *h* puede tener una cierta importancia en Cuba y siempre dependerá de la época y del estado de nuestra educación y nuestra ciencia. Un evidente error sería considerarlo ahora mismo como determinante para ciertas decisiones. Pero sería mucho más grave ignorarlo, mirar en otra dirección, y separarnos de un sistema de evaluación que podría en muchos casos ser de gran utilidad para promover la máxima calidad posible en nuestra enseñanza científica y en la producción de nuevos conocimientos y tecnologías, que tanto bienestar pueden proporcionar a la sociedad.

Índice-h de algunos investigadores^a

Nombre	Índice-h	Afiliación
Carlos Peniche	33	Fac. Química, UH
Roberto Cao	27	Fac. Química, UH
Margarita Suarez	24 ^b	Fac. Química, UH
Agustín Lage	24 ^c	CIM.
Gilberto Pardo	22	IFAL, UH
Ernesto Altshuler	20	Fac. Física, UH
Daniel García	20	Fac. Química, UH
Luis A. Montero	20	Fac. Química, UH
Rafael Bello	19	Universidad de las Villas
Estael Ochoa	18	Fac. Química, UH
Roberto de Armas	16	Fac. Biología, UH
Ricardo Grau	16	Universidad de las Villas
Vicente Verez	16 ^b	Instituto Finlay
Ernesto Villar	15	Universidad de las Villas
Aimé Peláiz	15	Fac. Física, UH
Jaques Rieumont	15 ^b	Fac. Química, UH
Carlos Pérez	14 ^b	Fac. Química, UH
Michael Grätzel	216 ^c	Laboratory for Photonics and Interfaces, Switzerland
G. M. Whitesides	207 ^c	Harvard University, USA
Alan J. Heeger	164 ^c	University of California, USA
Martin Karplus	147 ^c	Harvard University, USA

^aValores suministrados por Claudia Iriarte y David Hernández.

La información fue obtenida de la base de

datos de *Google Académico*, excepto las señaladas con asterisco, extraídas de otras fuentes: ^b*ResearchGate Website* y ^c*Scopus*.

Una visión personal de los principios del trabajo científico. Parte 8: El aprendizaje autodidacta

Enseñanza
de la
Química

Manuel Álvarez Prieto
Departamento de Química Analítica. Facultad de Química. Universidad de La Habana
malvarez@fq.uh.cu



Este artículo es la octava parte de una serie de artículos dirigidos a exponer algunos puntos de vista personales relacionados con los principios del trabajo científico. En el primer artículo de la serie se enumeraron lo que el autor ha denominado principios del trabajo científico.¹ En los artículos siguientes se discutieron varios de esos principios², un principio en cada uno de ellos. El enumerado como décimo quedó redactado de la siguiente forma: **“Es necesario desarrollar y poseer la capacidad de aprender por uno mismo.”**

Durante toda nuestra vida escolar (entiéndase ese periodo desde sus inicios hasta la culminación de los estudios universitarios), recibimos el beneficio del proceso de instrucción y educación llevada a cabo por maestros y profesores. Una gran parte de los conocimientos adquiridos son impartidos por ellos, a través de las diferentes actividades docentes desarrolladas.

Sin embargo, no puede olvidarse que el proceso de aprendizaje generalmente incluye un esfuerzo personal que debe tener un carácter activo. Hasta cuando aprendemos las primeras letras debemos esforzarnos para aprenderlas (a veces bajo la presión de los deberes escolares, los exámenes o nuestros padres). Así, aprendemos a aprender desde los primeros momentos.

Pero también, la comprensión del mundo que nos rodea desde edades tempranas conlleva el aprendizaje de muchas cosas por nosotros mismos. En cierta medida, muchas

cosas se aprenden por medios autodidactas. De esa manera puede decirse que el aprendizaje autodidacta es consustancial con el aprendizaje mismo en general.

Un profesional, independientemente de su campo o disciplina, debe tener la capacidad de aprender por sí mismo. Todos los profesionales dirigen su trabajo a la solución de problemas. Esos problemas son de algún tipo: tecnológico, económico, social o científico. Para resolverlos, de alguna manera hay que adquirir conocimientos necesarios que constituyen puntos de partida. Quizás muchos de ellos ya los posea el profesional. Pero otros (algunos de ellos muy específicos) deben ser adquiridos necesariamente durante el proceso de solución. Son adquiridos de fuentes diversas, generalmente bibliográficas: monografías, artículos de revistas, etc.

Los científicos deben también poseer la capacidad de aprender por sí mismos. Es una de las habilidades fundamentales que debe poseer. Es una aptitud o talento sumamente importante para lograr el conocimiento durante las labores científicas. Entiéndase aquí conocimiento tanto el conocimiento obtenido por otros, como el nuevo conocimiento a lograr durante el proceso de búsqueda de la verdad científica. Así, el científico debe tener la capacidad de aprender por sí mismo en dos direcciones: para adquirir los conocimientos de partida necesarios para resolver los objetivos científicos que se propone, y para generar los nuevos

conocimientos científicos. La obtención de esos nuevos conocimientos científicos, es la solución de los problemas científicos planteados en sí misma y quedan recogidos en los objetivos científicos trazados. Por supuesto, los nuevos conocimientos generados son también aprendidos.

No obstante, el aprendizaje no puede desarrollarse en toda su potencialidad, si no se acompaña de la crítica y la autocrítica. Sobre ambas actividades se discutió extensamente en el cuarto artículo de esta serie.

Muchos sabemos que Cristóbal Colón arribó a la Isla de Cuba el 28 de octubre de 1492. Sobre esa fecha hay total acuerdo porque se disponen de pruebas documentales que así lo demuestran, y en particular su diario de navegación. Pero no hay consenso científico absoluto sobre el lugar exacto de la isla donde se efectuó su desembarco. Varios lugares se identifican por diferentes autores como lugar exacto de su arribo. El conocimiento correcto sobre el asunto debe incluir el concepto de esa falta de consenso. Así, la idea “Cristóbal Colón arribó a Cuba el 28 de octubre de 1492 por el lugar del Parque Monumento Nacional Bariay”, puede no ser correcta, pues algunos estudios plantean que éste se efectuó frente a Cayo Bariay.³ En su lugar debe expresarse algo como “Cristóbal Colón arribó a Cuba el 28 de octubre de 1492 y existe acuerdo que fue por un lugar cercano al Parque Monumento Nacional Bariay”.



Figura 1. Lugar que se atribuye por fuentes autorizadas al lugar exacto del desembarco de Cristóbal Colón.

Este es un ejemplo de como la crítica al conocimiento existente puede jugar un papel importante.

Puede añadirse que quizás más importante que saber mucho es saber bien lo que sea fundamental. Y saber bien implica emplear la crítica a los conocimientos existentes y aplicar la autocrítica a los conocimientos que se poseen o los que se generen por parte del científico.

Los llamados métodos activos y participativos de la enseñanza en gran medida están dirigidos a desplegar la capacidad de aprendizaje autodidacta en los alumnos⁴. Sobre la base del énfasis en el papel activo que debe tener el estudiante durante el proceso de aprendizaje, más que aprender de otros, es aprender por sí mismo. En ellos la crítica y la autocrítica juegan papeles fundamentales. Pero lo más importante es que desarrollan la capacidad de los estudiantes de aprender por sí mismos, simulando lo que ocurre durante toda la vida profesional del graduado. Estos métodos de la enseñanza o modelos didácticos van ganando cada vez un mayor espacio en los sistemas de educación.

Como se expresó en el cuarto capítulo de esta serie, la crítica y la autocrítica se efectúa mediante muchas maneras y en diversos escenarios. Por ejemplo, una lectura cuidadosa de un artículo científico debe conllevar un análisis cuidadoso de la verosimilitud de todas las ideas que contiene, al menos las esenciales. Más aún, la identificación de la falta de verosimilitud de un planteamiento científico puede constituir la identificación de un problema científico que a su vez puede definir un objetivo científico.

El autor de este artículo tiene un método muy personal de manejar la literatura científica que utiliza. Por ejemplo, en los artículos que ha estudiado, normalmente el autor refleja las inconsistencias, contradicciones, errores y otros aspectos señalados que encuentra, incluyendo la relación que puede guardar lo planteado en el

artículo con otras fuentes. Esto se deriva del hecho que todo nuevo conocimiento se relaciona con conocimientos previos y tendrá relaciones con conocimientos a desarrollar en el futuro. No obstante, la forma de hacerlo es un asunto de estilo que puede adoptarse de acuerdo al gusto y la conveniencia de cada cual.

La forma de estudiar una fuente de conocimientos con espíritu crítico puede variar de un profesional a otro. Pero un estudio cuidadoso de los antecedentes para resolver un problema, necesariamente debe incluir la actividad crítica en mayor o menor medida.

También en la esfera de actividades profesionales se necesitan conocimientos de diferentes características. Todo lo anteriormente expresado en este texto es válido para los conocimientos teóricos, pero se aplica igualmente a los conocimientos empíricos. En el sexto artículo de esta serie, al discutir sobre la importancia de la creatividad en la labor científica, se expusieron algunas ideas sobre ambos tipos de conocimientos. Generalmente, y de forma especial en las ciencias experimentales, ambos tipos de conocimientos son importantes. Aunque cuando se habla de aprendizaje autodidacta, pudiera venir a la mente en primer término las actividades desarrolladas durante la aplicación de los métodos teóricos del conocimiento, el aprendizaje por medios propios es también de suma importancia al utilizar los métodos empíricos del conocimiento. La capacidad de aprender sin ayuda elementos importantes para la aplicación de los métodos empíricos (observación o examen, medición y experimentación) es algo que contribuye grandemente a la utilización de ellos por parte del científico. No debe esperarse que todo el conjunto de elementos y circunstancias que gravitan alrededor de los métodos empíricos sean enseñados por otros. Eso no implica que en ciertos casos un comentario o

recomendación de un colega sobre la aplicación de un método empírico pueda ahorrarnos esfuerzos y tiempo.

Pero el aprendizaje autodidacta también es importante para dirigir la especialización del científico por cauces deseados. Él juega un papel muy importante en el desarrollo de la cultura profesional general. En la quinta parte de esta serie se discutió sobre la importancia que tiene la cultura profesional en particular y la cultura general en el trabajo científico.

En muchas ocasiones, cuando el científico aborda la solución de un problema dado, tiene que adquirir conocimientos que no posee nadie de su medio. Aunque se reconoce que constantemente estamos aprendiendo de los demás, y en particular en nuestras interacciones con otros científicos, no siempre es posible el acceso a colegas que posean el conocimiento específico que necesitamos. Disponer de buenos interlocutores con los cuales se pueda discutir con profundidad sobre temas científicos, contribuye grandemente a aprender de ellos, pero también a aprender por uno mismo. Cuando ellos escasean en el entorno inmediato, se requiere buscarlos en otros ámbitos. Esa es una de las razones de la colaboración científica nacional e internacional. La comunicación permanente con colegas afines es fundamental.

Algunas actividades científicas como congresos, reuniones, defensas de tesis y otras, constituyen contextos adecuados para viabilizar la comunicación y el intercambio. En ellos también aprendemos. Un nuevo enfoque para abordar un asunto, un elemento que no habíamos tenido en cuenta, un conocimiento complementario y muchos otros aspectos, contribuyen a nuestro acervo profesional. Y por supuesto, todo conocimiento que podamos apreciar en esos escenarios, hay que abordarlo con espíritu crítico.

El autor no conoce una fuente bibliográfica que discuta con cierta extensión sobre la importancia del aprendizaje autodidacta en la labor científica. Tal vez eso le confiere algo de valor a la discusión expuesta en este trabajo.

Epílogo

Se puede expresar que quizás la habilidad o talento de mayor importancia de un científico es la capacidad de aprender por sí mismo. Prácticamente a partir del aprendizaje se origina todo lo demás. Todo lo que hagamos para desarrollar en nosotros la capacidad del aprendizaje autodidacta no es un esfuerzo inútil. Ella tiene que necesariamente acompañarse de los espíritus crítico y autocrítico. Eso puede contribuir a la formación de una cultura profesional sólida y al logro del éxito de la labor científica.

En próximos artículos, se continuará la

discusión *in extenso* de otros principios de esta visión personal del trabajo científico.

Referencias

1.- Álvarez Prieto, M., Una visión personal de los principios del trabajo científico. Parte 1, Encuentro con la Química, **2015**, 1, No. 2, 38-41.

2.- Álvarez Prieto, M., Una visión personal de los principios del trabajo científico. Parte 7: La publicación de los resultados científicos, *Encuentro con la Química*, **2017**, 3, No. 2, 33-41, y referencias que contiene.

3.- <https://es.wikipedia.org/> Wikipedia, acceso el 11 de febrero de 2016.

4.- Mabrouk, P.A., Addressing faculty objections to the implementation of active learning strategies in the analytical chemistry course, *Anal. Bioanal. Chem.* **2005**, 383, 365–367.

Breve Historia de las Armas Químicas: de la Antigüedad a Nuestros Días

Historia
de la
Química

Roberto Martínez Álvarez
Catedrático de Química Orgánica, Facultad de Ciencias Químicas,
Universidad Complutense de Madrid, España.
Miembro del Comité Científico Consultivo de la Organización para la Prohibición
de las Armas Químicas (OPAQ).
rma@ucm.es



Introducción

Este año se cumple el vigésimo aniversario de la creación de la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPAQ). Esta organización supranacional fue creada en 1997 con objeto de hacer cumplir la Convención sobre las Armas Químicas (CAQ) que había sido firmada y ratificada por la mayoría de los países. Sin embargo, para llegar a esa situación habían pasado muchas vicisitudes a lo largo de la historia. En este artículo se pretende dar una breve visión de lo que ha sido el uso de las armas químicas a lo largo de la historia y de cómo el rechazo que éstas producen llevó finalmente a la firma de la CAQ.²

Quizás antes de todo habría que definir qué se entiende por arma química. Les puedo asegurar que la definición que contiene la CAQ es bastante exacta y abarca todas las posibilidades nocivas del empleo de dichas armas. Pero considero que primero debemos navegar por la historia y seguir una línea de tiempo que nos llevará a lo que se entiende hoy por arma química, y lo que engloba la definición actual.

Para poder empezar con nuestro viaje histórico deberíamos tener en cuenta que el uso de cualquier material, mezcla o compuesto químico para asegurar una ventaja táctica y estratégica en un conflicto bélico puede

considerarse como empleo o uso de la química en la guerra. La Química como una de las Ciencias Fundamentales siempre ha sido utilizada por los hombres para intentar asegurarse una victoria en la guerra desde el principio de los tiempos.

Según el libro del Génesis, Caín dio muerte a su hermano Abel golpeándole con una quijada de asno, es decir, usando un objeto compuesto entre otros materiales por carbonato y fosfato cálcico. La química aparecía ya como algo que da ventaja al combatiente o al que pelea. El fuego como representación de una reacción de combustión quizás haya sido uno de los primeros usos de la química en la guerra o en peleas tribales. La Metalurgia que permitió hacer armas, primero de bronce y posteriormente de hierro y más tarde aún de acero, es uno de las aplicaciones de la química para el arte de la guerra. No digamos nada de la aparición de la pólvora negra y más tarde de diversos explosivos. El descubrimiento accidental de la pólvora sin humo (nitrocelulosa o algodón pólvora) y su uso generalizado cambió el curso de la historia a lo largo de batallas y guerras a partir de la segunda mitad del siglo XIX. Por tanto, hablar de armas químicas es hablar de la historia de la Humanidad y de sus guerras. Sin embargo, en este artículo nos ceñiremos al uso de sustancias tóxicas o venenosas como armas de guerra química.

Historia (antes de la primera guerra mundial)

² Este artículo está dedicado a mis buenos amigos Roberto de Armas y Margarita Suárez, profesores de la Universidad de La Habana.

El uso de sustancias químicas por su efecto nocivo o venenoso es casi tan antiguo como el hombre. Menes, faraón del antiguo Egipto (hacia el 3000 aC), poseía una importante colección de venenos tanto de origen animal como vegetal. Ya en esos tiempos remotos se conocían los efectos nocivos del ácido prúsico (disolución acuosa de HCN). Como es lógico, y dado que el conocimiento necesario para usar estas sustancias estaba en posesión de muy pocas personas, el uso de estos venenos era un uso-perdónenme la expresión-personalizado y no masivo. Existen escritos de la antigua Babilonia (2000 aC) en los que se cuenta cómo se empleaban en batallas artefactos incendiarios y humos tóxicos. También está recogido cómo los chinos hacia

el año 1000 aC empleaban vapores irritantes en la guerra. Nada se sabe de la composición de las sustancias empleadas, pero en todo caso es revelador cómo la química comenzó a ser un arma de importancia en la guerra. Tucídides, historiador griego que narró la guerra del Peloponeso (Atenas contra Esparta, 431-404 aC), nos contó cómo se usaba una planta muy común en los países mediterráneos (el heléboro) para envenenar los pozos de agua de las fortalezas y ciudades sitiadas. Dicha planta producía una aguda gastroenteritis, lo que disminuye, como es lógico, la capacidad combatiente del sitiado. Además se usaban azufre y brea para producir humos sofocantes que ascendían desde las partes bajas de las murallas facilitando el asalto de los atacantes.

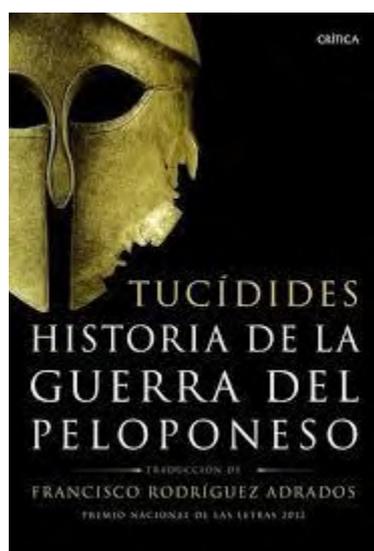


Figura 1. Mapa de la antigua Grecia con la división política en los años de la guerra del Peloponeso

En la Hispania romana está documentado cómo Quinto Sertorio usó, hacia el año 80 aC, “humos arsenicales” para forzar la salida de los caraquitanos que se habían escondido y refugiado en cuevas próximas a Cástulo (hoy Linares, provincia de Jaén). Siguiendo con nuestro viaje histórico nos encontramos con una de las leyendas de la antigüedad: el fuego griego. La primera referencia del uso del fuego griego indica que fue empleado por Kallinikós

durante el primer sitio de Bizancio en el año 677. Dicho fuego griego, que incluso ardía en el agua, permitió la hegemonía del imperio bizantino hasta su postrera caída en 1453. Nadie ha logrado, al menos así parece indicarlo la historia, emplear nuevamente el fuego griego cuya composición era secreta. Parece que debía ser una mezcla de brea, nafta, nitrato sódico y cal viva. Sin embargo, sigue siendo un misterio su fabricación y origen.



Figura 2. Representación antigua del empleo del llamado “fuego griego”

Llegamos al final de la Edad Media y las luchas se convierten en guerras de asedio a fortalezas y ciudades amuralladas. Para acortar estos asedios un personaje tan importante como Leonardo Da Vinci, implicado en numerosas ramas de las ciencias de entonces, propuso el uso de proyectiles que contenían azufre, arsénico y acetato de cobre para envenenar a los sitiados. Durante la guerra de los Treinta Años (1618-1648) y en el sitio de Groninga (Países Bajos) se usaron artefactos explosivos que contenían belladona. Los alcaloides de dicha planta (escapolamina y atropina) producían delirios y alucinaciones.

La guerra de Crimea (1853-1856), en la que se enfrentaron por un lado el imperio turco, apoyado por Francia y Gran Bretaña, y por otra parte el imperio ruso, proporcionó la oportunidad al Reino Unido de usar armas químicas. Así, Leon Playfair, químico británico, propuso el uso de proyectiles de artillería que contenían como carga venenosa cianuro de cacodilo (cianuro de dimetilarsina). Los compuestos orgánicos de arsénico habían sido preparados años atrás por Bunsen, el mismo que dio nombre al mechero de gas usado en los laboratorios. Sin embargo, Lord Palmerston, Primer Ministro Británico, rechazó tal idea aconsejado por la Oficina de Guerra (War Office). A continuación, he copiado el alegato de Playfair al conocer la negativa a su pretendido uso de proyectiles venenosos:

There was no sense in this objection. It is

considered a legitimate mode of warfare to fill shells with molten metal which scatters among the enemy, and produced the most frightful modes of death. Why a poisonous vapor which would kill men without suffering is to be considered illegitimate warfare is incomprehensible. War is destruction, and the more destructive it can be made with the least suffering the sooner will be ended that barbarous method of protecting national rights. No doubt in time chemistry will be used to lessen the suffering of combatants, and even of criminals condemned to death.

Alguien podría preguntarse si durante esos años hubo algún intento para acabar con el uso de las armas químicas. Habrá que decir que en 1675 Francia y el Sacro Imperio Germánico establecieron el primer protocolo para la prohibición de proyectiles envenenados, el cual se denominó Acuerdo de Estrasburgo. Aunque dicho tratado no llegó nunca a entrar en vigor, supuso el primer intento de acuerdo bilateral para la regulación de la guerra. Casi dos siglos después la Declaración de Bruselas en 1874 representó el primer tratado internacional con intención de compilar las leyes de la guerra. Posteriormente, la primera conferencia de La Haya en 1899 fue firmada por veintiséis naciones con objeto de limitar el armamento. Años después, la Segunda Conferencia de La Haya (1907) reflejó una serie de acuerdos respecto a las leyes y costumbres de la guerra terrestre.



Figura 3. Los participantes en la firma del Acuerdo de Estrasburgo (27 agosto de 1675) se felicitan tras la firma del protocolo



Figura 4. Los participantes en la Conferencia de Bruselas (1874)

La primera guerra mundial

La historia de la génesis de la Primera Guerra Mundial o Gran Guerra (1914-1918) es sin duda unos de los episodios más absurdos llevados a cabo por las cancillerías y gobiernos de las naciones que entonces dominaban el mundo: Imperio Austro-Húngaro, Imperio Alemán, Imperio ruso, Francia y Reino Unido. Después de sucesivas amenazas entre países por el deseo de Austria de intervenir militarmente en Serbia, a la que acusan del asesinato en Sarajevo del heredero del trono imperial, y de la invocación de alianzas y ententes entre las naciones, el 1 de agosto de

1914 con las órdenes de movilización general en Francia y Alemania se inició uno de los más devastadores conflictos que ha conocido el mundo.

Alemania, violando la neutralidad de Bélgica, atravesó este país para atacar Francia, consiguiendo espectaculares avances que se detuvieron a la vista de París en la Batalla del Marne. Ello llevó a una inmovilización del frente (otoño de 1914) que pasó a ocupar unos 800 kilómetros (desde el Mar del Norte hasta la frontera suiza) de trincheras. Mientras, el bloqueo por mar ejercido por la flota británica (Home Fleet) sobre el comercio naval de todo tipo de materias vació los puertos alemanes y

llevó en poco tiempo a que Alemania se viera prácticamente colapsada en algunas de las actividades industriales que eran claves para el mantenimiento de la guerra. Así, la importación del conocido como “nitrato de Chile” (nitrato sódico), materia prima para la fabricación de ácido nítrico, y por tanto, de fertilizantes y explosivos, quedó prácticamente cortada de cuajo. El flujo de barcos que cargados con el preciado nitrato llegaban desde las llamadas islas guaneras del océano Pacífico (Ecuador, Perú y Chile), quedó cortado. El Alto Estado Mayor Alemán sabía que la situación no podía revertirse en poco tiempo y que las fábricas de amoníaco sintético (Proceso Haber-Bosch) no eran suficientes para sostener el esfuerzo de guerra. Es por ello que a comienzos de 1915 el nuevo jefe del Alto Estado Mayor Alemán, General Erich von Falkenhayn, encargó a eminentes científicos alemanes el desarrollo de métodos químicos que pudieran ayudar a la ruptura del frente occidental con el propósito de conseguir el rápido fin de la guerra. Para ello, se creó la “Kaiser-Wilhelm Stiftung für Kriegstechnische Wissenschaften” donde trabajaron unas 1500 personas (de ellas 150 científicos de primer nivel). Al frente de este grupo colocaron a Fritz Haber y Walther Nerst

(ambos fueron galardonados con el Premio Nobel de Química en 1918 y 1920 respectivamente). La figura de Fritz Haber fue muy controvertida. Padre de la guerra química, también fue el descubridor junto a su colega Carl Bosch, del proceso que permite la fabricación del amoníaco a partir del nitrógeno del aire. La síntesis del amoníaco permitió la obtención de fertilizantes que acabaron con las hambrunas que antes del siglo XX existían en Europa. Recomiendo a los lectores de este artículo que lean el libro que sobre Fritz Haber salió publicado hace unos años (Figura 6). Fritz Haber se involucró personalmente en la guerra mientras otros científicos alemanes como Albert Einstein, amigo personal de Haber, renunciaron a hacerlo. No seré yo quien juzgue el comportamiento y la deontología de aquellos que, atrapados en un conflicto y en un tiempo, tomaron decisiones que hoy a la luz de nuestro tiempo parecen erróneas o incluso crueles. Como colofón a todo esto, permítanme mencionar una frase de Haber con la que justificaba su participación activa en la guerra: *Im Frieden der Menschheit, im Krieg dem Vaterland*, es decir, *en la paz me debo a la humanidad, en la guerra me debo a mi patria*.



Figura 5. Fritz Haber (a la izquierda) y Walther Nerst (a la derecha)

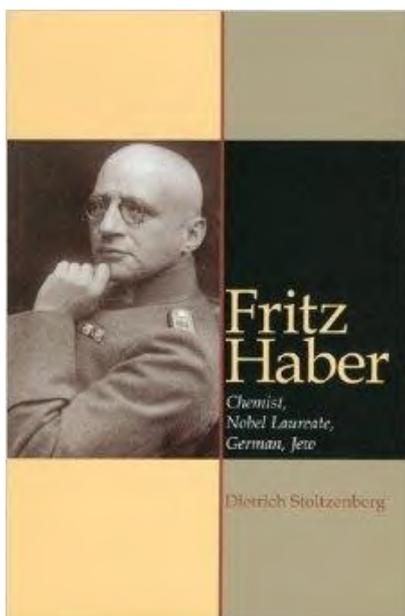


Figura 6. Portada del libro sobre la vida de Fritz Haber y éste junto a su amigo Albert Einstein

Durante el mes de marzo de 1915 en el frente occidental, en el saliente de Yprès (Bélgica), Fritz Haber ordenó colocar 1600 cilindros grandes y 4310 cilindros pequeños conteniendo cloro a lo largo de unos siete kilómetros de frente. Dado que el cloro se iba a diseminar desde los cilindros, hubo que esperar a que las condiciones meteorológicas (viento, humedad) fueran las idóneas.

Finalmente, hacia el mediodía del 22 de abril de 1915 se abrieron los grifos de las botellas que contenían el cloro. Una espesa nube de color amarillo-verdoso se encaminó, empujada por la brisa, hacia las posiciones francesas y británicas. 168 toneladas de cloro fueron lanzadas ese día hacia las trincheras de los aliados.



Figura 7. Primer ataque con cloro en Yprès el 22 de abril de 1915

Al principio, el efecto sorpresa fue devastador y se produjo una huida masiva de los soldados aliados que no habían perecido o resultado intoxicados. Sin embargo, el Alto Estado Mayor Alemán no confiaba en esta nueva táctica de guerra, con lo que el efecto

sorpresa no fue secundado por un ataque convencional (lo que en términos militares se denomina la explotación del éxito) y por tanto, el frente permaneció más o menos estable tras este primer gran ataque de guerra química. Los informes señalan que por el gas se produjeron

unas 5 000 víctimas (entre fallecidos y enfermos por envenenamiento). A efectos de comparación, podemos citar que del 22 de abril de 1915 al 25 de mayo de 1915 tuvo lugar lo que los historiadores conocen como la segunda batalla de Yprés. En dicha batalla, por métodos convencionales, hubo 106 000 bajas. Veremos luego, con datos más generales, cómo a pesar del rechazo y del pavor que infundieron las armas químicas durante este conflicto, su eficacia fue muy pequeña si la comparamos con el efecto devastador de las armas convencionales.

La baja toxicidad del cloro (dosis letal 1000 ppm), su extrema volatilidad y la dependencia de unas condiciones meteorológicas precisas, provocaron el descarte de esta sustancia como arma química. De esta forma, las investigaciones se centraron en nuevos compuestos, más tóxicos, más persistentes y de menor olor (para evitar detecciones rápidas). Así, se comenzó el llenado de proyectiles de artillería con nuevas sustancias. El primer compuesto en usarse en sustitución del cloro fue el fosgeno (11 diciembre de 1915, saliente de Yprés) cuya dosis letal es de 50 ppm. Aunque otras sustancias han alcanzado mayor renombre como armas químicas, el fosgeno produjo el 85% de las bajas por gas durante la Primera Guerra Mundial. En mayo de 1916 se comenzó a usar

el difosgeno (cloroformiato de triclorometilo) pues era más persistente y capaz de “romper” los filtros de las máscaras antigás con las que todos los ejércitos habían dotado a sus tropas. Aunque fue Alemania la nación que primero usó las armas de guerra química, su ejemplo fue seguido rápidamente por Francia y el Reino Unido.

La “reina” de las armas químicas fue sin duda alguna el gas mostaza o yperita, el cual se usó por primera vez el 12 de julio de 1917 nuevamente en Yprés, lo que convierte a esta ciudad en la villa mártir por excelencia de esta guerra. El gas mostaza (código HD), cuya denominación química es sulfuro de bis(2-cloroetilo), es a diferencia de los anteriores que se califican como asfixiantes o sofocantes, un líquido denso de aspecto oleoso que permaneció sobre el terreno y actuó como vesicante produciendo grandes ampollas, especialmente en las zonas más calientes y húmedas del cuerpo (vías respiratorias, ojos, axilas y genitales). Investigaciones posteriores pusieron en evidencia que las llamadas mostazas de nitrógeno (2-cloroetilaminas) y las lewisitas [(2-clorovinil)dicloroarsinas] eran agentes vesicantes de poder semejante a la mostaza de azufre o yperita. Sin embargo, la preparación de estas dos últimas familias fue posterior al fin de la guerra y por ello no fueron utilizadas en este conflicto.

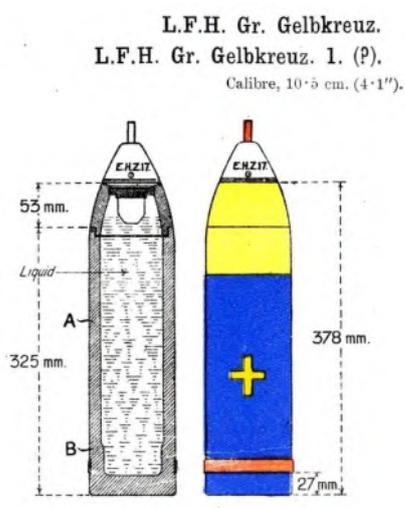


Figura 8. A la izquierda proyectil alemán para obús de 105 mm cargado de yperita (Leichte Feld Haubitze Granate, código alemán cruz amarilla); a la derecha soldado británico herido por exposición a la yperita mostrando la ampollas producidas

Todos los agresivos químicos de los que hemos hablado fueron profusamente usados en el campo de batalla durante la Primera Guerra Mundial por ambos bandos. Se calcula que fueron lanzadas o diseminadas unas 125 000 toneladas métricas de “gases de guerra”. Del total de víctimas de la guerra (10 millones de muertos) el arma química “solamente” produjo un 3% de las bajas totales. En realidad, el arma más letal y devastadora usada durante la guerra fue la artillería, que se calcula produjo un 59% del total de bajas. Como ejemplo

puntual cabe señalar que durante la batalla de Verdún (febrero-diciembre de 1916) se lanzaron unos 60 millones de proyectiles de artillería de todo tipo y calibre. A pesar de esta baja eficacia, el terror y el rechazo que produjeron estas armas químicas hicieron que el Tratado de Versalles (1919) prohibiera a Alemania el uso y fabricación de gases asfixiantes o venenosos. En tratados posteriores se incluyó la misma prohibición al resto de los países vencidos.

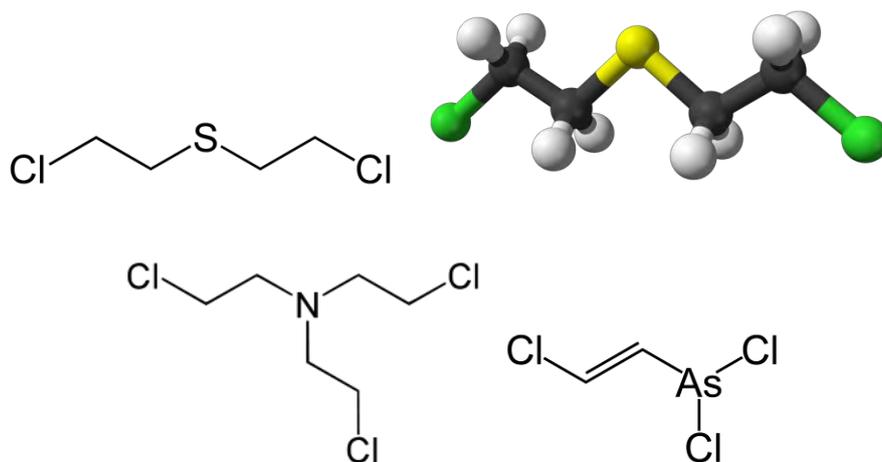


Figura 9. Fórmulas de la mostaza de azufre o yperita (junto al modelo de su estructura), de la tris(2-cloroetil)amina (mostaza de nitrógeno) y de la lewisita

Período entreguerras (1920-1945)

El movimiento de repulsa social por la consecuencia del uso de las armas químicas dio lugar a un proceso que culminó el 17 de junio de 1925 con la firma, por parte de 38 países, del denominado Protocolo de Ginebra sobre la prohibición del empleo en la guerra de gases asfixiantes, tóxicos o similares.

Durante los años veinte del pasado siglo comenzó la recuperación de los países perdedores de la Primera Guerra Mundial. En Alemania su industria química comenzó de nuevo a funcionar, y en 1925 se creó un consorcio de empresas químicas bajo la denominación de IG Farben (Interessen Gemeinschaft Farbenindustrie, Grupo de empresas de la industria de los colorantes) que

agrupó a empresas tan importantes como Bayer, BASF, Hoetsch y Agfa. El campo de producción no solamente se centró en colorantes, sino también en compuestos químico de interés como los insecticidas y pesticidas con objeto de no perder las cosechas almacenadas en silos. En noviembre de 1936, el Dr. Gerhard Schrader preparó un nuevo insecticida cuyos vapores producían a los trabajadores que entraban en contacto con sus vapores, dificultad para respirar, dolor de cabeza, falta de concentración y problemas en la visión por una importante miosis (contracción de la pupila). La casualidad llevó a Schrader a producir el primer agente nervioso de guerra química. Su síntesis no llegó a patentarse pues el gobierno de la Alemania nazi, al ver los resultados de las

pruebas con animales, se incautó de la patente por motivos militares. El nuevo compuesto se bautizó como tabún (por similitud fonética con la palabra tabú o secreto). En agosto de 1938, el mismo grupo de investigadores obtuvo una nueva molécula que bautizaron como sarín (apócope de las iniciales de sus creadores: Scharer, Ambros, Rüdiger, Linde).

Estas dos sustancias, codificadas posteriormente como GA y GB, se produjeron a gran escala por parte de Alemania durante la Segunda Guerra Mundial, pero no llegaron nunca a ser usadas. En 1943 las autoridades alemanas encargaron al profesor Richard Kuhn (Premio Nobel de Química en 1938) que

investigara el mecanismo de acción de estos compuestos. Las investigaciones establecieron que estos compuestos aumentaban el nivel de acetilcolina en el cuerpo, inhibiendo la respuesta nerviosa. En el curso de esta investigación el equipo del Profesor Kuhn sintetizó por primera vez un nuevo agente tóxico al que se dio el nombre de somán (GD). Es de destacar que toda la producción de estas sustancias, con las que se llenaron proyectiles de artillería y bombas de aviación que no fueron nunca usadas, fue llevada a cabo con tal secreto que cuando finalizó la guerra los aliados no tenían conocimiento ni noticia alguna sobre este nuevo tipo de arma química.

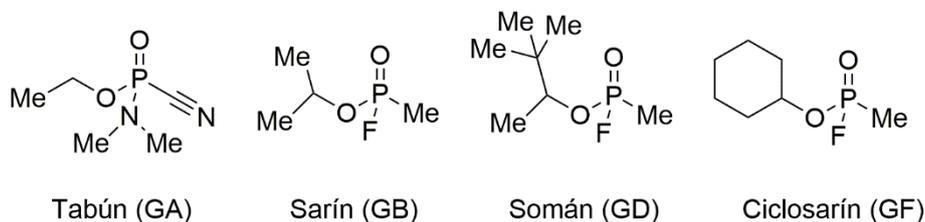


Figura 10. Agentes nerviosos con indicación de su código de identificación

La guerra fría

Finalizada la Segunda Guerra Mundial, EEUU y la URSS se apoderaron de las plantas más o menos desmanteladas que los alemanes habían usado para la producción de tabún y sarín, así como de la información para la preparación y almacenamiento de esas sustancias, comenzando la preparación a gran escala de estas armas químicas.

Nuevamente un hecho casual va a conducir a la síntesis de nuevos agresivos químicos de tipo gas nervioso, más tóxicos aún. Durante la guerra de Corea se observó que algunos de los prisioneros y refugiados que provenían de Corea del Norte eran portadores de piojos resistentes al DDT, uno de los insecticidas más

potentes hasta entonces conocido. Esto motivó el inicio de investigaciones para la preparación de nuevos insecticidas. En 1952 el químico Ranajit Ghosh que trabajaba en la Imperial Chemical Industries (ICI, Reino Unido) sintetizó una nueva sustancia que se bautizó como amitón. Los estudios de toxicidad demostraron que era extraordinariamente tóxico inhibiendo en mamíferos la función de la colinesterasa. El amitón, como cabeza de serie de otros compuestos familiares, fue codificado como VG (V de venom) y de los aproximadamente 50 agentes V que se prepararon los más conocidos son el VX y el VR también llamado "VX ruso". De este último agente de guerra, la Federación Rusa declaró en 1997 poseer unas 15 567 toneladas.

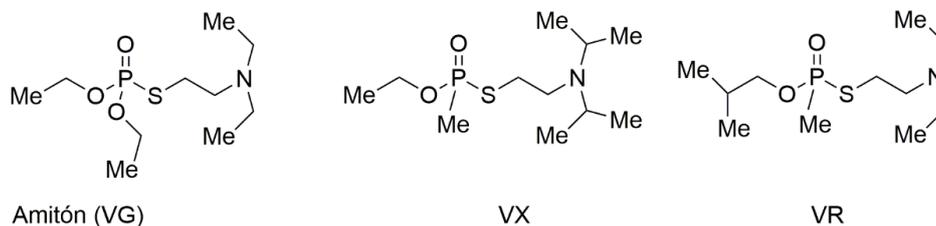


Figura 11. Principales agentes neurotóxicos de la serie V

La escalada nuclear llevó al concepto de desarme tanto en la opinión pública como en la redefinición de las estrategias de defensa. El desarme se extendió a las armas biológicas y químicas, pues la conclusión era que el beneficio de la posesión de dichas armas no compensaba el riesgo latente de su fácil disponibilidad y de los problemas del almacenaje de las ingentes cantidades fabricadas.

A lo largo de los siguientes años se establecieron una serie de Comités de Desarme auspiciados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) con objeto de evitar la proliferación tanto de armas químicas, biológicas y nucleares. La Convención para la Prohibición de las Armas Biológicas (CAB) se abrió a la firma en 1972, entrando en vigor en 1975. La Conferencia sobre Desarme, por resolución de la ONU, decidió en 1980 formar un grupo de trabajo *ad hoc* sobre armas químicas. Dado que durante la guerra irano-iraquí (1980-1988) Sadam Hussein usó en grandes cantidades armamento químico (yperita, sarín y ciclosarín), el rechazo social a tales armas aumentó enormemente en todo el mundo. Se estaban dando los pasos que iban a llevar felizmente a la Convención de Armas Químicas.

La Convención de Armas Químicas y la OPAQ

El 3 de septiembre de 1992 el Comité de Desarme de la ONU presentó el texto de la Convención sobre la prohibición, desarrollo, producción, almacenamiento, empleo de las armas químicas y sobre su destrucción (abreviadamente Convención de Armas Químicas, CAQ). El Secretario General de la ONU, como depositario de la Convención, la abrió para su firma el 13 de enero de 1993 en París, siendo firmada por 130 países en los dos primeros días y posteriormente depositada en Nueva York. El 29 de abril de 1997 se cerró el proceso de firmas y se creó la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPAQ) con sede en La Haya (Países Bajos) como organismo para velar por el cumplimiento de la Convención. Para revisar el proceso de implementación de la Convención cada cinco años los países signatarios se reúnen en las llamadas Conferencias de revisión o examen. La cuarta conferencia de examen está prevista para el próximo año 2018.



Figura 12. Acto solemne de apertura de firmas de la CAQ (en el centro, de pie, el entonces Presidente de Francia, François Mitterrand) y libro con el texto de la Convención



Figura 13. Cuartel General de la OPAQ en la Haya y actual Director General de la OPAQ, Embajador Ahmet Üzümcü (Turquía)

La CAQ define de forma precisa y exacta lo que son las armas químicas. A continuación, se incluyen algunas de las definiciones más significativas y aclaratorias de la Convención.

Según la Convención:

Por “armas químicas” se entiende, conjunta o separadamente:

- a) *Las sustancias químicas, tóxicas o sus precursores, salvo cuando se destinen a fines no prohibidos por la presente Convención, siempre que los tipos y cantidades de que se trate sean compatibles con estos fines;*
- b) *Las municiones o dispositivos destinados de modo expreso a causar la muerte o lesiones mediante las propiedades tóxicas de las sustancias especificadas en el apartado a) que libere el empleo de esas municiones o dispositivos; o*
- c) *Cualquier equipo destinado de modo expreso a ser utilizado directamente en relación con el empleo de las municiones o dispositivos especificados en el apartado b)*

Por “sustancia química tóxica” se entiende:

Toda sustancia química que, por su acción química sobre los procesos vitales, pueda causar la muerte, la incapacidad temporal o lesiones permanentes a seres humanos o animales. Quedan incluidas todas las sustancias químicas de esa clase, cualquiera

que sea su origen o método de producción, ya sea que se produzcan en instalaciones, como municiones o de otro modo.

Por “precursor” se entiende:

Cualquier reactivo químico que intervenga en cualquier fase de la producción por cualquier método de una sustancia química tóxica. Queda incluido cualquier componente clave de un sistema químico binario o multicomponentes.

Por “antiguas armas químicas” se entiende:

- a) *Las armas químicas producidas antes de 1925; o*
- b) *Las armas químicas producidas entre 1925 y 1946 que se han deteriorado en tal medida que no pueden ya emplearse como armas químicas.*

Por “armas químicas abandonadas” se entiende:

Las armas químicas, incluidas las antiguas armas químicas, abandonadas por un Estado, después del 1 de enero de 1925, en el territorio de otro Estado sin el consentimiento de éste último.

La OPAQ, su organización y su tarea

En la actualidad 192 países se han adherido a la CAQ lo que representa un 98% de la población mundial. Fuera de la CAQ permanecen Egipto, Sudán del Sur y la

República Popular de Corea (Corea del Norte). Israel ha firmado, pero aún no ha ratificado su adhesión a la CAQ.

La OPAQ posee un Consejo Ejecutivo que es el órgano que vigila el cumplimiento de la CAQ y supervisa las tareas de la Secretaría Técnica. La división de los países por zonas, es decir, África, Asia, Europa del Este, Grulac (América Latina y Caribe) y el grupo de Europa Occidental y otros Estados (EEUU y Canadá) tienen su reflejo en la composición del Consejo Ejecutivo. Así, en la actualidad,

este Consejo está compuesto por 9 países de África, 9 de Asia, 7 del Grulac, 10 de Europa Occidental y otros Estados, más un miembro que rota temporalmente entre el grupo de Asia y del Grulac. Este año, durante el mes de julio, ha tenido lugar la 85ª reunión del Consejo ejecutivo que se volverá a reunir en octubre para celebrar la 86ª reunión. A su vez, todos los Estados Parte (firmantes de la Convención) se reúnen en la denominada Conferencia de Estados Parte cuya última reunión plenaria (21ª) tuvo lugar en 2016.



Figura 14. Apertura de la 17ª Conferencia de los Estados Parte

La OPAQ maneja un presupuesto de unos 70 millones de euros (€), cantidad que pagan los países según la escala de cuotas de la ONU. Además, se reciben contribuciones voluntarias y esporádicas de diferentes países. Unas 500 personas trabajan para la OPAQ y existen seis lenguas oficiales: árabe, chino, español, francés, inglés y ruso. La OPAQ tiene nueve divisiones administrativas: administración, relaciones exteriores, inspección (la más numerosa), cooperación internacional y asistencia, supervisión de proyectos especiales, oficina para los órganos normativos y verificación. La sección de verificación y la de inspección trabajan en paralelo con las diferentes Autoridades

Nacionales que son los organismos que en cada país se encargan del cumplimiento de la Convención.

A su vez, la OPAQ posee tres órganos consultivos independientes: la comisión de confidencialidad, la oficina consultiva de asuntos administrativos y financieros y por último, el Comité Consultivo Científico (CCC, o en inglés Scientific Advisory Board, SAB). El CCC está compuesto por 25 expertos independientes de diferentes países que se renuevan cada seis años (período máximo de pertenencia al Comité).

La entrada en vigor de la CAQ obligó a los países poseedores de armas químicas a declarar a la OPAQ las cantidades y las

instalaciones de almacenamiento y producción. En total se declararon 70 000 toneladas de sustancias tóxicas y 8,6 millones de contenedores o proyectiles. En principio se pensó que en diez años sería posible la destrucción total de armas e instalaciones. Sin embargo, dado el elevado coste que ello supone, la construcción de instalaciones especiales para la destrucción, así como las medidas para el cuidado del medio ambiente que hay que adoptar en las operaciones de tratamiento, hoy en día se ha llegado a la destrucción del 94% del total de sustancias tóxicas. De las 97 instalaciones que se declararon, 56 se han destruido y 23 se han reconvertido para fines industriales pacíficos. Desde 1997, la OPAQ ha llevado a cabo 6327 inspecciones en 2255 industrias químicas situadas en 86 países diferentes. La destrucción de las armas químicas

almacenadas ha sido un gran reto para la industria química de los países que declararon su pertenencia. EEUU decidió realizar el proceso de destrucción mediante la incineración a muy elevada temperatura mientras que la Federación Rusa procedió a la destrucción mediante procesos de hidrólisis y bituminación de los residuos hidrolizados que se obtenían.

Por otro lado, la OPAQ, ante la necesidad de realizar análisis requeridos por las inspecciones, designa a ciertos laboratorios para estar acreditados en el análisis y verificación de armas químicas. Para lograr dicha designación, los laboratorios deben someterse a un riguroso proceso de examen o de pruebas de competencia (Proficiency Tests). En estos momentos, solamente 19 laboratorios están designados como laboratorios de verificación de armas químicas.



Figura 15. Fotografía oficial de la 24ª reunión del CCC en octubre de 2016



Figura 17. Inspectores de la OPAQ en su labor de desmilitarización verifican el número y categoría de proyectiles de artillería declarados por un país poseedor de armas químicas

La labor de la OPAQ se vio recompensada en el año 2013 con la concesión del Premio Nobel de la Paz. Seguramente los incidentes acaecidos en el mes de agosto de 2013 en Siria, y de cuya investigación se pudo establecer que había habido uso de sarín, propiciaron la concesión de dicho premio. Desde entonces en Siria se han vuelto a producir ataques y denuncias por uso de sustancias químicas tóxicas, especialmente cloro. Sin embargo, el último incidente de abril de 2017 en el que análisis medioambientales han probado el uso de sarín, marca una tendencia que la OPAQ no puede ignorar. La declaración de un país de la posesión de armas químicas es una declaración de buena voluntad y la falsedad de tal declaración deberá ser castigada de acuerdo a las leyes internacionales.



Figura 18. El Director general de la OPAQ con el certificado y la medalla del Premio Nobel de la Paz (2013)

Conclusiones

He querido plasmar en este artículo casi cinco mil años de guerras en los cuales se han empleado armas químicas y cómo a la par del desarrollo, éstas eran cada día más refinadas y mortíferas. Creo que el establecimiento de la CAQ es uno de los grandes hitos del desarme mundial. Hoy en día el peligro de ataque entre países usando armamento químico está prácticamente desaparecido o anulado. Por supuesto, y dado que la declaración de posesión es un acto que libremente ejecuta un país signatario, es posible que la declaración no sea exacta. Quizás hoy en día el peligro del arma química resida en la posibilidad de ataque terrorista.

Hasta la fecha solamente en una ocasión se usó una sustancia tóxica como el sarín contra la población civil. Fue el 20 de marzo de 1995 en el metro de Tokio. La dispersión se realizó por miembros de una secta pseudoreligiosa llamada Aum Shinrikyo. El atentado produjo 3227 intoxicados de los que fallecieron doce. La baja pureza del sarín empleado fue determinante en la escasa mortalidad alcanzada por el ataque.

Afortunadamente, y aunque la preparación de estas sustancias tóxicas es relativamente fácil, para alguien con conocimientos de

química, el control de reactivos precursores, así como la enorme toxicidad que obliga a implementar medidas de seguridad determinantes en su síntesis, convierten la preparación de estos tóxicos si no en una

misión imposible en un proceso difícil, costoso y muy, muy peligroso como para llevarlo a cabo en la cocina de un hogar o en un garaje.

La historia del desarrollo químico en Alemania en los siglos XIX y principios del siglo XX

Historia de la Química

David Wende
d.wende@posteo.de



La invasión napoleónica a países europeos como Bélgica, Holanda, Italia, España, Austria, Prusia y Rusia, tenía como objetivo lograr no solo la hegemonía militar, sino la expansión económica comercial e industrial de Francia. Aunque estas guerras arruinaron a los territorios ocupados dejaron, derrotando a Napoleón, un saldo positivo. Alemania logró superar el fraccionamiento feudal y producir un crecimiento acelerado de las relaciones capitalistas. Es en este momento que comienza la industrialización de Alemania.

Alemania, sin poseer colonias de donde extraer materias primas para la incipiente industria, requería obtener por otras vías productos como el azúcar, el índigo o la chinchona. Así por ejemplo, Johann Wolfgang Döbereiner, profesor de Química de la Universidad de Jena, aplica el descubrimiento que medio siglo antes habían hecho los químicos alemanes Marggraf y Achard, para obtener azúcar de la remolacha en una fábrica de Jena.

El rey prusiano Federico Guillermo III, ante el veto británico a exportar azúcar de caña al continente decidió apoyar y financiar una serie de refinerías por el país. Esto provocó que el azúcar obtenido de la caña de azúcar, que hasta entonces había sido considerado como un artículo de lujo, se convirtiera en un producto de primera necesidad.



Johann Wolfgang Döbereiner



Wilhelm von Humboldt

Los cambios en las relaciones económicas exigieron una reforma universitaria. Wilhelm von Humboldt, en su cargo de jefe de educación, comenzó una frenética y sorprendente actividad modificando planes de estudio, ampliando la educación a todos los niveles, e implementando la formación del profesorado y los exámenes de las escuelas primarias, secundarias (*Gymnasien*) y de las universidades. En 1810 y a sugerencia de Humboldt, el rey de Prusia creó la Universidad de Berlín, la cual estableció un

modelo universitario de unidades de investigación y enseñanza.

Entre los nuevos aspectos del sistema universitario se pueden mencionar: la formación de profesores, médicos, farmacéuticos y funcionarios estatales, la creación del trabajo de investigación como parte de la formación universitaria (no solamente basado en la recapitulación de obras escritas, sino en la preparación para la praxis y el desarrollo de nuevos métodos didácticos, clases en el laboratorio y libros de texto de asignaturas específicas), así como la formalización de la formación (el grado de doctor se volvió imprescindible para una carrera en las ciencias naturales o la industria). Hacia finales de 1870 había 17.000 estudiantes universitarios y 250 000 bachilleres en Alemania.

En esa misma época, importantes químicos alemanes estudiaban en universidades extranjeras, como Liebig en la Ecole Polytechnique de Paris bajo la dirección de Gay Lussac y Wöhler, quien fue discípulo de Berzelius en Estocolmo.

Liebig fundó en 1824 el primer laboratorio para estudiantes en Alemania, donde investigó, junto a sus asistentes y estudiantes, cientos de plantas. En ese laboratorio se formó una nueva generación de químicos influyentes como Bunsen, Hoffman, Kekulé, y Wurtz.

Liebig desarrolló en 1831 el Kaliapparat que permitió determinar la composición de productos orgánicos. En 1837 produjo el primer fertilizante artificial a base de sales de potasio y fosfato, y entre 1846 y 1849 desarrolló un fertilizante de fosfato soluble en agua. En 1840 publicó el libro *“La Química en su aplicación a la agricultura y fisiología”*, el cual tuvo gran resonancia científica.



Laboratorio de Liebig

Wöhler, por su parte, sintetizó en 1828 la urea a partir del cianato de amonio, lo que se considera el comienzo de la química orgánica al refutar con ello la teoría de la fuerza vital. Conjuntamente con Liebig, dio inicio al concepto de isomería al determinar igual composición para dos compuestos diferentes: el cianato de plata y el fulminato de plata. En 1832, de nuevo junto a Liebig, desarrolló la teoría de los radicales para explicar la génesis de compuestos de C, H y O. Después de 1836 Wöhler continuó trabajando fundamentalmente en el análisis inorgánico de minerales.

El auge de la Química en la primera mitad del siglo XIX conllevó a que esa disciplina se institucionalizara. En 1822 se fundó la *Deutsche Naturforscher-Versammlung* (Asociación de investigadores alemanes de la naturaleza).³ Este proceso de institucionalización incluyó, además, la creación de revistas científicas para cada rama de la ciencias: (1834) *“Journal für praktische Chemie”* por Otto Linné Erdmann; (1832) *“Annalen der Pharmacie”* por Liebig [sobre todo para publicaciones de química orgánica]; (1840) *“Annalen der Chemie und Pharmacie”*

³ (N del E) La primera sociedad de químicos en territorios alemanes fue fundada en 1867 (*Deutsche Chemische Gesellschaft zu Berlin*), cuyo primer presidente fue Hofmann. En 1949 se creó la Sociedad Alemana de Química (*Gesellschaft Deutscher Chemiker*).

por Wöhler Y Liebig; (1862) "Zeitschrift für analytische Chemie" por von Fresenius.

La revolución burguesa ocurrida en 1848, aunque fracasó inicialmente en su objetivo de unificar los distintos territorios alemanes, permitió una serie de reformas que fortalecieron a la burguesía alemana, incrementando su participación parlamentaria. En 1860 se logró finalmente la unificación territorial y del Estado, así como la institución de una única moneda y de las mismas unidades de medida como consecuencia de una necesidad económica de la burguesía.

En esta época tuvo lugar un fuerte desarrollo industrial basado en la producción de acero y de colorantes textiles.

Un químico importante en esta segunda mitad del siglo XIX fue Adolphe Wilhelm Kolbe, discípulo de Wöhler, quien desarrolló un método para sintetizar ácidos orgánicos a partir de sus elementos.



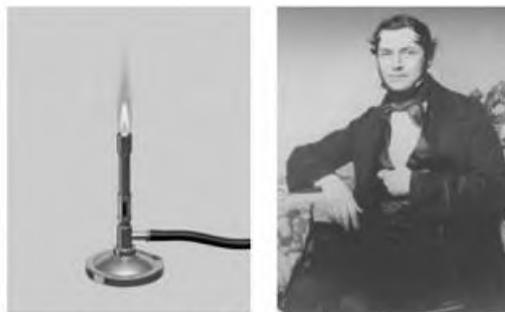
Kolbe

Kolbe obtuvo por esa vía el ácido salicílico, antecesor de la aspirina, y primer medicamento producido a escala industrial en la fábrica Chemische Fabrik v. Heyden.

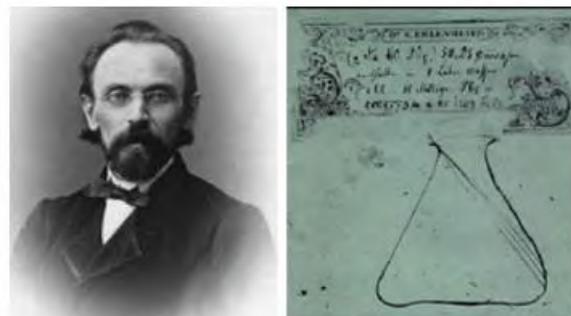
Sus investigaciones sobre la electrolisis de los ácidos orgánicos con producción de dióxido de carbono y alcanos, constituyeron una base teórica influyente en la comprensión de la naturaleza del enlace químico.

En esta época químicos alemanes se afanan en el mejoramiento de instrumentos de laboratorio. En 1855 Bunsen construyó el

quemador de gas que lleva su nombre. En 1861 Emil Erlenmeyer diseñó el matraz cónico usado hoy en día.



El mechero Bunsen R.W. Bunsen.



Erlen-Meyer v su boceto original.

El desarrollo continuado de la química orgánica permitió que en 1858 Kekulé postulara las siguientes cualidades del carbono (teoría de la valencia): *los átomos de Carbono pueden conectarse en cadenas de gran longitud y complejidad, estos átomos de carbono tienen siempre una valencia de cuatro, por ende, pueden establecer siempre cuatro enlaces, siendo tetravalentes.*

Investigar las reacciones posibilitó averiguar informaciones acerca de la constitución de los átomos. Sin embargo, las múltiples dudas acerca de las suposiciones teóricas de compuestos orgánicos hizo que Kekulé convocara en 1860 a la conferencia de Karlsruhe, con la participación de Liebig, Wöhler, Kolbe, Bunsen, Kekulé, Mendelejeff (Rusia), Stanislav Cannizzaro (Italia). Es en ese encuentro (primera conferencia de Química) que Cannizzaro resaltó la hipótesis propuesta por Avogadro (distintos gases de igual volumen contienen la misma cantidad de átomos/moléculas) y planteó la deducción

de que el hidrógeno es diatómico. La determinación de la valencia del hidrógeno constituyó un paso importante para la química orgánica.

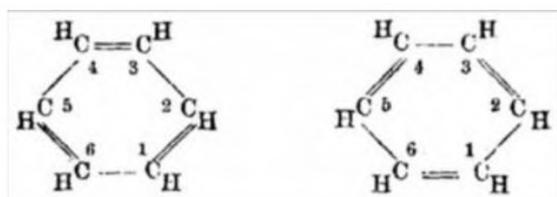
La aceptación de la hipótesis de Avogadro permitió avances en la determinación del peso molecular de los elementos, lo que permitió la organización de los elementos en la tabla periódica según sus propiedades (Tabla Periódica de los Elementos), trabajo realizado por Mendeléyev (1869) y Meyer (1870).

Kekulé reflexionó en retrospectiva sobre sus incertidumbres posteriormente a la conferencia de Karlsruhe y en 1861 escribió *“Aparte de la ley de las constantes y múltiples proporciones del peso, así como del volumen de sustancias gaseosas, la química no ha descubierto leyes exactas... y todos los supuestos conceptos teóricos fueron solamente criterios que resultaron por su probabilidad o utilidad.”*

En 1865 Kekulé propuso una estructura para el benceno C_6H_6 (un hexágono) con los átomos dispuestos en círculo y tres doble enlaces.



August Kekulé.



Formula de Kekulé en la publicación original

Otra arista del trabajo de los químicos alemanes en esta segunda mitad del siglo fue el análisis espectral, el cual Bunsen fundamentó en 1859 con Kirchhoff, a partir de las líneas de emisión de Fraunhofer.

Ambos descubrieron, de esta forma, los elementos Cs y Rb en 1860 y 1861 respectivamente. Otros químicos descubrieron con este método varios “Eka”-Elementos, sustentando el sistema periódico de Mendeléyev.

Una consecuencia importante del desarrollo capitalista en Alemania a partir de 1860 fue el auge de la química industrial. En esta época se fundaron importantes empresas químicas, entre las cuales se encuentran: SCHERING (1854), BAYER (1863), BASF Badische Anilin und Soda Fabrik, (1865), AGFA (1867). Todos estos grandes consorcios comenzaron como fábricas para producir colorantes textiles o reactivos para la fotografía. Al realizar la síntesis de colorantes a base de alquitrán de hulla y al descubrir la relevancia medicinal de ciertos derivados, se desarrolló con posterioridad la industria farmacéutica.

Ejemplo del desarrollo de la química industrial es la industria Schering. Christian Schering comenzó como farmacéutico en 1854 en Berlín, y fue el primero en producir reactivos químicos necesarios para la fotografía (yoduros alcalinos, sales de plata y oro, pirogalol). Unos años más tarde cambió su producción a medicamentos. La Schering fue la empresa encargada de toda la producción médica para los ejércitos alemanes durante la guerra francoprusiana (1870-1871)

Este enfrentamiento bélico entre poderes imperiales de Europa condujo a una carrera armamentista a partir de la segunda mitad del siglo XIX, que incluyó la producción de nuevos armamentos con aleaciones de metales. Cuando en 1871 Prusia ganó la guerra contra Francia, se fundó el imperio alemán, el botín de guerra sirvió como un nuevo empujón económico. Alemania ocupó la región Alsacia y Lorena, rica en reservas importantes de minerales de hierro y potasio. El Consorcio AGFA abrió toda una nueva

región de producción química en Bitterfeld (Wolfen, Alemania Central) por los yacimientos locales de carbón.

Aunque la industria de los colorantes se inició en Inglaterra por Perkin, quien obtuvo el primer colorante sintético, las fábricas químicas alemanas reemplazaron en estas décadas a Inglaterra como primer productor de colorantes en el mercado mundial. Esta industria se volvió la industria más importante de los territorios alemanes gracias a los trabajos de Adolf von Baeyer. En 1860 en Berlín, Baeyer demostró junto a sus discípulos Graebe y Liebermann que la Alizarina es un derivado de Antraceno (componente del Alquitrán de hulla). A partir de 1869 la producción industrial en la BASF se encontró bajo el mando de Baeyer.



Adolf von Baeyer



A fines del siglo XIX se produjo una reorganización estructural de la industria alemana, cuyo ejemplo más notable es la

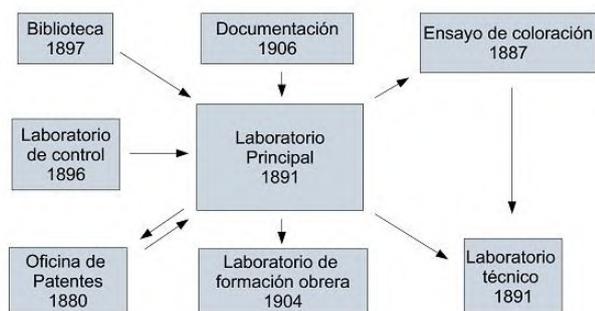
creación de la empresa Bayer, fundada por Friedrich Bayer en 1863. La Bayer, que empleaba a los químicos sólo como verificadores de calidad, contrató en 1874 al primer químico graduado para la investigación sistemática de colores sintéticos. En 1896 la Bayer contaba con 104 empleados dedicados a la investigación.

Esta transformación hizo que se establecieran contactos estrechos con las universidades, logrando donaciones de material, instrumentos y financiación a las universidades en intercambio con graduados universitarios especializados para la industria. Se produjo una división de trabajo por área de investigación: investigaciones básicas por la universidad e investigaciones empíricas por la industria.

En 1880 comenzó en la Bayer la producción de anilina e índigo. Guiados por la hipótesis de Paul Ehrlich de que *si colorantes específicos solo colorean algodón o lana, deberían existir derivados que atacan bacterias de forma selectiva*, se estimó que cientos de derivados de colorantes podrían tener efectos farmacológicos.

El Salvarsán obtenido por Erlich, efectivo en la cura de la sífilis; la producción y comercialización de la aspirina; y la obtención de los primeros antibióticos, las sulfas, probadas por Gerhardt Domagck, consolidaron a los laboratorios Bayer en la industria farmacéutica alemana.

La Bayer empleó a Carl Duisberg para racionalizar los laboratorios de investigación (Instalación de una biblioteca, un laboratorio para el ensayo de coloración, un laboratorio de control para productos de la competencia y otros). La Empresa Bayer se volvió modelo infraestructural para el resto de la industria química alrededor del fin del siglo.



Infraestructura de la empresa Bayer comienzos del siglo XX

La síntesis de compuestos orgánicos estuvo estrechamente vinculada con el avance de los estudios estructurales ya iniciados por Kekulé. Las figuras más importantes en esta área fueron Adolf von Baeyer y Emil Fischer.

En 1875 Fischer, asistente de Baeyer, descubrió la sustancia “fenilhidrazina”, como un producto intermedio de la producción de colorantes. Fischer empleó este compuesto como reactivo para la detección de aldehídos y cetonas, y en 1887 lo utilizó para esclarecer la estructura de los azúcares. (Osazonas [azúcares en reacción con fenilhidrazina]). En 1891 definió la configuración de los azúcares comenzando con gliceraldehído.



Emil Fischer en la Universidad de Humboldt



Grupo de trabajo Baeyer - 1877/78 Múnich.

Sentados y al centro Baeyer y Fischer

Fischer introdujo los descriptores D/L como método de anotación para sustancias con varios estereocentros. Además, inventó la llamada Proyección de Fischer. También se dedicó a estudiar la estructura de los aminoácidos y comprobó la formación en cadena de las proteínas (enlace peptídico). En 1907 sintetizó un octadecapeptido y descubrió el aminoácido prolina.

Este grupo de trabajo estableció la base para la síntesis orgánica, área en que se otorgan varios premios Nobel (Fischer 1902; Adolf von Baeyer 1905; Wallach 1910).

En las décadas de finales de siglo, Alemania se volvió un exportador neto de productos químicos y un poder imperialista en Europa y África. Para mantener una posición ventajosa se fundó el Instituto Kaiser Wilhelm, con el fin de promover investigaciones científicas.⁴



Instituto Kaiser Wilhelm

Un asunto importante era la independencia de importaciones de compuestos de nitrógeno (nitratos y amonios) para la producción de fertilizantes y explosivos. Por tal motivo, Fritz Haber comenzó a investigar métodos de elaboración para producir amoniaco a partir de los elementos. Wilhelm Ostwald investigó la oxidación de amoniaco a NO_x y a ácido nítrico.

Fritz Haber logró, junto al ingeniero Carl Bosch en 1910, diseñar un reactor a alta

⁴ (N del E) El Instituto Wilhelm Kaiser (hoy Max Planck) jugó un importante rol en la elucidación y síntesis de vitaminas, pigmentos naturales, y otros productos naturales en el siglo XX.

presión (doble pared) con un catalizador adecuado para la producción a escala industrial de amoníaco desde sus elementos. Con la producción industrial del amoníaco se logró la independencia de obtener fuentes de nitratos. El método Haber se volvió un proceso imprescindible para la industria agrícola moderna. El procedimiento de preparación del ácido nítrico por oxidación del amoníaco por Ostwald también se comenzó a emplear en 1912 en la BASF.

En 1903 Carl Duisberg (Junta directiva de Bayer) publicó junto a Gustav von Brüning (Director general de Hoechst) un memorando para fomentar un cartel entre las cinco empresas químicas alemanas más grandes [BASF; Bayer; Farbwerke Hoechst; Leopold Cassella & Co KG; AGFA]. Von Brüning cambió de opinión por lo que Hoechst y Cassella fusionaron en una empresa por separado. Los restantes BASF, Bayer y AGFA se juntan entonces en 1904 y formaron la “IG Farben” (Interessengemeinschaft Farben), volviéndose el monopolio absoluto de productos químicos en los años 20.

Durante la primera guerra mundial hubo un apoyo significativo de los científicos alemanes, 93 científicos importantes firmaron el manifiesto guerrerista “An die Kulturwelt” (con excepciones valiosas como la de A. Einstein). Walter Nernst y Carl Duisberg presidieron la comisión Nernst-Duisberg para acelerar la investigación militar. Emil Fischer insistió en un pacto entre Bayer, BASF und Hoechst para asegurar la producción de nitratos. Los químicos vieron la guerra como algo conveniente para ensayar sustancias tóxicas. Fischer, quien comenzó sus propios ensayos con ácido cianhídrico, no consideró el uso de gases venenosos como un problema ético.

Fritz Haber en el Instituto Wilhelm Kaiser y en colaboración con el conglomerado químico alemán IG Farben, se desempeñó además en la promoción del uso de armas

químicas. Además de ingeniar mecanismos para utilizar el cloro en la guerra, el propio Haber estuvo presente al accionarlo durante la segunda batalla en el frente de Yprés. De igual modo, desarrolló armamentos más potentes a base de fosgeno y gas mostaza e ideó ataques con estas sustancias. Se alega que su esposa, Clara Immerwahr, también química de profesión, se suicidó al enterarse de un ataque con el mortal gas, a lo que Haber no prestó mucha atención y volvió al frente al día siguiente del suceso.



Haber visita el frente dando instrucciones sobre el uso de Cloro



Uso de la máscara antigás después de la batalla de Yprés

Bibliografía

- 1.- Geschichte der Naturwissenschaften – in der Entwicklung ihrer Denkweisen, Stephen Mason, Bassum, 1997, p. 530-553, 609.
- 2.- Werkzeuge und Wissen – Naturwissenschaft und Technik in der Weltgeschichte, McClellan/Harold Dorn, 2001, p. 327-422.

3.- Viewegs Geschichte der Chemie, W. H. Brock, Braunschweig/Wiesbaden, 1997, p. 393-416.

4.- Fritz Krafft – Die wichtigsten Naturwissenschaftler im Porträt, Fritz Kraft, Marixverlag, Wiesbaden 2012

5.- Historia de la Química, Rebeca Verónica Vega Miche, Editorial Félix Varela, 2012

6.- Emil Fischer – Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner, Horst Remane,

Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1984

Páginas Web

1.- <http://www.deutschebiographie.de/sfz16203.html>

2.- <http://dibb.de/emil-fischer.php>

3.- http://www.chemgapedia.de/vsengine/glossary/de/fischer_00045hermann_00045emil.bio.html

Imágenes (mayoritariamente de licencia libre)

Luces y Sombras: Gerardo Fernández Abreu (1869-1949)

Historia
de la
Química

Rebeca Vega Miche
Facultad de Química. Universidad de La Habana
vega@fq.uh.cu



1. LAS SOMBRAS.

En la década del veinte del pasado siglo, la Universidad de La Habana fue escenario de turbulentas luchas tanto en el ámbito académico como político. Una situación nada ajena a la que vivía el país. Académicamente la visión universitaria propuesta por Enrique José Varona en 1900, encaminada a formar profesionales que resolvieran los problemas del país, había fracasado. El claustro universitario estaba formado mayoritariamente por personas que respondían a los intereses de la burguesía nacional, profesores que ocupaban cátedras vitalicias conferidas mediante amañados métodos y que no estaban capacitados para la impartición de la docencia, y en muchos casos por personajes que ocupaban cargos en diferentes instituciones gubernamentales o nombrados por decretos presidenciales.

El espíritu de la Reforma Universitaria en Córdoba, Argentina, llega a la Universidad de La Habana y los estudiantes claman por un cambio radical de la situación existente y por una participación activa en el gobierno universitario. Así entre 1921 y 1926, los estudiantes, apoyados por un reducido grupo de prestigiosos profesores, comienzan a exigir la transformación de los estudios superiores, la depuración del claustro y la autonomía universitaria. El Directorio Estudiantil (DEU), que da lugar a la Federación Estudiantil, comienza a dirigir la lucha por la Reforma con Julio Antonio Mella a la vanguardia.

Protestas y huelgas estudiantiles, reforma de los Estatutos, constitución de la Asamblea Universitaria donde los estudiantes tuvieran voz, y el proyecto de ley de Autonomía Universitaria, son algunos de los logros. No obstante el movimiento reformista no fue compartido por una gran parte del claustro e irá perdiendo terreno paulatinamente, lo que provoca la renuncia del Rector Carlos de La Torre y de los rectores interinos que lo suceden. En 1925 la contrarreforma era un hecho.

Es en ese marco, el 25 de mayo de 1925 es elegido por la Asamblea Universitaria como Rector, el Doctor Gerardo Fernández Abreu, profesor titular interino de la Facultad de Ciencias, miembro del Partido Conservador y correligionario de Mario García Menocal.⁵



Gerardo Fernández Abreu
Foto Revista El Hogar 1914

⁵ Revista El Hogar. Enero 25 de 1914. Año XXXI. No. 2.

Con Fernández Abreu como Rector, Mella no ceja en su lucha por la autonomía universitaria y por la culminación de la depuración profesoral, por lo que el 25 de septiembre debido a su activismo político, es expulsado de la Universidad.⁶

El 26 de diciembre de 1925, el claustro solicita al gobierno la derogación de la Asamblea Universitaria, restableciendo así las prerrogativas del Rector y del Consejo Universitario como instancias de dirección de la Universidad.

Al disolverse la Asamblea Universitaria que lo había electo, Fernández Abreu solicita su renuncia como Rector, pero el Consejo lo reelige por un periodo de tres años. Fernández Abreu visita al presidente Gerardo Machado para agradecerle la suspensión de la Asamblea y este contubernio entre el Gobierno y las autoridades universitarias es sellado el 31 de marzo cuando se le confiere a Machado el título de Doctor en Derecho Público, Honoris Causa en el Aula Magna.



Invitación para la investidura de Machado como Doctor Honoris Causa, dirigida al Vicepresidente de la Academia de Ciencias. **Consta en el expediente de la ACC del Dr. Fernández Abreu.**

Las manifestaciones del Directorio Estudiantil Universitario (DEU) en contra de

⁶ Posteriormente Mella es encarcelado por su lucha contra Machado y finalmente asesinado en México el 11 de enero de 1929.

la Prórroga de Poderes, conducen al Consejo Universitario a sancionar a los miembros del DEU. La sanción de solo una amonestación a algunos de los estudiantes, provoca la renuncia de Fernández Abreu, al considerar ese fallo como un menoscabo de su autoridad como Rector. El 27 de mayo Fernández Abreu renuncia como profesor titular interino de la Facultad de Ciencias, y se acoge a la jubilación voluntaria en el mes de agosto de 1927.

2. QUIEN FUE GERARDO FERNÁNDEZ ABREU.

Gerardo Francisco Germán Fernández Abreu nació el 11 de octubre de 1869 en Nueva Paz, provincia de La Habana en el seno de una familia humilde. Su padre Fernandino Fernández era natural de Galicia y su madre Belén Abreu, oriunda del pueblo de Nueva Paz en La Habana.⁷ Debido a los escasos recursos de sus padres se vio obligado a trabajar desde los 16 años, combinando la enseñanza elemental y el trabajo como ayudante en una farmacia del pueblo de Vieja Bermeja en Matanzas. Un año después se colocó como dependiente de la farmacia La Purísima Concepción en el pueblo de San Nicolás de Bari.

Cursó sus estudios de segunda enseñanza en Güines, realizando sus exámenes en el Instituto de Segunda Enseñanza de La Habana en 1895. No pudo obtener el título de Bachiller en Ciencias y Letras en ese momento, por carecer de los 51 pesos necesarios para el mismo, y tuvo que esperar hasta el final de la guerra para recibirlo gratuitamente. El título de Bachiller en Ciencias y Letras con calificaciones de Sobresaliente le fue expedido por el Rector de la Universidad de La Habana, Leopoldo Berriel el 22 de junio de 1899.

⁷ En su expediente administrativo consta una licencia sin sueldo para cuidar a la hermana, con quien residía, durante una enfermedad. No aparecen datos de otros familiares.

Era masón, perteneciendo a dos logias, de las cuales se da de baja en 1984 al trasladarse a La Habana.⁸

Ya en La Habana, se empleó en diferentes farmacias y droguerías, llegando a obtener un sueldo de 102 pesos, salario respetable para la época. Ingresó en la Universidad de La Habana en el curso 1900-1901 como aspirante al grado de Doctor en Farmacia.⁹ Durante ese curso y el siguiente completó el currículo de 11 materias, obteniendo sobresaliente en la mayoría de ellas. Se destacó en las asignaturas de Química, donde muchas veces sustituyó al catedrático Aristides Agüero a petición del mismo, lo que decidió su futuro como profesor de esta asignatura.

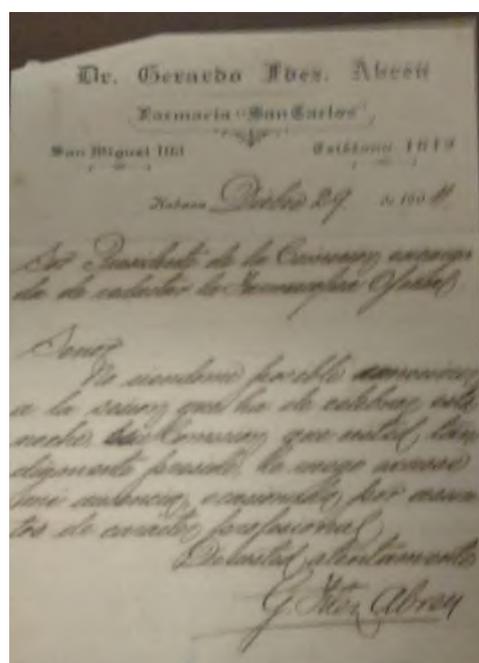
El 18 de octubre 1902, realizó ante tribunal con calificación de sobresaliente, los siguientes ejercicios de grado:

- Determinación de: 1ro. Sustancia

Orgánica.- Glucosa en solución acuosa; 2do. Sustancia Medicamentosa.- Yodo en una muestra de tintura de yodo; Sustancia Alimenticia.- Dada una muestra de vino determinar si la materia colorante es natural; 4to. Sustancia Tóxica. Investigación química legal de una sustancia tóxica.

- Reconocimiento microscópico de una mezcla de féculas.
- Preparación de tres fórmulas farmacéuticas (ininteligible).

Obtuvo el título de Doctor en Farmacia el 27 de octubre de 1902. Ejerció como profesional en la Farmacia San Carlos del Dr. Ulrici, sita en San Miguel 103. Probablemente adquiere dicha farmacia con posterioridad ya que en su expediente administrativo de la Universidad siempre aparece esa dirección como sede de su residencia.



Fragmento del sobre y una hoja del recetario de la farmacia San Carlos que aparecen en el expediente de Fernández Abreu en la ACC.

⁸ Expediente de Gerardo Fernández Abreu como académico de la ACC. .

⁹ Expediente Académico de Gerardo Fernández Abreu. No. 4778. Archivo UH.

En 1904, se presentó a oposiciones para la plaza de Profesor Auxiliar interino y Jefe de laboratorio de Química interino en la Escuela de Ciencias, a sugerencia del profesor propietario de la misma, Dr. Arístides Agüero, quien había sido nombrado Ministro de Cuba en Alemania y lo consideraba perfectamente capaz de sustituirlo. Logró obtener la plaza significándose en el acuerdo que la propuesta había recaído en un Doctor en Farmacia “(...) por no haberse presentado ningún Doctor en Ciencias y ser preciso atender las necesidades de la enseñanza”¹⁰.

Ocupó la plaza de profesor aun con perjuicio de su negocio, ya que por la misma devengaba un salario de solo 60 pesos, teniendo que además contratar a un farmacéutico que lo cubriera en la farmacia durante las horas lectivas, ya que por ley la farmacia no podía quedar sin la dirección de un técnico.

En 1912, Fernández Abreu matriculó el Doctorado en Ciencias Físico Químicas, con la aspiración de ocupar en algún momento la plaza en propiedad. Ese curso estudió privadamente y aprobó con sobresaliente las asignaturas de Análisis Matemático, Geometría Superior y Trigonometría y en 1920, ya con 50 años de edad, examinó las asignaturas de Dibujo Lineal y Natural con Aprobado y las restantes materias del currículo— Cosmología, Zoología, Biología, Mineralogía y Cristalografía – con calificación de sobresaliente. A pesar de haber cursado toda la carrera no realizó los ejercicios de grado, ni se acogió a la ley que permitía obtener el título sin su realización.

Como profesor cubrió las asignaturas asignadas, sustituyó interinamente al titular de la cátedra, Dr. Carlos Theye y Lhoste en el curso 1905-1906, y en 1914 se hizo cargo de la asignatura Química General para los alumnos de Medicina y Veterinaria, comenzando así

sus contactos con los profesionales de la Medicina. Su biografía refiere que sus alumnos atendían sus clases con gusto, muchas veces de pie, ya que eran muy amenas debido a la fácil palabra del profesor. En 1921 vuelve a sustituir a Theye por un año y 1924 lo hace definitivamente ocupando la plaza de Profesor Titular interino de la Cátedra E¹¹. En 1927, tras su renuncia como Rector, se jubila voluntariamente.

3.-LAS LUCES

El 28 de mayo de 1929, el Claustro General de Profesores de la Universidad acordó por unanimidad nombrar a Fernández Abreu, ya jubilado, Profesor Honorario y a propuesta del Dr. Juan M. Dihigo, entregarle un diploma acreditativo en acto solemne.¹² Según consta en acta el Dr. Luciano Martínez hizo “*un cálido y brillante elogio*” del citado profesor y de las “*virtudes que lo adornan*”. El Claustro de Profesores de la Facultad de Ciencias acordó el 9 de septiembre de 1929¹³ hacer patente su reconocimiento a Fernández Abreu, colocando su retrato en el Salón de Actos de esa facultad y que la biblioteca del Departamento de Química lleve su nombre¹⁴ para que “*de esta manera quede su nombre unido imperecederamente al departamento que tanto esfuerzo le dedicó y donde se le recuerda como el maestro ejemplar*”.



¹¹ En 1921, el Dr. Agüero aún no había regresado de su cargo en Alemania, pero pasa a ser propietario de la cátedra como titular, por lo que Fernández Abreu la ocupa sólo interinamente.

¹² Acta del Claustro General de la Universidad de La Habana del 28 de mayo de 1929

¹³ Libro de Actas de la Facultad de Letras y Ciencias. Folio 388 del 9 de septiembre de 1929.

¹⁴ La Biblioteca de la Facultad de Química mantiene en la parte superior de su puerta una tarja con el nombre de Fernández Abreu

¹⁰ Expediente Administrativo del Dr. Gerardo Fernández Abreu. No. 4163. Archivo UH.

En 1954, el Dr. Horacio Abascal Vera, en el discurso de contestación al trabajo de ingreso a la Academia de Ciencias del Dr. Luis Felipe Le Roy, se refirió a Fernández Abreu de la siguiente forma: “(...) a los tiempos de aquel dechado de moral y de sapiencia, mi maestro, y maestro de dos generaciones, a quien le tributo admiración en cada hora y cuyo nombre, Gerardo Fernández Abreu, pronuncio en todo instante con respeto.”¹⁵

Fernández Abreu dedicó también su esfuerzo a mantener el prestigio de la clase farmacéutica por más de 35 años. Fue nombrado Presidente de Honor de los colegios farmacéuticos de Cienfuegos (1919), de La Habana (1922), y de Camagüey (1928). Fue Presidente efectivo de la Asociación Farmacéutica Nacional (AFN) durante 15 años y nombrado su Presidente de Honor como “premio a su magnífica actuación” siendo colocado su retrato en la Galería de Farmacéuticos Ilustres del salón de Actos de la AFN al considerársele como “uno de los altos valores que prestigiaba a la profesión.”¹⁶

Fue miembro del Comité Cubano de la Farmacopea de los Estados Unidos. Presentó varias ponencias en los Congresos Médicos Nacionales entre 1911 y 1921, relacionadas con las leyes que deben regular el desempeño profesional de los farmacéuticos en el país.

Fue vocal de la Junta de Salubridad y Beneficencia, cargo que ocupó durante 22 años, desde 1926 hasta 1948. Elaboró la Ley de Farmacia y la ley que controlaba las drogas estupefacientes, y sus respectivos reglamentos, así como varios decretos sobre esos temas. Participó en la elaboración del Formulario Farmacéutico Nacional de 1924 que obtuvo el Premio Gutiérrez de la Academia de Ciencias.

En 1923 solicitó su ingreso como académico de número en la Academia de Ciencias, sección de Farmacia, pero nunca llegó a presentar su trabajo de ingreso. El 20 de diciembre de 1929 renunció a su sillón como académico, planteando no disponer del tiempo necesario para dedicarle al estudio de los problemas científicos que puedan interesar al adelanto de las ciencias en Cuba. El Dr. Jorge Le Roy, secretario de la Academia, le respondió el 21 de diciembre, en carta muy personal,¹⁷ dándole la oportunidad de presentar el título de su trabajo de ingreso antes del 9 de enero de 1930 y que después presentara el trabajo “cuando gustes y contestado por quien te plazca” ya que lo del discurso era una mera formalidad pues “te sobran materiales y conocimientos para hacer un discurso”. Le Roy se pregunta quien podría sustituirlo, “por el concepto que gozas entre todos (...) por tu actuación personalísima y por tu competencia científica y profesional” y le señala que entiende su decepción, pero que “las pasiones políticas no han llegado a una Academia que representa la más alta cultura y dignidad profesional”.

El 2 de septiembre de 1932 Le Roy se dirigió nuevamente a Fernández Abreu con motivo de su situación irregular en la Academia, tildando de “majadería” la tenaz y persistente negativa de Fernández a presentar su trabajo de ingreso. Finalmente se accedió a su renuncia el 12 de abril de 1935.

En 1939, Fernández Abreu obtuvo el título de Socio de Número de la Sociedad de Amigos del País; y el 3 de diciembre de 1947 se le otorgó la Orden Nacional al Mérito Carlos J. Finlay en el grado de Comendador.¹⁸

¹⁵Discurso de contestación al trabajo de ingreso del Dr. Luis F. Le Roy y Gálvez a la ACC. Dr. Horacio Abascal, Académico de Número. 9 de Febrero de 1954.

¹⁶ Expediente de Gerardo Fernández Abreu como académico de número de la ACC.

¹⁷ Entre 1929 y 1935 aparece en su expediente como académico la correspondencia mantenida con el Secretario de la ACC Jorge Le Roy.

¹⁸ Según Álvarez Sandoval, la Orden Carlos J. Finlay tuvo la característica de ser instituida por el gobierno del Presidente de la República Gerardo Machado –en su primer mandato– y fue concedida no sólo a científicos destacados, sino a figuras de orden o importancia

El profesor Gerardo Fernández Abreu falleció el 11 de octubre de 1949, el mismo día que cumplía 80 años y en las actas del Consejo Universitario aparecen los siguientes acuerdos:

11 de Octubre de 1949

Acuerdo No. 1 Lamentar profundamente la muerte de Gerardo Fernández Abreu, Rector que fue de este centro, y expresar a sus familiares la condolencia más sentida del Consejo Universitario.

28 de octubre de 1949

Acuerdo No. 3 Aprobar la propuesta hecha a este consejo por el profesor Juan M. Dihigo, para un acto en homenaje al Dr. Gerardo Fernández Abreu, que fue profesor de la Facultad de Ciencias y Rector de esta Universidad; y dar traslado de este asunto a la Facultad de dicha escuela para dar cumplimiento de lo dispuesto en el presente acuerdo.

Resulta muy difícil valorar a una personalidad casi un siglo después de su época, sobre todo cuando se cuenta pocas fuentes documentales. Fernández Abreu fue considerado por colegas y alumnos como un excelente profesor y un farmacéutico preocupado por las buenas prácticas en el ejercicio de su profesión; sin embargo como político respondió a los intereses dominantes del contexto en que vivió y sus decisiones resultaron comprometidas con la tiranía machadista, y contraproducentes para la forma de pensar de nuestra realidad actual.

BIBLIOGRAFÍA

ACC. Gerardo Fernández Abreu: Profesor admirado y farmacéutico ejemplar.¹⁹ Discurso de ingreso a la Academia del sucesor de Fernández Abreu en su sillón de académico. Anónimo

ACC. Expediente de Gerardo Fernández Abreu como académico de número No 69 en la sección de Farmacia de la Academia de Ciencias de la Academia de Ciencias.

Álvarez Sandoval O. La Orden "Carlos J. Finlay". Una distinción que enaltece. Revista Bimestre cubano 193-493-1-PB.

De Armas R., Torres-Cuevas E, y Cairo A. Historia de la Universidad de La Habana. Tomos I y II. Ed. Ciencias Sociales. La Habana 1984.

Discurso de contestación al trabajo de ingreso del Dr. Luis F. Le Roy y Gálvez a la ACC. Dr. Horacio Abascal, Académico de Número. 9 de Febrero de 1954.

Revista El Hogar. 25 de enero de 1914. Año XXXI. No.2.

UH. Expediente Académico de Gerardo Fernández Abreu. No. 4778. Archivo UH.

UH. Expediente Administrativo del Dr. Gerardo Fernández Abreu. No. 4163. Archivo UH.

UH. Libro de Actas del Consejo Universitario. 1949. Archivo UH

UH. Libro de Actas de la Facultad de Letras y Ciencias. Folio 388 del 9 de septiembre de 1929. Archivo UH.

política, o sea no fue en su momento una distinción de carácter estrictamente académica.

¹⁹ No aparece el autor ni la fecha por lo que se hace difícil su identificación.

Departamento de Química General e Inorgánica,
Facultad de Química, Universidad de La Habana



Claudia Iriarte Mesa
ciriarte@fq.uh.cu

Yeisy C. López Conde
yclopez@fq.uh.cu



El Doctor en Ciencias Ricardo Martínez Sánchez, considera la Química como la gran pasión de su vida profesional desde que en 1963 ingresara a la carrera en la Universidad de La Habana (UH): "He vivido enamorado de esta disciplina que me ha proporcionado momentos sumamente felices en mi labor investigativa y docente, pero también no pocas amarguras, sobre todo cuando un resultado validado queda sin aplicarse, o permanece en el olvido".²⁰

Nacido en el capitalino municipio de Regla el 7 de febrero de 1946, el también Profesor Titular de la Facultad de Química de la Universidad de La Habana mereció el Premio Nacional de esa esfera en el año 2012 por su meritoria obra a lo largo de más de cuatro décadas.

El profesor Ricardo Martínez Sánchez cuenta con tres Premios Nacionales de la Academia de Ciencias de Cuba (2004, 2005 y 2008) e igual número de lauros otorgados por la casa de altos estudios. Es autor de 71 publicaciones entre artículos científicos, libros y patentes. Ha tutelado 40 trabajos de diploma, 8 maestrías y 5 doctorados durante su carrera científica. También figuró entre los químicos cubanos más jóvenes en obtener el Doctorado en Ciencias de Segundo Nivel en la alemana Universidad de Jena, y es miembro permanente del tribunal para la defensa de ese grado académico en nuestro país.

En noviembre de 2016 realizamos una entrevista al profesor Ricardo Martínez, la cual nos permitió adentrarnos en la Historia de la Química en Cuba desde la década del '60 del siglo XX y hasta la actualidad. El profesor Ricardo nos transmitió, con modestia y elocuencia envidiables, sus experiencias en la facultad desde su comienzo como estudiante en la entonces Escuela de Química. Tuvimos la oportunidad de conocer, a través de vivencias personales contadas con profundo cariño y nostalgia, el funcionamiento de la facultad desde sus inicios y la labor de prestigiosos profesores que marcaron un precedente en la enseñanza de la Química en Cuba.

1. *¿Qué lo motivó a inclinarse por la Química como profesión?*

Cuando terminé el bachillerato, en la universidad se desarrollaba la Semana de las Carreras, lo que hoy en día equivale a las Puertas Abiertas. Uno visitaba las facultades (o escuelas) para conocer en qué consistía la carrera. La desorientación vocacional es un problema de todos los tiempos y para mi generación no fue diferente. Por ejemplo, yo pensaba estudiar Geología; sin embargo, en esa semana conocí al profesor Julián Pereyra que nos explicó la diferencia entre ingeniería y licenciatura, y desde ese momento me enamoré de la Química.

2. *¿Cómo estaba organizada la docencia en la carrera durante su etapa de estudiante?*

²⁰ Fuente: Artículo "El mayor premio es la aplicación" (**Periódico Granma**, 19 de enero de 2013)

Comencé en la universidad en 1963. En aquella época la carrera de Química se estudiaba en la Escuela de Química que pertenecía a la Facultad de Ciencias y que luego se transformó en la Facultad de Química. En mi año se dio la particularidad de que, debido a la compleja situación política existente en el país, muchos estudiantes habían dejado inconclusos sus estudios para tomar parte en la lucha contra Batista. Fue necesario, por tanto, después del triunfo de la Revolución, hacer un curso de nivelación en el que matriculamos 130 estudiantes, de los cuales pasaron a 1er año solamente 33.

Durante mi etapa de estudiante la carrera se hacía en 4 años y se caracterizaba por el hecho de que se producían cambios en el plan de estudio todos los cursos. Había una deficiencia tal de profesores que ya en 2do año comencé a impartir clases de Química General a estudiantes de 2do año de Ingeniería Industrial en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE). En 1er año las



Ricardo Martínez en el laboratorio de Química Física.

clases comenzaban a las 7:00 de la mañana. Los exámenes duraban entre 4 y 8 horas. La formación era casi autodidacta pues el profesor explicaba en el aula brevemente un tema y orientaba el estudio del resto de los contenidos por el libro.

En esa época no se había desarrollado la computación, por lo que todo lo estudiábamos por los libros y pasábamos mucho tiempo en la biblioteca. Las evaluaciones eran muchas veces sondeos sorpresivos, podía ser en un pasillo o en la cafetería.

Se hacían muchas prácticas de laboratorio. Recuerdo que se comenzaba con los de Química Inorgánica en 1er año. Teníamos una

gaveta con reactivos y cristalería que no se podía romper; si se rompía había que comprarla en tiendas especializadas donde se vendía material de laboratorio. El profesor Luis Alberto Montero y yo fuimos pareja de laboratorio durante toda la carrera. En una ocasión, decidimos obtener oro de los bobos (pirita, FeS_2). Para ello, era necesario romper un crisol y para no tomar el de nuestra gaveta, decidimos ponernos de acuerdo y comprar uno entre los dos con nuestros ahorros.

3. ¿Participaba en actividades extracurriculares? ¿Cómo la FEU organizaba las actividades culturales y deportivas en aquella época?

Me incorporé al equipo de gimnasia de la universidad desde que estaba en la etapa preparatoria y me mantuve en ese deporte hasta dos años después de graduado. Mi entrenamiento duraba alrededor de 4 horas diarias. La FEU de cada año tenía delegados que se distribuían las actividades; yo era el encargado de la cultura y el deporte. Trataba de que el resto de los del grupo participara en actividades deportivas; llevaba un tocadiscos y poníamos la música que se oía en ese momento; debatíamos sobre películas; íbamos a la videoteca. En aquella época se les entregaba a los estudiantes un carné donde cada uno anotaba las actividades culturales o deportivas a las que asistía y las horas que estudiaba a la semana, de manera que en la brigada se hacía un análisis individual del estudiante al finalizar el curso escolar.

4. ¿Cómo se desarrollaba la investigación en la facultad? ¿Existían los trabajos de diploma?

El desarrollo de la Química en la facultad no era experimental, es decir, no se hacían trabajos de diploma y no existía un método de trabajo investigativo establecido. Se comenzó a investigar a través del contacto con jóvenes recién graduados que llegaron de la Unión Soviética. Una de las personas que introdujo la investigación en la facultad y dio un impulso para que se considerara como parte de la

carrera además de la docencia, fue el profesor Jorge Lodos, quien comenzó a impartir clases de Química Cuántica en la carrera. Como trabajador del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), fue un promotor de la investigación científica desde la etapa de formación del estudiante. Lodos nos entregaba resultados de las investigaciones que se hacían en el instituto para que pudiéramos poner en práctica los conocimientos adquiridos en la facultad a partir de la interpretación de esos datos.

5. *¿Cuáles fueron los orígenes del grupo de polímeros de la facultad? ¿Cómo se insertó en dicho grupo?*

Concluí la carrera en 1968, año que coincidió con la llegada a Cuba de Gandini, un profesor italiano contratado para crear un grupo de investigación enfocado en los polímeros. En 1969 se fundó dicho grupo, que en sus inicios estuvo conformado por Norma Galego, Rubén Álvarez, Carlos Peniche, Silvia Prieto y yo. A pesar de que no tenía experiencia en el ámbito de los polímeros y solo estaba familiarizado con la obtención de urea furfural y de urea formaldehído debido a mis trabajos con Lodos en el ICIDCA, me interesó el tema desde el inicio.

El grupo surgió en la facultad y los trabajos experimentales los hacíamos en Química Física, pero a inicios del '70 nos trasladamos al Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) debido a la insuficiente operatividad en la facultad. En el CNIC teníamos un laboratorio ubicado en la planta alta. Trabajábamos todos los días desde las 8:00 am hasta las 5:00 de la tarde. Al concluir el trabajo en el laboratorio, regresaba para la facultad, comía en el Machado y me incorporaba al curso nocturno. En esta modalidad impartía clases de 7:00 a 9:00 pm de una asignatura y de 9:00 a 11:00 pm de otra.

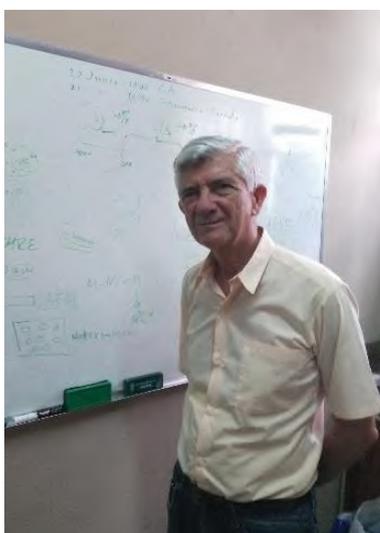
En 1975 Gandini concluyó su trabajo al frente del grupo de polímeros, ya todos habíamos defendido el título de Doctores en Ciencias Químicas, y de esta forma me quedé al frente del grupo. Las líneas de investigación se enfocaron al inicio en el estudio de los compuestos furánicos y solamente Silvia Prieto se dedicó a la polimerización catiónica de *n*-vinilcarbazol; Norma y Jacques trabajaban con el furfural; y Rubén y yo con los alquenilfuranos. Estuvimos trabajando en el CNIC muy poco tiempo, regresamos al departamento de Química Física en la facultad hasta que en el '85 se creó el IMRE y nos trasladamos a un nuevo laboratorio. En ese momento los temas de investigación del grupo se modificaron de acuerdo al objetivo principal del IMRE de desarrollar investigaciones enfocadas a solucionar problemas en la industria.

6. *Usted fue uno de los primeros científicos en Cuba en alcanzar en título de Doctor en Ciencias de Segundo Grado ¿Cómo fue el proceso?*

En 1984 visité la Universidad Friedrich Schiller de Jena en Alemania, donde impartí una conferencia sobre las investigaciones que había desarrollado hasta el momento. Además, había establecido en mi estancia en Alemania una estrecha relación con un profesor de esa misma universidad, quien me sugirió hacer el segundo doctorado con los trabajos expuestos en mi conferencia. En 1988 ya había escrito el doctorado, pero no lo pude defender inmediatamente pues no me dieron el permiso necesario. Unos años más tarde, en 1992, obtuve el título de Doctor en Ciencias (Dr. Sc. Nat., Segundo Grado Científico del sistema de postgrado alemán, Universidad de Jena) en Alemania unificada. En ese momento había muy pocos investigadores con dicho título en Cuba, por lo que he tenido la oportunidad de ser oponente o de participar en los tribunales de defensa de la mayoría de los que han asumido ese reto.

7. Después de tantos años vinculado a la facultad, ¿cómo valora el trabajo que se ha realizado hasta la fecha?

Primero quisiera resaltar que en esos años hubo una muy buena promoción, casi todos los que empezaron la carrera la terminaron. El grupo de personas que nos graduamos en esa época recibió la difícil tarea de crear nuevas asignaturas pues las que ustedes reciben hoy en día no existían. Por ejemplo, a Carlos Pérez se le asignaron las Espectroscopias; a Pedro Ortiz la Química Cuántica; Carlos Núñez asumió la Electroquímica hasta que Peláez se incorporó años más tarde. En Química Orgánica ocurrió lo mismo. Entonces los



Ricardo Martínez en el laboratorio de Polímeros del IMRE.

profesores comenzaron a asociarse y a compartir los resultados de sus investigaciones, lo que dio origen a diferentes grupos científicos en la facultad, de donde se formaron la mayoría de los doctores en Ciencias Químicas cubanos. De esa forma surgió y se desarrolló un nivel teórico muy elevado en la facultad y los planes de las asignaturas tenían un nivel comparable al de universidades extranjeras. Los profesores de mi generación nos sentimos orgullosos de haber contribuido a este desarrollo, teniendo en cuenta que nació en un momento difícil en la facultad en el que no había suficientes personas para impulsarlo, fueron los jóvenes

recién graduados los que prácticamente asumieron esta tarea. A pesar de que considero que dicha fundamentación teórica mantiene en la actualidad un nivel elevado, debo reconocer que, pese a los esfuerzos realizados, se ha producido en los últimos años un detrimento considerable en cuanto a las condiciones materiales, lo que ha tenido un impacto negativo en el desarrollo científico. Los laboratorios que yo conocí como estudiante no se parecen a los actuales, existe una diferencia notable.

8. ¿Cuál es su impresión sobre los jóvenes investigadores como relevo de la ciencia en Cuba?

Los jóvenes de hoy no cuentan con una preparación experimental adecuada, eso se debe a las propias condiciones de los laboratorios de la facultad en la actualidad; sin embargo, la preparación teórica es aceptable. Su generación tiene una ventaja que ojalá la mía hubiese tenido, me refiero al desarrollo de la informática. Sin embargo, el trabajo individual no es, generalmente, muy bueno; esto está relacionado con el paternalismo de la sociedad cubana en estos últimos años. Ahora sí, he observado una actitud indiferente en la generación actual con respecto al sentido de pertenencia, los jóvenes de hoy no tienen un espíritu de pertenencia que sí estaba muy arraigado en mi generación. No veo que las personas jóvenes quieran establecer grupos de investigación en el país y empeñarse en sacarlos adelante como lo hicimos los jóvenes de mi generación. Eso se ha ido incrementando con el paso de los años, de los recién “doctores” casi no hay, son muy pocos los que están en la facultad, no hay un relevo científico seguro. ¿Por qué me contratan a mí?

9. ¿Cuáles son, después de casi 50 años de labor docente y científica, sus principales satisfacciones y aspiraciones?

Como principal satisfacción me queda el hecho de que con mi labor contribuí a formar a otros químicos. Junto a mis compañeros creamos un grupo que contribuyó al desarrollo

de la investigación tanto en el IMRE como en la facultad, a partir de los resultados de nuestro trabajo. El grupo de polímeros se ha mantenido activo a lo largo de estos años, ganando prestigio en la comunidad científica a partir de resultados importantes que han contribuido al desarrollo de las investigaciones. Como aspiraciones, me gustaría mantenerme activo para contribuir a la formación de nuevas generaciones de científicos. Además, quisiera plasmar en un libro el conocimiento que he adquirido a lo largo de estos años de trabajo tanto docente

como investigador.

El profesor Ricardo Martínez Sánchez ha estado presente en las diferentes etapas por las que ha transitado el desarrollo de la ciencia en el país. Su labor docente, así como sus resultados investigativos y liderazgo científico han contribuido a colocar el nombre de la Química Cubana y en especial el de los polímeros, en lo más alto a nivel mundial. Por esta razón, las nuevas generaciones y los que tuvieron la oportunidad de acompañarlo todos estos años, lo consideramos hijo ilustre de la Química Cubana.

El SEADIM: la ventana de la Química Teórica cubana

Nuestra
Comunicad

Departamento de Química General e Inorgánica,
Facultad de Química, Universidad de La Habana



Claudia Iriarte Mesa
ciriarte@fq.uh.cu



David Hernández Castillo
dhernandez@fq.uh.cu

Entre el 9 y el 14 de julio del presente año tuvo lugar el XI Simposio de Diseño Molecular y Bioinformática con sede en La Habana y Varadero. En el SEADIM, como se conoce tradicionalmente este evento, se combinan cursos especializados de elevado impacto científico con un selecto simposio acerca de las más avanzadas materias en torno a un tema específico. Los cursos se imparten durante los dos primeros días en La Habana logrando una amplia asistencia de estudiantes y profesionales que se desempeñan en el tema, mientras que el simposio se desarrolla en un centro turístico en Varadero.

El SEADIM 11 abordó como tema general las “Reacciones”, incluyendo en su convocatoria el estado del arte de la comprensión, diseño y aplicaciones de los procesos de transformación de sistemas en las escalas nanoscópicas, todo con un enfoque tan multidisciplinario como es posible hoy en día. Los cursos de esta última edición del SEADIM se impartieron entre el 9 y el 11 de julio de 2017 en la Facultad de Comunicación de la Universidad de La Habana, mientras que las sesiones científicas tuvieron lugar entre los días 12 y 14 de julio en el Hotel Ocean Vista Azul de Varadero, abarcando conferencias plenarias y presentación de carteles.

Los Simposios de Diseño Molecular y Bioinformática constituyen la continuación de las Escuelas Iberoamericanas de Química Computacional y Diseño Molecular (La

Habana, 1996, 1998) y de varias actividades similares en torno a la Química Computacional y Teórica que se llevan a cabo en Cuba desde 1986, lo que convierte al SEADIM en uno de los eventos más sistemáticos y longevos de la ciencia cubana moderna. Después del surgimiento del Laboratorio de Química Computacional y Teórica (LQCT) en 1986, el mismo se vio inmerso en la organización de la 5^{ta} Escuela Latinoamericana de Química Teórica. El evento dio continuidad a una serie de escuelas desarrolladas a inicios de los años 80' y que patrocinadas por la UNESCO, pretendían fomentar la superación de los profesionales que en aquel momento se iniciaban en el campo de la Química Computacional y Teórica. Según el profesor Luis Alberto Montero Cabrera, quien se ha mantenido al frente del LQCT desde sus inicios, la 5^{ta} Escuela Latinoamericana de Química Teórica, última de su tipo patrocinada por la UNESCO, dio paso a un conjunto de actividades sistemáticas que constituyeron el origen de las denominadas Escuelas Cubanas de Química Teórica, las cuales impulsaron la carrera científica de muchos jóvenes cubanos y extranjeros.

La organización y realización del evento en cada una de sus ediciones ha estado a cargo del LQCT. Durante la década de los 80' e inicios de los 90' los eventos solo comprendían cursos especializados de 15 días impartidos anualmente en La Habana por

prestigiosos profesores de universidades del mundo. A partir de 1996 (SEADIM 1), producto de las dificultades económicas que enfrentaba el país luego de la caída del campo socialista, se inició un ciclo donde los simposios se desarrollaron cada dos años de forma ininterrumpida hasta el 2006. Debido a que en 2007 se efectuó en La Habana el 33 Congreso de Químicos Teóricos de expresión Latina, se decidió celebrar el SEADIM 6 ese mismo año, haciendo coincidir ambos eventos y reiniciándose el ciclo en los años impares. A partir del SEADIM 7, efectuado en agosto del 2009, se adoptó el formato que se conoce actualmente, extendiéndose el evento hacia Varadero y desdoblándose en una parte científica y otra docente.

Las ediciones del SEADIM han contado con la participación de prestigiosos científicos como Richard Catlow (Inglaterra), Roald Hoffmann (Premio Nobel de Química, 1981, polaco), Richard Bader (Canadá), Walter Thiel (Alemania), Wolfram Sander (Alemania), entre otros. La asistencia de personalidades altamente distinguidas a nivel mundial y el elevado rigor científico de los temas que se abordan, además de constituir sellos distintivos del SEADIM, lo convierten uno de los eventos

más esperados por la comunidad científica cubana que ejerce la Química Computacional y Teórica.

El SEADIM 11 constituyó un éxito en materia de divulgación de resultados científicos de elevado impacto, en un ambiente de confraternización ameno, abierto al debate y a la discusión de novedosas ideas que en la actualidad se desarrollan en los más prestigiosos grupos del mundo. En espera de la próxima edición que se efectuará en julio de 2019, el LQCT ha iniciado las labores organizativas con vista a incrementar la calidad del SEADIM 12, cuya temática girará en torno a la “Dinámica Molecular”. En esta oportunidad se pretende fomentar la participación de jóvenes cubanos y extranjeros como relevo de la ciencia moderna que se desarrolla a nivel mundial.

Según el profesor Montero “...el espíritu del SEADIM es el de familiarizar a científicos de todo el mundo y de muy buen nivel, con los estudiantes de posgrado que trabajan en Química Computacional y Teórica...”, a lo que añade “...es una política muy saludable para un país como el nuestro...convirtiéndose en la ventana de la Química Teórica cubana”.



Participantes en el SEADIM11 (Hotel Ocean Vista Azul de Varadero)

Nota de los autores: Ambos autores agradecen al Prof. Dr. Luis Alberto Montero

Cabrera, por su enorme contribución en la realización de esta reseña.



Estimados colegas:

La Sociedad Cubana de Química (SCQ) con el auspicio de la American Chemical Society (ACS) y la Chemical Heritage Foundation (CHF), se complace en anunciar la celebración del

I Taller Internacional de Historia de la Química Luis Felipe Le Roy

que tendrá lugar en la Facultad de Química de la Universidad de La Habana, del 10 al 12 de enero de 2018.

Este evento se realizará en el marco de las actividades por el 290 aniversario de la fundación de la Universidad de La Habana y el 40 aniversario de la SCQ

El taller se propone establecer programas de colaboración en la Historia de la Química y formar un centro regional para la Historia de la Química en Cuba, América Latina y el Caribe; así como construir relaciones entre los químicos de Cuba, la ACS y otras sociedades científicas de Química interesadas en el tema.

Especialistas de la ACS, CHF y la SCQ impartirán conferencias acerca de los temas abajo relacionados y se propiciará el intercambio y debate científico sobre los mismos.

- ❖ Historia de la Química en Cuba y sus resultados en los dos últimos siglos.
- ❖ Desarrollo histórico de la Química en Latinoamérica y el Caribe.
- ❖ Aspectos prácticos de una organización dedicada a preservar la historia de la Química (conservación de documentos, fotos, instrumentos científicos, técnicas de recolección de historia oral, museos o centros de historia de la Química).
- ❖ Necesidad de preservar el patrimonio de la Química en Cuba.

Los participantes no presentarán ponencias, pero podrán exponer sus ideas y experiencias en los espacios de discusión.

La cuota de inscripción para los participantes cubanos será de 100.00 MN y para los extranjeros de 100 CUC.

Las personas interesadas en participar por favor dirigirse a:

Dra. Loreley Morejón Alonso
Secretaria de la SCQ

lmorej@fq.uh.cu

Luis Felipe Le Roy Gálvez (1910-1978). Químico e Historiador dedicado a la investigación, la docencia y la promoción nacional e internacional de la ciencia en Cuba. Graduado de Bachiller en Ciencias y Letras (1927), se doctoró en Ciencias Físico-Químicas (1933), en Ciencias Físico-Matemáticas (1937) y en Ciencias Naturales (1937) en la Universidad de La Habana; especializándose en Análisis Químico Cuantitativo, en la Universidad de Columbia, Estados Unidos (1938). Fue profesor de Análisis Químico en la Universidad de La Habana desde 1937 hasta 1966, cuando pasó al cargo de Asesor e Investigador del Archivo Universitario. Sus principales aportes a la Química fueron: *"Demostraciones en Redox"* (1947) y *"Estudio Bioquímico de los Terpenos"* (1950). Fue miembro de la Academia de la Historia, de la Sociedad Cubana de Historia de la Medicina y de la Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana. Entre sus principales publicaciones sobresalen: *A device to demonstrate electronic transfer in redox reactions*, *J Chem Educ* **1942:19 (5)** y *Breve reseña del origen y desarrollo de la Química en Cuba* en *Anales de la Academia de Ciencias de la Habana* **1954**.



33° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA (33-CLAQ)

X CONGRESO DE CIENCIAS QUÍMICAS, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN (QUIMICUBA'2018)





INVITACIÓN

Estimados colegas:

En nombre de La Sociedad Cubana de Química (SCQ) y de la Federación Latinoamericana de Asociaciones Químicas (FLAQ), me complace invitarlos al

10^{mo} CONGRESO DE CIENCIAS QUÍMICAS, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN, QUIMICUBA'2018, y 33^o CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA (33-CLAQ),

que se efectuará del 9 al 12 de Octubre del 2018 en el Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba.

Como en ediciones anteriores, este congreso será una oportunidad para divulgar los avances más recientes de la Química pura y aplicada, incluyendo sus ramificaciones a las Ciencias Biológicas, Farmacéuticas, de Materiales y la Ingeniería Química. Los asistentes tendrán la oportunidad de conocer la cultura, historia y vida social de nuestro pueblo, en un clima cálido de hospitalidad y belleza, lo que hará de su estancia una fructífera y agradable experiencia.

A nombre del Comité Organizador, esperamos recibirlos en La Habana en 2018,

Dr. Daniel García Rivera

Presidente de la Sociedad Cubana de Química

CUOTAS DE INSCRIPCIÓN

En Euros (€) o equivalente en CUC	Antes del 1 de Agosto de 2018	Después del 1 de Agosto de 2018
Delegados extranjeros	350 €	400 €
Acompañantes y estudiantes no graduados	250 €	300 €

Nota: El CUC es el peso convertible cubano: 1 Euro - 1,05-1,10 CUC

No se aceptan Dólares Americanos. Los pagos deberán ser preferencialmente por tarjeta de crédito, por favor ver instrucciones en el sitio web:

<http://www.chemistrycuba.cu>

COMITÉ ORGANIZADOR

Presidente	Prof. Dr. Daniel García Rivera	Facultad de Química, Universidad de La Habana
		Presidente Sociedad Cubana de Química. E-mail: dgr@fq.uh.cu
Secretario General	Dr. José Antonio González Lavaut	Facultad de Química, Universidad de La Habana
		E-mail: josea.lavaut@infomed.sld.cu
Prof. Dra. Loreley Morejón		Facultad de Química, Universidad de La Habana
Dr. David Marrero Delange		Centro de Bioproductos Marinos (CEBIMAR)
Dr. Jorge L. Gómez Pascual		Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET)
Dr. Oscar Ledea Lozano		Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC)
Dra. Elisa Aznar García		Centro Nacional de Biopreparados (BIOCEN)
Lic. María Isabel Domínguez Mesa		Instituto Finlay de Vacunas
Lic. David Hernández Castillo		Facultad de Química, Universidad de La Habana.

TEMÁTICAS Y COMITÉ CIENTÍFICO

Enseñanza de la Química	Prof. Dra. Leslie Yáñez	leslie@fq.uh.cu
Química Analítica y Ambiental	Prof. Dr. Ana Margarita Esteva	anam@fq.uh.cu
Química Física	Prof. Dr. José Manuel Nieto	nieto@fq.uh.cu
Química Computacional y Teórica	Prof. Dr. Ramón Alain Miranda	rmiranda@fq.uh.cu
Química Inorgánica	Prof. Dr. Armando Paneque	aapaneque@fq.uh.cu
Química de Materiales	Dra. Tania Farias	tania@imre.uh.cu
Química de la Iniciativa e innovación	Dr. Dionisio Zaldivar	dzs@fq.uh.cu
Química Nano y supramolecular	Dra. Alicia Díaz	adg@fq.uh.cu
Química Orgánica	Prof. Dra. Margarita Suárez	msuarez@fq.uh.cu
Procesos Industriales e Ingeniería	Prof. Dra. Lourdes Zumalacarregui	lourdes@quimica.cujae.edu.cu
Productos Naturales, Farmacéuticos y Alimentos	Dr. José Antonio. González	josea.lavaut@infomed.sld.cu
Radioquímica	Dra. Zalua Rodríguez	zalua@instec.cu
Simposio Proteínas y Péptidos en Biotecnología y Biomedicina	Prof. Dra. Isel Pascual	isel@fbio.uh.cu
Simposio Materiales para Bioingeniería y Nanomedicina	Prof. Dr. Carlos Peniche	peniche@fq.uh.cu

FECHAS MÁS SIGNIFICATIVAS PARA RECORDAR DE ESTE CONGRESO

20 de Julio, 2018	Envío de resúmenes y solicitud de inscripción
15 de Agosto, 2018	Aceptación de trabajos y comunicación a los autores
9 de Octubre, 2018	Apertura del Congreso
12 de Octubre, 2018	Ceremonia de clausura



¿CÓMO ORGANIZAR SU VIAJE A NUESTRO CONGRESO?

Por favor, contactar a la agencia de viajes HAVANATUR S.A.

Organizadora Profesional del Congreso:

Ing. Caridad Sagó Rivera

Ejecutiva Comercial, Evento Havanatur

E-mail: sago@havanatur.cu

Teléfono: (537) 2019780

LA HABANA-CUBA



Cuba, oficialmente la **República de Cuba**, es un país soberano insular del Caribe, asentado en un archipiélago del mar de las Antillas. El territorio está organizado en quince provincias y un municipio especial con La Habana como capital y ciudad más poblada. Es una nación en vías de desarrollo que adopta para sí una economía planificada, cuyas principales actividades son las exportaciones de azúcar, tabaco, café, productos farmacéuticos y mano de obra especializada. Ocupa el puesto 67º en el Índice de desarrollo humano elaborado por la Organización de las Naciones Unidas, y el 5º entre los latinoamericanos, solo por detrás de Argentina, Chile, Uruguay y Panamá. En 2015, Cuba tenía el 3º IDH en Latinoamérica

La Habana (fundada en 1514) es la capital de la República de Cuba, su urbe más grande, el principal puerto, su centro económico-cultural y su principal polo turístico. Es la ciudad más poblada del país, con una población de 2 106 146 habitantes según datos de 2012, y la tercera más poblada de la región del Caribe. Como capital de Cuba, la ciudad es la sede oficial de los órganos superiores del Estado y el Gobierno cubano, de todos los organismos centrales y de casi la totalidad de empresas y asociaciones de ámbito nacional. Además, reúne la mayor cantidad de sucursales y casas matrices de las entidades extranjeras radicadas en Cuba.

Su patrimonio histórico, arquitectónico y sobre todo cultural, expresado en la fusión entre europeos, africanos y aborígenes en un inicio, junto a otros componentes étnicos y culturales más contemporáneos, convierten a la ciudad en una importante receptora de turismo internacional y en el centro de la vida nacional. Su centro histórico, declarado Patrimonio de la Humanidad por la Unesco en 1982, es hoy uno de conjuntos arquitectónicos mejor conservados de América Latina. Entre sus monumentos más representativos se encuentran la Catedral de la Habana, la Plaza de Armas, el Castillo del Morro, el Museo de la Revolución, el Palacio Nacional de Bellas Artes, el Gran Teatro de La Habana, el Capitolio, la Plaza de la Revolución y el Malecón, quizás el símbolo más reconocido a nivel internacional de la ciudad.

Normas de publicación de la revista Encuentro con la Química

La revista *Encuentro con la Química* se publica tres veces al año. Los artículos se publican en español y deben tener una extensión máxima de 6 páginas.

Los manuscritos se enviarán en un solo documento Word, Times New Roman, 12, conteniendo el texto, las figuras, tablas, esquemas y gráficos integrados en el texto. En el texto se deberá incluir referencias relevantes al tema que se presenta y su exposición se hará de modo que resulte atractivo y divulgativo.

Las figuras y las fotos deben tener buena calidad para su reproducción. Los esquemas deben elaborarse en Chemdraw siguiendo los ajustes ACS.

Con relación a las referencias bibliográficas, en el texto, los números deben aparecer como superíndices (por ejemplo, García¹) y, si procede, después de las marcas de puntuación (por ejemplo, Soto²). Los nombres de las revistas deben abreviarse de acuerdo al Chemical Abstracts Service Source Index (CASSI) [en caso de duda, consúltese: www.cas.org/expertise/cascontent/caplus/corejournals.html] y deben seguir el estilo general siguiente:

Artículos de revistas:

1.-N. Martin, *Chem. Commun.* **2006**, 2093–2104.

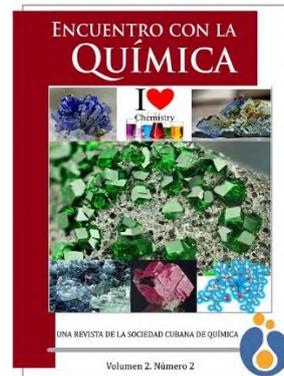
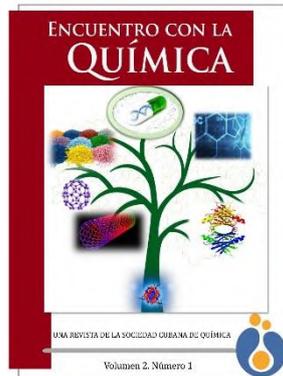
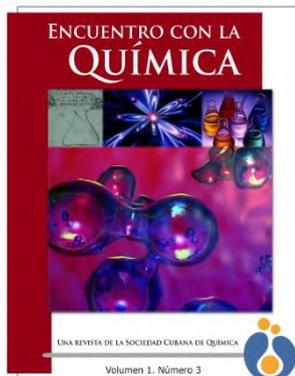
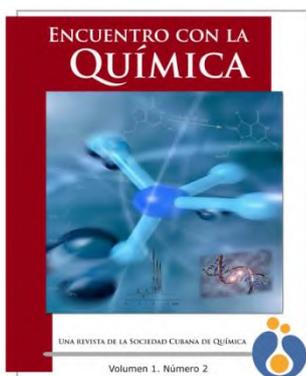
2.-V. Polshettiwar, R. S. Varma, *Chem. Soc. Rev.* **2008**, 37, 1546–1557.

Libros:

3.- D Tullius en *Comprehensive Supramolecular Chemistry, Vol. 5* (Eds.: J. L. Atwood, J. E. D. Davies, D. D. MacNicol, F. Vögtle, K. S. Suslick), Pergamon, Oxford, **1996**, pp. 317-334.

Para la preparación de los manuscritos se recomienda revisar los artículos ya publicados anteriormente en la revista *Encuentro con la Química*.

Conjuntamente con el manuscrito, los autores deben enviar una fotografía y una breve reseña biográfica. Los manuscritos deben enviarse a la dirección electrónica msuarez@fq.uh.cu con la indicación de en cual sesión desea ser publicado. Después de revisado, se le informará la aceptación al autor principal.



Encuentro con la Química es una revista electrónica divulgativa de la Sociedad Cubana de Química.

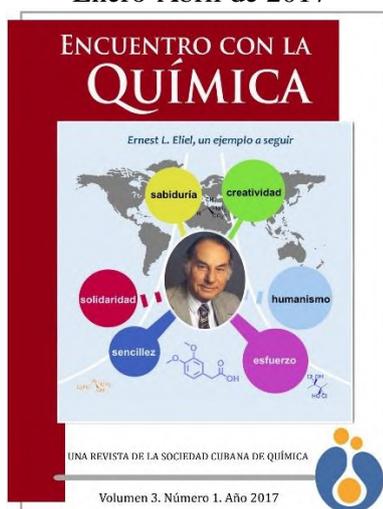
Su distribución es gratuita y su frecuencia es cuatrimestral.

Todos los números de *Encuentro con la Química* pueden descargarse desde el sitio web:

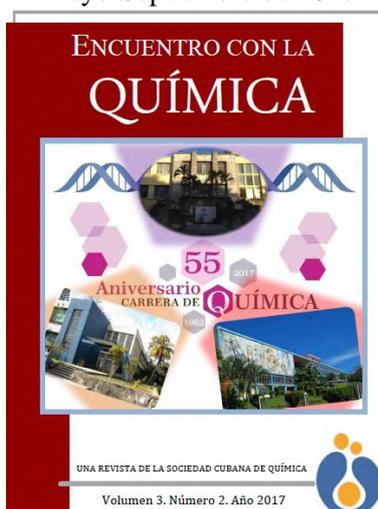
http://www.scq.uh.cu/encuentro_con_la_quimica

Últimos números

Volumen 3 Número 1
Enero-Abril de 2017



Volumen 3 Número 2
Mayo-Septiembre de 2017



Volumen 3 Número 3
Septiembre-Diciembre de 2017

