

ENCUENTRO CON LA QUÍMICA



UNA REVISTA DE LA SOCIEDAD CUBANA DE QUÍMICA

Volumen 3. Número 3. Año 2019



Encuentro con la Química

Volumen 5 - Número 3
Septiembre-Diciembre 2019

PORTADA



Imágenes tomadas de Internet

Elaborada por:



Yadiel Vázquez Mena

GRUPO EDITORIAL



Editor:
Gastón Fuentes Estévez

Colaboradora:
Rebeca Vega Miche

Composición y producción:
Yadiel Vázquez Mena
yadiel.vazquez@fq.uh.cu

Editorial	1
Investigación Química	
<i>Estrategias sintéticas de diseño racional en la búsqueda de compuestos de interés biológico (I): híbridos heterociclo-esteroides como potenciales agentes anticancerígenos.</i>	
Luis Enmanuel Almagro Rodríguez	3
<i>Partículas esféricas obtenidas por gelación ionotrópica de Alginato. Aplicaciones actuales</i>	
Kenneth Fowler Berenguer	7
<i>Dehidroalanina. Síntesis y aplicaciones</i>	
Leonardo González Ceballos	12
Enseñanza de la Química	
<i>Una visión personal de los principios del trabajo científico. Parte 15: La sección de resultados y discusión de un artículo científico</i>	
Manuel Álvarez Prieto	16
Ciencia y Sociedad	
<i>La Ética en la Química Orgánica</i>	
Margarita Suárez Navarro	24
<i>Observaciones sobre el tratamiento en Cuba al uso y tenencia de drogas</i>	
Olitza Rodríguez Martínez	28
<i>Química Sostenible y Sostenibilidad: un cambio de mentalidad</i>	
Armando Ferrer Serrano	30
Historia de la Química	
<i>Harry Szmant (1918-2000), fundador del Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad de Oriente</i>	
Rebeca Vega Miche	35
<i>Aportes a la Estereoquímica a mediados del siglo XX</i>	
Margarita Suárez Navarro.....	39
Ciencias y Humanidad	
<i>Ciencia, Arte y Música. Parte I. Precedentes y precursores.</i>	
Gastón Fuentes Estévez.....	42
<i>Ciencia, Arte y Música. Parte II. Física y música: del timbre, a lo desconocido</i>	
Daniel Stolik Novygrad	51
Tributo	
<i>Obituario incompleto, inconforme ...</i>	
Gastón Fuentes Estévez.....	58
Noticias	
<i>Estudiantes universitarios participan en el IV Congreso Estudiantil de Investigación en Ciencia y Tecnología (CEICYT RD-2019)</i>	
Zalua Rodríguez Riera	60
Curiosidades	
<i>El amor, enamorarse y sus demonios</i>	
Ibrahim García Cachón.....	62
<i>El misterio que guardan nuestros oídos</i>	
Yadiel Vázquez Mena.....	67
Entretenimientos	
<i>Enrollando láminas de grafeno</i>	
Yadiel Vázquez Mena	69
Normas de publicación de la revista Encuentro con la Química	70



En el 2019 se conmemoró el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos. Esta celebración coincidió con la primera publicación de la Tabla por el químico ruso Dmitri I. Mendeleiev hace tan solo 150 años. Si pensamos en todo lo que el hombre había hecho hasta esa fecha, podemos aseverar que la Tabla es joven, que digo, jovencísima.

Con casi siete decenas de elementos en la fecha de su descubrimiento (casi las 3/5 partes de los que conocemos hoy) se considera uno de los aportes científicos más importantes de la historia universal.

Nuestra revista, empeñada en llevarles artículos, noticias y curiosidades de cómo el mundo de la química interactúa de manera diaria y a veces casi imperceptible con la cotidianidad del ser humano llega hoy, con la publicación de su tercer número de este año, a su primer lustro de vida.

Ante todo, felicitar primeramente al motor impulsor de esta publicación, nuestra editora-fundadora, la Dra. Margarita Suárez quien, como sempiterna y eficiente colaboradora nos regala un par de artículos muy interesantes relacionados con la ética en las investigaciones científicas y los aportes a la Estereoquímica a mediados del siglo pasado. Sin su empuje inicial y su ejemplo, todo lo que intentamos sustituirla (algo que sabemos es nominalmente imposible) como editores (y me excusan si hablo en nombre de todos), no hubiéramos tenido ni la preocupación ni el compromiso que su impronta nos viene dejando, desde que fue nuestra profesora en la Facultad de Química.

En este número de celebración hemos querido incluir colaboraciones de algunos recién

graduados de nuestra Facultad quienes han aportado la visión nueva de como se ve la Química en la vida de las personas desde una perspectiva joven, miradas nacidas con la información rápida de Internet y las habilidades adquiridas durante su formación.

Artículos divulgativos pero interesantes sobre microesferas y síntesis de compuestos orgánicos y sus posibles aplicaciones en soluciones de la vida diaria e incluso las sustancias químicas involucradas en el proceso del amor, pueblan este número que si no especial, es cuando menos conmemorativo y que son aquellos donde los jóvenes toman un protagonismo significativo.

Se continúa con la serie de colaboraciones relacionadas con la escritura de artículos científicos de mucha utilidad para nuestros jóvenes graduados y cualquier persona interesada en aprender como divulgar de manera correcta y exitosa, los resultados de su investigación científica.

En la sección de Historia de la Química, continúa aportando como siempre la profesora Rebeca Vega con sus trabajos acerca de cómo esta ciencia que tanto amamos llegó y se quedó entre nosotros hablándonos de aquellos que dejaron sus huellas para que así fuera.

Se pretende en este número inaugurar una serie de artículos relacionados con la vinculación de la Química con otras ciencias o con aspectos poco conocidos de la vida cotidiana (Ciencia y Humanidad).

Se dedica un pequeño espacio a rendir homenaje a una persona especial para todos los químicos, que siempre colaboró con la facultad

y con todos sus laboratorios y que tristemente nos dejara en este año a temprana edad.

Finalmente queremos agradecer a todos nuestros colaboradores habituales y a aquellos que no lo son tanto, por mantener viva la llama

de esta publicación que pretende enamorar. Los invitamos a que sigan colaborando, a ellos y a los que aún no lo hacen. Y a nuestros lectores que sigan en contacto, con sus sugerencias y críticas, para ir mejorando, en la medida de lo posible, nuestra labor. Disfruten este esfuerzo.

Dr. Gastón Fuentes, editor

Estrategias sintéticas de diseño racional en la búsqueda de compuestos de interés biológico (I): híbridos heterociclo-esteroides como potenciales agentes anticancerígenos.

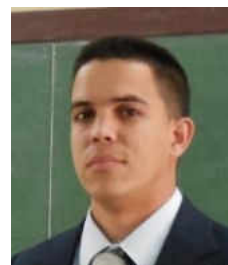
Investigación
Química

Luis Enmanuel Almagro Rodríguez

¹Departamento de Química General e Inorgánica. Facultad de Química. Universidad de La Habana.

²Laboratorio de Síntesis Orgánica. Universidad de La Habana.

lealmagro@fq.uh.cu



El cáncer constituye un grupo de enfermedades caracterizadas por el crecimiento excesivo, rápido y descontrolado de células que invaden y dañan los tejidos y órganos sanos, provocando finalmente la muerte del individuo.¹ El aumento de su incidencia con respecto a la esperanza de vida de la población explica el interés médico y social de esta enfermedad, siendo la edad el principal factor de riesgo para desarrollar algún tipo de neoplasia.² En este contexto, el cáncer de próstata, por citar un ejemplo, presenta una alta incidencia en la población masculina mayor de 50 años con un aproximado de 1.28 millones de casos solo en 2018. Nuestro país, que no escapa de esta realidad, en este año murieron cerca de 5 200 hombres, por complicaciones relacionadas con el cáncer de próstata.³

Si bien es cierto que actualmente existe un extenso número de agentes quimioterapéuticos para tratar esta enfermedad, y que año tras año se siguen evaluando y aprobando muchos más, los efectos colaterales asociados a estos fármacos, así como la resistencia de las células tumorales a estas medicinas, hace que el desarrollo de nuevas moléculas con propiedades anticancerígenas mejoradas y más selectivas que puedan emplearse en el tratamiento efectivo de esta enfermedad continúe siendo un área de investigación muy

activa, convirtiéndose en uno de los retos inaplazables para los químicos que trabajan en la síntesis orgánica.

Para llevar a cabo la tarea de crear nuevas moléculas orgánicas líderes con promisorio potencial fármaco-biológico, se recurre a la síntesis orgánica. Con ayuda de esta herramienta creativa, los químicos orgánicos y medicinales orientan su accionar hacia el desarrollo de moléculas preferentemente pequeñas, las cuales siempre han sido de gran interés para la química y la biología, puesto que ejercen efectos importantes sobre las funciones de las macromoléculas que constituyen la parte esencial de los seres vivos.⁴

Con el fin de identificar nuevas moléculas orgánicas bioactivas, los químicos sintéticos han desarrollado diferentes estrategias de diseño racional. Una de las estrategias más clásicas y sencillas es la síntesis de análogos de fármacos. El primer fármaco, de una serie de análogos, que se introduce al mercado y a partir del cual se diseñan los demás, se conoce como “*droga pionera*”. Usualmente, los análogos directos surgen como una versión improvisada de una “*droga pionera*”, pero con ciertas ventajas farmacológicas o farmacodinámicas. El diseño de análogos directos implica modificaciones estructurales sencillas, y como regla general, el esqueleto básico es conservado o solo levemente

modificado. De esta manera, para obtener análogos directos se selecciona una droga existente como compuesto líder y la investigación se enfoca hacia la síntesis y evaluación de la actividad biológica de nuevos análogos de ésta. La estructura química es muy similar a la de la molécula tomada como modelo, y, por tanto, se espera que la actividad biológica también lo sea.⁵

Sin embargo, a pesar de los buenos resultados que se han obtenido con esta estrategia su alcance es limitado, ya que no es capaz de abarcar una buena parte del espacio químico¹ que puede corresponder a la generación de nuevas moléculas con actividad farmacológica interesante (ejemplo, la antiproliferativa).

Con el advenimiento en las últimas décadas de nuevas herramientas computacionales para dirigir con más acierto el diseño molecular, así como el de nuevas técnicas para la elucidación estructural de macromoléculas, sumado a los progresos en el área de la biología molecular, pero todavía tomando como criterio fundamental la estructura

química, y las similitudes y diferencias en las propiedades químicas y biológicas entre compuestos, se crearon otras estrategias sintéticas de diseño racional, entre las que se pueden citar:

1.- **Síntesis orientada a una diana o molécula objetivo** (*Target-oriented synthesis, TOS*), con la cual se puede acceder a pequeñas moléculas provenientes de la naturaleza con propiedades biológicas útiles.

Según esta estrategia, los compuestos naturales pueden ser aislados de múltiples fuentes, pero cuando sus estructuras han sido determinadas, se convierten en blancos de estudio sistemático para la síntesis orgánica. Las rutas sintéticas empleadas dentro de la aproximación TOS pueden ser lineales o convergentes, y se planifican siguiendo un planteamiento retrosintético que parte de la molécula objetivo y va, por tanto, desde lo complejo hacia lo sencillo.

2.- **Química Combinatoria**, que ayuda a explorar un amplio número de compuestos estructuralmente relacionados, para los cuales se presume que tienen propiedades útiles. En

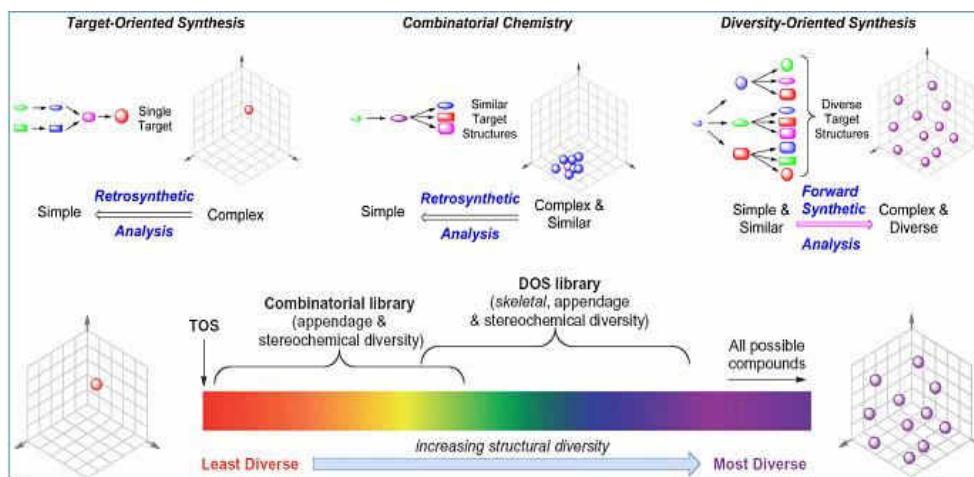


Figura 1: Comparación de las aproximaciones sintéticas TOS, Química Combinatoria y DOS.⁶

¹ El espacio químico es un concepto relativamente moderno, que trata de definir una región tridimensional en la que están comprendidas todas las posibles moléculas.

ella se parte de un único esqueleto y se consigue diversidad estructural modificando

los sustituyentes y grupos funcionales unidos a dicha estructura de referencia. Por tanto, se consigue únicamente explorar una pequeña región del espacio químico, situada en torno al punto que representa el esqueleto no sustituido. El origen de los compuestos de partida puede ser diverso e incluir productos naturales, fármacos conocidos, o como un diseñado racional a partir de una estructura cristalina de una macromolécula de interés.

3.- **Síntesis Orientada a la Diversidad** (*Diversity oriented synthesis, DOS*), la cual, al contrario de las dos estrategias anteriores, se enfoca en la creación de librerías de compuestos estructuralmente diversos usando materiales de partida simples. Las vías de síntesis empleadas en DOS son ramificadas y divergentes, y se planean en un sentido sintético directo, en contrapunto a la retrosíntesis. La máxima diversidad estructural se logra considerando tres elementos distintos: apéndices, estereoquímica y esqueleto, siendo la modificación de los apéndices la estrategia más sencilla para lograr la diversidad molecular.

En la figura 1 se pueden apreciar las semejanzas y diferencias entre estas tres estrategias de diseño racional, y el espacio químico que se abarca empleando cada una de estas estrategias.

4.- **Hibridación molecular**,⁷ que, en términos muy sencillos, consiste en combinar dos diferentes fármacos o farmacóforos² reconocidos en un único andamiaje molecular a través de un enlace covalente, con miras a

² El farmacóforo fue definido por Paul Ehrlich en 1909 como “una unidad central molecular que transporta (*phoros*) los rasgos esenciales responsables para la actividad biológica” de una droga (*pharmacón*). Según la IUPAC es “un conjunto de rasgos estéricos y electrónicos que es necesario para asegurar las óptimas interacciones supramoleculares con un blanco biológico específico y para gatillar (o bloquear) su respuesta biológica”

potenciar, por sinergia, los efectos biológicos que tienen como unidades estructurales independientes. De esta forma se genera una nueva entidad molecular conocida como híbrido o conjugado con propiedades mejoradas (ver figura 2).

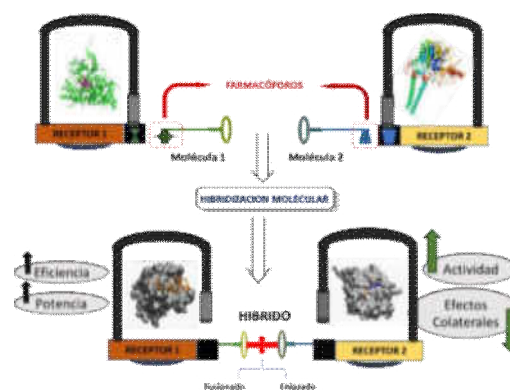


Figura 2: Técnica de hibridación molecular

Esta aproximación se ha usado exitosamente en la terapia contra el cáncer, ya que de esta forma se han creado agentes químicos capaces de modular simultáneamente diferentes blancos celulares relevantes para el crecimiento y la supervivencia de las células tumorales.⁸

Dentro de los compuestos que se han utilizado exitosamente en la preparación de sistemas híbridos o conjugados; se encuentran los esteroides. Esto se debe fundamentalmente a las características de fácil funcionalidad y rigidez de su estructura, unido a la amplia gama de actividad biológica que presentan e interacción específica con los receptores hormonales. De esta forma se han sintetizado conjugados esteroidales unidos a péptidos, carbohidratos, fullerenos, entre otros con diversas aplicaciones. Algunos de ellos se encuentran descritos en un excelente artículo del Vol. 3-No.3 de esta revista.

Sin embargo, nuestras más recientes investigaciones se han centrado en el desarrollo de metodologías eficientes de obtención de sistemas híbridos heterociclo-esteroides con actividad antiproliferativa,

empleando las estrategias TOS y DOS. Nuestra motivación está dada fundamentalmente a que diversos conjugados esteroideos fusionados o enlazados con grupos heterocíclicos han sido satisfactoriamente empleados como inhibidores en el tratamiento clínico de tumores esteroide-dependientes como son el cáncer de mama, endometrial, hiperplasia prostática y cáncer de próstata, así como de otros desordenes hormonales.⁹ Ejemplo de estos se encuentran, la Abiraterona (fármaco aprobado por la FDA desde 2012) y el Danazol (ver figura 3A).

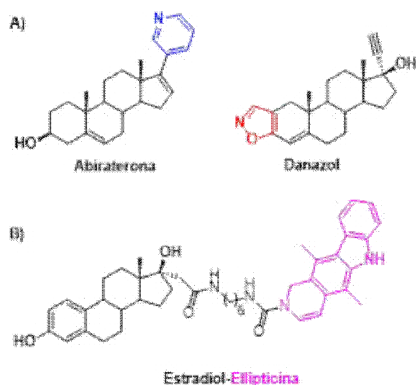


Figura 3: Conjugados heterociclo-esteroides empleados en el tratamiento de algunas neoplasias.

Por otra parte, variadas drogas citotóxicas, como clorambucil, cisplatino, ellipticina entre otras, han sido satisfactoriamente conjugadas a derivados esteroideos, dando lugar a compuestos con interesantes propiedades. Estudios realizados en estos híbridos (ver ejemplo en figura 3B) demuestran que el fragmento citotóxico dicta el mecanismo de acción antitumoral, mientras la entidad esteroideal facilita la internalización celular del fármaco, lo que constituye un resultado alentador a la hora de buscar moléculas con mayor especificidad farmacológica, y para combatir los mecanismos de resistencia múltiple a fármacos que presentan las células cancerosas.¹⁰

De esta forma, el desarrollo de derivados esteroideos citotóxicos o citostáticos (antiproliferativos) estructuralmente diversos

constituye tema relevante en la búsqueda de compuestos líderes en el descubrimiento de nuevos fármacos antitumorales, aplicando las herramientas sintéticas de diseño racional.

Referencias bibliográficas:

- 1.- P. Hainaut, A. Plymoth, *Curr. Opin. Oncol.* **2013**, 25, 50–51.
- 2.- R. Siegel, D. Naishadham, A. Jemal, *CA-Cancer J. Clin.* **2012**, 62, 10–29.
- 3.- <http://gco.iarc.fr/> **GLOBOCAN 2018**, acceso 29 de noviembre 2019.
- 4.- W. R. Galloway, A. Isidro-Llobet, D. Spring, *Nat. Commun.*, **2010**, 1, 1–13.
- 5.- J. Fischer, R. Ganellin, J. Proudfoot, E. M. Alapi, en *Analogue based drug discovery II*, 1st ed, (Eds.: J. Fischer, R. Ganellin), Wiley: Germany, **2010**, pp. 3–24.
- 6.- S. L. Schreiber, *Science*, **2000**, 287, 1964–1969.
- 7.- A. Rana, *Med. Chem. Res.*, **2015**, 24, 903–920.
- 8.- L. Musso, S. Dallavalle, F. Zunino, *Biochem. Pharmacol.*, **2015**, 96, 297–305.
- 9.- A. Gupta, *J. Steroid Biochem. Mol. Bio.*, **2013**, 137, 242–270.
- 10.- K. Nepali, *Eur. J. Med. Chem.*, **2014**, 77, 422–487.

Lic. Kenneth Fowler Berenguer

Departamento de Biomateriales Cerámicos y Metálicos
Centro de Biomateriales (BIOMAT), Universidad de La Habana
kenneth.fowler@biomat.uh.cu



El término “hidrogel” se viene utilizando en la literatura científica desde hace casi medio siglo y con un ritmo ascendente en los últimos años.¹ Generalmente se refiere a matrices poliméricas que se hinchan al contacto con agua pero no se disuelven.¹ Entre estos polímeros que se han utilizado para la fabricación de hidrogeles se encuentra el Alginato. No obstante, existen reportes que datan de las décadas del 30² y 40³ del siglo pasado en los que se utiliza la propiedad del Alginato de formar hidrogeles en presencia de cationes Ca²⁺.

El Alginato, sal del ácido algínico (generalmente encontrada en su forma sódica, NaAlg), es un polisacárido de origen natural compuesto por cadenas lineares de copolímeros de ácido (1-4) α -D-manurónico (bloques M) y ácido β -L-gulurónico (bloques G) aleatoriamente distribuidos en la cadena (Figura 1).⁴ La relación molar (relación M/G) entre los bloques M y los bloques G depende fundamentalmente del origen y la forma de extracción.⁴ El NaAlg acapara un gran interés en la actualidad por la interesante propiedad de formar geles estables en presencia de cationes divalentes con estructuras llamadas “egg box” (caja de huevos por su nombre en inglés) en que los centros metálicos se unen preferencialmente a los átomos de oxígeno de los bloques G (se ha reportado también que algunos cationes como el Zn²⁺ muestran igual

preferencia por las unidades de guluronato y manuronato⁵).

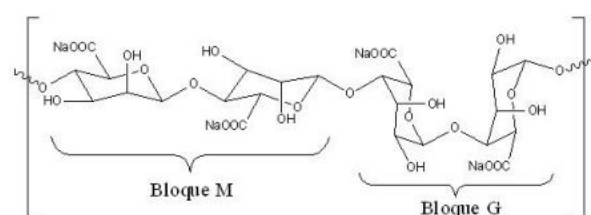


Figura 1. Estructura molecular del NaAlg.

Gelación ionotrópica de NaAlg con cationes divalentes

A temperatura ambiente y pH fisiológico los átomos de oxígeno de la unidad de β -L-guluronato se encuentran organizados en forma de cavidad. Cuando una gota de solución de Alginato entra en contacto con el catión entrecruzante existe una alta concentración local de cadenas del polímero en la superficie de la gota y ocurre la primera gelación. Los cationes se insertan en las cavidades ya mencionadas con una coordinación de geometría octaédrica (Figura 2) a la vez que se intercambian con los cationes Na⁺ provenientes del NaAlg. En ese momento existe una capa gelificada y una zona rica en agua entre la capa exterior y las cadenas de polisacárido que se encuentran más al interior de la gota.⁶ Los cationes divalentes penetran hacia el interior de la gota a medida que se intercambian con el Na⁺ siguiendo un modelo de difusión fickiana⁷ a medida que también se expulsan moléculas de agua lo que en última instancia también

resulta en una contracción de la gota (Figura 3). Este proceso “*layer-by-layer*” (capa por capa por su nombre en inglés) es el causante de la existencia de surcos y cavidades al interior de las esferas luego de estar consolidadas⁶ (Figura 4).

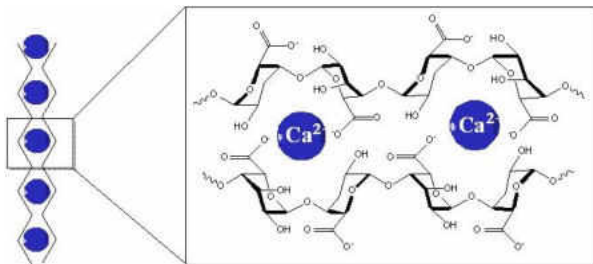


Figura 2. Estructuras “egg box” (izquierda). Ampliación a la coordinación octaédrica de los cationes Ca^{2+} con los átomos de oxígeno de los bloques G (derecha).

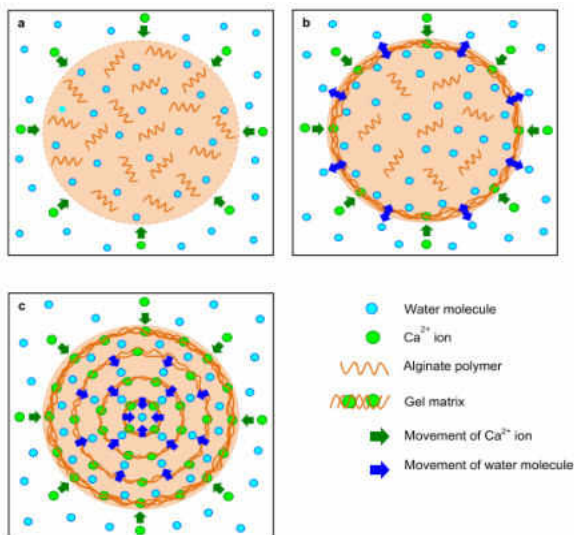


Figura 3. Mecanismo propuesto para la formación de hidrogeles esféricos por gelación ionotrópica de Alginato con cationes Ca^{2+} . Alta concentración de polímero y entrecruzante en la interfase de la gota y la solución (a). Formación de una capa gruesa entrecruzada (b). Difusión de los iones Ca^{2+} hacia el interior de la gota (c).⁶

Gelación ionotrópica interna vs externa

Operacionalmente existen dos maneras de realizar la gelación ionotrópica del Alginato: la gelación interna o externa. En la gelación

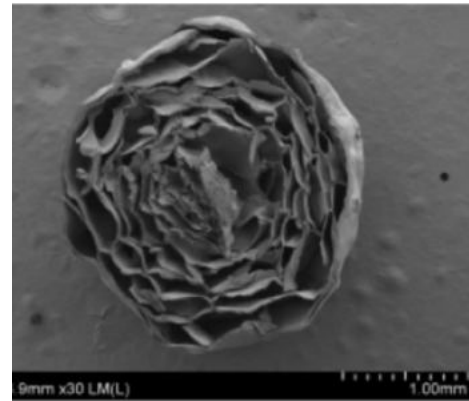


Figura 4. Sección transversal de una esfera de Alginato.⁶

externa se prepara una solución acuosa de NaAlg en la que pueden estar también disueltos o dispersados otros principios activos o aditivos; y luego se gotea en una solución que contenga al catión entrecruzante (Figura 5). En la gelación interna el catión se encuentra disperso en la solución de Alginato en forma de una sal insoluble. Las gotas se forman en procesos de doble emulsión en los que se añade una fase oleosa con un ácido disuelto; cuando el ácido difunde al interior de la gota la sal se disuelve y se libera el catión para consolidar la gota (Figura 6).^{8,9}

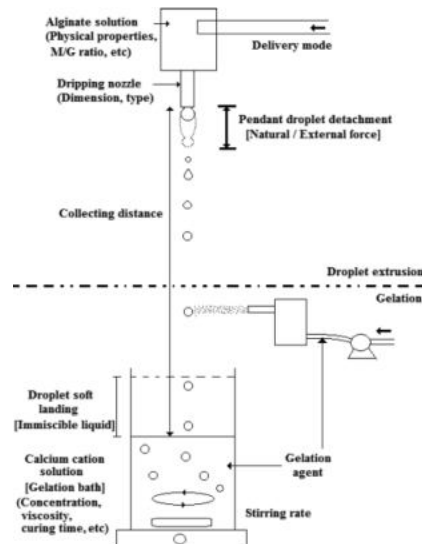


Figura 5. Representación esquemática de la formación de esferas por gelación externa de NaAlg con Ca^{2+} . Se muestran también algunos parámetros operacionales del proceso.⁴



Figura 6. Representación esquemática de la formación de microesferas por gelación interna de NaAlg con cationes Ca^{2+} .⁹

En la literatura se reporta que por la metodología de gelación interna se pueden obtener esferas con una microestructura más compacta ya que los cationes Ca^{2+} ya se encuentran en el núcleo de la gota.¹⁰ No obstante, las esferas producidas por esta metodología suelen ser más polidispersas⁸ en comparación con la gelación externa. Las mayores dificultades de la gelación externa son el tamaño de las esferas (que depende del diámetro del dispositivo de goteo¹¹) y su escalado industrial.¹² De cualquier manera, la versatilidad de estas técnicas permite obtener partículas esféricas con un amplio rango de tamaños, propiedades mecánicas y composición.

Ejemplos del uso de partículas esféricas de hidrogel de Alginato

Entre las aplicaciones actuales de los hidrogeles esféricos de Alginato se encuentra la microencapsulación. Śliwka y col.¹³ reportan la utilización de esferas de Alginato para encapsular al bacteriófago T4 con el objetivo de desarrollar sistemas de administración oral con capacidades de liberación controlada con los intestinos como órganos diana (Figura 7).

Células del linaje MC3T3-E1 también han sido encapsuladas en esferas de Alginato (Figura 8) para estudiar el potencial uso de esta técnica en terapias de medicina regenerativa como la terapia con células madre.¹⁴

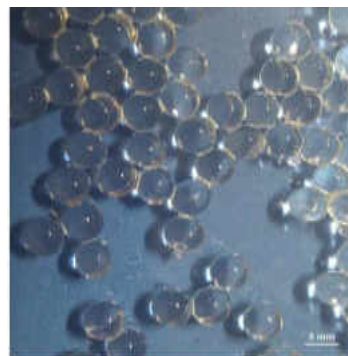


Figura 7. Micrografías ópticas del bacteriófago T4 encapsulado en hidrogel de Alginato.¹³

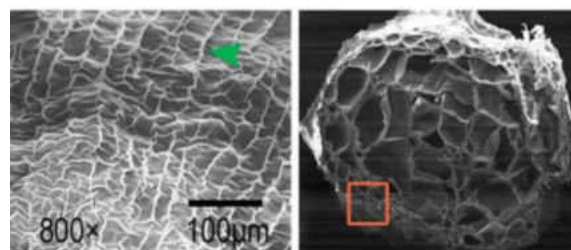


Figura 8. Esferas de Alginato/Gelatina con células MC3T3-E1 ocluidas.¹⁴

En la industria alimentaria se investiga el uso de estas cápsulas de para combinarlas con el producto final y así liberar distintos nutrientes, antioxidantes, etc. Belščak-Cvitanović y col.⁹ encapsularon componentes tanto hidrofílicos (polifenoles extraídos de la flor “diente de león”) como lipofílicos (β -caroteno) en esferas de Alginato (Figura 9) obtenidas por gelación interna y estudiaron su liberación en fluido gástrico simulado (SGF por sus siglas en inglés *simulated gastric fluid*) y fluido intestinal simulado (SIF por sus siglas en inglés *simulated intestinal fluid*).

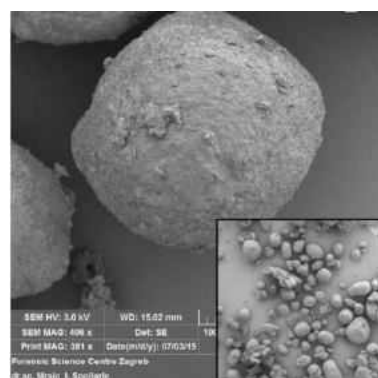


Figura 9. Esferas de Alginato obtenidas por gelación interna.⁹

Dispersando una cerámica en la solución de partida se pueden obtener también partículas esféricas de gran interés. Chiew y col.¹⁵ han reportado la obtención de esferas de hallosita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) y Alginato por gelación ionotrópica externa de este último (Figura 10). Las esferas han demostrado ser buenos candidatos para su aplicación en la remoción de $\text{Pb}(\text{II})$.^{16, 17}

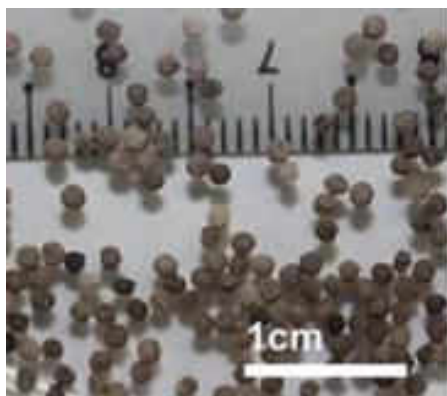


Figura 10. Esferas de Alginato/Hallosita para la remoción de $\text{Pb}(\text{II})$.¹⁶

Luego de obtener las esferas, es posible aplicar un tratamiento térmico para eliminar el Alginato a temperaturas cercanas a los 600 °C (Figura 11).⁷ Se pueden obtener entonces esferas cerámicas con diversas aplicaciones.

Lo Frano y col.¹⁸ han utilizado esta técnica para obtener esferas cerámicas de Li_4SiO_4 para la obtención del material de relleno en las chaquetas de los reactores de fusión nuclear luego de sinterizar las esferas precursoras hasta 600 °C (Figura 12).

Además, se puede aprovechar la descomposición del Alginato para introducir elementos con propiedades interesantes a los sistemas cerámicos. Luego de la descomposición del Alginato los cationes entrecruzantes se mantienen en las partículas cerámicas en forma de óxidos (Figura 13).^{5, 19} Costa Cuozzo y col.⁵ reportan que luego de obtener microesferas de HA/Alginato entrecruzadas con CaCl_2 o $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$. Los autores observaron que luego de sinterizar las

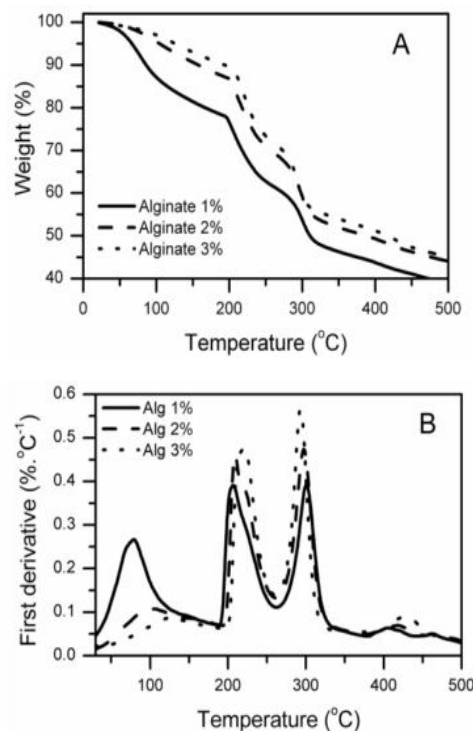


Figura 11. Curva de TG (a) y DTG (b) de esferas de Alginato. Se identifican tres eventos de descomposición: Deshidratación y destrucción de enlaces glicosídicos (1), depolimerización y posterior termodegradación a compuestos de bajo peso molecular (2) y combustión completa en CO_2 y H_2O (3).⁷

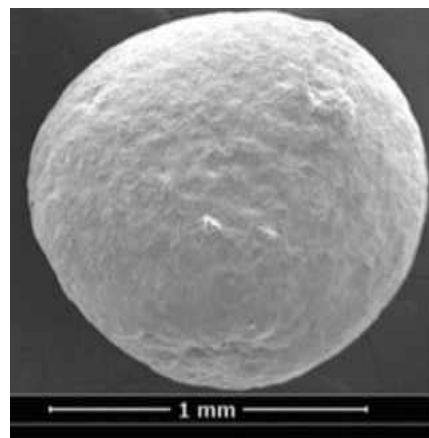


Figura 12. Esferas cerámicas de Li_4SiO_4 obtenidas luego de sinterizar esferas de $\text{Li}_4\text{SiO}_4/\text{Alg}$ a 600 °C.¹⁸

microesferas a 900 °C, además del fosfato de calcio, existía presencia de ZnO en las esferas obtenidas con $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$. De esta manera lograron introducir Zn, un elemento metálico relevante en el crecimiento del hueso y en la diferenciación celular, en partículas cerámicas

con posible uso como materiales de relleno de defectos óseos.⁵

Los usos del Alginato en la confección de esferas van desde la microencapsulación de principios activos hasta la obtención de dispositivos médicos de avanzada. La versatilidad de las técnicas de gelación, unido a lo simple de su implementación sigue inspirando a disímiles grupos de investigación a lo largo del mundo los que buscan tomar este conocimiento de casi medio siglo y continuar convirtiéndolo en ciencia de avanzada.

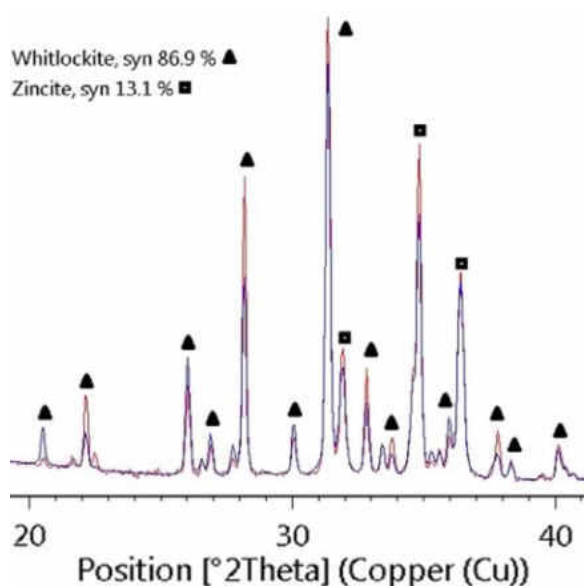


Figura 13. Difractograma de Rayos-X en la región angular 20-40° de esferas de β - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ obtenidas a partir de NaAlg entrecruzado con $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$. Se identifican las fases Whitlockita (▲) y ZnO (■).⁵

REFERENCIAS

- Chirani, N., y col., *Journal of biomedical sciences*. **2015**, 4,
- Morgan, D., *Journal of Tissue Viability*. **1997**, 7, 4-9.
- Blaine, G., *Annals of surgery*. **1947**, 125, 102-114.
- Lee, B.B., P. Ravindra, and E.S. Chan, *Chemical Engineering & Technology*. **2013**, 36, 1627-1642.
- Costa Cuozzo, R., y col., *Ceramics International*. **2014**, 40, 11369-11375.
- Voo, W.-P., y col., *European Polymer Journal*. **2016**, 75, 343-353.
- Teixeira, V.F.T., y col., *Carbohydrate Polymers*. **2014**, 111, 198-205.
- Lupo, B., y col., *Food Hydrocolloids*. **2014**, 38, 56-65.
- Belščak-Cvitanović, A., y col., *Food Hydrocolloids*. **2016**, 57, 139-152.
- Lupo, B., y col., *Food Hydrocolloids*. **2015**, 49, 25-34.
- Davarcı, F., y col., *Food Hydrocolloids*. **2017**, 62, 119-127.
- Strobel, S.A., y col., *Journal of Food Engineering*. **2020**, 266, 109695.
- Śliwka, P., y col., *LWT*. **2019**, 99, 238-243.
- Li, L., y col., *International Journal of Biological Macromolecules*. **2019**, 128, 184-195.
- Chiew, C.S.C., y col., *Applied Clay Science*. **2014**, 101, 444-454.
- Chiew, C.S.C., y col., *Polymer Degradation and Stability*. **2016**, 123, 146-154.
- Chiew, C.S.C., y col., *Applied Clay Science*. **2016**, 119, 301-310.
- Lo Frano, R., y col., *Materials*. **2018**, 11,
- Chi, W., y col., *Materials*. **2019**, 12,

Leonardo González Ceballos

**Facultad de Química
Universidad de La Habana
leo@fq.uh.cu**



En la actualidad, la química de péptidos y proteínas ha diversificado sus aplicaciones. En sus inicios lo importante era la síntesis de análogos de productos naturales activos de naturaleza peptídica, la síntesis de péptidos que simularan la porción activa de la secuencia de una proteína (síntesis de péptidomiméticos) o la estabilización de estructuras secundarias (α -hélices, giros β). Hoy por hoy, una rama que se ha desarrollado extensivamente dentro de la Química Biológica Moderna es la modificación postranslacional (PTM por sus siglas en inglés) de péptidos y proteínas. Dicha alteración puede ocurrir en menor (metilación, acetilación, fosforilación) o mayor (glicosilación, ligación) extensión¹. A su vez, la modificación postranslacional puede ocurrir mediante métodos enzimáticos o mediante síntesis química clásica.

La modificación mediante síntesis química clásica se basa en la funcionalización de los residuos de dehidroalanina (Dha) es una de las variantes más explotadas. Este residuo no proteinogénico (no ribosomal) se puede introducir en la secuencia de un péptido o una proteína a partir de la derivatización de los residuos de cisteína y serina (residuos ribosomales) principalmente. Como se puede observar en la Fig. 1 el aminoácido Dha, al ser tan similar a la alanina, supone una

alteración mínima del esqueleto peptídico, siendo esta una gran ventaja con respecto a la introducción de otros grupos funcionalizables como son: azidas, alquinos y tetrazinas; mucho menos biocompatibles. Además, la modificación a través de la cadena lateral de la Dha es mucho más selectiva con respecto a si se hiciera a través de las cadenas laterales de las lisinas y cisteínas o a través del extremo *N* del péptido. Por último y más importante, la Dha es un aceptor de Michael y es justamente esta característica la que ha permitido que se realicen tantos tipos de PTM hasta la fecha empleando este aminoácido.

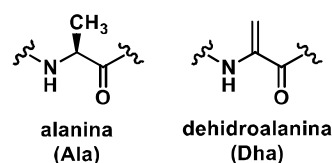
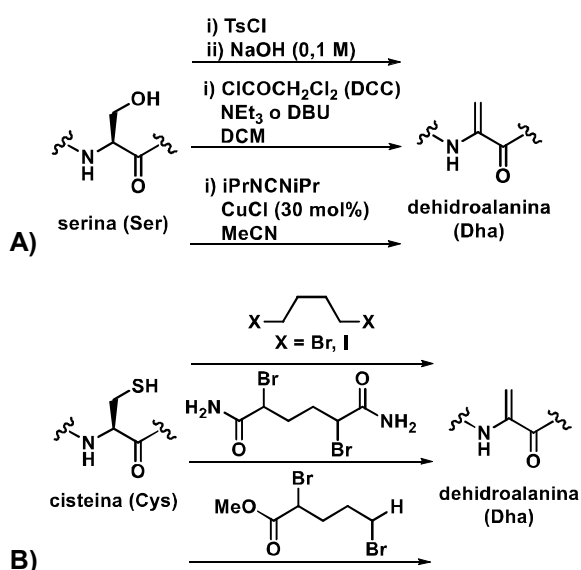


Figura 1. Estructuras de la alanina y la Dha

Métodos de síntesis de Dha

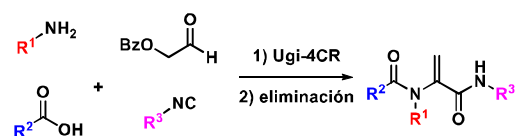
Los métodos de síntesis de Dha a partir de los residuos de serina (Esq. 1 A) se pueden generalizar en dos pasos: el primero sería la conversión del grupo hidroxilo en un buen grupo saliente (tosilato, carboxilato o urea); el segundo paso sería la adición de una base que propicie la reacción de eliminación basada en la acidez del hidrógeno enlazado al carbono alfa de los aminoácidos. Con respecto a los métodos de síntesis basados en cisteína (Esq.

1 B) la novedad radica en la adición de un compuesto electrofílico bifuncional, es decir, que permita una doble sustitución nucleofílica del átomo de azufre. La eliminación del derivado de tetrahidropirrol ocurre tras la adición de una base débil. Existen otros métodos de síntesis de Dha a partir de selenocisteína/lisina/phenilalanina en los cuales se emplea peróxido de hidrógeno o alguno de los reactivos electrofílicos bifuncionalizados antes referidos².



Esquema 1. Métodos de síntesis de Dha

La Dha también se puede generar en moléculas pequeñas mediante métodos alternativos, como el desarrollado en el grupo de Luis D. Miranda (Esq. 2)³. En este grupo, luego de realizar una reacción de Ugi 4 componentes (Ugi-4CR), empleando 2-benzoilacetaldehído como componente oxo de la reacción, se realiza la eliminación del grupo benzoato lo cual conduce a la formación del residuo de Dha.

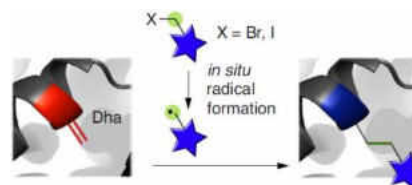


Esquema 2. Método de obtención de Dha desarrollado por Pérez-Labrada.

Aplicaciones de la Dha

Las aplicaciones de la Dha son múltiples y comenzaron desde hace ya varias décadas. A continuación, se expondrán algunas de las más recientes.

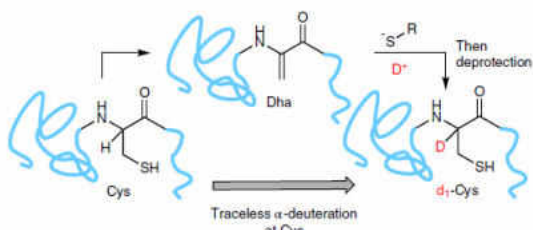
En 2017, Wright y Davis reportaron un nuevo método para obtener proteínas recombinantes (Esq. 3)⁴. Cuando las técnicas clásicas recombinantes se basan en la generación de nuevos genes que codifiquen la síntesis de nuevos aminoácidos que puedan ser intercalados en una posición específica de la secuencia, el método quimioselectivo reportado por Wright y Davis se basa en la capacidad de la Dha de actuar como aceptor de radicales. Como fuentes de radicales se emplearon yoduros y bromuros de alquilo. Las ventajas del método descrito radican en la posibilidad generar una gran cantidad de aminoácidos no proteínogénicos, ya que existen haluros de alquilo sustituidos de disimiles maneras. Para que se tenga una idea clara, mediante este método es posible funcionalizar a la proteína con cadenas lipídicas y PEGs de diversos tamaños y con cadenas laterales aromáticas, cargadas, con mayor o menor grado de sustitución, glicosidadas, fosforiladas y fluoradas por solo citar algunas. A este método se le conoce en la literatura como *mutagénesis química*.



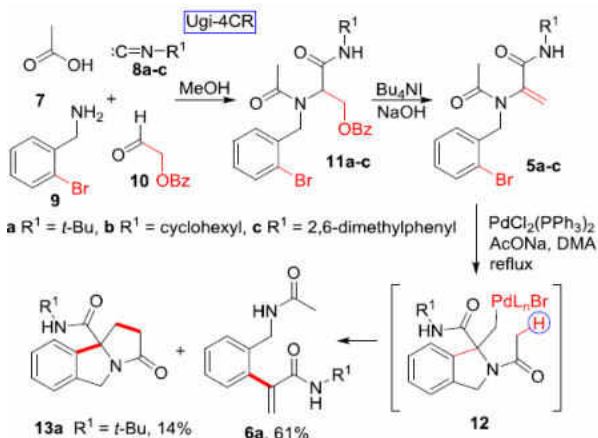
Esquema 3. Esquema general de la mutagénesis química

En 2018, Galan y colaboradores reportaron el uso de la Dha como método de incorporación de deuterio (marcaje isotópico) en proteínas (Esq. 4)⁵. La técnica consiste en generar Dha a partir de un residuo de cisteína para luego realizar una adición de Michael

empleando un tiolato en medio ácido deuterado. Posteriormente el tiolato es desprotegido y la cisteína “marcada” es regenerada. Este método, según los autores, hace más sencillo estudiar mecanismos mediados por proteínas, el análisis estructural de las mismas y abre nuevos horizontes en el campo de la biotecnología y la medicina.



Esquema 4. Marcaje isotópico de cisteína



Esquema 5. Síntesis de benzopirrolizidinas acompañada de migración 1,4 de alqueno

Por otro lado, en 2018, García-González y colaboradores reportaron la aplicación de compuestos que contienen Dha en la síntesis de nuevos derivados de benzopirrolizidinas acompañado de 1,4- y 1,5- migraciones de alqueno⁶. Toda esta serie de transformaciones, mediadas por paladio, son muy novedosas, sobre todo las migraciones, y constituyen campos de investigación activos porque se consideran aportes a la química moderna de paladio. La ruta de síntesis (Esq. 5) de la Dha es la misma reportada por Pérez-Labrada en 2011 y a continuación se suceden una serie de ciclaciones intramoleculares, tipo Heck, catalizadas por Pd.

Como se puede apreciar, la Dha es un aminoácido muy versátil, pues permite la realización de modificaciones por vía iónica y radicalica con y sin la mediación de metales. Su uso no solo se limita al campo de los péptidos y proteínas, sino que también alcanza el de las moléculas más pequeñas. En la literatura existen una gran cantidad de ejemplos que avalan lo antes dicho⁷. Nuevas aplicaciones de este aminoácido se están implementando en nuestro grupo de Biorgánica del Centro de Estudio de Productos Naturales (CEPN) y serán publicadas próximamente.

Referencias bibliográficas

- 1 Patrick G. Isenegger and Benjamin G. Davis, Concepts of Catalysis in Site-Selective Protein Modifications, *J. Am. Chem. Soc.* **2019**, 141, 8005–8013.
- 2 Jitka Dadová, Sébastien RG Galan and Benjamin G Davis, Synthesis of modified proteins via functionalization of dehydroalanine, *Current Opinion in Chemical Biology* **2018**, 46:71–81
- 3 Karell Pérez-Labrada, Edwin Flórez-López, Evelyn Paz-Morales, Luis D. Miranda, Daniel G. Rivera, A two-step practical synthesis of dehydroalanine derivatives, *Tetrahedron Letters* **2011**, 52, 1635–1638.
- 4 Tom H Wright & Benjamin G Davis, Post-translational mutagenesis for installation of natural and unnatural amino acid side chains into recombinant proteins, *Nature Protocols* **2017**, 12, 2243-2250.
- 5 Sébastien R. G. Galan¹, James R. Wickens¹, Jitka Dadova¹, Wai-Lung Ng ¹, Xinglong Zhang, Robert A. Simion¹, Robert Quinlan¹, Elisabete Pires¹, Robert S. Paton ^{1,2}, Stephen Caddick³, Vijay Chudasama, Benjamin G. Davis, Post-translational site-selective protein backbone α -deuteration, *Nature Chemical Biology* **2018**, 14, 955–963.
- 6 Ma. Carmen García-González a, Eduardo Hernández-Vázquez a, Fabio A. Vengochea-Gómez, Luis D. Miranda, Palladium-catalyzed

olefin migration and 7-endo-trig cyclization of dehydroalanines, *Tetrahedron Letters* **2018**, 59, 848–852.

7 <http://users.ox.ac.uk/~dplb0149/index.html>

Una visión personal de los principios del trabajo científico. Parte 15: La sección de resultados y discusión de un artículo científico

Enseñanza de la
Química

Manuel Alvarez Prieto

Departamento de Química Analítica, Facultad de Química,
Universidad de La Habana

malvarez@fq.uh.cu



Este artículo continúa la serie que se ha venido publicando en esta revista desde 2015.¹⁻² En las últimas partes se ha discutido sobre los objetivos, elementos, características y requisitos que deben cumplir las secciones de los artículos científicos denominados “artículos generales”. Esos artículos están dirigidos a describir resultados científicos particulares y originales, que por sí mismos constituyen un progreso científico. Ellos se denominan usualmente en inglés *general papers*, *full papers* o simplemente *articles*. En este artículo se expondrán algunas ideas sobre la sección de resultados y discusión.

Generalidades sobre la elaboración de la sección de resultados y discusión de los artículos científicos

Como se explicó en artículos anteriores de esta serie^{2,3}, las dos estructuras más empleadas de los artículos científicos generales se denotan mediante IMRyD e IMRD. La diferencia entre ellas radica en que en el primer caso los resultados y la discusión de ellos se realiza en una misma sección (Resultados y Discusión, RyD) mientras que en el segundo caso los resultados se exponen en una sección diferente a la sección en donde

se discuten (sección de Resultados y sección de Discusión).



Fig. 1. A algunos no le gusta la discusión.

Aunque no parece que se hayan elaborado estadísticas sobre la utilización de una u otra estructura en diferentes disciplinas científicas, el autor de este artículo cree que la estructura más utilizada en el dominio de la Química es IMRyD. A partir de esa creencia, aquí se discutirá fundamentalmente sobre la sección en donde conjuntamente se presentan los resultados y se discuten.

El objetivo esencial de la sección de resultados y discusión es presentar los datos que fundamentan el trabajo científico realizado y exponer el significado que tienen sobre la base del problema científico identificado.

La sección puede dividirse en subsecciones que pueden nombrarse en dependencia de su contenido y por tanto de la opción que se seleccione para el orden de presentación de los datos y los resultados. La denominación de esas subsecciones generalmente se deja a elección de los autores.

En un artículo anterior de esta serie, dirigido a la discusión de los tipos y la estructura de los artículos,³ se expresó que no siempre se establece una sección de conclusiones en los artículos generales. Para algunas revistas se considera que las conclusiones se pueden y deben expresar en la sección de resultados y discusión, o una sección separada de discusión. En esos casos, a la sección en donde se expresan las conclusiones se le asocia la forma de paralelogramo con el lado superior de menor tamaño (embudo invertido), ya que se elabora discutiendo los asuntos y concluyendo sobre ellos de lo particular a lo general.³

Aquí se considerará que “datos” no es lo mismo que “interpretaciones”. En ese contexto datos son hechos, derivados de los experimentos, mediciones y/o observaciones, usualmente expresados mediante números (u otra forma simbólica), mientras que se considerará interpretaciones a las declaraciones que interpretan o explican el significado de los datos. También se considerará “hallazgos” a la combinación de datos e interpretaciones. Así, en la sección de resultados y discusión deben exponerse tanto datos como interpretaciones, es decir, hallazgos. Si en la propia sección de resultados y discusión se presentan conjuntamente los datos y las interpretaciones, normalmente las segundas se elaboran a continuación de los primeros.

Uno de los problemas generales que pueden manifestarse en la confección de la sección de resultados y discusión radica en

suministrar datos, pero no expresar apropiadamente las interpretaciones, y viceversa, expresar las interpretaciones sin suministrar los datos que las justifican.⁴⁻⁵ De cualquier manera hay que brindarle la oportunidad al lector de valorar en qué medida los datos justifican las interpretaciones.

Otro de los primeros elementos generales a considerar es el orden lógico para la presentación de los datos y las interpretaciones.⁶ **Annesley**⁴ plantea como opciones para el orden de presentación los siguientes: 1) el orden cronológico en que se obtuvieron; 2) agrupados por tópicos o experimentos realizados; 3) sobre la base del más general al más específico y 4) del más importante al menos importante. Por otro lado, **Foote**⁵ propone que 5) deben reportarse en el mismo orden en que fueron presentados los métodos. A las opciones anteriores pueden agregarse las siguientes: 6) agrupados por objetivos científicos planteados y 7) por paquetes de nuevos conocimientos alcanzados.

Puede ser difícil decidir en qué forma presentar los datos y los resultados. Con relación a este importante asunto cabría decir que la mejor forma es la que más contribuya al entendimiento del artículo científico; la que permita al lector comprender mejor la importancia, el significado y el alcance de los hallazgos. Aunque el lector debe y generalmente puede ser capaz de sacar sus propias conclusiones respecto al significado de los datos expuestos, es obligatorio que los autores expresen sus interpretaciones.⁷

Aunque desde el punto de vista del autor de este artículo la opción que propone **Foote**⁵ puede resultar atractiva en algunos casos, no debe ser sugerida con el carácter obligatorio que la plantea. Al utilizarla se añade un vínculo mayor de la sección de resultados y

discusión con la sección de materiales y métodos, ya que mediante ella se establece una correspondencia entre las partes o subsecciones de una sección y otra.

Con relación a la presentación de los datos se aplica el principio ético de la declaración de los testigos en una causa judicial consistente en tres requisitos: decir la verdad, toda la verdad y nada más que la verdad.⁴

El primero de los requisitos es fácil de cumplir, y en él radica el principal objetivo de la sección de resultados y discusión. Es un requisito básicamente ético: atenerse exclusivamente a la verdad científica.

Cumplir con el segundo requisito exige un esfuerzo consciente para incluir todos los datos que estén relacionados con el cumplimiento de los objetivos científicos trazados, que a su vez tienen como fundamento la solución del o los problemas científicos identificados. Incluir todos los datos significa no excluir datos que aparentemente o en realidad contradigan las conclusiones a las que se llega. La práctica de excluir datos si una justificación clara, sino sobre la base de que no concuerdan con otros datos o porque “no son bonitos”, es mala ciencia.

Por último, satisfacer el tercer requisito en cuanto a los datos (decir nada más que la verdad) consiste en no modificarlos en ningún sentido, ni adornarlos o embellecerlos. Tampoco deben presentarse en una forma intencionalmente sesgada para brindar una impresión falsa. Las razones en contra de esos procedimientos son puramente éticas.

La sección de materiales y métodos para otras estructuras de artículo

En un artículo anterior de esta serie se explicó que algunas revistas de alto impacto utilizan la estructura IRDM (Introducción – Resultados – Discusión – Métodos).^{3,7} Esta

estructura requiere un cambio sustancial en cómo la sección de resultados se organiza. Debido a que la sección de materiales y métodos se coloca al final del artículo, o en el sitio web de la revista en un fichero separado, el lector no tiene a primera mano los detalles de los métodos y el trabajo experimental. Por tanto, en la sección de resultados tiene que presentarse la lógica de por qué los experimentos fueron realizados, el cómo fueron realizados y cómo los datos fueron analizados.⁷

Para generalizar se puede plantear que la elaboración de la sección de resultados y discusión dependerá acentuadamente de la estructura adoptada para el artículo.

Elementos a tener en cuenta cuando los resultados y su discusión se presentan en secciones diferentes

Cuando los resultados y la discusión se presentan en secciones diferentes, las reglas fundamentales consisten en no repetir datos en la sección de discusión y no establecer interpretaciones sobre el significado de los datos en la sección de resultados.

En este caso, la discusión debe comenzar con una declaración de los resultados principales del estudio⁸. Dicha declaración debe ser directa y sucinta.

Elementos a incluir y a evitar en la sección de resultados y discusión

A partir de las algunas de las ideas que expresa **Hess** para la sección de discusión,⁸ a continuación se discuten elementos que deben incluirse o evitarse cuando en la misma sección se presentan los resultados y la discusión (es decir, tanto datos como interpretaciones). Un resumen de los elementos a incluir se muestra en la Tab. 1. Ellos son los siguientes:

• **Expresar los hallazgos del estudio (combinación de datos e interpretaciones).** Como se expresó anteriormente, éste es el principal objetivo de la sección, y por tanto el primer elemento a tener en cuenta. Sin embargo, no siempre es necesario incluir datos primarios, en bruto, sino que a menudo pueden presentarse datos experimentales con cierta elaboración inicial. Por ejemplo, en lugar de presentar los valores individuales de varias mediciones, en su lugar pueden presentarse la media aritmética y la desviación estándar de esos valores. Los datos primarios pueden someterse a procesos de elaboración más complejos como la regresión.

Tabla 1. Resumen de elementos a incluir en la sección de resultados y discusión

<i>Expresar los hallazgos del estudio</i>
<i>Significado e importancia de los hallazgos</i>
<i>Relación de los hallazgos con otros estudios</i>
<i>Reconocer el trabajo de otros autores</i>
<i>Considerar explicaciones alternativas para hallazgos</i>
<i>Establecer la relevancia de los hallazgos</i>
<i>Reconocer las limitaciones del estudio</i>
<i>Realizar sugerencias sobre investigaciones adicionales o futuras</i>
<i>Utilizar los mismos términos y conceptos que se emplean en otras secciones</i>

Las interpretaciones de los datos deben expresarse de forma concisa y clara para que sean fáciles de entender por el lector.

• **Significado e importancia de los hallazgos.** Es importante exponer la opinión de los autores sobre el significado y la importancia de los hallazgos (datos y resultados) del trabajo científico. Estas opiniones deben ser particularmente claras y concisas para que sean fácilmente entendibles. Los lectores podrán hacerse sus

propias ideas sobre el significado e importancia de los hallazgos, pero la opinión de los autores del trabajo puede contribuir mucho en esa dirección. Partiendo de que los autores han profundizado convenientemente para la realización del trabajo, ellos deben estar apropiadamente preparados para ofrecer al lector una opinión a tener en cuenta.

• **Relación de los hallazgos con otros estudios.** Dado el carácter socializado de la ciencia, para ubicar un nuevo conocimiento en el entramado del conocimiento científico, es apropiado conocer su relación con conocimientos anteriores. Todo estudio científico tiene antecedentes que le resultan esenciales como puntos de partida. Los hallazgos de estudios anteriores pueden sustentar los hallazgos encontrados, lo cual fortalece el estudio realizado. De la misma manera es adecuado señalar los aspectos en los cuales difiere el estudio realizado de los antecedentes, y en particular si se producen avances o mejoras con respecto a lo logrado anteriormente.

• **Reconocer el trabajo de otros autores.** Por ética elemental, debe otorgársele crédito a cualquier trabajo anterior que sustente los hallazgos del trabajo efectuado. Hay que aceptar la precedencia, aunque haya que reconocer la falta de novedad. Por el contrario, si el trabajo realizado apoya un trabajo anterior, debe señalarse.

• **Considerar explicaciones alternativas para los hallazgos.** Es importante considerar todas las posibles explicaciones que satisfagan los hallazgos del estudio realizado, es decir, las propias y las alternativas. Esto adquiere mayor relevancia si las explicaciones alternativas han sido consensuadas por la comunidad científica. Es importante reconocer que el propósito de la investigación es en última instancia **descubrir** en lugar de **probar**. Aunque hay que

reconocer que una de las formas de descubrir es mediante la demostración. Considerar solamente las explicaciones propias puede conducir a probar los hallazgos, pero eso no quiere decir que la explicación de esos hallazgos constituya la verdad científica.

- **Establecer la relevancia de los hallazgos.** La relevancia de los hallazgos es una medida de la importancia del trabajo realizado. Esa relevancia puede ser científica, social, práctica o de otro tipo. Aunque la ciencia es en primera instancia una actividad socializada dirigida a la búsqueda del conocimiento sobre la base del método científico, a mediano y largo plazo se convierte en una fuerza productiva para el desarrollo de la sociedad. Así que es importante destacar cualquier relevancia que puedan tener los hallazgos, y por tanto el trabajo en general.

- **Reconocer las limitaciones del estudio.** Como toda obra humana, todo trabajo científico tiene limitaciones. Pueden manifestarse muchas razones que determinan las limitaciones de los estudios científicos. De esas razones cabe mencionar el partir de supuestos no del todo generales, utilizar contextos metodológicos o experimentales particulares y no estudiar todos los casos posibles. Reconocer las limitaciones del trabajo evita la creación de falsas expectativas en el lector, lo cual también tiene fundamentaciones éticas. Más aún, un científico tiene verdadero dominio del estudio realizado cuando es capaz de reconocer claramente su alcance y sus limitaciones.

- **Realizar sugerencias sobre investigaciones adicionales o futuras.** El reconocimiento de las limitaciones mencionadas en el párrafo anterior es el punto de partida para sugerir investigaciones adicionales o futuras. Aunque el estudio realizado haya podido responder interrogantes

respecto al objeto del conocimiento abordado, otras interrogantes pueden haber permanecido sin respuesta. Además, debido al estudio realizado pueden haber surgido nuevos problemas científicos que no hayan sido identificados con anterioridad. La ciencia nunca termina. A menudo estas sugerencias se señalan como recomendaciones.

- **Utilizar los mismos términos y conceptos que se emplean en otras secciones.** Para facilitar la lectura y comprensión de esta sección, hay que tomar especial cuidado de emplear los mismos términos y conceptos que fueron empleados en las secciones de introducción y la de materiales y métodos. Las razones evidentes, ya que si se emplean términos y conceptos diferentes se obstaculiza considerablemente la comprensión por parte del lector.

Algunas de las ideas que se expresaron en los puntos anteriores pueden modificarse en cierta medida si la estructura del artículo contempla una sección de conclusiones. En esa sección se pudieran incluir ideas generales sobre el significado y la importancia de los hallazgos, la relevancia de ellos, el reconocimiento de las limitaciones del estudio y la propuesta de sugerencias o recomendaciones sobre investigaciones adicionales o futuras.

Por otro lado, en la sección de resultados y discusión pueden introducirse algunos elementos que conspiran contra la calidad de su elaboración. Ver Tab. 2. Cabe mencionar los siguientes elementos a evitar:

- **Evitar la reiteración o repetición de los datos y los resultados.** Los datos pueden expresarse en el texto, mediante tablas, figuras, fotografías u otros medios auxiliares. Los medios auxiliares para la presentación de los datos son diversos y por su importancia merecen la elaboración de partes específicas de esta serie de artículos. Los datos deben

presentarse en la forma más adecuada para su entendimiento. Cada una de las formas de presentarlos tiene sus características, ventajas y desventajas respecto a las demás. En cualquier caso debe evitarse la redundancia en cuanto a la presentación de los datos. Por ejemplo, si se presentan en una tabla, no presentarlos también en una figura; si se exponen en texto, no presentarlos en forma de tabla, etc. De la misma forma no deben reiterarse los resultados, ya que puede resultar desagradable para el lector.

- **Evitar el sobredimensionamiento de la importancia de los hallazgos.** La justa interpretación de la importancia de los hallazgos demuestra profesionalidad y dominio del objeto de la investigación. El científico debe ser capaz de interpretar acertadamente la importancia de sus resultados.

- **Evitar especulaciones injustificadas.** Aunque eventualmente se ha reconocido la especulación como una forma del pensamiento que puede ser útil en el camino para encontrar la verdad científica, la discusión debe permanecer enfocada en los datos obtenidos. Cualquier idea que se desvíe de los hechos pudiera ser un camino estéril.

- **No tratar asuntos desvinculados de los objetivos científicos del trabajo.** Cualquier asunto que no quede verdaderamente vinculado al logro de los objetivos científicos del trabajo debe evitarse. Toda tarea queda absolutamente subordinada al cumplimiento de los objetivos científicos definidos, que a su vez están subordinados a la solución de los problemas científicos identificados.

- **No atacar a otros autores, pero realizar la crítica cuando sea necesaria.** La crítica es la fuente para el desarrollo del conocimiento científico, y por tanto es

justificada. Sin embargo, hay que ser cuidadoso en su redacción, ser respetuoso y tener mucho cuidado en los calificativos empleados. No debe evitarse la confrontación de ideas, pero siempre dentro del contexto profesional y con la debida consideración a otros científicos.

Tabla 2. Resumen de elementos negativos a evitar en la sección de resultados y discusión

Evitar la reiteración o repetición de los datos y los resultados

Evitar el sobredimensionamiento de la importancia de los hallazgos

Evitar especulaciones injustificadas.

No tratar asuntos desvinculados de los objetivos científicos del trabajo

No atacar a otros autores pero realizar la crítica cuando sea necesaria

No establecer conclusiones no demostradas por los hallazgos

Evitar las inconsistencias entre la sección de resultados y discusión y la de introducción

- **No establecer conclusiones no demostradas por los hallazgos.** Esta afirmación resulta evidente por sí misma. Las conclusiones no demostradas no son tal y no constituyen un producto de la aplicación del método científico.

- Evitar las inconsistencias entre la sección de resultados y discusión y la de introducción. Esto está referido a la utilización de diferentes términos y conceptos con respecto a otras secciones del artículo, como la introducción o los materiales y métodos. Esa práctica dificulta la comprensión.

La redacción de la sección de resultados y discusión de los artículos científicos

Cuando se redacta en español, lo referido a los datos obtenidos en la sección de resultados

y discusión (al igual que en la sección de materiales y métodos), se debe escribir en pretérito perfecto simple en las oraciones en voz activa o la forma verbal equivalente con el participio en la voz pasiva. Eso se debe a que los datos fueron obtenidos con anterioridad. Sin embargo, las interpretaciones deben escribirse en presente.

En inglés debe emplearse el *past tense*⁴ equivalente al pretérito perfecto simple del español para la voz activa y el *past participle* (equivalente al participio pasado del español) para la voz pasiva. Al igual que en español, para las interpretaciones se debe emplear el tiempo verbal equivalente, el *simple present*. Combinar oraciones en voces activa y pasiva contribuye a la legibilidad y fluidez de la lectura. No obstante, hay que tomar especial cuidado de no abusar de la voz pasiva, ni en español ni en inglés.

En el primer artículo de esta serie,¹ se planteó como el séptimo principio “**Es necesario poseer aptitudes para expresar con las máximas claridad y sencillez posibles las ideas necesarias**”. Ese principio es perfectamente aplicable a la escritura de artículos científicos y sus secciones.

Las ideas deben expresarse tan claras y sencillas como sea posible para viabilizar la comunicación. Debe evitarse la ambigüedad en la redacción y siempre que sea posible, deben emplearse los vocablos propios del idioma en el que se escribe el artículo. Por ejemplo, en español deben evitarse vocablos como “asumir” (del inglés “*to assume*”) en lugar de suponer, “*bending*” en lugar de doblaje, “*stretching*” en lugar de estiramiento, “*scissoring*” en lugar de tijereteo, para citar algunos.

Aunque en ocasiones es necesario emplear neologismos derivados de un idioma diferente al empleado en el artículo, siempre que exista

la palabra apropiada en el idioma empleado, no debe recurrirse a un neologismo.

El empleo de palabras y frases para la transición entre oraciones o ideas diferentes, constituye un recurso de redacción que contribuye a que el texto sea más ameno. Las palabras y frases para la transición permiten al autor enfatizar aspectos importantes del texto y al lector diferenciar entre los tópicos tratados.⁹ Annesley también brinda algunos ejemplos de esas palabras y frases, a las cuales se le agregan otras en la Tab. 3.

Tabla 3. Algunas palabras y frases para la transición entre oraciones o ideas diferentes.

<i>The results show that...</i>	(Los resultados demuestran que...)
<i>The first finding that...</i>	(El primer hallazgo sobre...)
<i>Evidence of...</i>	(La evidencia de...)
<i>Additional evidence comes from...</i>	(Una evidencia adicional proviene de...)
<i>The demonstration that...</i>	(La demostración sobre...)
<i>Previous studies have found...</i>	(Estudios previos han encontrado...)
<i>The results of this study not only...</i>	(Los resultados de este estudio no solo...)
<i>Therefore, ...</i>	(Por lo tanto, ...)
<i>However, ...</i>	(Sin embargo, ...)
<i>Thus, ...</i>	(Así, ...)
<i>Then, ...</i>	(Entonces, ...)
<i>Moreover, ...</i>	(Además, ...; Más aún, ...)
<i>In spite of...</i>	(A pesar de...)
<i>Despite...</i>	(A pesar de...)
<i>Although the findings...</i>	(Aunque los hallazgos...)

Epílogo

La sección de resultados y discusión constituye el corazón de un artículo científico de tipo general. Aunque pudiera parecer que su redacción es simple y más fácil que en el caso de otras secciones, presenta características especiales y dificultades particulares que deben ser vencidas.

El autor de este artículo se sentirá satisfecho si este artículo ayuda a los investigadores noveles a publicar sus trabajos.

En el próximo artículo de esta serie se tratará la elaboración de la sección de conclusiones de los artículos científicos generales, que como se ha explicado aquí, está muy relacionada (y condicionada) con la sección de resultados y discusión.

Referencias

- [1] Alvarez Prieto, M., Una visión personal de los principios del trabajo científico. Parte 1, Encuentro con la Química, 2015, 1(2), 38-41.
- [2] Alvarez Prieto, M., Una visión personal de los principios del trabajo científico. Parte 14: La sección de materiales y métodos de un artículo científico, Encuentro con la Química, 2019, 5(2), 37-43.
- [3] Alvarez Prieto, M., Una visión personal de los principios del trabajo científico. Parte 9: La estructura de los artículos científicos, Encuentro con la Química, 2018, 4(1), 24-31.
- [4] Annesley, T.M., Show your cards: The results section and the poker game, Clin. Chem., 2010, 57(7), 1 066-1 070.
- [5] Foote, M., The proof of the pudding. How to report results and write a good discussion, Chest, 2009, 135, 866-868.
- [6] Lucy, C.A., How to succeed in analytical chemistry: a bibliography of resources from literature, Talanta, 2000, 51, 1 125-1 147.
- [7] Derish, P.A., Annesley, T.M., If an IRDAM journal is what you choose, then sequential results are what you use, Clin. Chem., 2010, 56(8), 1 226-1 228.
- [8] Hess, D.R., How to write an effective discussion, Resp. Care, 2004, 49(10), 1 238-1 241.
- [9] Annesley, T.M., The discussion section: your closing argument, Clin. Chem., 2010, 56(11), 1 671-1 674.

Errata

Errata del artículo

Una visión personal de los principios del trabajo científico. Parte 14: La sección de materiales y métodos de un artículo científico, Manuel Alvarez Prieto, Encuentro con la Química, Volumen 5, No. 2, 2019.

Debido a un error del autor, en la columna derecha de la página 39 deben realizarse los cambios que aparecen en la siguiente tabla:

Línea	Dice	Debe decir
30	IRDAM	IRDM
31	– Discusión y	– Discusión –
33	IRDAM	IRDM

Margarita Suárez Navarro

Facultad de Química. Universidad de La Habana.

msuarez@fq.uh.cu



La ética profesional se refiere al conjunto de normas o principios por los cuales debe regirse una persona en el ámbito laboral.

Cuando los químicos, en particular los químicos orgánicos, crean una nueva molécula, es de su total responsabilidad, por lo que la investigación que da lugar a esos resultados debe tener todo el rigor científico requerido y debe conllevar la evaluación integral del costo, el beneficio y el riesgo de su aplicación.

La Química Orgánica tiene la capacidad de crear miles de compuestos nuevos en los laboratorios de síntesis orgánica, implicando éxitos, fracasos y sobretodo riesgos. Para el desarrollo de estos trabajos, que generan nuevos conocimientos, deben cumplirse todos los preceptos éticos establecidos en nuestra sociedad y cumplir los principios de la consagración al trabajo, la búsqueda perenne de la verdad, el humanismo, la responsabilidad ciudadana, entre otros y las normas que de ellos se derivan, con el conjunto de habilidades, destrezas y dominio científico-técnico de la actividad que se realiza.

La química orgánica es la química de los compuestos del carbono. ¿Qué tiene de especial el carbono que toda una rama de la química se dedica a estudiar sus compuestos? A diferencia de la mayoría de los otros elementos, el carbono forma enlaces fuertes

con otros átomos de carbono y con una amplia variedad de elementos. Pueden formar cadenas de miles de átomos o anillos de todos los tamaños; estas cadenas o anillos pueden tener ramificaciones y uniones cruzadas. A los átomos de las cadenas y anillos se unen otros átomos, principalmente hidrógeno, pero también oxígeno, nitrógeno, fósforo, cloro, bromo, yodo y muchos otros. Esta diversidad de compuestos del carbono es la que representa la base de la vida en la Tierra. Los seres vivos están formados principalmente de compuestos orgánicos complejos, los cuales se ocupan de las funciones estructurales, químicas o genéticas.

Cada ordenamiento atómico diferente corresponde a un compuesto distinto, cada compuesto tiene su conjunto de características químicas y físicas. No es sorprendente que hoy se conozcan más de diez millones de compuestos del carbono y que este número aumente en medio millón cada año.

La química orgánica es un campo inmensamente importante para la tecnología: es la química de los colorantes y los fármacos, del papel y las tintas, de las pinturas y los plásticos, de la gasolina y los neumáticos; es la química de nuestros alimentos y de nuestro vestuario. Además, es fundamental para la biología y la medicina. Los organismos vivos están constituidos principalmente por sustancias orgánicas, además de agua; las moléculas de biología molecular son

orgánicas. A nivel molecular, la biología es química orgánica. Ante este mar de conocimientos, los químicos orgánicos ocupan un papel central ya que son responsables de todo el proceso; son los que toman el juicio de que lo que hacen es malo, bueno, correcto, incorrecto, obligatorio, permitido, todo esto con base a las convicciones y ética que posean.

Será como una especie de conciencia científica en la cual el científico analizará y se cuestionará hacia dónde va encaminada su investigación y qué realmente lo mueve a hacer ciencia, lo económico, lo social, su propio interés, estos cuestionamientos varían tanto según la idiosincrasia del mismo individuo.

Existen una serie de riesgos que conlleva la síntesis de un nuevo compuesto hasta su uso final. Todo debe tenerse en cuenta a la hora de desarrollar las investigaciones.

Hay riesgos asociados con la síntesis (por ejemplo, una explosión), también el asociado con los componentes (por ejemplo, la toxicidad y la manipulación de los compuestos), o los que se asocian con la fabricación a gran escala (por ejemplo, la contaminación ambiental).



Por no considerar los posibles riesgos se han producido accidentes que han costado la vida a varios miles de personas, por ejemplo, la fuga de gas de Union Carbide en Bhopal. En 1984, un escape de gas letal en Bhopal mató a 4,000 personas y unas 500,000 sufrieron problemas de salud.



Desastre producido en Bhopal por el escape de isocianato de metilo

El desastre de Bhopal ocurrió la madrugada del 3 de diciembre de 1984 en una fábrica de pesticidas. La tragedia se produjo a consecuencia de una fuga de gas tóxico que dejó a medio millón de personas afectadas. La fábrica era propiedad de la empresa multinacional Union Carbide y tenía como socio al gobierno de la India. El desconocimiento de los operarios que hacían labores de limpieza provocó este desastre químico.

La talidomida, que fue desarrollada por la compañía farmacéutica alemana Grünenthal GmbH, es un fármaco que fue comercializado entre los años 1957 y 1963 como sedante y calmante de las náuseas durante los tres primeros meses de embarazo (hiperemesis gravídica), causando miles de casos de malformaciones congénitas.

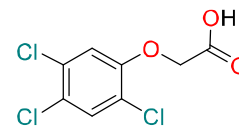
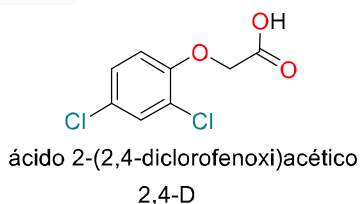


Cuando se comprobaron los efectos teratogénicos del medicamento, que provoca malformaciones congénitas, éste fue retirado con más o menos prisa en los países donde había sido comercializado bajo diferentes nombres. Investigando, se descubrió que había dos talidomidias enantiómeras, una de ellas la de configuración *R*, producía el efecto sedante que se buscaba y la de configuración *S*, producía efectos teratogénicos. El medicamento se vendía en forma de mezcla racémica. El escaso estudio de los efectos secundarios de este compuesto y de su toxicidad, provocaron este desastre humano. A partir de ese momento fue necesario realizar un intenso estudio de los efectos que pueden provocar cada uno de los dos enantiómeros.

Otro desastre humano y ecológico fue provocado por el uso de llamado Agente Naranja, del que se irrigan más de cuarenta millones de litros entre 1962 y 1970 desde aviones y helicópteros estadounidenses sobre los bosques de Vietnam como defoliante. El mismo era un poderoso herbicida compuesto por una mezcla de dos productos químicos: el 2,4,5-T y el 2,4-D.

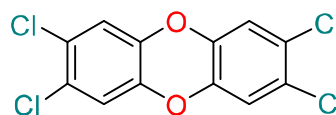


Un helicóptero del Ejército de Estados Unidos rociando Agente Naranja sobre campos de cultivo en Vietnam.



ácido 2-(2,4,5-triclorofenoxi)acético
2,4,5-T

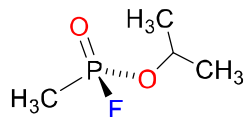
Por cuestiones de negligencia y prisa para su utilización en la Guerra de Vietnam, las compañías químicas suministradoras del Agente Naranja (entre ellas Dow Chemical, Monsanto, y Diamond Shamrock) lo producían con una purificación inadecuada, presentando contenidos elevados de un subproducto cancerígeno de la síntesis del 2,4,5-T: una dioxina, la tetraclorodibenzodioxina. Este compuesto dejó terribles secuelas en la población de aquel país y en los propios soldados estadounidenses: las secuelas se notan principalmente en los descendientes de los sujetos expuestos, que tienen grandes probabilidades de sufrir malformaciones.



2,3,7,8-tetraclorodibenzo-[1,4]dioxina

Otro compuesto orgánico que originalmente fue desarrollado como pesticida lo fue Sarin. Lo sintetizaron en Alemania en 1938, en Wuppertal-Elberfeld, por científicos de la IG Farben en un intento de fabricar insecticidas más potentes, pero su uso fue cambiado y empleado como un arma química. Pudo ser utilizado con este fin ya que al ser un líquido claro, incoloro, insípido e inodoro y poder convertirse en gas, podía propagarse al medio ambiente al pasar inadvertido hasta que se empezaban a notar sus efectos, por lo que pudo ser utilizado con este fin. El Sarin es un arma química de guerra creada por el hombre y clasificada como un agente nervioso. Los agentes nerviosos son los

agentes químicos de guerra más tóxicos y el Sarin es el de más rápido efecto y está clasificado como arma de destrucción masiva en la resolución 687 de la ONU.



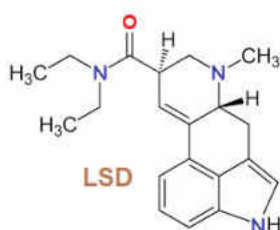
isopropilmetilfosfonofluoridato

SARIN

En estos casos es la síntesis orgánica la vía de obtención de estos compuestos que causaron mucho daño y gran dolor a la humanidad donde la ética fue pisoteada por los intereses bélicos, o la falta de estudios previos el caso de la talidomida.

Aunque éstos son ejemplos representativos de falta de ética al realizar la investigación, también hay otros, como es el caso de las drogas sintéticas consumidas por cierto sector de la población, en la mayoría jóvenes. Detrás del mismo narcotráfico existen personas con la capacidad y conocimientos en química orgánica pueden elaborar de estos productos usados con fines ilegales.

Un ejemplo muy conocido de droga sintética es la dietilamida de ácido lisérgico, LSD-25 o simplemente LSD (del alemán *Lysergsäure-Diethylamid*), también llamada lisérgida, es una sustancia psicodélica que se obtiene de la ergolina y de la familia de las triptaminas y que produce efectos psicológicos.



LSD

Al llevar a cabo la síntesis de un compuesto se deben tener en cuenta los riesgos

y las responsabilidades. Por lo que el investigador debe tener un criterio y conciencia de lo que está haciendo, así como de los beneficios o daños que puede ocasionar. La manipulación de compuestos químicos requiere conocimiento y un amplio estudio y en este momento es que entra en juego la Ética, disciplina que estudia la moral y las relaciones humanas.

Por lo tanto, la ética debe jugar un papel importante en todas las investigaciones actuales y futuras y los investigadores han de canalizar su trabajo hacia un conocimiento puro y verdadero para evitar desastres que involucren la pérdida de personas o la contaminación del medio ambiente ya que crear algún compuesto nuevo es responsabilidad de los autores.

REFERENCIAS.

1. Código sobre la Ética profesional de los trabajadores de la Ciencia en Cuba. Academia de Ciencias de Cuba, **2011**.
2. www.troposfera.org/conceptos/tropoes/tudios/bhopal-historia-de-un-desastre-humanitario-y-medioambiental/
3. E. Papaseit, O. García-Algar, M. Farréa. Talidomida, una historia inacabada. *An Pediatr* 2013; 78, 283-287.
4. H. Warwick Agente Naranja: el envenenamiento de Vietnam *Ecologistas en Acción*, **1998**, 1515. (www.ecologistasenaccion.org/6050/)
5. <https://www.dw.com/es/sarin-gas/t-44559056>, **2018**.
6. T. Passie, J. H. Halpern, D. O. Stichtenoth, H. M. Emrich, A. Hintzen, The Pharmacology of Lysergic Acid Diethylamide: A Review. *CNS Neuroscience and Therapeutics*, **2008**, 14, 295-314.

Observaciones sobre el tratamiento en Cuba al uso y tenencia de drogas

Lic. Olitza Rodríguez Martínez.

Asesora Jurídica del Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas, InSTEC.
Universidad de La Habana
liza@instec.cu

Ciencia y
Sociedad



En nuestro país la tenencia o posesión, uso y distribución de droga está penado por la Ley. En especial el Código Penal cubano en su Capítulo V: *Delitos contra la salud pública*, Sección IV: *Producción, venta, demanda, tráfico, distribución y tenencia ilícitos de drogas, estupefacientes, sustancias sicotrópicas y otras de efectos similares*. Estableciendo sanciones que van desde cuatro años hasta diez años de privación de libertad con independencia del tráfico de drogas que es sancionable según las circunstancias con más de veinte años de privación de libertad.

Existen varias plantas consideradas drogas en nuestro país. Entre ellas alconocida como marihuana y la amapola (figuras a y b), siendo muy comunes y conocidas por los jóvenes y no tan jóvenes.

Por otra parte, están los medicamentos considerados drogas, así como aquellos que por sus características tienen además de la protección que ofrece el Ministerio de Salud Pública en su caso para la adquisición de los mismos; con los mecanismos adecuados e implementados en todo el país sobre ellos, poseen además un tratamiento regulado en el previamente citado código penal. Sancionando el artículo 193 de este cuerpo legal desde la infracción de las medidas de control hasta la simple manipulación indebida. Es válido hacer una pequeña mención de tres medicamentos de uso común

y que tiene especiales regulaciones en cuanto a su consumo y su consecuente control.

- La **metanfetamina (desoxiefedrina)** es un potente psicoestimulante. Es un agente agonista adrenérgico sintético, estructuralmente relacionado con el alcaloide efedrina y con la hormona adrenalina. La metanfetamina está indicada en el tratamiento de la narcolepsia, del desorden caracterizado por déficit de atención y también en el control de la obesidad.
- El **tramadol (DCI)** es un analgésico de tipo opioide que alivia el dolor actuando sobre células nerviosas específicas de la médula espinal y del cerebro. Su comportamiento es atípico comparado con otros opioides del tipo de la morfina.
- El **metilfenidato**, también abreviado como **MFD**, es un medicamento psicoestimulante aprobado para el tratamiento del trastorno por déficit de atención con hiperactividad, el síndrome de taquicardia ortostática postural y la narcolepsia. También podría ser prescrito para casos de fatiga y depresión resistentes a tratamientos, MFD posee similitudes estructurales a la anfetamina, aunque no es tan neurotóxico.

El término **opiáceo** se refiere a los alcaloides presentes en el opio, un extracto de la exudación lechosa y blanca obtenida de la incisión de la cápsula de la amapola o adormidera (*Papaver somniferum L.*). También se ha utilizado tradicionalmente para referirse a los derivados naturales y semi-sintéticos de la morfina. Este

término se usa con frecuencia incorrectamente para referirse a todas las drogas con acción farmacológica similar al opio o a la morfina, las que pueden clasificarse más apropiadamente bajo el término opioide.

El Ministerio del Interior señala que en el año 2018 se evidenció el incremento del tráfico internacional de drogas. En ese complejo escenario y como resultado de la implementación de su estrategia de prevención y enfrentamiento al uso indebido y el tráfico ilícito de drogas, Cuba incautó el pasado año 2 438 kg de esas sustancias prohibidas, la mayoría marihuana. Nuestros actos implican *per se* una responsabilidad social, somos nosotros mismos quienes podemos determinar hasta donde estamos dispuestos a llegar. Solo recordar a partir de esta pequeña reflexión que muchos de nuestros actos tienen consecuencias jurídicas y, por lo tanto, afectarán irreversiblemente nuestras vidas. Un error de un día puede implicar una sanción de muchos años. Además de establecer para uno el principio de una cadena de acciones u omisiones sancionables. La alerta está dada las decisiones son nuestras, amén de que muchos conocemos los efectos nocivos para la salud del uso de las drogas y sustancias similares a ellas la mayoría de las personas no tienen conciencia de la implicación jurídica de nuestro actuar. Teniendo en cuenta el agravante añadido de estar sujetos a una adicción existe además un riesgo en cuanto a nuestra libertad, en cuanto a nuestro desarrollo social y por consiguiente en cuanto a nuestro futuro como ser humano racional. Más allá de cualquier discurso reiterado y archiconocido es válido que nuestra sociedad no se deje arrastrar por los lastres heredados de otras sociedades. Vamos pues con nuestro tiempo y conciencia de éste.

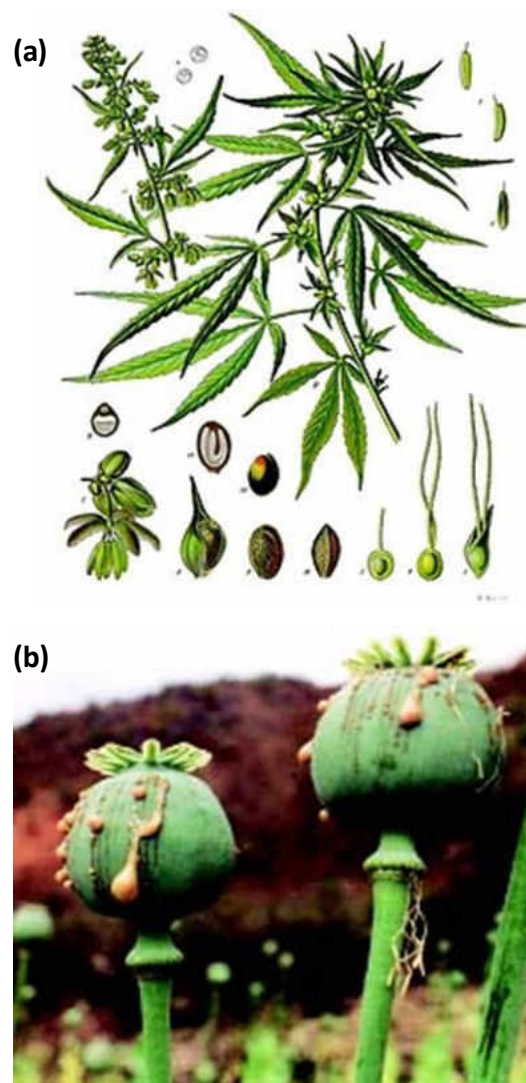


Figura 1. a) *Cannabis sativa* o marihuana, b) *Papaver somniferum* L. o amapola

REFERENCIAS

- 1- Ley 62 Código Penal actualizado de fecha 29 de diciembre de 1997. URL <https://www.gacetaoficial.gob.cu>
- 2- Comunicado de la Dirección Antidrogas del Ministerio del Interior (Minint), coronel Juan Carlos Poey de fecha diciembre de 2018.

Armando Ferrer Serrano

Grupo de Investigación “Compuestos Bioactivos y Química Sostenible”, Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba
aferrer@uo.edu.cu



Es indudable que la química juega un papel fundamental el desarrollo de un país, sea en la industria, servicios, avances tecnológicos, biomédicos, agrícolas, hasta deportivos, recreativos y de ocio. De hecho, todo aquello que vestimos, calzamos, comemos, bebemos y utilizamos diariamente, de cierta forma, se encuentra vinculado a la química. Pero la otra cara de esta ciencia tan imprescindible es otra y no muy bonita, siendo responsable de las mayores contaminaciones que conocemos ya sea por vertimiento indiscriminado de residuos de producción o de accidentes químicos.

Cuando pensamos en contaminación, siempre nos viene a la mente el petróleo. Es lógico pensar que sea la industria más contaminante. Sin embargo, no es así. La tabla que se muestra a continuación exhibe claramente cuál industria es la más contaminante.¹

Tabla 1. Residuales producidos según tipo de industria química.

Industria	Toneladas	kg residuo / kg de producto
Refinería de Petróleo	10^6 - 10^8	< 0.1
Química	10^4 - 10^6	1 - 5
Química Fina	10^2 - 10^4	5 - 50
Farmacéutica	10 - 10^3	25 - 100

Para obtener un medicamento cualquiera se desechan más residuales que durante el procesamiento de igual cantidad de un hidrocarburo determinado. Por lo que hacer una Química limpia, en menos pasos de síntesis, con el adecuado cuidado del medio ambiente, es una prioridad en estos tiempos. Aquí es donde entra la Química Sostenible a jugar un papel importante. ¿Qué es la Química Sostenible? Esta novedosa manera de hacer la química puede definirse como el diseño de productos y procesos químicos que reduzcan o eliminen el uso y generación de sustancias peligrosas. Se basa esencialmente en 12 principios propuestos por Paul Anastas²:

1. Prevención
2. Economía atómica.
3. Uso de metodologías que generen productos con toxicidad reducida.
4. Generación de productos eficaces, pero no tóxicos.
5. Reducción del uso de sustancias auxiliares.
6. Disminución del consumo energético.
7. Utilización de materias primas renovables.
8. Evitar la derivatización innecesaria.
9. Potenciación de la catálisis.
10. Generar productos biodegradables.
11. Desarrollo de metodologías analíticas para la monitorización en tiempo real.
12. Minimizar el riesgo potencial de accidentes químicos.

Aunque a veces se utilizan indistintamente los términos Química Sostenible y Química Verde, no significan exactamente lo mismo. Algunos autores explican las diferencias entre ambos. La Química Verde está relacionada con la optimización de síntesis, el uso de materias primas renovables mejor que no renovables (tanto químicas como energéticas) y el control cualitativo y cuantitativo de los materiales artificiales empleados y producidos (así como los residuales producidos). Por otro lado, la Química Sostenible se considera como un subsistema de sostenibilidad y representa un concepto más amplio que se debe a aspectos como: seguridad, política de riesgo, tecnologías de remediación, purificación de agua, energías alternativas, y obviamente se incluye la química verde^{3,4}.

Principios de la Química Sostenible como patrón para un cambio de mentalidad en las investigaciones y desarrollo.

Tal vez, lo más conocido de la Química Sostenible son las llamadas Métricas, donde los cálculos relacionados con la Economía Atómica son un referente para tener indicios de la sostenibilidad de una reacción.

$$EA = \frac{M(\text{Productos})}{\sum M(\text{Reaccionantes})}$$

Desarrollada por Barry Trost, da una idea positivista de las reacciones químicas, indicando cuanto de los reaccionantes se tiene contenido en el producto. Por otro lado, el industrialista Roger Sheldon, propuso otra manera de medir el impacto de las producciones químicas. Esta variante incluye como residuales todas aquellas sustancias que no forman parte del producto (disolvente, catalizadores, subproductos, reactivos en exceso). Denominado Factor ambiental o Factor E (del inglés Environment), se puede calcular de la siguiente forma sencilla.

$$\text{Factor } E = \frac{\text{Total de residuales (en Kg)}}{\text{Producto deseado (en Kg)}}$$

Este factor da una idea más clara de cuánto se vierte al medio ambiente durante la manufactura de cualquier producto. Como esto incluye también a los disolventes, es importante enfocar la atención en ellos. Aunque se puedan disminuir las cantidades de disolventes utilizados en estos procesos, si éstos son dañinos, el daño al medio ambiente sigue siendo evidente. Para ello la comunidad de químicos relacionados con la sostenibilidad han clasificado los disolventes en una escala que va desde disolventes benignos hasta disolventes malignos. Otras clasificaciones no son tan radicales, mostrando un paso gradual desde disolventes aceptables hasta menos aceptables.

Tabla 2. Clasificación de disolventes según la Química Sostenible. (B: Benigno, M: Maligno).

Disolventes	Clasificación
Agua	BBB
Oxigenados	BB
Hidrocarburos alifáticos	B
Hidrocarburos aromáticos	B
Apróticos Dipolares	M
Disolventes clorados	M
Agotadores de O ₃ (CFCs)	MM
Tóxicos	MMM
Cancerígenos (Benceno)	MMMM

La clasificación anterior no define una clasificación intermedia. Sin embargo, siempre es preferente trabajar con los tres primeros tipos de disolventes, cuyas constantes dieléctricas van desde 78 hasta 2.

Es interesante encontrar trabajos y libros publicados acerca de síntesis orgánica en agua⁵. Aspecto no común hasta hace poco tiempo en las publicaciones de esta rama de la química. Trabajos recientes del Grupo de Productos Bioactivos y Química Sostenible de la Universidad de Oriente, muestran reacciones en las que se utiliza agua como

uno de los disolventes en reacciones de formación de pseudopéptidos⁶.

El trabajo de obtención de pseudopéptidos no es solo bueno desde el punto de vista del uso de disolventes benignos como el agua, sino también porque se utilizan aminoácidos (materia prima renovable) como reactivos principales. Uno de los investigadores que ha desarrollado una exitosa línea de investigación con aminoácidos como materia prima fundamental es el Profesor Santiago V. Luis de la Universitat Jaume I (Figura 1). Sus trabajos van desde la obtención de bis(aminoamidas) como catalizadores enantioselectivos, hasta las llamadas cajas moleculares, en este caso, pseudopéptidos macrocíclicos de gran tamaño.^{7,8} Las aplicaciones de estos compuestos llegan hasta el reconocimiento iónico-molecular^{9,10}, usos como organogeles¹¹, marcadores moleculares, etc.



Figura 1. Catedrático en *Química Orgánica* Dr. Santiago V. Luis Lafuente. Líder del Grupo de *Investigación Química Sostenible y Supramolecular de la Universitat Jaume I, de Castellón de la Plana, España.* Colaborador del Grupo *Compuestos Bioactivos y Química Sostenible de la Universidad de Oriente.*

Este es uno de los puntos fundamentales de la Química Sostenible: El uso de materias primas renovables. Los ejemplos citados en la

bibliografía son suficientes para afirmar que este es un paso fundamental en la sostenibilidad del planeta. Pero, ¿cómo lo hacemos en la Química cubana?

El furfural es un aldehído que se obtiene del bagazo de caña de azúcar. Tanto los investigadores de la Universidad Central de Las Villas “Martha Abreu” como los químicos de la Universidad de Oriente, han usado este compuesto como materia prima en la obtención de productos bioactivos.¹²

Por otro lado, las fuentes de energía son limitadas, y se hace necesario encontrar alternativas eficientes para garantizar energéticamente los procesos químicos. La Química Sostenible responde un tanto a este problema, potenciando en sí la sonoquímica, el ultrasonido, energía solar, las microondas y otras formas de proporcionar calor a las reacciones (citar).

Otro principio de la Química Sostenible está relacionado con la “reducción del uso de sustancias auxiliares”. En otras palabras, el uso de sustancias auxiliares (ejemplo: disolventes, agentes de separación, adyuvantes, etc.) debería ser innecesario siempre que sea posible. Esto ha llevado a un grupo de investigadores a desarrollar desde hace varias décadas procesos y manufactura de bienes a través de la utilización de fluidos supercríticos (SCFs, por sus siglas en inglés). Sus características intermedias entre líquido y gas, hace que tengan propiedades inusuales como: densidad de un líquido y viscosidad de un gas; así como baja tensión superficial. Pero, sobre todo, con la tecnología adecuada, se puede recuperar del medio de reacción y reutilizarse. El uso de SCFs podría conllevar a procesos novedosos e inusuales.

¿Cuáles son los mejores candidatos para ser usados como SCFs? Las opciones son muchas, pero la mayoría de los conocedores prefieren el CO₂. Las propiedades críticas son

las adecuadas para trabajar a temperaturas razonables.

Tabla 3. *Parámetros críticos del dióxido de carbono.*

Parámetros críticos	CO ₂
Temperatura Crítica (°C)	31.1
Presión Crítica (bar)	73.8
Densidad Crítica (kg/m ³)	470.0

Es por ello que compañías como Hangers Cleaners han desarrollado dispositivos “libres de contaminación” para la limpieza de ropa basados en CO₂ supercrítico (conocidos como lavadoras de CO₂).

Como vemos, la Química Sostenible va mucho más allá del laboratorio y todo lo que un colectivo ya extenso de profesionales va haciendo. Se habla también de Ingeniería Verde, que es el desarrollo y comercialización de procesos industriales que sean que sean factibles económicamente y que reducen los riesgos para la salud humana y la conservación del medio ambiente.

Esto hace pensar nuevamente en el punto sobre materias primas renovables. Si Una materia prima o material de partida debe ser renovable más que agotable, siempre que sea económica y técnicamente posible, entonces se puede hablar de las llamadas Biorefinerías. En esencia, una Biorefinería tiene los mismos fines de una refinería de petróleo convencional, la extracción de varios productos con valor añadido desde una fuente de composición compleja; pero en este caso se utilizaría una materia vegetal.

Si bien no se ha llamado así, la Industria Azucarera cubana es prácticamente una Biorefinería. Sin embargo, quedan aún muchos cultivos en nuestro país por estudiar y a partir de ellos diseñar Biorefinerías eficientes y rentables, pero sobre todo que cumplan con los principios de sostenibilidad.

Pero, ¿Qué podemos hacer los químicos cubanos al respecto? Desde la percepción de varios miembros del Grupo de Compuestos Bioactivos y Química Sostenible, lo primero es educar en cuanto a sostenibilidad para que la generación que se va formando en estos tiempos sea la que pueda influir de manera directa en la protección de nuestro planeta.

La experiencia de la Universitat Jaume I ha sido un referente en este aspecto a través del Máster y Doctorado Interuniversitario en Química Sostenible.¹³ De igual manera la Universidad de Oriente en el plan de estudios de la carrera de Química, fundamentalmente en el currículo optativo-electivo ha incorporado asignaturas vinculadas al pensamiento “verde”. Los resultados son alentadores al lograrse varias Tesis de Diploma prácticamente enfocadas en la Química Sostenible.

¿Se puede lograr un cambio de mentalidad? Creemos que sí.

REFERENCIAS

- [1] R.A. Sheldon, I. Arends, U. Hanefeld, *Green Chemistry and Catalysis*, **2007**, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, Weinheim, Germany.
- [2] P.T. Anastas, J. C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*, **1998**, Oxford University Press.
- [3] A.S. Cannon, J.L. Pont, J.C. Warner *Green chemistry and the pharmaceutical industry*. **2002**, In: W. Zhang, B.W. Cue jr. (eds) *Green techniques for organic synthesis and medicinal chemistry*. John Wiley & Sons, New York.
- [4] G. Centi, S. Perathoner, *Catalysis and sustainable (green) chemistry. Catal Today*, **2003**, 77: 287–297.

- [5] C-J. Li, T-H. Chan, *Comprehensive organic reactions in aqueous media*, **2007**, Second Edition, Wiley.
- [6] L. La Rosa, *Tesis de Licenciatura: Pseudopéptido derivado de ácido succínico, alanina y arginina y sus complejos de Cu(II)*. **2019**, Universidad de Oriente.
- [7] I. Alfonso, M. Bolte, M. Bru, M.I. Burguete, S.V. Luis and J. Rubio, *J. Ame. Chem. Soc.* **2008**, *130*, 6137–6144.
- [8] M.I. Burguete, J. Escorihuela, S.V. Luis, A. Lledós and G. Ujaque, *Tetrahedron*, **2008**, *64*, 9717-9724.
- [9] P.D. Wadhavane, L. Gorla, A. Ferrer, B. Altava, M.I. Burguete, M.A. Izquierdo and S.V.Luis. *RSC Advances*, **2015**, *5*, 72579-72589.
- [10] I. Martí, A. Ferrer, J. Escorihuela, M.I. Burguete and S.V. Luis. *Dalton Trans.*, **2012**, *41*, 6764-6776.
- [11] J. Rubio, V. Martí. M.I. Burguete and S.V. Luis. *Tetrahedron*. **2013**, *69*, 2302-2308.
- [12] M.A. Arada, M. Yazdani-Pedram, A. Cascaret, A. Ferrer,. *Rev. Cub. Quim.* **2003**, *15* (2), 89-94.
- [13] B. Altava, M.I. Burguete y S. V. Luis. *Educ. Quim.*, **2013**, *24*, 132-138.

Harry Szmant (1918-2000), fundador del Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad de Oriente

Historia de la
Química

Dra. Rebeca Vega Miche

Facultad de Química

Universidad de La Habana

vega@fq.uh.cu



En 1956, se crea, en la Universidad de Oriente (UO), el Centro de Investigaciones Químicas (CIQ).

En ese centro, el Dr. Harry Szmant, junto a dos jóvenes doctores cubanos: Luis Máximo Alfonso Hernández, PhD en la Universidad de Duquesne, (1958), y José Fernando Fernández-Bertrán, PhD en la Universidad de Berkeley (1955), y un pequeño grupo de estudiantes de la carrera de Ingeniería Química, reúnen sus esfuerzos para realizar investigaciones relacionadas con la industria química.

La creación de un centro como el CIQ representó un hecho bastante insólito para la Química en Cuba en esos años (a excepción

quizás del Instituto Cubano de Investigaciones Tecnológicas, ICIT, en La Habana). Fue probablemente apoyado o inspirado por el entonces Decano de la Facultad de Ciencias e Ingeniería Química de la UO, el Dr. Arturo Amaral, también profesor de Análisis Químico y quien había cursado estudios en Estados Unidos en celulosa e instrumentación y se había especializado en espectrografía de emisión en los laboratorios de la National Spectrographic entre 1947 y 1949. La creación del CIQ, bajo el empuje de estos químicos de elevado nivel científico, señaló un enorme salto cualitativo en el desarrollo de las investigaciones y la enseñanza de la Química en la Universidad de Oriente al punto que, en 1960, se inicia en



Figura 1. a) Centro de Investigaciones Químicas de la UO, b) Edificio central de la Universidad de Oriente (UO)

dicha institución el Doctorado en Química¹.

Fernández-Bertrán, Luis Alfonso y Amaral son nombres bien conocidos en la historia de la Química en Cuba, pero quizás sea justo indagar en quien era el Dr. Szmant, las razones de su llegada a Cuba y su desarrollo como químico antes y después de su estancia en nuestro país.

Este trabajo no solo reúne lo que aparece en INTERNET sobre Szmant, sino también precisiones, que su hija, la Dra. Alina Szmant, tuvo la gentileza de aportar.

HERMAN HARRY SZMANT²

Szmant, hijo de padres judíos, nació en la ciudad de Kalisz, Polonia, el 18 de mayo de 1918. En 1921, la familia se muda a Danzig, ciudad que hasta 1920 había pertenecido a Alemania, y contaba con una numerosa población de esa nacionalidad, Hacia 1936 el fuerte sentimiento antisemítico en sus residentes, deterioró la situación de los judíos y los padres del joven Harry Szmant insisten en que éste, un joven de 18 años, emigre a los Estados Unidos para terminar el bachillerato y realizar estudios superiores. Harry Szmant fue el único sobreviviente de su familia ante el posterior genocidio nazi, en el que murieron sus padres y hermana.

Habiendo entrado a los Estados Unidos con visa de estudiante por dos años, tiene que viajar a Cuba en 1938, para aplicar a su residencia en ese país. En Cuba vive durante cuatro meses, durante los cuales conoce a la familia de Adelina Mesa y comienza sus

relaciones con muchacha y la amistad con sus padres y hermano.³



Herman Harry Szmant

Al regreso a los Estados Unidos obtiene el grado de Bachelor in Arts en la Universidad Estatal de Ohio en 1940. Durante esos dos años la relación con Adelina se mantiene por correspondencia. En 1941, al entrar los Estados Unidos en la guerra, Szmant se alista en el ejército norteamericano y por su calificación como químico es destinado a trabajar en la compañía de productos químicos Monsanto, en Dayton, Ohio. Gracias a ese empleo Szmant puede contraer matrimonio con su novia cubana durante la visita de la familia Mesa a los Estados Unidos en 1942.

En 1944, obtiene el doctorado en la Universidad de Purdue en Indiana y entre 1946 y 1956 pasó a ejercer como profesor en

¹ Hasta 1960 solo existía el Doctorado en Ciencias Físico Químicas. El Doctorado en Ciencias Químicas se establece en el 60, en la UO y la UH. Con la Reforma Universitaria, se instituye en su lugar la carrera de Licenciatura en Química en las tres universidades del país.

² Le disgustaba enormemente el nombre de Hermann por lo que siempre prefirió que lo conocieran por Harry o para asuntos más formales usar H. Harry Szmant.

³ Mira Ryczke Kimmelman. *Life beyond the Holocaust. Memories and Realities.* Cap.18. pág. 200-206. Este capítulo está dedicado a Harry Szmant.

la Universidad de Duquesne en Pittsburg. Durante esos 10 años Szmant, su esposa e hijos⁴, viajan anualmente a Cuba para compartir con la familia.

En 1956, el Dr. Szmant tiene la oportunidad de acogerse a una estancia sabática y decide hacerlo en la Universidad de Oriente, en Santiago de Cuba en lugar de una institución en Francia, por obvios motivos familiares, estancia que se prolonga por 4 años.

El Dr. Harry Szmant trabaja como profesor de Química en la Universidad de Oriente, llegando a dirigir el Centro de Investigaciones Químicas. Aunque no se han encontrado evidencias de los trabajos realizados en esos primeros años de la creación del CIQ, su hija refiere que Szmant estaba interesado en llevar adelante un programa que permitiera mejorar las condiciones de vida en Cuba empleando la Química. Menciona que en nuestro país se producían y exportaban muchos materiales crudos, que eran refinados en el extranjero, perdiéndose así sustanciales ganancias. Szmant estaba interesado, por ejemplo, en la extracción de ceras del bagazo de caña o aceites a partir de diferentes tipos de palmas, sustancias que luego probaba en su propio hogar.

Durante 1959 y 1960 participó en La Habana, como consejero científico, en varias reuniones presididas por Fidel. Desafortunadamente, Szmant no compartió con la política e ideología de la Revolución y emigra junto a su familia, en enero de 1961 primero a Miami y tras unos meses se establece en Puerto Rico.

Comienza entonces como profesor a tiempo completo en la Universidad de Puerto Rico donde llega a ocupar el puesto de jefe del departamento de Química e Ingeniería Química. También llega a ser el director de la

división de ciencias físicas del Centro Nuclear de Rio Piedras. En esa etapa combina el trabajo administrativo, con la enseñanza y la investigación en las áreas de compuestos organosulfurados, efectos de solventes y química de carbohidratos. Durante los años 1967-1968 se desempeña como asesor para la educación superior de la Agencia para el Desarrollo Internacional en la República Dominicana.

En 1968, comienza su trabajo como profesor en la Universidad de Detroit Mercy, en Michigan, donde llega a ocupar la responsabilidad del departamento de Química e Ingeniería Química. In 1982 Dr. Szmant fue nombrado co-director, por la Universidad de Detroit del Instituto Internacional para el Desarrollo a través de la Química.

Szmant fue miembro de sociedades de investigación científicas como Sigma Xi y Phi Lambda Upsilon; miembro de la American Chemical Society, redactor de los Chemical Abstracts; secretario y presidente de la división de Química Orgánica en la Sección de Pittsburgh de la American Chemical Society; y miembro de la Academia de Ciencias de Nueva York, entre otras.

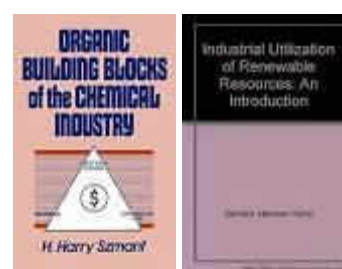


Figura 2. Muestra de libros publicados por Herman Harry Szmant

El Dr. Szmant publicó más de 70 artículos, realizó numerosas presentaciones en eventos y publicó varios libros, entre los cuales pueden mencionarse: *Organic Chemistry*, *Organic Sulfur Compounds*, and *Organic Electronic Spectral Data*, *A Modern Introduction to Organic Chemistry*, and an

⁴ De su matrimonio en 1942 con Adelina Mesa, nacieron dos hijos Alina y Joseph Michael.

Introduction to the Physico Chemical Basis of Biological Processes. The Central Science: essays on the uses of chemistry, Industrial utilization of renewable resources: an introduction, y Organic Building Blocks of the Chemical Industry.

Aunque en el archivo de la Universidad de Detroit Mercy aparece que le fue otorgado el título de Profesor Emérito no hay documentación que avale cuando le fue conferido ese honor al Dr. Szmant. En 1982 se le confiere la condición de Profesor Honoris Causa en el Instituto Químico Sarria en Barcelona, España.

En 1983 se retira a la ciudad de Sanibel en la Florida. Signado por el Alzheimer en sus últimos años, fallece el 10 de julio del 2000.

BIBLIOGRAFÍA.

- Vega, R. “Historia de la Química en Cuba”. *Revista Cubana de Química*. No. 1. **2000**.
- Kimmelman, M. R. Life beyond the Holocaust. *Memories and Realities*. Cap. 18 <https://books.google.com/cu/books>.
- Herman Harry Szmant. <http://worldcat.org/identities/lccn-n83147563/> Consultado 16 de septiembre de 2019.
- Herman Harry Szmant. https://libraries.udmercy.edu/archives/special-collections/index.php?record_id=799&collectionCode=honors_hon. Consultado 16 de septiembre de 2019.
- Herman Harry Szmant. <https://prabook.com/> . Consultado 16 de septiembre de 2019.
- Alina Szmant. 4 de noviembre de 2019. Comunicación personal.

Margarita Suárez Navarro

Facultad de Química.
Universidad de La Habana

msuarez@fq.uh.cu



En un artículo anterior hemos informado como a Luis Pasteur se le considera el primer químico en describir la estereoquímica, el que en 1849 investigando con sales de ácido tartárico, obtenidas de la producción de vino, observó que los cristales que se formaban tenían diferentes características, unos rotaban el plano de la luz polarizada en dirección de las manecillas del reloj y otros en contra, aunque ambos poseían las mismas propiedades físicas y químicas.¹

Es interesante destacar que aproximadamente 100 años después, a mediados del siglo XX, se produjeron tres importantes aportes que contribuyeron al desarrollo de la estereoquímica.

El primero fue realizado por el químico inglés Barton, el cual lo reportó en un artículo titulado "*The Conformation of the Steroid Nucleus*" que apareció en 1950 en la revista *Experientia*, donde planteaba que a las moléculas orgánicas en general y a los esteroides en particular, se les podía asignar una conformación preferente que permitía explicar las propiedades físicas y químicas del compuesto.²

En la figura que aparece en el artículo original de Barton de 1950, se muestra la conformación de silla del anillo A de seis miembros de la molécula de esteroide. Él propuso que se pueden distinguir dos tipos de

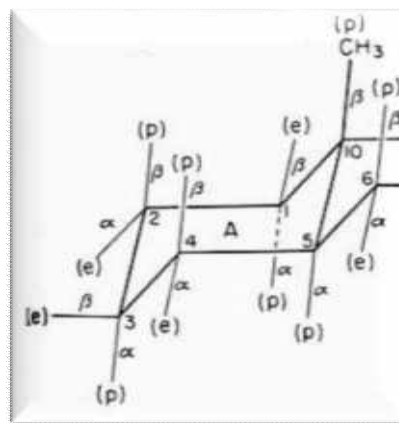
enlaces carbono-hidrógeno, aquellos que están perpendiculares al pseudopiano que contiene los seis átomos de carbono, a los que nombró polares (p) y aquellos que están aproximadamente en este plano que los designó como ecuatoriales (e). Actualmente los llamados polares se conocen como axial.



Sir D. H. Richard Barton

1918-1998

Premio Nobel de Química en 1969



Conformación de silla del anillo A de un esteroide, figura que aparece en el artículo.²

El segundo aporte importante fue el realizado por un cristalógrafo holandés, Johannes Martin Bijvoet reportado en un artículo de 1951 titulado "*Determination of the Absolute Configuration of Optically Active Compounds by Measuring the Intensities of X-Rays*".³



J. M Bijvoet

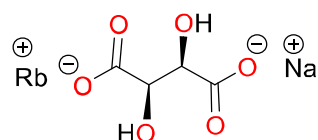
1892-1980

Bijvoet desarrolló una nueva técnica, basada en la llamada dispersión anómala de rayos X, que permitía determinar directamente la configuración de moléculas y cristales sólo mediante la difracción de rayos X. En 1950 fue el primer científico en determinar la configuración espacial absoluta de una molécula orgánica ópticamente activa, el tartrato de rubidio y sodio. A través de este experimento crucial, Bijvoet pudo demostrar que las geometrías de las estructuras L y D de una molécula orgánica con un centro estereogénico, que había sido propuesta arbitrariamente por Emil Fischer alrededor de 1900, correspondían a la realidad. Más tarde, Bijvoet desarrolló su método en una forma más general.

El tercer aporte está relacionado con la nomenclatura empleada para designar la configuración de un centro estereogénico. En 1951 Bijvoet escribió que "*La cuestión de la nomenclatura está fuera del alcance de nuestra investigación. El problema de la nomenclatura se refiere ahora a determinadas configuraciones, y requiere una*

notación que denote estas configuraciones de forma inequívoca y, si es posible, auto explicativa."

Aunque existían convenciones para dibujar diagramas inequívocos de las moléculas quirales, no estaba establecida una nomenclatura simple, sistemática e inequívoca para ellas. Esto fue abordado en un artículo de 1950 por dos ingleses, R. S. Cahn (1899-1981), editor del *Journal of the Chemical Society* (de Londres), y Christopher Ingold (1893-1970) del University College London, quien fue un líder en el descubrimiento de cómo ocurren las reacciones de sustitución nucleofílica (de hecho, estudió y nombró los procesos de sustitución SN1 y SN2). Su trabajo, "Specification of Configuration about Quadricovalent Asymmetric Atoms", proponía un esquema basado en una regla de secuencia de prioridades atómicas.⁴ Como Lavoisier pronosticó, la disponibilidad de una nomenclatura apropiada ha hecho que trabajar, pensar y comunicar en este campo sea mucho más eficiente y productivo.⁵



Tartrato de rubidio y sodio

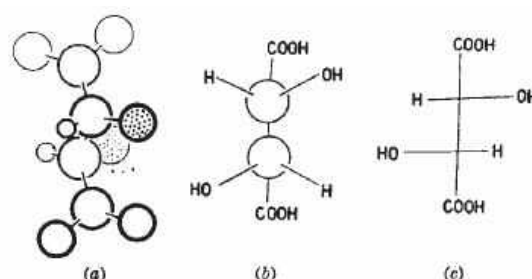
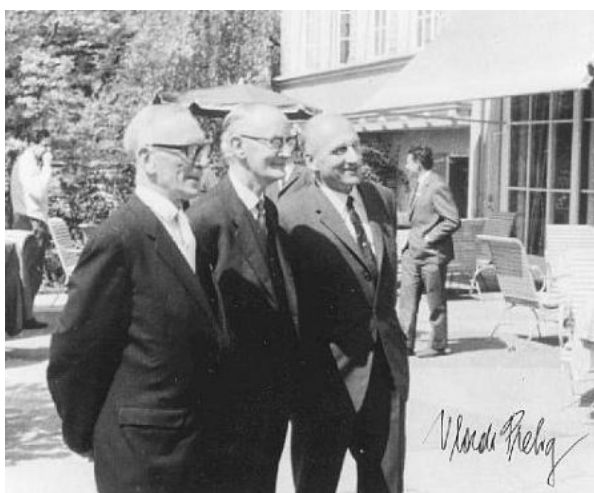


Figura que aparece en el artículo de Bijvoet.³ Configuración absoluta del ácido tartárico dextrorrotatorio.

En 1955 el esquema de Cahn e Ingold fue ampliado y generalizado en colaboración con

Vladimir Prelog (1906-1998) del Instituto Federal Suizo de Tecnología (ETH) en Zurich. Prelog tenía importantes logros en la síntesis de antibióticos y otros productos naturales y recibiría el Premio Nobel en 1975 "por su investigación en la estereoquímica de moléculas y reacciones orgánicas". Sus conocimientos lógicos mejoraron el esquema de nomenclatura R/S, que ahora se conoce como CIP (Cahn, Ingold, Prelog).

Cada primavera, desde 1966, se celebra una conferencia sobre estereoquímica en Bürgenstock, un complejo turístico suizo con vistas al lago de Lucerna. La fotografía muestra a Cahn, Ingold y Prelog (de izquierda a derecha) en la primera conferencia.



Anuncio de la Conferencia que se realizará en 2020

REFERENCIAS

1. M. Suárez, Moléculas diestras y zurdas, ¿se puede oler y saborear la Quiralidad?, *Encuentro con la Química*, **2018**, Vol. 4, No. 2, 7-13
2. R. Barton, The Conformation of the Steroid Nucleus. *Experientia*, **1950**, 6, 316-320.
3. J. M. Bijvoet, A. F. Peerdeman, A. J. van Bommel. Determination of the Absolute Configuration of Optically Active Compounds by Means of X-Rays. *Nature*, **1951** 168, 271-272.
4. R. S. Cahn, C. K. Ingold. Specification of configuration about quadricovalent asymmetric atoms. *J. Chem. Soc.* **1951**, 131, 612.-622
5. A. Lavoisier, *Méthode de nomenclature chimique*, 1797, Ed. Couche.

Ciencia, Arte y Música.

Parte I. Precedentes y precursores.

Ciencias y
Humanidad

Dr. Gastón Fuentes Estévez

**Departamento de Biomateriales Cerámicos y Metálicos
Centro de Biomateriales (BIOMAT)
Universidad de La Habana**
gastonfe@biomat.uh.cu



*Para Rafael Rodríguez Cala,
periodista, crítico literario y de música,
jefe de la página cultural de la revista Verde Olivo
mi segundo padre y mi maestro
in memoriam*

Hace ya un tiempo me tropecé accidentalmente con esa mezcla de hermosa mujer y excelente profesora que es la editora-fundadora de esta revista, la Dra. Margarita Suárez, quién muy sutilmente, con esa gracia y gestos que solo las mujeres poseen, me sugirió que esperaba más contribuciones a la misma. Inmediatamente me vino a la mente una pregunta que hube de dejar sin respuesta a una persona que quiero mucho, que siempre he considerado como mi segundo padre. En mis días de estudiante, cuando pasaba muchas horas estudiando en su casa y mientras trataba de entender los mecanismos de reacción de la Química Orgánica, él se me acercaba y me preguntaba: ¿Cómo es posible que te gusten dos cosas tan antagónicas como la ciencia y la música?

Esta simple pregunta chispeó en mi cerebro ese día delante de la profe, como sencillamente todos sus alumnos le decimos, y enseguida recordé el magnífico movimiento cultural universitario al cual tuve el honor de pertenecer. Como mis colegas de aquellos años y los de toda la historia de la universidad, además de dedicarnos a estudiar las materias de nuestra carrera éramos capaces de sostener una sana competencia desarrollando esa habilidad innata que ha

hecho famoso a este país en el mundo entero, sus aptitudes artísticas.

Y entonces se me ocurre la pregunta que les describí anteriormente que pudiera llevarnos a la reflexión que da título a este pequeña y breve serie de artículos sobre la relación de las ciencias con la música. Y por supuesto, debemos comenzar por hacer un poco de historia acerca de este matrimonio en eterna discusión de pareja.

Ciencia y arte

La relación entre arte y ciencia pudiera ser algo totalmente inesperado para algunas personas. De hecho, si somos capaces de abstraernos, es difícil encontrar una persona que tenga una mente dinámica, proactiva y científica y al mismo tiempo la sensibilidad y los sentimientos de un alma dotada para crear combinaciones de colores, o sonidos hermosos. Conste, que no estoy negando la posibilidad solo diciendo que es una probabilidad difícil, dado que las dos características suelen ser diametralmente opuestas.¹

Jacson Pollock y el expresionismo abstracto

Paul Jensen Jackson Pollock (1912- 1956), fue un influyente pintor estadounidense,



Figura 1. Jackson Pollock en acción. Nótese una de sus pinturas terminadas a la derecha de la foto

principal artista del expresionismo abstracto e ícono de la contracultura de la primera mitad de los años 50 en los Estados Unidos.

Pollock marcó el comienzo de la forma expresionista abstracta con la génesis de un nuevo estilo dramático de pintura por goteo o de acción. Esta fue la primera forma de arte verdaderamente estadounidense y su desarrollo tuvo repercusiones en todo el mundo. Francia había sido considerada el centro de arte del mundo, y el expresionismo abstracto trasladó el foco del mundo del arte a los Estados Unidos, donde ha permanecido desde entonces. Fue autor de 400 pinturas y alrededor de 500 dibujos.^{2,3}

Pero Jackson Pollock está aquí porque si como artista en su corriente no hubiera tenido la habilidad de ver las combinaciones de colores y todo lo que se podía lograr (y logró) usándolos con su original forma de pintar, no hubiese trascendido como lo hizo. Entonces, ¿qué tiene que ver la química con la pintura?

Pues la pintura no es más que una mezcla de compuestos químicos, como casi todo en la Madre Naturaleza. Tiene varios componentes como:

- **Pigmentos:** materiales en forma de polvo que le dan color y opacidad, como el amarillo de París (PbCrO_4), azul de Prusia [$\text{Fe}_7(\text{CN})_{18}(\text{H}_2\text{O})_x$] con $x = 14 - 16$ o el plomo rojo (Pb_3O_4 o $2\text{PbO} \cdot \text{PbO}_2$)
- **Aglutinantes:** Son los líquidos o sólidos encargados de retener los pigmentos una vez que se ha formado la pintura como pueden ser cera, aceite de linaza, goma arábica, goma de tragacanto, metilcelulosa, gomas. Un ejemplo químico, el pentadecanoato de hexadecilo (o palmitato de hexadecilo, $\text{C}_{15}\text{H}_{31}(\text{COO})\text{C}_{16}\text{H}_{33}$)
- **Disolventes:** son sustancias encargadas de la disolución del aglutinante en caso de que este sea sólido; y fluidificarlo en caso de un aglutinante líquido. Se emplean en función del tipo de colorantes o aglutinantes y pueden ser por ejemplo agua, alcohol, trementina, etc.
- **Plastificante:** el efecto del plastificante es hacer que el material al que se agrega sea más maleable, adquiera una mayor plasticidad y por tanto sea más sencillo su tratamiento industrial. Su concentración final suele ser muy baja. Se utilizan ftalatos, benzoatos, citratos y triacetatos.
- **Carga:** El material de carga es un material inerte no higroscópico, que se incorpora en algunos procesos pictóricos. El más típico y comercial es sin duda un carbonato cálcico llamado Blanco de España; sin embargo, se emplean también la creta, el yeso, el polvo de mármol, el talco, el caolín y la mica.

Los fullerenos

Viéndolo en sentido inverso podemos hablar de los fullerenos. Decimos sentido inverso, porque estos compuestos se nombran así por un tipo de diseño arquitectónico. Pero en esta propia revista se publicó hace un tiempo un artículo muy completo sobre los fullerenos por la profesora Margarita Suárez,

así que me remitiré a explicar su relación con la causa de ese nombre. ⁴

Haciendo un pequeño *background* el fullereno es una molécula compuesta por átomos de carbono que pueden adoptar una forma geométrica que recuerda a una esfera, un elipsoide, un tubo (llamado nanotubo) o un anillo.

El primer fullereno descubierto fue el C₆₀, que consta de 12 pentágonos y 20 hexágonos. Ningún pentágono se toca uno con otro. Cada pico corresponde a un átomo de carbono y cada lado a un enlace covalente. Los fullerenos fueron descubiertos en 1985 por Harold Kroto de la Universidad de Sussex, Reino Unido y Robert Curl y Richard Smalley, de la Universidad de Rice, Estados Unidos, lo que les valió el Premio Nobel de Química en 1996.⁴

Tiene una estructura idéntica a la cúpula geodésica o un balón de fútbol. Por esta

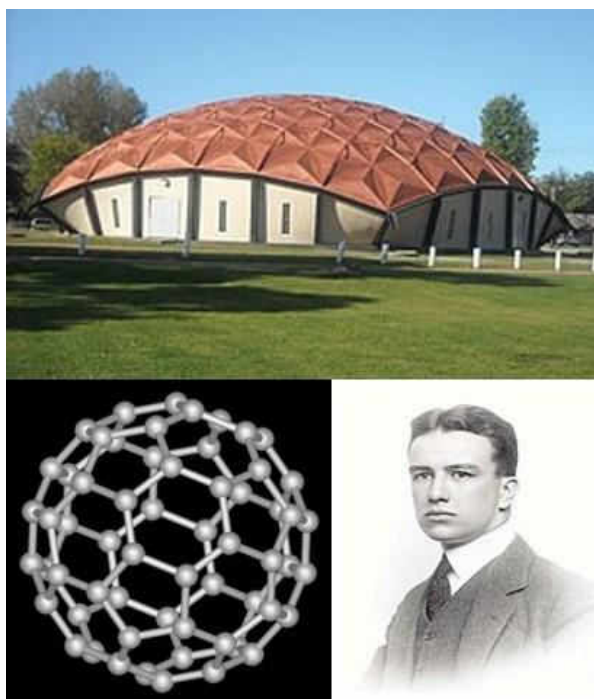


Figura 3. Mary Brown Center, Illinois (arriba) diseñado por Richard B. Fuller (abajo a la derecha) de quien se tomó su nombre para llamar al fullereno (abajo a la izquierda). Note el parecido de la cúpula geodésica con la estructura del fullereno.

razón, se le llama «buckminsterfullereno» o «fuboleno». Richard Buckminster Fuller no fue el primero que intentó construir una edificación con un techo en forma de cúpula geodésica, pero si fue quién logró hacer las estructuras más estables y reconocibles que todavía perduran en la actualidad.

El ícono

Para completar, les dejo un pequeño resumen acerca del que pudiera ser el representante más importante de esta mezcla de ciencia y arte, en la humilde opinión de este re-escribidor (parafraseando al gran Ciro Bianchi) el polímata más grande de la historia universal, Leonardo da Vinci.⁵⁻⁷

Nacido como Leonardo di ser Piero da Vinci (14/15 de abril de 1452 - 2 de mayo de 1519) sus áreas de interés fueron tan disímiles como abarcadoras: invención, dibujo, pintura, escultura, arquitectura, ciencia, música, matemáticas, ingeniería, literatura, anatomía, geología, astronomía, botánica, paleontología y cartografía.⁵

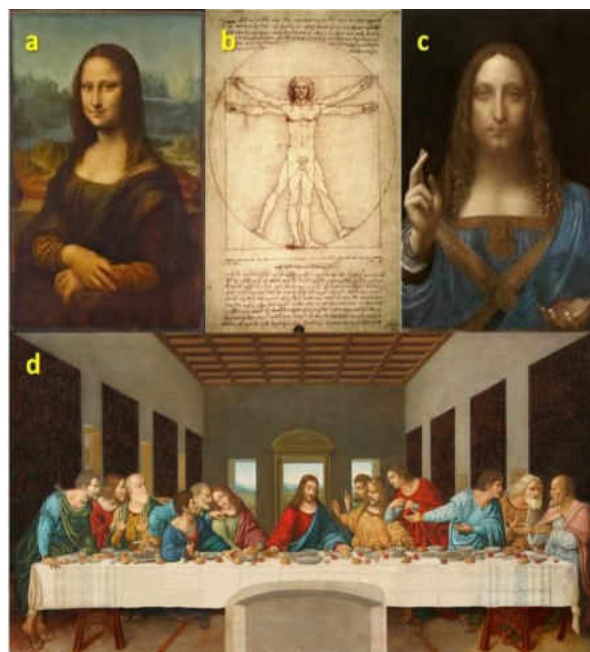


Figura 2. Las 4 magníficas de Leonardo. (a) Mona Lisa, (b) El hombre de Vitruvio, (c) Salvator Mundi, (d) La última cena.

Leonardo es conocido principalmente como pintor. Y a pesar de que solo se conservan alrededor de 20 obras del gran maestro debido a sus continuas invenciones cuyos peores resultados afectaron algunas de sus obras y a su reconocida desorganización, con tan solo esas trascendió como uno de los grandes pintores de la humanidad y uno de los íconos del Renacimiento y del arte universal.^{6,7}

La *Mona Lisa* es la más famosa de sus obras y el retrato más popular jamás realizado. *La Última Cena* es la pintura religiosa más reproducida de todos los tiempos y su dibujo del *Hombre de Vitruvio* también es visto como un ícono cultural. *Salvator Mundi* conocida como el Cristo de da Vinci se vendió por un récord mundial de 450 millones USD (380 millones €) en la subasta de Christie's en Nueva York, el 15 de noviembre de 2017, el precio más alto jamás pagado por una obra de arte.

Pero es que, si no bastase su enorme contribución al arte universal, en sus papeles se han encontrado diseños de algunos de los grandes inventos de la actualidad, tal como también preconizara en algunos de sus textos ese genio de la literatura que fue Julio Verne.

Aunque para ser justos sus detractores son los menos, se considera que sus aportes en otros campos del conocimiento tienen menos relevancia que lo que hizo en pintura y se ha llegado a decir que estaba tan sobrevalorado como Roger Bacon. Pero la verdad es que entre sus papeles han aparecido el diseño de máquinas o dispositivos que pueden considerarse antecedentes de los actuales como el paracaídas, el tanque de guerra, el helicóptero, el avión, la bicicleta y el barco de paletas.⁵

Historia antigua de la relación entre ciencia y música

La música como arte ha sido valorada por todas las culturas, desde los pueblos más primitivos. Tiene una relación estrecha con el mundo que la rodea, hasta tal punto que nunca se puede entender la música si se prescinde de la situación estética, social y artística de la sociedad en que surge. Hay mitologías en las que la creación del mundo se realiza a partir del sonido; otros piensan que la música es el medio de comunicarse con los dioses. Esta situación no cambia cuando llegamos a pueblos más “cultos”, y así los griegos la valoran hasta tal punto que hablan del origen semidivino de la música. Dioses como Hermes, Atenea, Dionisos o Apolo están relacionados con el arte de la música, como inventores de instrumentos o simplemente como tañedores. La música es una parte esencial en el teatro, en los juegos olímpicos, en fiestas, y es igualmente valorada por atenienses y espartanos.

El concierto

Déjenme invitarles a un concierto donde escucharán las obras de ilustres compositores musicales como William Herschel (1738-1822), Héctor Berlioz (1803-1869), Aleksandr Borodin (1833-1887), Sir Edward Elgar (1857-1934) y Ernest Ansermet (1883-1969); además de nuevas piezas de Iannis Xenakis (1922-2001) y Richard Bing (1909-2010), todos dirigidos por Tom Eisner (1929-2011).⁸

Probablemente no te des cuenta, pero todo ese concierto está lleno de sabiduría y no precisamente musical, con el respeto de los seguidores de la musa Euterpe. Todos los compositores de una manera u otra tienen lazos con la ciencia.

Herschel fue quizás el astrónomo más famoso de principios del siglo XIX que

además, descubrió el planeta Urano; y algunas de sus composiciones han sido registradas recientemente en el sello Newport Classics.⁸

Berlioz era un médico practicante que no llegó a graduarse, pero de todos los compositores mencionados en esta lista probablemente sea uno de los dos más famosos, considerado por el creador del



Figura 4. Berlioz (izq) y Borodin (der), los más grandes músicos científicos; ¿o era al revés, científicos músicos?

parnasianismo, Teophile Gautier como uno de los integrantes de la Santísima Trinidad de las artes románticas francesas junto al pintor Eugene Delacroix (1798-1863, autor del óleo “*La libertad guiando al pueblo*”, 1830) y el escritor Victor Hugo (1802-1885, autor de la novela titulada “*Los miserables*”, 1862).⁸

Borodin era un químico de la Universidad Estatal de San Petersburgo que descubrió, de manera simultánea e independiente en ambos casos: con Adolphe Würtz, la condensación aldólica y con Heinz y Clare Hunsdiecker la preparación de halogenuros de alquilo a partir de carboxilatos de plata.⁹

Elgar tenía un pequeño laboratorio privado de química en los jardines de su casa, donde creó un equipo para la producción de hidrógeno sulfurado.^{9,10}

Ansermet se formó como matemático y enseñó esa disciplina en la Universidad de

Lausana antes de centrar su atención únicamente en la música.¹¹

Xenakis fue un pionero del uso de la computadora en la composición musical algorítmica y fundó en 1966 el Centro de Estudios de Matemática y Automática Musicales, después de haberse graduado de ingeniero civil y haber sido alumno y colega respectivamente, de Le Corbusier y de ese grande de América que fue Oscar Niemeyer.¹²

Bing fue un cardiólogo e investigador médico (medalla Claude Bernard), pionero en los trabajos de flujos sanguíneos con óxidos de nitrógeno, precursores de la moderna máquina de perfusión, dispositivo fundamental en la cirugía de trasplantes. A su vez se graduó del conservatorio de Nuremberg como cantante y compositor.¹³

Eisner, el director de la orquesta, además de reputado pianista y director de orquesta fue un destacado entomólogo considerado como el padre de la Ecología Química.⁸

Los íconos actuales

En un artículo publicado el 13 de junio de 2018 en el periódico catalán *La Vanguardia* por el periodista César Rangel, se informa la elección a la Organización Europea de la Biología Molecular del biólogo Salvador Aznar-Benitah del Instituto de Investigaciones Biomédicas de Barcelona y del físico Xavier Trepap del Instituto de Bioingeniería de Cataluña.

Aznar, pianista graduado del Conservatorio de Madrid, toca la guitarra en un grupo de rock aficionado y declara abiertamente que: el proceso científico tiene mucho en común con el de composición musical; en tanto Trepap, primero pianista y luego trombonista toca en el grupo de jazz *La Locomotora Negra* dice que los dos son procesos creativos (la música y la ciencia) y que hay muchos paralelismos entre ellos.

Pero ciertamente tenemos dos ejemplos mucho más representativos quizás por mediáticos, dado la relevancia de ambos en la música no como el caso de los catalanes arriba referenciados (más reconocidos como científicos), pero discrepancias aparte no creo que haya una minoría ni siquiera significativa capaz de negar la trascendencia de estos músicos.

Brian May

Brian Harold May, Comendador de la Orden del Imperio Británico (Hampton, Middlesex, 19 de julio de 1947) es un músico, cantante, compositor y astrofísico inglés. Es el guitarrista principal de la banda de rock Queen. Autor de numerosos títulos especialmente de una de las canciones icónicas del rock: "*We Will Rock You*".

Cofundador de Queen con el cantante Freddie Mercury y el baterista Roger Taylor, a la que unieron finalmente a John Deacon para completar una formación icónica en la historia de la música y del rock en especial. Queen se había convertido en una de las bandas de rock más grandes del mundo a partir del éxito de su álbum "*A Night at the Opera*" y su exitoso y popular sencillo "*Bohemian Rhapsody*". Con la banda participó en uno de los conciertos más importantes del pasado siglo, el Live Aid en 1985. Este concierto fue simultáneo en el



Figura 5. Brian May tocando su Red Special en 2017 a la izquierda y el dúo Simon & Garfunkel, en ese orden, a la derecha, en su etapa de pleno éxito.

Wembley Stadium en Londres y el John F. Kennedy Stadium de Filadelfia con el objetivo de recaudar dinero para ayudar a África, especialmente Somalia y Etiopía. Los músicos ingleses crearon la canción "*Do They Know It's Christmas?*" y los estadounidenses la superfamosa "*We are the world*".

En 2005, una encuesta de Planet Rock dio a May como el mejor guitarrista de todos los tiempos. Él ocupó el puesto número 26 en la lista de Rolling Stone de los "100 mejores guitarristas de todos los tiempos". En 2012, fue clasificado como el segundo mejor guitarrista en la encuesta de lectores de World Guitar Magazine. En 2001, May fue incluido en el Salón de la Fama del Rock and Roll como miembro de Queen y en 2018 se le otorgó el Premio Grammy Lifetime Achievement.

Todavía toca su primera y única guitarra (la cual ha ido modernizando) llamada *Red Special* construida junto a su padre (ingeniero eléctrico y dibujante del Ministerio de Aviación) cuando tenía 16 años. May obtuvo un doctorado en Astrofísica del Imperial College de Londres en 2007 y es un colaborador del equipo científico con la misión New Horizons Pluto de la NASA y cofundador del Día del Asteroide.

El asteroide **52665 Brianmay** fue nombrado en su honor y es activista por los derechos de los animales, haciendo campaña contra la caza de zorros y el sacrificio de tejones en el Reino Unido. Ha escrito libros científicos y publicó dos artículos relacionados con su tesis:

- T. R. Hicks, B. H. May & N. K. Reay. MgI Emission in the Night Sky Spectrum. *Nature* 1972, 240: 401–402
- T. R. Hicks, B. H. May, N. K. Reay. An Investigation of the Motion of Zodiacal Dust Particles - I: Radial Velocity

Measurements on Fraunhofer Line Profiles. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 1974, 166(2): 439–448

Art Garfunkel

Arthur Ira Garfunkel, (Nueva York, 5 de noviembre de 1941), es un cantante, músico y actor estadounidense, famoso por formar parte del dúo de folk Simon & Garfunkel. Fue considerado como el #86 en el listado de mejor cantante de todos los tiempos según la revista Rolling Stone.

Conoció a Paul Simon en sexto año de secundaria. Entre los años 1956 y 1962 tocaban juntos música con el sobrenombre de Tom & Jerry. Garfunkel se hacía llamar Tom Graph. Se matriculó en la Universidad de Columbia a principios de los sesenta donde también fue miembro de la Alpha Epsilon Pi, la única fraternidad judía en Estados Unidos y Canadá. En 1962 se sacó el Bachillerato de Artes licenciándose en Historia del Arte.

En 1963 volvió a unirse al dúo con Paul Simon, aunque ahora ya bajo sus nombres reales, Simon y Garfunkel. El dúo publicó en 1970 el álbum más elogiado de su carrera, *Bridge Over Troubled Water*; sin embargo, se volvió a separar debido a los diferentes intereses entre ambos y las ganas de emprender cada uno carrera en solitario. Garfunkel trabajó como actor en películas de gran éxito como *“Trampa 22”* y *“Conocimiento carnal”*.

También hizo el papel protagonista de la película *“Contratiempo”* (1979), un thriller policial donde encarna a un psicoanalista y profesor universitario norteamericano en Viena, con el acompañamiento de Theresa Russell, Harvey Keitel y Denholm Elliott dirigidos por Nicolas Roeg.

Llegó a alcanzar una maestría en Matemáticas y por esos tiempos retornó a la docencia, dando clases en diferentes universidades del área neoyorquina (Pace University, la sede del Actor’s Studio de James Lipton y en New Jersey), trabajo que le permitió sustentarse mientras proyectaba sus nuevos trabajos con Paul Simon.

El 23 de mayo de 2007 se celebró la ceremonia de entrega de premio a su compañero y amigo, Paul Simon, por su gran contribución a la música. Participa en este acto, interpretando junto al premiado, *Bridge Over Troubled Water* y *Cecilia*, dos clásicos de este dúo. En el año 2010 se le diagnosticó una parálisis vocal que le mantendría alejado del escenario, con una recuperación lenta por lo que retorna a los escenarios a principios de 2012 manteniéndose activo hasta hoy.

¿Los íconos de Cuba?

Quizás pudiera pensarse que en un país tan musical como este, proliferarían los científicos que hayan dedicado parte de su vida a la música o viceversa, pero la verdad es que ha sido difícil hallar esa información; a tal punto que he decidido solo comentarles algo de estos dos que hallé y que para fortuna representan las dos vías: de científico para músico y la contraria, de músico para científico.



Figura 6. Científicos músicos cubanos. Pancho Amat (izq) y Daniel Stolik (der)

Pancho Amat

Francisco Leonel Amat Rodríguez, o lo que es lo mismo, Pancho Amat (Güira de Melena, 22 de abril de 1950) es probablemente el más famoso ejecutante vivo del *tres* cubano. Fundador del Grupo Manguaré, en el cual se mantuvo por 17 años, hasta que pasó a compartir con Adalberto Álvarez en la orquesta que lideraba el Caballero del Son. Al separarse de Adalberto en 1995 comenzó un ascenso meteórico, que le ha permitido consagrarse como una de las figuras imprescindibles del panorama musical cubano actual.

Primeramente, graduado de técnico en Físico-Química y posteriormente de Pedagogía en la Universidad de La Habana, donde tuvo una amplia actividad cultural debido a su afición por la música, Pancho Amat se graduó de manera simultánea y posteriormente en el Conservatorio Ignacio Cervantes en la especialidad de guitarra clásica y de varios estudios de posgrado en diferentes especialidades de la música: Armonía, Contrapunto, Orquestación, Morfología, etc.

Ha trabajado junto a Óscar D'León, Papo Lucca, Joaquín Sabina, Cesaria Évora, Ry Cooder, The Chieftains, Yomo Toro, John Parsons, Mongo Santamaría, Andy Montañez, Giovanni Hidalgo, Dave Valentín, Alfredo de la Fe y Víctor Jara.

Pancho ha dirigido prácticamente todos los formatos con que cuenta la música cubana, pasando desde agrupaciones soneras, tríos o cuartetos hasta conjuntos típicos, charangas llegando a realizar orquestaciones también para la Orquesta Sinfónica Nacional.

Su *tres*, en típica afinación campesina (*mi-si-sol*), alcanza extraordinaria versatilidad tanto para las armonías propias del son, la trova o el bolero, como para sonoridades más

complejas y actuales, provenientes de la música de concierto, el rock sinfónico o las raíces africanas. Todo ello confiere una expresividad y riqueza melódica apreciables a cada interpretación. Actualmente dirige El Cabildo del Son que fundara en los años 90 y ostenta entre otras condecoraciones el Premio Nacional de Música que le fuera otorgado en el 2010.

Daniel Stolik

El profesor Daniel Stolik Novygrad nació en La Habana, el 28 de mayo de 1940, hijo de polacos que salieron de su país natal por motivos políticos y se asentaron en Cuba en la década del 30 del pasado siglo.

Se graduó de Licenciado en Física en Moscú, URSS (1966) y de Doctor en Ciencias Físico-Matemáticas de la Facultad de Semiconductores del Instituto del Acero y las Aleaciones de Moscú (1975). Es, además, un excelente compositor musical y un buen comunicador. Es miembro del Grupo Nacional de Energía Solar Fotovoltaica, desde su creación hasta la actualidad. Miembro de los Consejos Científicos de la Academia de Ciencias de Cuba y de la Universidad de La Habana. Es Profesor Titular de la Facultad de Física y fue fundador y primer presidente de la Sociedad Cubana de Física y también fundador de la Revista Cubana de Física de la que fue su primer director. Posee la Orden Carlos Juan Finlay conferida por el Consejo de Estado.

El profesor Stolik además de servir como ejemplo de músico devenido finalmente científico, tendrá la gentileza de abrir esta pequeña sección de ciencia y música con un artículo genial que resume la forma en que se relaciona la Física con la Música.

A modo de conclusiones

Resultan evidentes las relaciones entre arte, ciencia y música, hay tantas conexiones

que hasta se han construido máquinas que a partir de las ondas cerebrales escriben música y existen biólogos que a partir de secuencias de ADN elaboran patrones de sonidos que generan obras musicales. Pero esto lo dejaremos poco a poco para el desarrollo de la secuencia de artículos relacionados con la relación de la ciencia, con arte, y música específicamente, donde más hincapié haremos en el futuro. Esperamos les guste esta curiosidad de cómo se imbrican el alma (la música o el arte en general) con el cerebro, lo pragmático (en fin, la ciencia). La hay, créanme, sígannos. Nos vemos pronto.

BIBLIOGRAFÍA

1. L. Sánchez de Andrés. *Encuentros multidisciplinares* **2011**; 13: 9-19
2. A. Rothenberg. *Psychiatric Quarterly* **2001**; 72: 131-147
3. U. Colombo. *World Futures: The Journal of New Paradigm of Research* **2010**; 40: 1-5
4. 2017; 3: 40-41
5. A. Valencia Giraldo. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* **2004**; 32: 114-134
6. R. A. Koestler-Grack. *Leonardo Da Vinci: Artist, Inventor and Renaissance Man (Makers of the Middle Ages and Renaissance)*. Chelsea House Publishers, Philadelphia (152 pags) **2006**
7. M. Kemp. *Leonardo da Vinci: The Marvellous Works of Nature and Man*. Oxford University Press, New York (429 pags) **2006**
8. R. S. Root-Bernstein. *Leonardo* **2001**; 34: 63-68
9. G. B. Kauffman and K. Bumpass. *Leonardo* **1988**; 21: 429-436
10. L. May. *Bulletin for the History of Chemistry* **2008**; 33: 35-43
11. B. J. Novak and G. R. Barnett. *The Science Teacher* **1956**; 23: 229-232
12. E. Childs. Achorriopsis: A sonification of probability distributions. Proceedings of *International Conference on Auditory Display*. Kyoto (**2002**)
13. R. S. Root-Bernstein. *Journal of Molecular Cellular Cardiology* **1987**; 19: 1043-1051

Ciencia, Arte y Música.

Parte II. Física y música: del timbre, a lo desconocido

Ciencias y
Humanidad

Daniel Stolik

Facultad de Física
Universidad de La Habana
dstolik@fisica.uh.cu



Este artículo es publicado con la autorización de su autor y la Revista Cubana de Física (Vol. 29, No. 1)

INTRODUCCIÓN

Arte es virtud, disposición y habilidad de hacer cosas, sobre la base de un conjunto de preceptos y reglas, representa el acto o facultad mediante los cuales, el hombre, valiéndose de la materia, de la imagen o del sonido, imita o expresa lo material o lo inmaterial, crea copian- do o fantaseando, y así transmite sentimientos de placer, satisfacción, diversión, tristeza y hasta depresión.¹

La ciencia, aunque también provoca distintas sensaciones en el hombre, fundamentalmente representa el conocimiento cierto de las cosas por sus principios y causas, metódicamente formado y ordenado en un cuerpo que constituye una rama particular del saber humano.²

La física es una ciencia donde los fenómenos se demuestran, se miden cuantitativamente y se comprueban experimentalmente. Existe el consenso de que surgió como ciencia en el siglo XVI.³ En quinientos años ha sido fundamental para la comprensión del universo y ha alcanzado un avance tal que ha originado un espectacular desarrollo científico y tecnológico.

La música, sin embargo, es mucho más antigua: todo parece indicar que los primeros instrumentos musicales aparecieron hace algunas decenas de miles de años. Aunque aún es objeto de debate,⁴ se ha documentado la “flauta” del “Hombre de Neandertal”: un instrumento de 4 huecos, construido con un hueso de oso hace unos 40 mil años.

La música es un arte cualitativo muy ligado a los sentimientos humanos, que está presente en la vida cotidiana de cada uno de nosotros. Por lo tanto, al referirnos a la física y a la música estamos hablando de dos escenarios que son trascendentales en la vida del hombre, pero cuya interrelación es relativamente poco conocida por muchos.

Un elemento que con el paso del tiempo ha vinculado cada vez más el arte y la ciencia es la tecnología: ésta constituye el lenguaje propio de una ciencia, arte, o de ambas a la vez, que se plasma en un conjunto de productos, instrumentos, equipamientos y procedimientos cada vez más con carácter industrial. Es la física la madre de muchas de las tecnologías que se han ido incorporando y utilizan ampliamente en la música, hasta las más recientes como son, por ejemplo, las importantes tecnologías digitales MIDI⁵

surgida en 1983 y la de sintetizadores y samplers.⁶

Este artículo va dirigido a un lector que domina los fundamentos de la matemática y la física, y que está familiarizado con la computación. A continuación, explicamos algunos conceptos del ámbito musical en términos familiares para nuestros lectores.

En realidad, es imposible en un artículo sucinto, como éste, reflejar toda la problemática físico-matemática del tema. Nuestro propósito es partir del papel de las funciones matemáticas elementales, pasando por los elementos no armónicos y no lineales, hasta llegar a los problemas del dominio frecuencia-tiempo en que se mueve la música, en forma análoga al principio de incertidumbre que se postula en la mecánica cuántica, pero para el dominio tiempo-frecuencia, donde la transformada clásica de Fourier no opera. Esperamos que esta descripción motive a nuestros colegas físicos a que se acerquen a una temática generalmente poco conocida.

Antes de continuar, vale la pena mencionar que existe literatura donde se puede hacer una lectura complementaria sobre la física y la música,⁷⁻¹⁰ así como el libro de este autor en soporte electrónico de la multimedia "Física y Música".¹¹

Finalicemos esta sección haciendo notar que es también muy poco conocido el aporte que, por unos 400 años, desde Stevin y Galileo, hasta Moog (fallecido recientemente) han realizado físicos muy notables al desarrollo de la música.¹²⁻¹⁵

LA INTENSIDAD DEL SONIDO

Comencemos por introducir brevemente la recepción del sonido por el oído humano. La potencia y la intensidad de la onda sonora, válidos, por supuesto, para el sonido musical,

son proporcionales al cuadrado de la amplitud¹⁶:

$$I = cX_m^2 \quad (1)$$

Donde I es la intensidad de la onda sonora, X_m es la amplitud y c una constante.

Sea I_0 la intensidad mínima del sonido (estímulo) que el oído humano, como promedio, es capaz de percibir, que se define como valor típico del umbral de audición humana. Se ha determinado que su valor es:

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2 \quad (2)$$

Esta potencia se corresponde, increíblemente, con un desplazamiento de la vibración del tímpano del orden del radio atómico del átomo de hidrógeno.¹⁷ Además, se ha comprobado que el rango de intensidades que el oído es capaz de detectar es de un millón de millones de veces mayor que I_0 .¹⁸ O sea, que la relación I/I_0 del oído humano barre un rango de ... ¡12 órdenes de magnitud!

Por ser la escala de audición sobre la base de I/I_0 demasiado extensa (y, por lo tanto, incómoda) se utiliza el logaritmo de I/I_0 como escala de audición. Así, el nivel de sonido (SL), expresado en decibeles, se define como:

$$SL = 10 \log(I/I_0) \quad (3)$$

LA ALTURA

En música, la altura no es equivalente a la intensidad del sonido.^{7,8} La altura es la sensación, también llamada tono, que percibe una persona en un rango de sonidos desde graves hasta agudos, a partir del estímulo que recibe de una onda sonora de cierta frecuencia. La relación existente entre dicho estímulo y la sensación producida es sumamente compleja.



Figura 1. El “Theremin”: La física al servicio de la música. Este instrumento, concebido por el físico y músico soviético Lev Segueevich Termen en 1919, logra sonidos musicales derivados del efecto capacitivo del cuerpo humano sobre ondas electromagnéticas. En la foto, un ejemplar del instrumento que se expone en el Museo Nacional Noruego de Ciencia y Tecnología (foto: E. Altshuler).

EL INTERVALO MUSICAL Y LAS DIVISIONES

El intervalo musical es la diferencia existente entre dos sonidos (tonos) de distinta altura. Es uno de los elementos de la música más importantes, su primera cuantificación matemática data de los pitagóricos hace unos 2500 años, en términos de relaciones de números enteros de longitudes de las cuerdas.^{7,8,11} Concretamente, si una cuerda se fijaba en 1/2, en 2/3 o en 3/4 de su longitud, la altura de los sonidos percibidos al vibrar eran característicamente distintos (lo que se produce, por ejemplo, al “presionar” las cuerdas de una guitarra en diversas posiciones a lo largo de su brazo). Estamos hablando aquí de relaciones de longitud; por ejemplo:

$$L_2/L_1 \quad (4)$$

donde L_2 es la longitud de una cuerda que origina una sensación específica de altura en el sistema oído-cerebro, L_1 define otra altura, y L_2/L_1 es el intervalo resultante entre esas dos longitudes de la cuerda tensada. Obsérvese el curioso hecho de que el intervalo no está definido como la diferencia entre dos longitudes, sino por su cociente.

Unos 2000 años después se definía el concepto de frecuencia en las cuerdas

tensadas y la caracterización del intervalo musical posteriormente se realizaba por relaciones de frecuencias entre dos sonidos de distintas alturas, o sea, más grave o más aguda:

$$f_2/f_1 \quad (5)$$

Mucho más tarde, se descubrió que las frecuencias de una cuerda tensada vibrante estaban dadas por la expresión:¹¹

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (6)$$

Donde n es el modo de vibración, T es la tensión de la cuerda, L es su longitud, y μ es la masa por unidad de longitud de la cuerda. Supondremos que todas las magnitudes están dadas en el Sistema Internacional de Unidades (SI). Es evidente de (6) que en una misma cuerda (monocordio), por ser T y μ constantes, se obtiene:

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{L_2}{L_1} \quad (7)$$

Relación ampliamente utilizada para los instrumentos de cuerda desde la antigüedad.

El timbre

¿Por qué pueden distinguirse dos instrumentos musicales distintos que emiten una nota de la misma frecuencia? Eso se explica debido a que cualquier sonido musical tiene una frecuencia, llamada fundamental,^{7,8,11} que es la más pequeña de un conjunto de frecuencias de ondas viajeras sinusoidales (armónicos) múltiplos enteros de la fundamental, con distintas amplitudes y que todas en conjunto dan la característica de sonido distinto entre (por ejemplo) un piano, un oboe o un violín. Todas esas amplitudes distintas de frecuencias específicas se superponen y modifican la forma de la señal producto de la síntesis de Fourier.

El fenómeno consiste en que la senoide de la frecuencia fundamental va modificando su forma cuando se van superponiendo los

armónicos superiores,¹¹ pero el periodo de la señal compleja que se forma sigue siendo igual al período de la primera senoide de la frecuencia fundamental. La forma resultante es la que caracteriza el timbre del sonido en cuestión, cuya forma compleja se repite con la misma periodicidad de la frecuencia fundamental, que en definitiva caracteriza la frecuencia de toda la señal compleja (**Figura 2**).

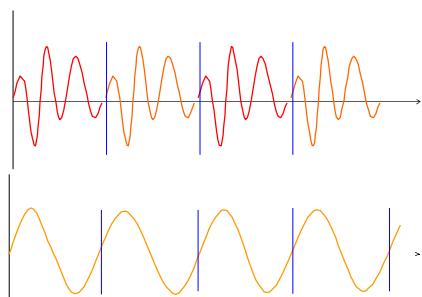


Figura 2. Gráficos de amplitud contra tiempo de una onda sonora asociada a un supuesto instrumento musical. Panel superior: onda original, cuya forma “compleja” caracteriza el timbre del instrumento (contiene todos los armónicos de Fourier). Panel inferior: Armónico fundamental de la onda de arriba. Nótese que, arriba, entre las líneas finas verticales, se repite el mismo período de la componente fundamental.

Los armónicos del timbre responden a la función lineal:

$$f = nf_0 \quad (8)$$

donde f_0 es la frecuencia fundamental (la menor involucrada en el timbre), n es un número entero, y f es la frecuencia de los armónicos superiores –una función extremadamente importante en la música.

LAS ESCALAS MUSICALES

La escala musical es un conjunto con cierta ordenación de distintas alturas con intervalos que se expresan matemáticamente, donde por cientos de años primó el concepto de intervalos (pitagóricos) descritos por relaciones de números enteros.¹¹ El intervalo musical que más fácilmente se reconoce por

el hombre sin necesidad de instrumento alguno es el de la denominada octava. La frecuencia de una octava inmediata superior tiene el doble de la frecuencia de la nota de anterior. Así, la frecuencia de la octava n -sima se expresa así:

$$f_n = 2^n f_0 \quad (9)$$

donde, nuevamente, n es un entero.¹¹ Nótese la gran diferencia entre la definición de los armónicos del timbre (8) y la de las octavas (9). En el caso de la escala musical compuesta por 12 intervalos iguales, las frecuencias se expresan como:

$$f_m = 2^{\frac{m}{12}} f_0 \quad (10)$$

Esta es la escala que, a partir del siglo XIX, se generalizó en el Occidente, después de grandes controversias sobre qué escalas son más “puras”. Éste es un aspecto de grandes contradicciones teóricas aún actuales, muy relacionado con la incomprensión de la belleza y de la gran utilidad de los números irracionales como π , e , etc. en la descripción matemática de los fenómenos físicos.¹¹

LINEALIDAD E INARMONICIDAD EN LA MÚSICA

El estudio más elemental de los instrumentos musicales se basa en un tratamiento de aproximación lineal de los armónicos. El término lineal implica que un incremento en la entrada de cualquier sistema produce un incremento directamente proporcional en la salida y los efectos provocados por las distintas excitaciones en las entradas son simplemente aditivos a la salida.

Como se ha dicho, se estima que el sonido musical puede ser descrito en términos de componentes (armónicos), cuyas frecuencias son números enteros de una frecuencia fundamental. La aproximación armónica se debe a que los modos de frecuencia

(vibraciones) de las cuerdas tensadas y las columnas de aire cilíndricas y conos de los instrumentos de viento son armónicos. Ellos son resonadores pasivos que se acoplan a una fuente de energía de excitación controlable (arcos de fricción, chorros de aire de lengüetas vibrantes, etc.) para provocar y mantener o no las oscilaciones.

En los instrumentos musicales de percusión (campanas, *gongs*, *drums*, tumbadoras, bongós) los modos no se relacionan armónicamente, sino que son altamente inarmónicos, de lo que se derivan sus sonidos característicos.

Si profundizamos en la física de estos fenómenos, encontramos que los modos de una cuerda tensada real (frotada, como en el violín, o percutida, como en el piano) no son exactamente armónicos debido fundamentalmente a la inflexibilidad de las cuerdas. En los instrumentos de viento, se observa que las vibraciones de los modos de las columnas de aire de tubos cilíndricos son apreciablemente inarmónicas debido a la variación de la longitud de onda (y por lo tanto la frecuencia) al final del tubo cilíndrico.

En la aproximación armónica se asume que un segundo generador suministra una resistencia negativa de magnitud limitada, suficiente para compensar las pérdidas acústicas y mecánicas de un primer resonador. En los instrumentos de viento el primer resonador es la columna de aire, que al mismo tiempo radia el sonido al aire de la atmósfera. En realidad, el segundo generador es comúnmente altamente no lineal y el acoplamiento que forma con el primer resonador es tan fuerte que no pueden considerarse por separado. El acoplamiento de retroalimentación entre ambos es sumamente importante en el comportamiento del instrumento. Los modos del primer resonador son apreciablemente inarmónicos, como los

instrumentos de madera y viento que poseen un resonador de tubo con huecos, con resonancias marcadamente inarmónicas.

Para entender los efectos de no linealidad de los instrumentos musicales es necesario examinar el acoplamiento entre el generador y el resonador (de resistencia negativa) que mantiene las oscilaciones.¹⁹

Las oscilaciones libres o propias del resonador están constituidas por la superposición de todos los modos normales $y_n(t)$, que cuando no tienen pérdidas (caso irreal), obedecen a la ecuación:

$$\frac{d^2 y_n}{dt^2} + \omega_n^2 y_n = 0 \quad (11)$$

cuya solución responde a expresiones perfectamente armónicas. Pero como siempre hay pérdidas (disipación de energía), la ecuación toma la forma:

$$\frac{d^2 y_n}{dt^2} + \alpha_n \frac{dy_n}{dt} + \omega_n^2 y_n = 0 \quad (12)$$

donde ω_n son las frecuencias angulares de los "modos propios" y α_n son los coeficientes de amortiguamiento, producto de las pérdidas.

Desde luego, siempre debe de haber un generador que provoca las excitaciones forzadas de las vibraciones normales del resonador (por ejemplo, frotar la cuerda en un violín o martillarla en el caso del piano) y la ecuación se convierte en:

$$\frac{d^2 y_n}{dt^2} + \alpha_n \frac{dy_n}{dt} + \omega_n^2 y_n = g_{(y_1, y_2, y_3, \dots)} \quad (13)$$

donde $g_{(y_1, y_2, y_3, \dots)}$ describe la excitación forzada del generador. Si suponemos que éste es lineal, podemos escribir:

$$g_{(y_1, y_2, y_3, \dots)} = c_1 (y_1 + y_2 + y_3 + \dots) + c_2 \left(\frac{dy_1}{dt} + \frac{dy_2}{dt} + \frac{dy_3}{dt} + \dots \right) \quad (14)$$

Donde c_1 y c_2 son constantes, en una primera aproximación. Sin embargo, en los instrumentos reales el generador es no lineal.

Aunque, por razones de espacio, no podemos discutir las soluciones de la ecuación, vale la pena decir que el ingrediente no-lineal aporta términos forzados de combinaciones de frecuencias:

$$\omega_n \pm \omega_m \quad (15)$$

Todo esto conduce al pensamiento de que los intervalos de frecuencia tan “exactos” relacionados ya sea con la formación del timbre o con los supuestos intervalos “justos” de las escalas o inclusive con las teorías, todas controvertidas, sobre la disonancia y la consonancia, en realidad representan un problema más complejo que lo que comúnmente se refleja en los textos sobre las bases de la música.

EL DOMINIO FRECUENCIA-TIEMPO DE LA MÚSICA

Un análogo del principio de incertidumbre que se postula para las magnitudes de espacio-momento, se postula también para el dominio tiempo-frecuencia, lo que está relacionado con que el tiempo mínimo en que un timbre característico es audible está relacionado con la expresión:¹¹

$$\Delta f \Delta t = const \quad (16)$$

Por ejemplo, supongamos que tenemos un sonido perfectamente armónico (sinusoidal) y vamos disminuyendo su duración hasta llegar un momento en que la senoide logra realizar sólo unos pocos o ni siquiera un ciclo de senoide. En ese momento se pierde el sonido característico (timbre) de la señal original y se oye un clic.

En realidad, la música, tanto en melodía como en acordes, está cambiando continuamente sus frecuencias fundamentales, pero, además, en cualquier interpretación musical se superponen una gran cantidad de sonidos de distintos instrumentos musicales. Esto hace que la representación de la señal de

audio de amplitud contra tiempo varíe rápidamente en forma complejísima, aunque el sistema oído-cerebro es capaz de “interpretarla”. La transformada de Fourier de esta compleja señal nos da la composición espectral de la señal, de amplitud vs. frecuencia, o sea, armónicos e inarmónicos constitutivos de la señal analizada.^{20,21}

Nótese que tenemos dos dominios separados al respecto, uno por síntesis (amplitud-tiempo) y otros por análisis de Fourier (amplitud – frecuencia). Pero en realidad la música se mueve en el dominio frecuencia-tiempo, donde en cada intervalo pequeño de tiempo cambia el oscilograma (espectro) de ese “momento”. Eso ocasiona que la característica fundamental de localización de las componentes de las señales musicales esté en el dominio de tiempo y de la frecuencia. En este sentido la transformada de Fourier, adolece del defecto de que la información espectral que proporciona es global y por el propio principio expresado en (16), existe el compromiso entre la frecuencia y el tiempo, ya que si “clavamos” el tiempo ($\Delta t = 0$), se pierde la información de las frecuencias y si lo hacemos muy “largo” (tendiente a infinito) entonces se definen bien las frecuencias, pero no se sabe en que momento “suena” cada una.

Por ello han aparecido nuevas técnicas para representar señales en el dominio de tiempo-frecuencia que utilizan otras transformadas, como las rápidas de Fourier, las de Gabor en 1946, o los wavelets, con la idea de introducir ventanas para poder observar la parte de la señal presente en algún entorno del punto de estudio.¹¹ Así se logra, en primer lugar, que las componentes frecuenciales de la señal en aquel instante dependan solamente de las proximidades del punto y no influyan en ellas las partes alejadas de la señal. A diferencia de la

transformada de Fourier, las transformadas de *Wavelets*, pueden definirse con diferentes expresiones, sean continuas o discretas, que permiten el análisis de señales de manera similar a la transformada de Fourier, pero con la diferencia que las de *Wavelets* pueden entregar información temporal y frecuencial en forma casi simultánea. El principio de incertidumbre impone limitaciones con la resolución en tiempo y frecuencia, pero estas transformadas de *Wavelets* permiten estudiar la señal a distintas frecuencias y con diferentes resoluciones. Una gran ventaja sobre la transformada de Fourier es que permiten trabajar con datos que presenten discontinuidades o picos, aspecto importante en señales digitalizadas. En general, poseen innumerables aplicaciones y en las asociadas con las sensaciones de la música en el cerebro, se podrían plantear problemas teóricos y mediciones experimentales de gran actualidad.

CONCLUSIÓN

Cuba es una gran potencia musical en géneros de trascendencia mundial –habanera, boleros, danzón, son, conga, rumba, chachachá, mambo, etc.– pero no lo es tanto desde el punto de vista científico-técnico. Pongamos los físicos un granito de arena. Dejamos pendiente debatir por dónde andan aún hoy los “misterios”, que prometen interesantes investigaciones al respecto. Queda abierta la partida.

BIBLIOGRAFÍA

1. Scholes, P.A. en *Diccionario Oxford de la Música*, Arte y Literatura, La Habana, **1981**.
2. Rosental, M., Iudin P. en *Diccionario filosófico*, Ediciones Universal, Argentina, **1973**.
3. Spasski, B.I. en *Historia de la Física* (en ruso), Universidad de Moscú, Moscú, **1963**.

4. Bower, B., *Science News* **1998**, 153, 215.
5. Valenzuela, J. en *Descubriendo MIDI*, Miller Freeman Books, San Francisco, **1995**.
6. Puckette, M. en *Theory and Techniques of Electronic Music*, Univ. of California, San Diego, **2003**.
7. Jeans, J. en *Science and Music*, Cambridge University Press, London, **1953**.
8. Wood, A. en *The Physics of music*, 6th ed., Methuen & Co., London, **1964**.
9. Askill, J. en *Physics of Musical Sound*, Van Nostrand, New York, **1979**.
10. Massman, H., Ferrer, R. en *Instrumentos Musicales*, Ediciones Dolmen, Santiago de Chile, **1997**.
11. Stolik, D. en *Física y Música*, Editora Citmatel, La Habana, **2005**.
12. Stolik, D. *Rev. Cub. Fis.* **2005**, 22, 164.
13. Stolik, D. *Revista 100cias@uned*, **2008**, 1, 83.
14. Magie, W.F. en *A Source Book in Physics*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, **1969**.
15. Sabine, W.C. en *Collected Papers on Acoustics*, Dover, **1964**.
16. Halliday, D., Resnick, R., Krane, K.S. en *Física*, 4ta ed. (versión Ampliada), Ed. Revolucionaria, **1992**.
17. Stevens, Warshofsky en *Sonido y Audición*, Time Inc., Mex. D.F., **1971**.
18. Bekesy, G. en *Experiments in Hearing*, McGraw-Hill, New York, **1960**.
19. Fletcher, N.H. *Rep.Prog. Phys.* **1999**, 62, 723.
20. M. Dörfler, What Time-Frequency Analysis Can Do to Music Signals (NuHAG, Institut für Mathematik, Univ. Wien, 2004).

21. J.M.Vuletich, Nuevas bases para el procesamiento de música en el dominio de tiempo-frecuencia. (Dto de Computación., Fac.de Ciencias Exactas y Nat. Univ. de Buenos Aires, 2005)

Dr. Gastón Fuentes Estévez

**Departamento de Biomateriales Cerámicos y Metálicos
Centro de Biomateriales (BIOMAT)
Universidad de La Habana
gastonfe@biomat.uh.cu**



Todavía no sé cómo comenzar a escribir algo coherente sobre este tema. Sentado en mi oficina, miro hacia mi derecha y como decimos todos, me parece que en algún momento entrará por la puerta con alguna de sus muchas ocurrencias.

Como se dice en su barrio, nacido, criado y vivido al inicio de Cádiz, donde dan las gradas y el banco de los visitantes del legendario Coloso del Cerro, obviamente industrialista hasta en el cielo azul, Adrián Alfonso Hernández (23 de junio de 1983 – 30 de noviembre de 2019) nos acaba de dejar, así simplemente, nos abandona en medio de un estupor, que solo se explica sin palabras.

Todavía recuerdo cuando llegó a nosotros como un joven técnico de solo 23 años. Entró por la puerta con su aspecto de joven despreocupado, con unos gustos raros (le iba a Holanda en el fútbol, le gustaba el rock en alemán, era un excelso bailarín de casino, un polideportista y un gran cocinero) y todos nos asustamos porque asumiría muchas responsabilidades en un laboratorio químico con unos cuantos investigadores y alumnos trabajando al mismo tiempo.

Desde aquellos primeros momentos se integró poco a poco, no fue ciertamente rápido, más bien lentamente, abrumador en carisma e inteligencia natural, no hubo temor, o pared, o dificultad que su voluntad y su carácter bonachón no venciera.

Tenía un don natural de gente, pues se contaba entre sus amigos personas de todos los estratos sociales: de su querido Cerro Cerrao, como le llamaba entre sus amigos, profesores y dirigentes universitarios, músicos, rockeros, lingüistas, deportistas, no importaba credo, raza u orientación sexual, en fin, un variopinto mosaico de personas que abarrotaron como si fuera el último concierto, el camposanto donde le dimos su último adiós.



Adrián jugando ajedrez, una de sus grandes pasiones

Allí estaban todos, incluso los estudiantes de diversas generaciones que pasaron por sus manos y contaron con su inestimable ayuda en el laboratorio para hacer sus tesis de graduación. También, casi en pleno además de sus familiares, la Asociación de Antiguos Atletas Caribes (AAAC), encargada del último homenaje: cubano, inesperado, hermoso, espontáneo, como era él. Recuerdo que todos teníamos nuestra forma particular de llamarlo: Moreno, Menor, Moñú, Rasta, Surikata, en fin, muchos apodos de cariño, casi todos unipersonales que le hacía establecer una muy especial relación con cada uno de sus colegas.

Empezó varias veces la Universidad y siempre por una causa u otra la dejaba. Sin embargo, cuando ya había vencido el pico de la energía de activación de la última oportunidad, cuando ya llegaba al 4^{to} año de su carrera Dios, Oloffí o Alá (los digo todos porque sé que tenía tantos amigos que posiblemente abarcaran todos los credos conocidos en este mundanal ruido) decide que la termine con ellos allí, en el azul color del cielo, del mar, como prefieren todos en la capital de sus queridos Industriales.

Y hacia allá partió, guapo, sin miedo, dispuesto como siempre a conquistar al más difícil de sus nuevos compañeros; que no sospechan ni tiene la más mínima idea de lo que se les avecina. No tienen noción de la persona que tendrán que enfrentar o compartir. Alguien que deja una estela que como cantara Alberto Cortez:

*Cuando un amigo se va
queda un espacio vacío
que no lo puede llenar
la llegada de otro amigo*

Seleccionado varias veces destacado del Centro, llegó a ser Premio del Rector en 2017. De hecho, por su destacado aporte figura como coautor de varios artículos y de varios premios de investigación de BIOMAT.

Si James Lipton lo hubiera entrevistado en el Actor's Studio de la Universidad de Pace y le hubiera hecho la última pregunta del famoso cuestionario de Bernard Pivot: *Si el Cielo existiera y te encontraras a Dios en la puerta ¿Qué te gustaría que Dios te dijera al llegar?*

Los que lo conocimos, sus familiares, amigos, vecinos, todos esperaríamos que, con una media sonrisa, le hubiese respondido al Creador: *Nada*, y socarronamente hubiera volteado su mirada de niño crecido y habría dicho: *Voy bajando, los espero, demórense, pero lleguen. Vamos a poner bueno esto, aquí arriba, jejeje*

Así como si fuéramos a vernos dentro de un ratico, como si nunca se hubiera ido, como si la puerta se abriera y por fin entrara de nuevo con esa media sonrisa socarrona, a conquistarnos reiteradamente, como hacía cada día.



Único en cuclillas, a la izquierda en una foto de BIOMAT, con pullover negro del grupo de rock Sex Pistols durante una de las actividades del centro por su XXVII Aniversario

Estudiantes universitarios participan en el IV Congreso Estudiantil de Investigación en Ciencia y Tecnología (CEICYT RD-2019)

Noticias

Prof. DrC. Zalua Rodríguez Riera

J' Departamento Radioquímica

InSTEC-UH

zalua@instec.cu



El IV Congreso Estudiantil de Investigación en Ciencia y Tecnología (CEICYT RD-2019) se celebró en la República Dominicana, durante los días 17, 18 y 19 de septiembre del 2019, auspiciado por el Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología (MESCYT).

En el evento participaron estudiantes de 26 universidades dominicanas y por primera vez, estudiantes de otros países representados por Cuba, EU, Puerto Rico y Panamá. Los campos disciplinarios de investigación de los trabajos, presentados fueron: Ciencias Básicas, Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Ingenierías y Tecnologías y Ciencias de la Salud.

Las palabras de bienvenida estuvieron a cargo del Dr. Franklin Holguín Hache Rector de la Universidad APEC (UNAPEC), sede del evento. La Ministra de Educación Superior, Ciencia y Tecnología Dra. Alejandrina Germán ofreció las palabras centrales, quien, ante un nutrido auditorio, resaltó los resultados alcanzados por la República Dominicana en materia de investigación y la necesidad de continuar trabajando en la motivación de los jóvenes para que estos hagan ciencia e innoven y se inserten en la sociedad del conocimiento. Igualmente, agradeció la presencia de los estudiantes de los otros países asistentes y resaltó la calidad de los trabajos presentados. Por su parte, el Dr. Plácido F. Gómez Ramírez, Viceministro de Ciencia y Tecnología del MESCYT, ofreció una charla sobre la

necesidad de promover la investigación para que los resultados de ciencia y la técnica se conviertan en un pilar fundamental del desarrollo del país.

Este evento tuvo por objetivo contribuir a la promoción de la cultura de investigación e innovación en diferentes sectores de la República Dominicana, y muy especialmente en los jóvenes.

Como parte de la delegación cubana fueron invitados a participar los estudiantes, Marcos Rafael Conde González de 5to año de la Facultad de Química y Fernando Gabriel Martín Fernández de 3er año de la carrera de Bioquímica de la Facultad de Biología, quienes fueron los ganadores del 1ero y 2do lugar del examen de Química de la VII Olimpiada Nacional Universitaria de Química, Bioquímica e Ingeniería Química, celebrada en diciembre del 2018. Junto con ellos también asistió la profesora Zalua Rodríguez Riera, miembro de la Junta Directiva de la Sociedad Cubana de Química y organizadora de la Olimpiada estudiantil. Los gastos de estancia y pasaje de estos dos estudiantes y la profesora, fueron cubiertos por la Sociedad Cubana de Química y el MESCYT.

En el evento todos los estudiantes participantes de las distintas universidades de la República Dominicana y de los países invitados, tuvieron la oportunidad de hacer presentaciones sobre sus proyectos de investigación. El estudiante

Marcos Rafael Conde González presentó los resultados de la investigación relacionada con el tema “Síntesis multicomponente, caracterización y análisis in sílico de potenciales inhibidores del receptor LASR de *Pseudomona aeruginosa*”, mientras que el estudiante Fernando Gabriel Martín Fernández presentó el trabajo “Clonación y expresión del dominio catalítico de BirA del *Escherichia coli*”. Por su parte, la profesora Zalua Rodríguez impartió la conferencia “La Radioquímica como campo profesional y de investigación” a solicitud de la comisión organizadora del evento.

El evento tuvo carácter competitivo donde un equipo de evaluadores examinó los trabajos, dentro de las diferentes áreas de investigación. De todos los trabajos presentados por los

miembros de los países invitados, tuvimos el honor de que un estudiante cubano, Marcos Rafael Conde González, recibiera el primer premio, mientras que a uno de los estudiantes de Panamá le fue otorgado el segundo lugar.

La posibilidad de poder participar en un evento estudiantil de carácter internacional y competitivo brindó la oportunidad a nuestros estudiantes no solamente de dar a conocer sus proyectos de investigación, sino de demostrar la preparación y la excelente calidad expositiva de los resultados científicos, que adquieren durante su formación académica de pregrado en nuestras universidades, así como la posibilidad del intercambio científico con estudiantes de otros países con resultados de investigación destacados.



Miembros de la delegación cubana participante en el evento



Miembros de la delegación cubana junto al Dr. Plácido Gómez Ramírez, Viceministro de Ciencia y Tecnología del MESCYT

Lic. Ibrahim García Cachón

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC)
Universidad de La Habana
ibrahim.garcia@instec.cu



El amor y la cascada de sensaciones, afecciones y pasiones que evoca en el ser humano es algo que tanto los poetas como los grandes pensadores hablan cotidianamente, y es que todos en algún momento nos hemos sumergido en universos literarios que nos avivan ese sentimiento, muchas veces dando más misterio que certeza a una persona. Pero, ¿qué ocurre en nuestro cuerpo cuando nos enamoramos? ¿Por qué no llegamos a controlar nuestras emociones?

Nuestro cerebro sufre transformaciones que modifican nuestra conducta, provocando un accionar muy distinto al habitual, y todo desencadenado por una persona. Adentrémonos un poco más en la química del amor.

La trinidad de los enamorados.

¿Quién no tiene un modelo físico de persona que cumple nuestras expectativas de pareja? Esa construcción nos permite discernir entre la marea de personas que nos rodean y buscar, por selección natural, un compañero de viaje en esta vida. ¿Cuántos no lo hemos encontrado, pero algo falla? Las conversaciones no son fluidas, no hay sintonía, no hay “química”, y llamarlo así no es un error. Cada emoción está relacionada con un neurotransmisor en específico, un componente químico liberado por nuestro cerebro en base a ciertos estímulos. **La**

dopamina es el compuesto biológico que “aviva” nuestro corazón e ilusiones. Está relacionada con el placer y la euforia. La dopamina, a su vez, cumple el papel de hormona y se asocia potentemente a las zonas de recompensa en nuestro cerebro. Hay personas cuya mera presencia nos induce bienestar emocional, un placer innegable, y una atracción muchas veces irracional, todo producto de la dopamina, la cual nos lleva a focalizar nuestro “mundo” sobre alguien en específico. Después de uno a tres años, los niveles de producción de dopamina caen en picado, llevando a la pareja pasar de un estado de gusto físico a una atracción intelectual. Los enamorados pasan a ver al amado más que alguien que solo atrae solo física, sexual y sensualmente; se pasa del decir *te deseo* a pronunciar *te quiero*. La segunda persona de esta trinidad es **la norepinefrina**. Cuando una persona nos gusta, esta provoca un rosario de emociones placenteras y hasta a veces contradictorias, que muchas veces se reflejan en componentes fisiológicos. Nos sudan las manos, perdemos el apetito, se reducen las horas de sueño, pensamos con poca claridad. Algunos han usado la frase “estoy loco de amor”, y no es descabellado usarla, solo que estamos bajo la influencia de la norepinefrina, la cual, estimula la producción de adrenalina; razón por la que nuestro corazón se acelera y aparecen las reacciones fisiológicas antes mencionadas. La adrenalina producida,

también activa nuestras neuronas noradrenérgicas, un sistema de no más de 1500 componentes neuronales, que por suerte no son muchas, ya que cuando se activan, desbocan un caudal de alegría, euforia, nerviosismo desmedido, hasta llegar a inhibir la sensación de apetencia o necesidad de sueño (fácilmente confundido con una locura).

Como último integrante de la triada, tenemos a un compuesto de la familia de las anfetaminas, **la feniletilamina**. Esta sustancia se encuentra presente en uno de los alimentos y sabores más consumidos a nivel mundial, el chocolate, aunque se encuentra en mayor concentración en el queso y otros lácteos. La feniletilamina juega un papel intensificador en nuestras emociones. Es la azúcar del café o el barniz en un lienzo, todo lo vuelve más intenso. Magnifica la acción de la dopamina y serotonina, induciendo emociones y sensaciones de mayor felicidad y motivación.

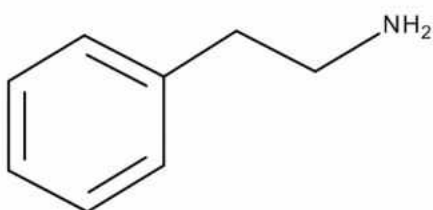


Figura 1. Feniletilamina

Tal mezcla de sustancias hace que los enamorados permanezcan horas conversando o teniendo relaciones sexuales, sin cansancio, siempre estén excitados y la capacidad de juzgar a la otra persona se reduzca a cero.

La “pareja” perfecta

Todos los neurotransmisores que hemos hablado hasta ahora (dopamina, norepinefina, feniletilamina) son pequeños chispazos de incuestionable influencia en nuestro proceso de enamorarnos. A medida que la magia

continúa, aparecen los responsables de afianzar el vínculo emocional.

La oxitocina es el Caps Lock del amor. La presencia de grandes concentraciones de esta sustancia (aunque antes se producía junto con la triada mencionada, solo que leves concentraciones), elimina la palabra enamoramiento del sistema y se convierte en la llave hacia un nivel de enraizamiento con la otra persona. Esta hormona es la que nos lleva a cuidar, proporcionar cariño, caricias y querer formar un vínculo o lazo más duradero. Es conocido que la oxitocina es la hormona que fortalece el vínculo materno, o la causante del beneplácito al concluir un coito, la cual llega a alcanzar un nivel 400% superior al normal. Mientras más besamos, acariciamos y abrazamos al amado, más oxitocina es liberada por nuestro cerebro.

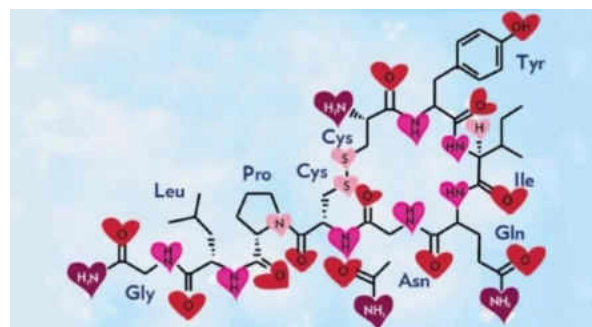


Figura 2. Estructura de la oxitocina.

Como complemento de la oxitocina tenemos a **la serotonina**. Esta sustancia se resume en una sola palabra: felicidad. La serotonina proporciona sensación de bienestar, buen humor, optimismo y sociabilidad. Este neurotransmisor nos adentra en una etapa que nos concientiza sobre el vínculo existente entre una persona en concreto y el sentimiento de una felicidad intensa. También está implicada en las reacciones de inhibición de la ira y la agresión.

El lado oscuro de la serotonina

A pesar de que la serotonina es considerada la hormona del placer, sus niveles en el

organismo afectan nuestro sentido del humor, pasando desde niveles de euforia hasta llegar a la depresión. Mientras nos enamoramos, la segregación de esta sustancia provoca la formación de nuevos centros neuroreceptores para procesar la serotonina. Si comenzamos a notar que nuestra pareja se distancia, la relación se enfría o que dicha relación no trasciende del plano sexual, los niveles de serotonina caen en picado, acercándonos a un estado de indefensa, angustia, depresión y opresión (síntoma del desamor). Las experiencias y pensamientos positivos constantes logran aumentar el nivel de serotonina, mientras que el organismo bloquea los neuroreceptores de esta hormona que no se han usado recientemente, logrando así un equilibrio entre los niveles de serotonina con sus receptores. Los fármacos antidepresivos buscan aumentar la producción de serotonina en el organismo, es por eso que el Prozac (antidepresivo más famoso) se conoce como la droga de la felicidad. Un gran estado depresivo provoca un bucle de pensamientos negativos y enfado, acompañado por un gran negativismo, que no solo induce la disminución los niveles de serotonina, sino que pueden llegar, inconscientemente, a inhibir la producción de la misma.

Las co-protagonistas

De manera tradicional, la oxitocina es llamada la “hormona del amor” ya que es la que mayoritariamente se encarga de esta sensación, pero esto ser demasiados simplistas. Existen otras hormonas que participan en lo que sería “un amor de película”.

Empecemos por la hormona que caracteriza a los hombres, aunque también se encuentra en las mujeres, **la testosterona**. Los niveles de testosterona están relacionados con el deseo sexual, y su inhibición desencadena una

disminución del apetito sexual. Llegado al orgasmo, nuestro cuerpo recibe un chute de testosterona. Esta testosterona al mezclarse con la oxitocina, en nuestro cerebro, provoca en el hombre una necesidad imperiosa de dormir.

Los estrógenos se encargan de caracteres sexuales secundarios y su rol no está muy determinado en el mecanismo del amor. Hasta el momento, se conoce que los estrógenos mezclados con la oxitocina, en el cerebro femenino, hacen que la mujer se siente más cariñosa y conversadora. Es conocido que los estrógenos proporcionan seguridad y competitividad.

Las endorfinas son opoides que se libera simplemente con el acto visual de contemplar a la persona amada, con una caricia, sensación agradable y por supuesto durante el acto sexual. Como se dice, si hay “gustito”, hay endorfinas.

La prolactina se encarga de la inhibición sexual en los hombres, sobre todo en el periodo refractario sexual (periodo de tiempo desde un orgasmo hasta que se vuelva a sentir excitación), participando en el momento de absentismo en los machos.

La adrenalina o **epinefrina** provoca aumento del ritmo cardiaco, presión sanguínea, frecuencia respiratoria y dilatación de las pupilas, clásicos síntomas de la excitación sexual. Además de un aumento significativo de las principales zonas erógenas, los órganos sexuales y los senos.

La vasopresina permite la creación de lazos entre los individuos, y dan la sensación de seguridad, lo que transforma al enamoramiento en amor estable. Esta hormona actúa en los sistemas dopaminérgicos de placer y recompensa; es decir, influye en el comportamiento monógamo con el paso del tiempo, y si se logra una verdadera

compatibilidad en la pareja, los niveles de vasopresina (junto con los de oxitocina), se mantendrán constantes.

El demonio del desamor

Cuando llega la etapa de ruptura con la pareja, el cerebro sigue encendiendo las mismas zonas correspondientes a la etapa de enamoramiento, generando apego con la persona, a la par de ansiedad y malestar. Es válido destacar que también se activan las zonas correspondientes al dolor físico, por lo tanto, el desamor puede llegar a doler literalmente. Tristemente, el dolor emocional reflejado en un dolor físico, puede llegar a desarrollar en el desolado, una enfermedad miocardiopática no isquémica, donde ocurre un repentido debilitamiento del miocardio, conocido como síndrome del corazón roto.

Los sistemas de recompensa del cerebro durante el desamor aún esperan la interacción con los neurotransmisores correspondientes, pero al no recibir la respuesta adecuada, reaccionan aumentando la necesidad de esos neurotransmisores. Cuando escribimos un mensaje agónico o de despecho a nuestros ex, en realidad estamos respondiendo al desequilibrio químico en nuestro cerebro.

El desamor tiene una **primera fase** de incredulidad, protesta y refuerzo del apego, produciendo en el cerebro una reacción similar como si se estuviese ante una situación de amenaza, debilitándose el sistema inmune y subiendo los niveles de cortisol (relacionada con el estrés). Durante esta etapa aparece la furia e irritación, que puede desencadenar en comportamientos violentos y en casos extremistas, conductas suicidas y homicidas.

Al liberarse el cortisol, disminuyen los niveles de serotonina, respondiendo nuestro cerebro con un incremento de oxitocina y

dopamina, y con ello la sensación de enamoramiento.

Afortunadamente, en la **segunda fase** llega la sensación de calma, al superar una mezcla inicial en esta fase de resignación, desesperanza y desequilibrio. En los casos más graves, para llegar a la calma se requiere el uso de antidepresivos.

Mientras el mejor medicamento para el desamor actúa en la persona doliente, el tiempo, se llega a la **última fase**, de reorganización, en la que paulatinamente el cerebro regresa a la normalidad. Para alcanzar esta etapa, es necesario un cambio de rutina, ya que no solamente se extraña a una persona sino lo que se hacía junto a ella.

El enamoramiento tiene un fin y una función biológica bien establecida, una reproducción monógama. Sin embargo, años de evolución han permitido al cerebro crear un mecanismo de protección en caso de que las cosas salgan mal. Cuando se sufre de desamor, el cerebro automáticamente comienza con un proceso de “desintoxicación”, reconduciendo el comportamiento y equilibrando las emociones. Mientras se duele por la persona amada, el órgano sexual más importante, el cerebro, comienza a romper los lazos o vínculos neuronales para lograr, en un futuro, formar otros nuevos.

Diferentes escáneres cerebrales realizados a personas durante la fase del desamor, encontraron que existe una actividad especial en zonas del córtex prefrontal, la región del cerebro involucrada en la expresión de la personalidad, en los procesos de toma de decisiones y en la planificación de comportamientos cognitivamente complejos.

Apuntes finales

Para superar un amor se recomienda, a grandes rasgos, separarse de la persona amada, evitar lugares y actividades que

alimenten el sentimiento de pesadumbre, distraerse al iniciar nuevas actividades, aunque, al principio, no haya ganas.

La etapa de enamorarse es simplemente una serie de reacciones químicas producidas en diferentes regiones del cortex cerebral, que nos hacen tener una perspectiva idílica de una persona. En cambio, el amor tiene que ver con creencias y valores, siendo la etapa cumbre del enamoramiento; elevando el alma humana hacia un estado plenitud y sentido existencial, aunque no se sienta intenso, como el primer día con nuestra pareja. El amor es el sistema operativo que ha mantenido a los humanos vivos durante millones de años.

Albert Einstein decía que hablar del amor en bajo los términos estrictos de la química del amor es restarle magia al asunto. A pesar de

que vivimos y sobrevivimos a causa de reacción químicas (donde se encuentran las sustancias mencionadas), no podemos limitar nuestra mera existencia hacia procesos aleatorios fruto de estímulos exteriores, somos mucho más que eso. En las palabras del psicólogo y médico suizo Carl Gustav Jung:

“El encuentro de dos personalidades es como el contacto de dos sustancias químicas: si hay alguna reacción, ambas se transforman”.

REFERENCIAS

H. Fisher, *Why We Love: The Nature and Chemistry of Romantic Love*. 2004.

R. Cao. *La química del amor y el buen sexo*.

Descifrando el misterio que guardan nuestros oídos

Curiosidades

Yadiel Vázquez Mena

Departamento de Química General e Inorgánica

Centro de Estudios de Productos Naturales

Universidad de La Habana

yadiel.vazquez@fq.uh.cu



La capacidad que tenemos para percibir un concierto de Vivaldi, el más leve susurro o un trueno en medio de la tormenta depende de la peculiar anatomía de nuestros oídos. Sin embargo, todavía actualmente se premian a los que dedican sus esfuerzos para develar cómo sucede el complejo proceso de la audición.

Hasta mediados del siglo pasado los conocimientos sobre el proceso de audición humana se limitaban a la siguiente secuencia de acciones. Primeramente, las ondas sonoras atraviesan el canal del oído externo y hacen que vibre el tímpano. Los movimientos del tímpano se transmiten mediante los huesos del oído medio hasta la cóclea del oído interno. Las ondas de presión del sonido pasan a través de las cámaras dentro de esta espiral de

caracol, que están llenas de un fluido, y desencadenan impulsos eléctricos que alcanzan el cerebro vía el nervio auditivo. Sin embargo, se desconocía cuáles eran los verdaderos sensores del sonido.

El reconocido neurocientífico James Hudspeth plantea esta incógnita a *Scientific American* con las siguientes palabras: “La electricidad es la moneda que tiene en común todo el sistema nervioso. Pero sucede que la moneda del mundo sensorial externo es muy diferente. Tenemos fotones: eso es la visión; tenemos presión: ése es el tacto. Tenemos moléculas: ése es el gusto o el olor. Finalmente, tenemos vibraciones en el aire: ésa es la esencia del sonido. Cada uno de esos distintos tipos de estímulo físico debe de alguna manera

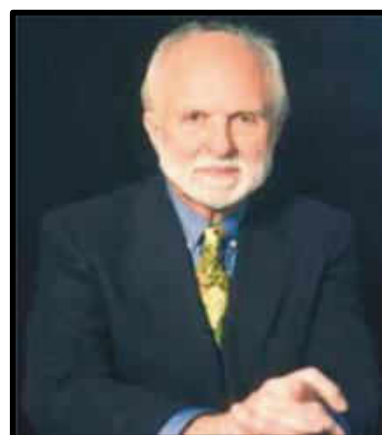
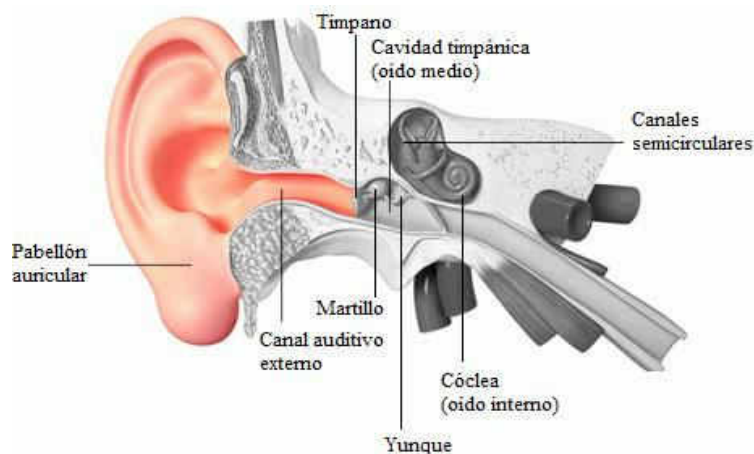


Figura 1. Esquema de la anatomía del oído (izq) y neurocientífico James Hudspeth (der)

convertirse en las señales eléctricas que el cerebro puede interpretar.”

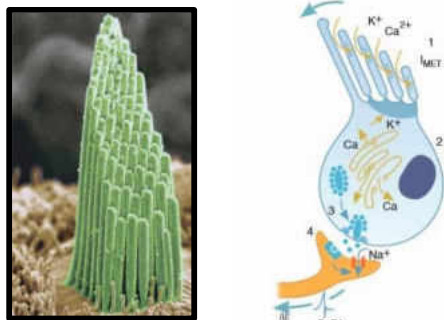


Figura 2 Microscopia electrónica de barrido de las células ciliadas, en verde los penachos (izq) y el mecanismo de activación de dichas células (der)

El mencionado investigador, así como otros científicos le han dedicado décadas para esclarecer dicha problemática. Finalmente, Hudspeth fue galardonado junto Christine Petit y Robert Fettiplace con el premio Kavli en Neurociencia del 2019. Estos científicos de forma independiente identificaron y demostraron que un grupo de células que terminaban en penachos formados por estructuras semejantes a pequeñísimos vellos, denominadas células ciliadas, son los verdaderos sensores del sonido.

El penacho de las células ciliadas está compuesto por entre 20 y 300 orgánulos cilíndricos delgados de diferente tamaño terminando en una punta. Entre estos microtúbulos y la base se encuentran distintos canales de sodio y potasio, que se cierran o abren cuando las ondas de sonidos mueven mecánicamente los penachos.

Las células ciliadas generan patrones característicos de cada tono (o frecuencia): los

microtúbulos con el extremo más cercano a la base responden a las altas frecuencias y se producen la apertura de canales de iones que generan impulsos eléctricos específicos y que son transmitidos primero al nervio acústico y posteriormente al nervio auditivo. Por otra parte, los microtúbulos de mayor tamaño (más flexibles) son sensibles a ondas de baja frecuencia, lo cual desencadena un proceso homólogo al anterior, pero con acción sobre canales iones diferentes que conducen un impulso eléctrico con la información de estos sonidos en particular.

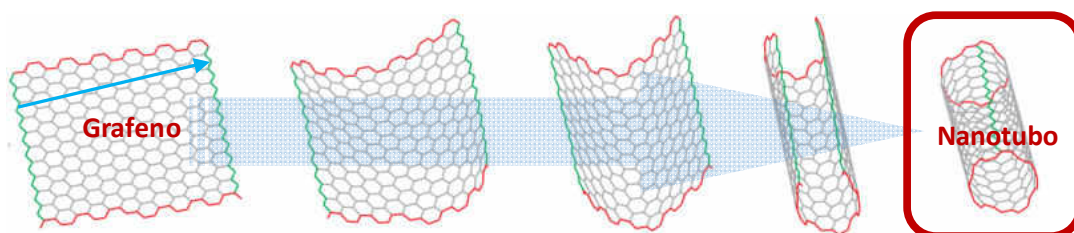
El descubrimiento de las células ciliadas no solo constituye una muestra de que en el mundo natural están presentes increíbles soluciones de “ingeniería” a los más complejos desafíos; como se ha demostrado que su existencia es imprescindible para la audición, también son la clave para lograr la prevención de algunos tipos de sordera. Además, estas células no pueden regenerarse por lo que es de extrema importancia evitar la pérdida de estos peculiares penachos. El ruido excesivo, algunas drogas o enfermedades constituyen una amenaza para estas estructuras micrométricas por lo que se recomienda minimizar la contaminación por ruido y la automedicación.

BIBLIOGRAFÍA

Mitchell, Brian; Jacobs R, Li J, Chien S, Kintner C *Nature* **2007** 447 (7140): 97–101

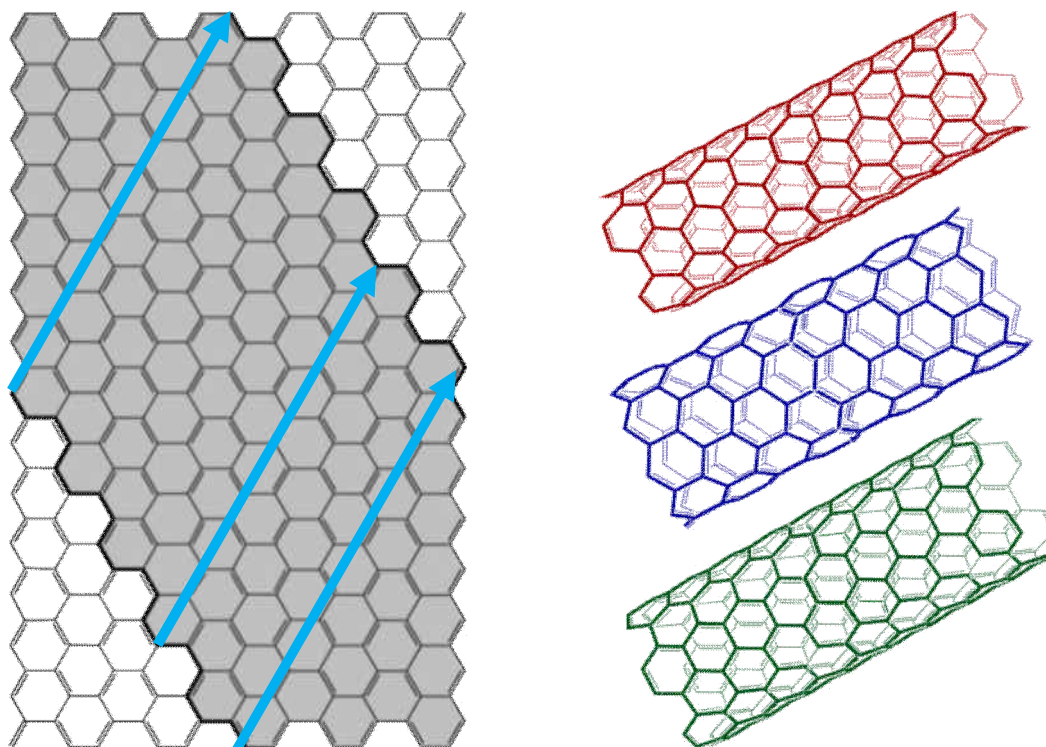
Yadiel Vázquez Mena

Departamento de Química General e Inorgánica
Centro de Estudios de Productos Naturales
Universidad de La Habana
yadiel.vazquez@fq.uh.cu



En la figura anterior se observa como a partir del enrollamiento teórico de una lámina de grafeno se puede formar un nanotubo de carbono. El nanotubo que se obtiene a partir de la sección de grafeno resaltada en gris después de superponer los vértices de cada uno de los extremos de las flechas azules es:

- El azul
- El rojo
- El verde
- Ninguno de los anteriores



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 de la ACS.

Con relación a las referencias bibliográficas, en el texto, los números deben aparecer como superíndices (por ejemplo, **García**¹) y, si procede, después de las marcas de puntuación (por ejemplo, **Soto**.²). 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.

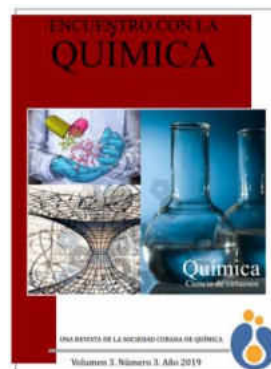
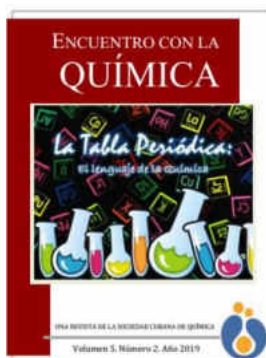
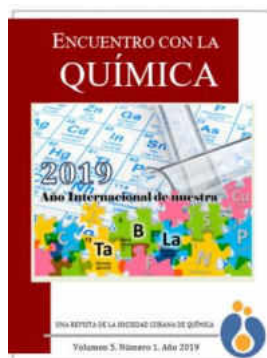
2- V. Polshettiwar, R. S. Varma, *Chem. Soc. Rev.* **2008**, 37, 1546–1557.

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 encuentro.scq@gmail.com con la indicación de en cual sesión desea ser publicado. Después de revisado, se le informará la aceptación al autor principal.



Respuesta del entretenimiento: El nanotubo rojo