

# ENCUENTRO CON LA QUÍMICA

Una Química nueva



UNA REVISTA DE LA SOCIEDAD CUBANA DE QUIMICA

Volumen 6. Número 3. Año 2020



**Encuentro con la Química**  
**Volumen 6 - Número 3**  
**Septiembre - Diciembre 2020**

**Portada**

Cortesía de la FEU de la  
 Facultad de Química, UH

**Grupo Editorial**

**Editora:**  
 Dra. Loreley Morejón Alonso  
[lmorej@fq.uh.cu](mailto:lmorej@fq.uh.cu)



**Composición y producción:**  
 Lic. Kenneth Fowler Berenguer  
[kenneth.fowler@biomat.uh.cu](mailto:kenneth.fowler@biomat.uh.cu)



**Colaboradora:**  
 Dra. Rebeca Vega Miche  
[vega@fq.uh.cu](mailto:vega@fq.uh.cu)

<b>Editorial</b> .....	1
<b>Especial</b>	
<i>Palabras de Eusebio para quienes pretenden enseñar</i> Rubén A. Parra Cabrera .....	3
<b>Investigación Química</b>	
<i>Hablemos de la enfermedad de Alzheimer</i> Gabriel R. Guerrero Porras .....	10
<i>Impresión de órganos: ¿Realidad o Ciencia Ficción?</i> Loreley Morejón Alonso .....	15
<i>Fuentes alternativas de energía en síntesis química: microondas y ultrasonido</i> Armando Ferrer Serrano y Juan A. Revilla Fuentes .....	20
<i>Aplicación del análisis de procesos en la evaluación de plantas industriales</i> Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas .....	25
<i>Breve Historia de los Aceites Esenciales</i> Jorge A. Pino Alea .....	31
<b>Enseñanza de la Química</b>	
<i>Situaciones problemáticas experimentales para estudiantes de la carrera Licenciatura en Educación Química</i> Alina Fernández Salazar, Maximiliano Pérez Barrera y Turmin Pérez Lambert .....	38
<i>Influencia de la formación ético-profesional en el estudiante de la carrera Licenciatura en Educación Química</i> Turmin Pérez Lambert, Alina Fernández Salazar y Franklin Pablo Madrid Estrada .....	42
<b>Química y Sociedad</b>	
<i>El almacenamiento de sustancias químicas. Etapa de alto nivel de riesgos</i> Mercedes Fernández García .....	48
<i>Química, Ingeniería y Desarrollo</i> Elena Izquierdo Kulich y Edgardo Jonathan Suárez Domínguez .....	54
<b>Historia de la Química</b>	
<i>Los aportes de Vladimir V. Markovnikov a la Química Orgánica</i> Margarita Suárez Navarro .....	58
<i>50 Aniversario del Laboratorio de Fisiología Vegetal</i> Eduardo Ortega Delgado y Rosa Rodés García .....	61
<b>Curiosidades</b>	
<i>La Química de los fuegos artificiales</i> Margarita Suárez Navarro .....	67
<i>La Química y la vida diaria: 10 hechos curiosos</i> Loreley Morejón Alonso .....	72
<b>Normas de Publicación de la revista <i>Encuentro con la Química</i></b> .....	76

# Editorial



Concluimos el año 2020 con la alarmante cifra de 72 millones y medio de personas infestadas por el SARS-CoV-2 y más de 1 600 000 mil fallecidos. Nuestro país, al igual que muchos otros países, avanza en la búsqueda infatigable de una vacuna eficaz contra la COVID-19 y al finalizar el año nos enorgullece ser el único país subdesarrollado y de Latinoamérica con cuatro candidatos vacunales en ensayos clínicos que muestran resultados promisorios y que nos llenan de esperanza hacia un futuro libre de dicha enfermedad.

Comenzamos el último número del año con un homenaje al Dr. Eusebio Leal Spengler<sup>1</sup> quien, a pesar de no tener vínculos con la Química, siempre ha sido un excelente educador y ejemplo para las nuevas generaciones, como lo demuestra en el discurso inédito que les presentamos a raíz de la clausura del *Festival de la Clase Félix Varela Morales* (UH-2019).

En la sección de Investigación Química los invitamos a conocer sobre la enfermedad de Alzheimer, la impresión de órganos, algunas fuentes alternativas de energía en síntesis química, la aplicación del análisis de procesos en la evaluación de plantas industriales y la historia de los aceites esenciales y el estudio de los mismos en

nuestro país.

Desde la Universidad de Oriente nos llegan las experiencias pedagógicas de un grupo de profesionales en la formación de estudiantes de Licenciatura en Educación Química; mientras que, a raíz del accidente ocurrido en Beirut, la revista les propone un artículo sobre los riesgos que conlleva el almacenamiento de sustancias químicas.

En la sección Química y Sociedad compartimos la visión de dos profesionales sobre la relación entre la química computacional, la química experimental, la ingeniería química y la industria biotecnológica en el contexto mundial.

Desde la Historia de la Química nos llegan los aportes de Vladimir V. Markovnikov a la Química Orgánica y los logros de 50 años de trabajo ininterrumpido del Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Facultad de Biología de la Universidad de La Habana donde Química y Biología se dan la mano. Compartimos además en la sección *Curiosidades* la química que se esconde detrás de los fuegos artificiales y algunos hechos curiosos relacionados con esta ciencia y la vida diaria.

Nuestra revista no quiere despedir el 2020 sin un reconocimiento a los educadores de todo el país que celebran su día el próximo 22 de diciem-

*del Programa de Restauración del Patrimonio de la Humanidad.*

<sup>1</sup> Dr. Eusebio Leal Spengler (1942-2020) *Doctor en Ciencias Históricas y Maestro en Ciencias Arqueológicas, Historiador de la Ciudad y Director*

bre. En especial a aquellos vinculados a la enseñanza de la Química, la Biología, la Bioquímica, las ciencias Farmacéuticas, la Microbiología, la Radioquímica, la Licenciatura en Pedagogía, y la Ingeniería Química. Igualmente queremos hacer llegar un agradecimiento especial, sin distinción, a todos los profesionales y personal vinculados a las tareas que se llevan a cabo en el país para enfrentar la COVID-19.

Les recordamos a todos nuestros lectores y colaboradores que la revista se nutre de las experiencias y contribuciones de todos aquellos que

nos ayudan a conocer cada día un poco más de esta ciencia maravillosa llamada Química.

La lucha contra el SARS-CoV-2 aún continúa; no bajemos la guardia y cumplamos con todas las medidas necesarias para evitar la propagación de la enfermedad. Pongamos nuestros conocimientos al servicio de la humanidad, adelante **SOBERANA 01** y **SOBERANA 02**, **MAMBISA** y **ABDALA**.

**Dra Loreley Morejón Alonso, Editora**

**Rubén A. Parra Cabrera**

**Estudiante de cuarto año**

**Facultad de Química**

**Universidad de La Habana**

[ruben\\_parra@estudiantes.fq.uh.cu](mailto:ruben_parra@estudiantes.fq.uh.cu)



**A**l saber de la lamentable noticia una tristeza intrigante me invadió. De inmediato vino a mi mente la grabación de audio que, sin motivo claro para mí mismo, hice en la única ocasión que disfruté su presencia. Fue en la clausura del Festival de la Clase Félix Varela Morales del año 2019, cuando el Dr. Eusebio Leal Spengler se dirigió a los participantes en un salón del Edificio Varona. Recuerdo que sólo tuve tiempo de comenzar a grabar el sonido en el teléfono. Los próximos veintiséis minutos mi atención fue capturada por la mejor oratoria que haya presenciado jamás. Era una conjunción muy poco usual: un tono de voz imperante y sereno a la vez, una cadencia incapaz de aburrir, un verbo tan elocuente cuanto más avanzada la charla y una mente capaz de hilvanar las ideas en una forma que bien pudiera considerarse artística. Al escuchar la grabación me sobrecoge de nuevo la tristeza.

Según explica Eusebio, al dirigirnos a un público, debemos transmitir el alma de las cosas para que la palabra no quede hueca y seamos poseedores del carisma. Ese día, sus palabras propagaron el fuego griego del carisma sobre nuestras cabezas en una suerte de revelación o consejo. Quizás la grabación sea mi “paleta de Víctor”,

tesoro valioso remanente de un encuentro con una gran figura de mi tiempo. Dice Eusebio que lo más importante es el espíritu porque la palabra siempre muere. A continuación, la transcripción de su intervención con la exactitud sólo limitada por la calidad de la grabación. Ojalá desafíemos al maestro y su palabra pueda seguir viva y vibrante. Ojalá volver escucharlo y quedarnos con su alma.

**Intervención del Dr. Eusebio Leal Spengler en la clausura del Festival de la Clase Félix Varela Morales de la Universidad de La Habana en enero 17 de 2019. (Transcripción realizada a partir de una grabación de audio)**

*Alguien decía que cuando se tiene comida y se comparte comida, queda menos comida, que cuando se tiene dinero y se comparte dinero queda menos dinero; pero cuando se tiene conocimiento y se comparte, se multiplica. Y esa es una verdad, se multiplica el conocimiento, cuando se comparte. Para poder dar algo, se necesita llenar continuamente ese vacío interior que solo el conocimiento, la meditación y la reflexión nos permiten poseer para compartir con los demás. Hay que estudiar mucho.*

*Quizás el más grande y desafiante tema de la*



*cultura general es precisamente la necesidad de su perenne renovación; tanto en las ciencias, como las letras, como en todas las artes, a partir de principios esenciales que, yo diría, son inmutables...son inmutables. Así como el filósofo planteaba: “pienso, luego existo”, a partir de esa conclusión que podríamos llamar elemental, estamos en pos de lo que los antiguos llamaban la piedra filosofal: tratar de encontrar algo que nos permita interpretar, entender el tema que se trata... lo cual siempre es difícil cuando se pasa de lo puramente especulativo a lo que tiene que ver con hechos reales.*

*Por ejemplo, en las ciencias sociales, que es donde nos desempeñamos, concretamente en la Historia, hay un gran problema. Hay varias fuentes que enriquecen el conocimiento. Lo primero, decían los clásicos, son los documentos...pero no siempre dicen la verdad. Sin embargo, los documentos son indispensables, sobre todo aquellos que son, por su exactitud, una fuente de información. Pongamos un ejemplo, los archivos de la universidad. Si nosotros queremos conocer la historia de los que aquí se formaron, el archivo nos va a ofrecer datos exactos. Ahí están las calificaciones asentadas, ahí están los exámenes, ahí están las evaluaciones, ahí está el carácter de los alumnos y, si encontramos también en el archivo dónde están las tesis tanto de licenciatura como doctorales, aquellos trabajos de grado que hicieron por una u otra circunstancia; vamos a tener una información exacta cuando nos dirigimos a estos. Cuando se trata de un tema más especulativo, cómo pensaba este o aquel o cómo ocurrió tal o más cuál acontecimiento, habría que guiarse por lo que los historiadores clásicos franceses del siglo XIX consideraban lo fundamental, que era la preservación de las fuentes. Preservar la fuente y enfrentar los destinos para lograr llegar*

*a una conclusión... esto es importantísimo.*

*Dirigirse a un público tiene varias cuestiones fundamentales, y es que una clase o un discurso académico tiene, refiriéndonos solo a esto y no a otros ámbitos, se tiene un tiempo para exponer, un tiempo para volar hasta donde llegue el techo de nuestra capacidad y después, descender hacia ustedes y presentarles conclusiones o presentarles resultados de los que puedan decir, esto es lo que debo conservar como memoria de lo que, a palabra viva, recibí.*

*Hoy tenemos la gran ventaja de que existen elementos nuevos en la informática, la comunicación, lo que llamamos las redes sociales. Hay algunas personas que, no es que resistan a ello, sino que han quedado como en manos de ello. En este caso prefieren el auxilio de otros que le traen inmediatamente las informaciones y los elementos que le permiten formar un juicio. Cuando a mí me lo ponen todos los días sobre la mesa, trato de que me den la mayor cantidad de información posible, porque la clave de todo es estar informado (...).*



*Dr. Eusebio Leal Spengler, dirigiéndose a los participantes en el Festival de la Casa Félix Varela Morales en 2019. (tomada del sitio web oficial de la UH)*

*Hay otra fuente digamos, además de la documental, que es la tradición oral. En lo personal, pasé mucho tiempo escuchando a personas de otras generaciones que habían tenido grandes experiencias en la cultura, en la investigación y obtuve testimonios... reveladores e importantísimos. Uno de ellos, un gran profesor, un gran hombre de letras y de la investigación histórica, me dijo estas palabras desconcertantes: - ¿Usted quiere saber la verdad de lo que me pregunta? Se la voy a decir. La verdad fue... Pero si usted dice que yo se lo dije, ante notario voy a decir que no es verdad-. Él tenía sus razones para mantenerme velado el tema, pero su conclusión fue para mí muy importante. Me había revelado una clave, pero me había dicho, “usted no puede contar con mi testimonio para defenderla”.*

*El otro elemento, que pasó a convertirse en ciencia a finales del siglo XIX y siglo XX fue, por ejemplo, la arqueología. Un elemento de información, antes había sido un objeto de colección, y la colección desamparada del espacio y el tiempo no permitía sacar una conclusión exacta del papel del hombre, del individuo, en la historia. Por ello, hoy la visión que podemos tener del mundo los humanistas, tiene que ser más completa, más amplia. Por eso el debate que ustedes han realizado, desde sus distintas disciplinas, es tan importante. Se han ejercitado primero en el pensar; que como bien señala el profesor Torres Cuevas cuando se refiere a la palabra tantas veces citada del insigne y venerable Félix Varela; no dice que “nos enseñó a pensar”. La palabra cita exacta es, “el que nos enseñó en pensar”. ¿En pensar en qué forma? En pensar significa razonando. Antes de hablar, hay que razonar. Si no hay razón, entonces quedamos desconcertados ante el discurso no escrito, ante la palabra hueca, ante el niño que habla como un anciano*

*porque no ha formulado ni ha ejercitado su pensamiento. Es por tanto lo más útil enseñar a pensar y a razonar.*

*Un filósofo importante escribía un pensamiento clave: “sed discípulos de la verdad y ella os hará libre”. Ahora bien, ¿cuál es la verdad? (...)*

*<sup>1</sup> La verdad, tienen que buscarla ustedes. No la verdad general, sino la verdad particular. Conozco licenciados y doctores que lo fueron por circunstancias, pero que no abrazaron de verdad con el corazón lo que aprendieron una vez en esta alta colina.*

*Cuando tratamos el tema desde el punto de vista patrimonial, por ejemplo, a mí me interesa mucho el contenido. Es decir, los bellos edificios de este campus, de esta colina, Acrópolis de La Habana, algo muy importante y bello. Pero lo más importante, es lo que ha ocurrido aquí. Lo más importante y entonces entramos en el elemento hoy tan defendido de los valores inmateriales, los valores impalpables, intangibles. El teatro que fue destruido por el incendio en la guerra, por ejemplo, en Milán; restaurado igual... pero alguien me dijo: -lo importante no ha sido el continente sino el contenido, lo que paso aquí es muy importante-. Por eso, acudir al punto de partida. La profesora me decía, que algunos estudiantes emigrados vuelven después o quieren volver a la alta casa de estudios, porque la quieren, porque nutrieron sus raíces en ella, porque enamoraron en sus pasillos, porque se pusieron a la sombra de los laureles, porque se descubrieron alguna vez como yo, al pie de la Alma Mater, colocándole un laurel y diciéndole: “cumplí contigo”. Porque verdaderamente era eso, era ese el desafío.*

*No son solo importantes las notas brillantes... hay quien puede tenerlas. Lo importante es esa*



*El Dr. Eusebio Leal Spengler recibe el título de Doctor "Honoris Causa" de la Universidad de La Habana en 2016, de manos del entonces rector de la UH, Dr. Gustavo Cobreiro. (tomada del sitio web de Cubadebate)*

otra aprobación, la más importante, la que otorga la universidad más allá del papel, del título, del certificado. Y es los saberes, los saberes de una universidad que, fundamentalmente, es una universidad de ciencias y humanidades y donde tantas cosas importantes ocurrieron. Esta mañana hablábamos de que estábamos en el año del 250 aniversario del natalicio de Alexander Von Humboldt y decíamos ¿Cuál fue el discipulado de Humboldt en Cuba?, ¿Qué generó ese discipulado?, ¿Qué pasó aquí? Bueno, que yo recuerde, hablábamos de Poey, por ejemplo, hablábamos de Carlos de la Torre. Titulado en más de 60 universidades como Doctor, habría sido sin dudas un premio Nobel, cuando besaban sus manos los sabios en Londres, por ejemplo. Y ¿Qué iban a buscar los cubanos como Luz y Caballero y algunos otros eminentes intelectuales y maestros cuando visitaban Berlín al anciano Alejandro de Humboldt? Quien, en su "Ensayo político sobre la isla de Cuba", había dejado un instrumento de navegación sobre el conocimiento, no solamente de la naturaleza a la que siempre se le circunscribe, sino de la cuestión social cubana, la cuestión de la esclavitud, por ejemplo.

Entonces, cuando estudiamos la historia del arte vamos de lo general a lo particular, también

en filosofía, ¿Que respondió Luz? Muchas veces me alegra recordar sus palabras cuando alguien le pregunta, ya en la madurez, -maestro y ¿Cuál es su escuela? -, dice -todas las escuelas y ninguna, he ahí la escuela-. ¿Por qué razón nos interesa y nos agrada la arquitectura ecléctica de La Habana más que nuestro tímido barroco? Porque quizás el eclecticismo, representa más, todo lo que en la isla se volcó como un continente de opiniones, de viajeros, de pensamientos y destinos y formaron una escuela. Una escuela cubana de pedagogía que tiene en el magisterio cubano y en Varona, que es el símbolo de la evolución del pensamiento cubano. Cuando entro siempre en este recinto, y veo el bello monumento de Varona en el patio, convertido en símbolo de la juventud cubana en los tiempos arduos que le toco vivir; pienso en el Varona que va hacia atrás. Y recuerdo lo que un rector de la Universidad me contó en su casa de la calle Loma: el ilustre Juan Marinello, poeta, historiador y orador brillante. Llegó a La Habana Korvel, el gran escultor, para realizar el proyecto del Alma Mater que se inspiraba en la universidad de Columbia en New York, pero que es absolutamente diferente. Buscó para ello un modelo, el de una muchacha de La Habana, hija del coronel Villalón, Chiara Menocal. Es el rostro de ella... el cuerpo es de otra mujer... y formó esa bella imagen del Alma Mater. Pero al mismo tiempo los estudiantes le pidieron, -maestro quisiéramos hacer dos retratos de dos personalidades-, de Manuel Sanguilí, ilustre orador republicano, y de Enrique José Varona. Y fueron a ver a Varona, y Varona les respondió - ¿Pero por qué a mí, qué mérito tengo yo para que ustedes quieran en vida hacerme ese retrato? - Y ellos le explicaban las razones por lo cual lo amaban y Varona humildemente aceptó. Allí en la rotonda del túnel de La Habana, en La



*Habana Vieja, está el busto rodaniano de Varona hecho por Korvel. Pero también le pidieron inmediatamente a Manuel Sanguilí, que era hombre ríspido, en cuyo perfil de águila y sus ojos azules eran tan característicos en su forma de... en su imagen divina. Y entonces dijo, - ¿Por qué quieren ustedes vincularme a mí con el señor Varona? Yo no cambio uno solo de mi vida en los Diez Años por una sola de sus ideas- ¿Por qué? Porque había el viejo rencor que tenía a partir de que Varona, en el primer tiempo de su vida, no había comulgado con la idea de la lucha armada, y pensaba más bien en las reformas. Luego evolucionó su pensamiento, a partir de la obra persuasiva de Martí y de la experiencia bélica y moral del pueblo cubano. Bueno, ahí está el busto de Manuel Sanguilí, es un busto hierático en el que Korvel cumplió con el oficio y la ley del escultor, pero no puso su alma en ella.*



*Dr. Eusebio Leal Spengler, en el patio del Edificio Varona de la Colina Universitaria luego de dirigirse a los participantes en el Festival de la Clase Félix Varela Morales en 2019.  
(tomada del sitio web oficial de la UH)*

*¿Cómo poner nuestra alma en las cosas? Bueno en mi búsqueda de esos testimonios personales y de poder tocar a las grandes figuras de mi tiempo...ustedes deben hacerlo, deben tratar de conocer a sus contemporáneos o a los que, aunque de otras generaciones, han tenido la dicha de saber que existen. Traten de conocerlos,*

*de acercarse a ellos. Aunque sea aparentemente frívolo pedir una fotografía o un autógrafo. Desgraciadamente me di cuenta tarde, cuando algunas de esas figuras se me habían esfumado... algunas, pero otras no. Y en esa búsqueda, es que fui al estudio de un gran pintor, que vivía en pobreza (...)<sup>1</sup>. Era el gran renovador de la pintura cubana, Víctor Manuel García. (...)<sup>1</sup>. ¡Qué sorpresa la mía! Cuando llegué aquel anciano, con su cigarro eternamente en la mano, me entró gentilmente, y no había nada más que un camastro y un viejo refrigerador, un sillón y un caballete. Y entonces el caballete, estaba velado, tenía encima un paño. El artista me mostró lo que había hecho: un retrato de una persona, de una señora que acudía muchas veces, gentilmente, por admiración, a llevarle la golosina que comía... porque llevaba una alimentación de un pajarito. Pero quién les dice a ustedes que, en mis frecuentes visitas, cuando llego otra vez, vienen a buscar el cuadro de la señora. Pero no venía ella... él estaba muy ilusionado con que ella llegara, pero no fue así. El que llegó fue el esposo. Entró allí, con la jaba que traía las cosas para Víctor, y él se acercó gentil al caballete y quitó el velo. Y a aquel hombre le salió del espíritu, así una palabra: - ¡No se parece a ella! - Y él se volvió como una fiera y le dijo: - ¡Porque usted no la conoce, yo he pintado su alma! ¡Váyase! - Y se fue...y se fue. Yo, miré para el rincón donde estaba la paleta húmeda todavía y le dije, - Víctor: ¿Por qué usted no me regala la paleta? - Entonces cambió la molestia por una risa (...)<sup>1</sup> - ¡Jamás te la daré, nunca! - Entonces yo me fui atemorizado. No hay cosa peor que pedir... y que no te den [risas en el público]. Acuérdense de eso, procuren siempre estar seguros de que lo que van a pedir se lo van a dar, de lo contrario no lo hagan pues no hay segunda opción. Enton-*

ces, cuando voy cruzando la Plaza Catedral, miro y estaba en el balcón y me dijo - ¡Oye, vuelve que a lo mejor te la doy! - Está en mi casa, dedicada por él. ¿Qué quiere decir? El alma es lo que él había pintado... y es lo que tienen que pintar ustedes en cada una de sus profesiones, es el retrato que deben tomar: el alma de las cosas. Si lo logran, entonces la palabra habrá perdido un significado puramente formal, habrán entrado de lleno en eso que los griegos llamaban el carisma.

¿Qué es el carisma? Según los griegos, era un fuego que se encendía sobre las cabezas de los que tenían verdaderamente la inspiración, el poder de la inspiración. Entren en el Aula Magna y vean los cuadros y observarán en la belleza de esas pinturas, a las divinas musas descender sobre cada una de las profesiones que ustedes representan. Cada una de ellas viene portando una corona de laurel para darla a cada una de las personas. Ahí aparecen Clío, Talia, Terpsicore, Polimnia y cada una de ellas la podrán encontrar repartiendo. Y en otra de las pinturas observarán en la noche de Atenas, la lámpara encendida y el filósofo. Quiere decir, el que nos enseña el qué pensar.

Alguien ha dicho con razón que “¿Qué es primero comer o hacer filosofía?”. La respuesta es: el hombre vive de pan... más no sólo de pan... ¡No sólo de pan! Si fuera sólo de pan, valdría la pena no haber nacido con la condición humana (...)<sup>1</sup>. Había que haber nacido en un gallinero donde comeríamos el pienso de todos los días. Y al final ocurriría como, yo de ingenuo, le pregunté al guajiro por el destino de aquellos bueyes viejos, que estaban todavía con el narigón perpetuo, pero sin el yugo, sin los frontiles, pastando en el campo después de una fatigosa labor. - ¿Y qué pasará con ellos al final? - Y me dijo -el cuchillo... el cuchillo-. Y entonces pensé en el mi-

notauro. Y dije: ¡Qué tiempo hace que dejaste de ser una divinidad temida! ¡Qué tiempo hace que te hicieron descender de tu base marmórea para convertirme, privado de tus atributos, en una criatura esclava para siempre!

Entonces cobra sentido el pensar, el hacer filosofía, el amar el arte, el amar todas las ciencias aplicadas, fundamentalmente las especulativas. ¿Por qué? Porque todo evoluciona. Lo que no evoluciona... perece. Evolucionó la condición humana, evolucionaron las criaturas a partir del escandaloso discurso de Darwin; hoy por todos aceptado salvo por aquellos que quieren separar tentativamente el espíritu del hombre de su cuerpo. A partir de ese momento lo más importante es eso, evolucionar, pensar, transformar, cambiar, ¡ése es el discurso! Y, para eso es este fórum, para eso es lo que ustedes han hecho. Y creo que recibirán un premio que se concede, un premio absoluto, independientemente de los reconocimientos y diplomas. Un premio que lleva el nombre de Félix Varela, el Santo de los cubanos. Cuando entramos en el Aula Magna no podemos ignorarlo, porque está ahí. Está allí porque fue la intelectualidad y la Universidad la que lo trajo del oscuro cementerio de San Agustín de la Florida. No está en un templo siendo el más venerado de todos los sacerdotes porque su pensamiento, en pos de la libertad, por la abolición de la esclavitud, por su solidaridad con los pueblos de América Latina; le llevaron a ser condenado e ignorado por el rey y por la propia iglesia. Está en el recinto universitario, como gran maestro que fue, gran orador sereno, gran profesor y gran maestro. ¡Cómo han de ser los maestros! Los maestros tienen que ser, sencillos en el actuar, modestos en el sentir. Porque hay tres cosas de las que debemos librarnos los intelectuales. La primera, de la ingratitud... ¿Qué somos noso-

tros? Lo que aprendimos en los libros. ¿Quién lo escribió? Somos el retrato de nuestros profesores, una creación nueva, no una repetición de ellos. Lo primero, la ingratitud. La segunda cosa, la envidia. Nunca envidiar el ingenio de otros ni tratar de imitarlos, cada uno de nosotros tiene que ser, necesariamente, un creador. Y la última de todas para mí, es la vanidad, todas las vanidades. ¿Por qué? Porque la vanidad nos perdería creyendo que somos los mejores... y no debe ser así. ¡Debemos ser algo más! Gracias por su atención... el tiempo se ha ido y no voy a torturarlos más con la palabra. Traten de tomar de ella como en el retrato de Víctor, el esquema... que es lo más importante; el espíritu... que es el que dignifica, la palabra, muere.

Un día de niño, nos propusimos robar en la Quinta de los Molinos lo que era el sueño de todos los niños de mi generación. Queríamos tener... ahora comprendo que como somos una isla, el sueño de todos nosotros era tener un pecaito [risas en el público]. Y para eso, no había pecera más ostentosa que un garrafón en que venían las aceitunas. No podíamos aspirar a una pecera y mucho menos, a los artilugios que mantienen el agua limpia. Algunos aristócratas del barrio tenían un peleador; pero nosotros guaja-

cones y un pez curiosísimo y de colores (...) <sup>1</sup> que tenía todos los colores en su diminuta cola. Había otros, que eran un enigma, que según mis amigos después de cierto tiempo le salían patas y se convertían en ranas. Y alguien nos dijo que en la Quinta de los Molinos había una fuente maravillosa, una fuente estupenda bajo una roca llena de musgo y en el agua de la fuente, había unos peces rojos. Alguien estudió que faltaba un barrrote en una de las rejas con lanzas de la Quinta. Nos escurrimos por aquella callejuela, llegamos a la reja y yo entré, el primero, con una lata que llevábamos preparada para capturar la carpa. Entramos, llegamos a la fuente y agarramos una de las carpas. Y en el momento en que estábamos saliendo, una voz estertórea gritó una palabra que ya hoy no se usa en Cuba: “¡ATAJA!”. Y empezamos a sentir que nos perseguían. Entonces, ¿qué hacer con la lata y con la carpa? Bueno en esa carrera, llegué de pronto a la Facultad de Medicina Veterinaria, que es una facultad preciosa. Frente a la facultad, donde las lámparas tenían cabezas de gatos, cabezas de caballo, en el frontispicio había una gran locución latina “Verba volant scripta manent”: Las palabras vuelan, las obras permanecen. ¡No lo olviden! Gracias.

- 
- i. Frases o palabras inentendibles por la calidad de la grabación.
  - ii. Refiriéndose a conversación previa con la Dra. Norma Barrios Fernández, Vicerrectora Docente de la UH en la fecha del encuentro.

- iii. Refiriéndose al Edificio Varona en la Colina Universitaria.

**Lic. Gabriel R. Guerrero Porras**

**Departamento de Química General e Inorgánica**

**Facultad de Química**

**Universidad de La Habana**

[vega@fq.uh.cu](mailto:vega@fq.uh.cu)



**E**l cerebro es el mayor órgano del sistema nervioso central y forma parte del centro de control de todo el cuerpo. También es responsable de la complejidad, origen y funcionamiento del pensamiento, memoria, emociones y lenguaje.

Hasta no hace muchos años se pensaba que el cerebro tenía zonas exclusivas de funcionamiento, hasta que por medio de imagenología se pudo determinar que cuando se realiza una función, el cerebro actúa de manera semejante a una orquesta sinfónica, interactuando varias áreas entre sí. Además se pudo establecer que, cuando un área cerebral es dañada, otra área puede realizar un reemplazo parcial de sus funciones.

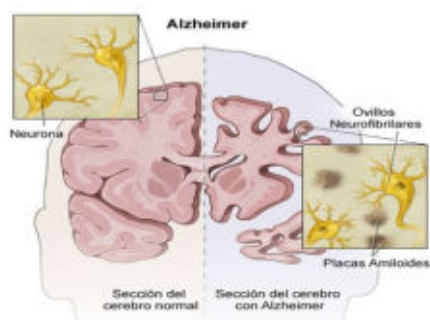


**Figura 1.** Alois Alzheimer (A) y su paciente Auguste Deter (B)

En el año de 1901 el psiquiatra alemán Alois Alzheimer (Figura 1A) realizó uno de los grandes

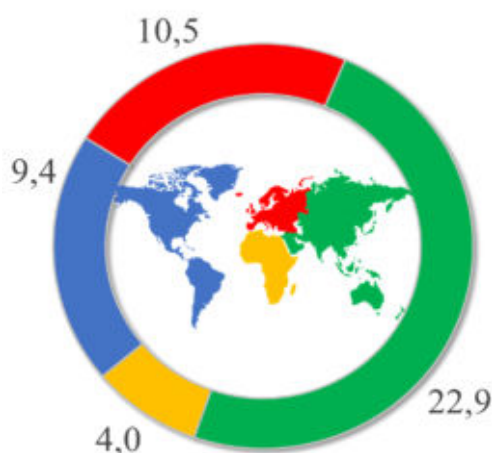
descubrimientos sobre una de las mayores patologías neurológicas, la cual llevaría su nombre. En su consultorio, mientras examinaba por primera vez a una paciente de 50 años de edad (Figura 1B), notó que esta no recordaba las preguntas que le hacían, aunque se las repitiesen varias veces. La paciente mostraba otras dolencias: repetía constantemente: “*Ich hab mich verloren*” (me he perdido), tenía problemas para dormir, gritaba frecuentemente y golpeaba a quien se le acercaba. Esto se dio acompañado de un trastorno del lenguaje caracterizado por fallos en la comprensión y pobreza de vocabulario que, con el paso del tiempo, se tornó en mutismo parcial. Más tarde, se volvió completamente dependiente, hasta que finalmente falleció el 8 de abril de 1906, en la ciudad de Frankfurt, después de cuatro años y medio de enfermedad.<sup>1</sup>

El estudio del cerebro de esta paciente, donado al Doctor Alzheimer, evidenció una marcada atrofia de la corteza cerebral. Los cortes fueron teñidos con sales de plata y mostraron una masiva degeneración en la cual se destacaban dos tipos de estructuras particulares: las placas seniles o amiloideas y los ovillos neurofibrilares (Figura 2).



**Figura 2.** Corteza cerebral de un paciente normal y con la Enfermedad de Alzheimer, en donde se señalan los ovillos neurofibrilares y las placas amiloides

La Enfermedad de Alzheimer (EA) es la forma de demencia más prevalente en todo el mundo, a la que le corresponde entre el 60 y 80 % de todas ellas. El principal factor de riesgo conocido es la edad. Las personas con la enfermedad tienen 65 años o más; una de cada nueve personas de esa edad está diagnosticada y un tercio de los que tienen 85 o más años, la padecen.<sup>2</sup>



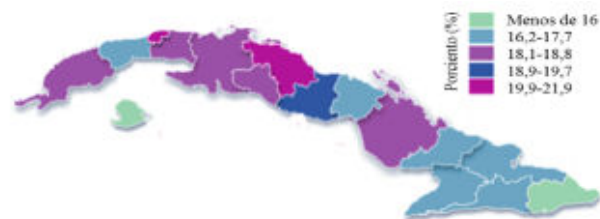
**Figura 3.** Cantidad de personas (millones) que padecen la Enfermedad de Alzheimer por continente

Dadas las tendencias demográficas actuales, la EA ha sido denominada la epidemia del siglo, encontrándose entre las seis afecciones incluidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como una prioridad en relación a la salud mental. Se estima que, a nivel mundial, cerca de 50 millones de personas padecen de la EA o alguna demencia relacionada (Figura 3). Se prevé que

este valor deberá alcanzar los 82 millones para el año 2030 y los 152 millones para el año 2050. Los costos que traería consigo esta situación para el 2030 se espera que asciendan hasta cerca de los 2 trillones de dólares americanos.<sup>3</sup>

Si bien las demencias tienen una amplia distribución mundial, existe una mayor prevalencia en países en vías de desarrollo, posiblemente asociado a un incremento en los factores de riesgo vascular: hipertensión, tabaquismo, obesidad, dislipidemia y diabetes.<sup>4</sup>

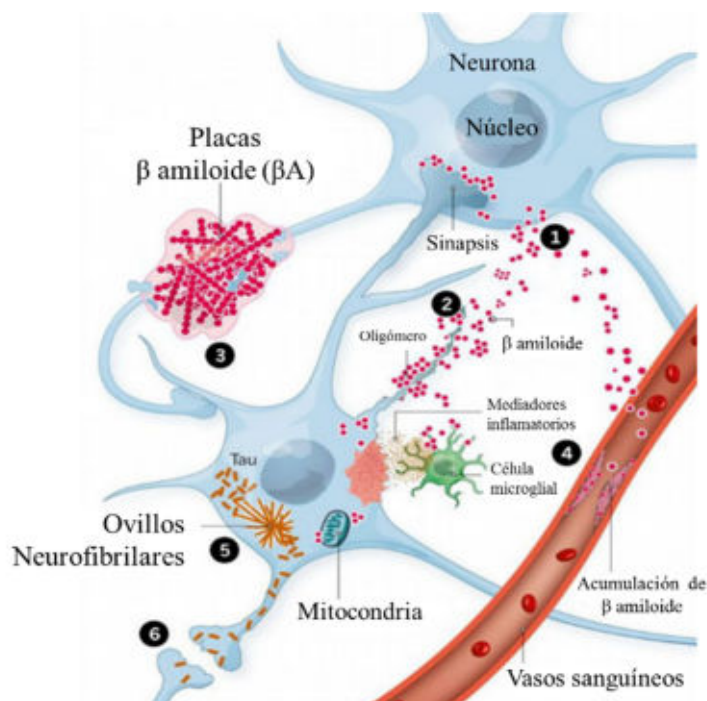
Nuestro país posee un rápido envejecimiento poblacional (Figura 4), pues dada la alta esperanza de vida (80 años) y baja natalidad (1,2 %), el 20,1% de la población cubana es mayor de 60 años.<sup>5</sup> Se espera que en el año 2020, Cuba se convierta en el país de Latinoamérica con mayor proporción de adultos mayores, y por ende, con un alto índice de morbilidad de la EA.<sup>4</sup>



**Figura 4.** Distribución porcentual (%) de adultos mayores de 60 años por provincia y en el Municipio Especial Isla de la Juventud

Hoy en día no se cuenta con una cura para la enfermedad, por lo que la búsqueda de los mecanismos moleculares subyacentes de ésta son de gran interés en la comunidad científica, debido al gran impacto que tiene la EA tanto para la persona que la padece, como para sus familiares y en general, la sociedad.<sup>6</sup> Debido a esto, la búsqueda de un método de diagnóstico precoz es de vital importancia puesto que la implementación de una terapia temprana para esta enfermedad puede retardar el inicio de su manifestación en cinco años y disminuir su prevalencia en un 50%.<sup>7</sup>



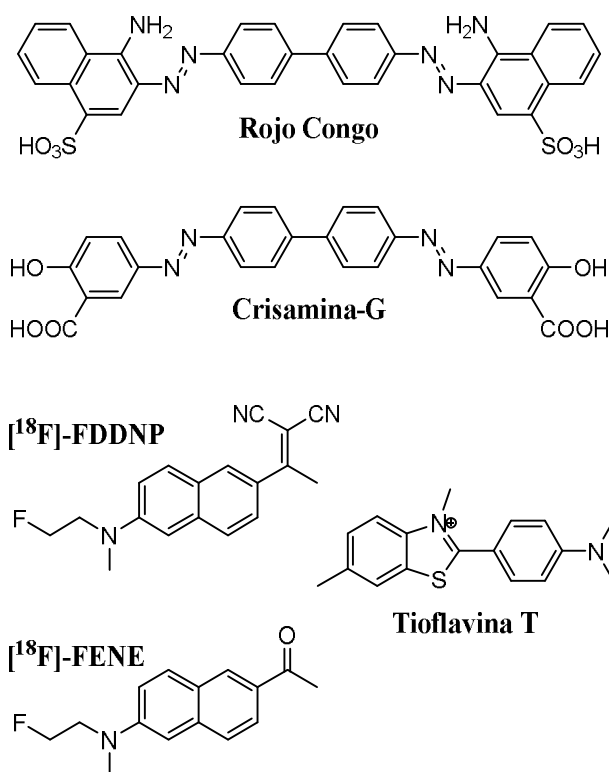


**Figura 5.** Cascada patológica de la Enfermedad de Alzheimer. (1) Procesamiento de la Proteína Precursora de Amiloide en la membrana celular. (2) En el espacio entre las neuronas, los oligómeros del péptido  $\beta$  amiloide ( $\beta$ A) afectan la función de sinapsis neuronal. (3) Las fibrillas de los oligómeros de  $\beta$ A se agregan para formar las placas seniles o placas  $\beta$  amiloides, que entorpecen la función de las neuronas. (4) Los depósitos (extracelulares y en los vasos sanguíneos) de las placas  $\beta$ A activan las células microgliales. La liberación de mediadores inflamatorios conduce a la pérdida de la sinapsis neuronal. (5) Los agregados de proteína tau dentro de los ovillos neurofibrilares desplazan a otros organelos celulares. (6) Proteínas Tau con plegamientos anómalos migran de una neurona a otra, catalizando el incorrecto funcionamiento de esta proteína en otras neuronas.

En 1992, con la formulación de la Hipótesis de la Cascada Amiloidea,<sup>8</sup> la paulatina acumulación en el cerebro de las placas seniles (PS) se asocia con el desencadenamiento de un conjunto de procesos neuropatológicos (Figura 5). Por ello, las PS han sido consideradas como blancos terapéuticos para el diagnóstico de esta enfermedad. Las PS pues aparecen hasta 20 años antes de los síntomas clínicos de la enfermedad.<sup>8</sup> Esta teoría continúa siendo la más aceptada por la comunidad científica como la que mejor logra explicar sus causas.<sup>9</sup>

En 1984, se determinó que las PS estaban compuestas por un péptido de 39-42 aminoácidos, denominado péptido  $\beta$  amiloide ( $\beta$ A).<sup>8, 9</sup> La detección precoz e *in vivo* de las PS mediante técnicas de imagen constituye un desafío para la comunidad científica.<sup>2, 10</sup>

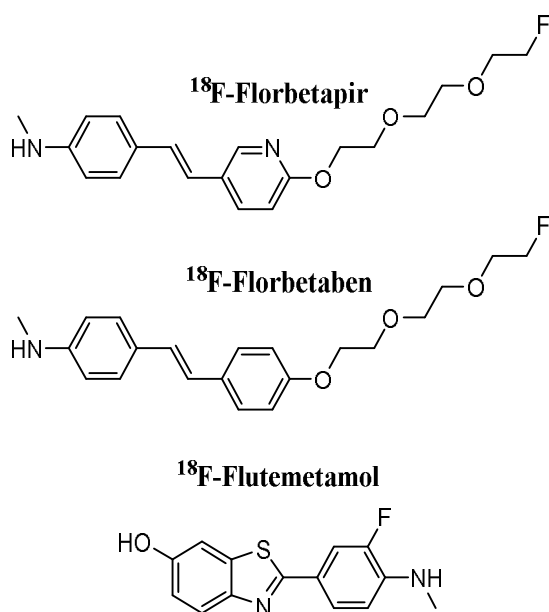
A finales del siglo pasado, diferentes intentos fueron realizados con el objetivo de desarrollar radiomarcadores para la detección de las placas  $\beta$ A. De esta forma, fueron sintetizados y evaluados varios compuestos. En la Figura 6 se puede observar los más representativos.



**Figura 6.** Estructuras de compuestos afines a las placas  $\beta$ -amiloides

En la actualidad, solo tres compuestos marcados con el radionucléido fluor-18 (Figura 7) han mostrado los mejores resultados en ensayos *in vitro* e *in vivo*, por lo que la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas

en inglés: *Food and Drug Administration*) otorgó la aprobación de su uso clínico en humanos.<sup>10, 11</sup>



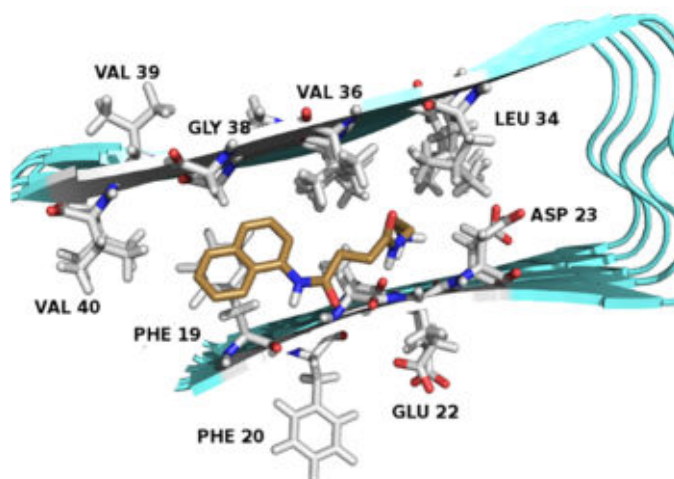
**Figura 7.** Estructuras de los radiofármacos aprobados por la FDA para su uso clínico

Sin embargo, estas sondas son muy caras, requieren un acceso rápido a los ciclotrones para el marcado radiactivo y se limitan principalmente a la investigación y a las instalaciones clínicas de alto nivel en los países desarrollados.

Nótese que los compuestos antes mostrados tienen en su estructura la presencia de uno o varios anillos aromáticos. Se especula que estos intervienen en la afinidad de la molécula con el péptido  $\beta$ A. Por tanto, quienes desarrollan nuevas moléculas para la terapia de la EA han centrado la atención en la síntesis de compuestos con estas características.

En nuestro país, en el Centro de Neurociencias de Cuba (CNEURO) se ha desarrollado una nueva familia de compuestos químicos denominados Amylovis<sup>®</sup>. Las moléculas fueron estudiadas *in silico* mediante técnicas de acoplamiento y dinámica molecular que estimaron una alta afinidad por el péptido  $\beta$ A<sub>1-42</sub> (Figura 8).<sup>12</sup> También, los estudios *in vitro* e *in vivo* realizados, muestran su potencial como agentes terapéuticos y de diag-

nóstico para la EA.<sup>13, 14</sup>



**Figura 8.** Zona de interacción entre  $\beta$ -fibrilos y uno de los Amylovis<sup>®</sup>, comprendida entre los aminoácidos VHHQKLVF-FAEDVGS

Entre las técnicas de neuroimágenes exploradas para la detección *in vivo* y temprana de las PS, se encuentra la técnica de Resonancia Magnética de Imágenes (RMI). La RMI se emplea en el diagnóstico de diversas patologías. Anualmente se realizan alrededor de 60 millones de pruebas diagnósticas, cifra que se incrementa por la accesibilidad de estos equipos en los centros hospitalarios.

Si bien la RMI posee una mayor resolución espacio-temporal, la principal restricción de la RMI clínica es su baja sensibilidad. Este inconveniente puede ser eliminado mediante el uso de sustancias que mejoren la visualización de las estructuras a estudiar.

A esta clase de sustancias, denominadas agentes de contrastes, nos acercaremos en otra ocasión. Mientras tanto, no olvide realizar actividades que mantengan su mente activa, para así no ser uno más de los afectados por la EA.

## Referencias

1. Forero Ortiz, F. C. Bs Tesis, Universidad Ditrystal Francisco José de Caldas, **2018**.

2. Sánchez-Márquez, N. I.; Bilbao-Fuentes, D. B., *Pensando Psicología* **2018**,14 (24), 1-17.
3. Patterson, C., *Alzheimer's Disease International (ADI)* **2018**.
4. Barrera-López, F. J.; López-Beltrán, E. A.; Baldivieso-Hurtado, N.; Maple-Álvarez, I. V.; López-Moraila, M. A.; Murillo-Bonilla, L. M., *Revista de Medicina Clínica* **2018**,2 (2), 57-73.
5. Mesa-Lago, C., *Anuario Internacional CIDOB* **2019**, 256-265.
6. Estrada Rodríguez, A. E.; Zomosa Signoret, V. C., *Revista de Educación Bioquímica (REB)* **2017**,36 (1), 2-11.
7. Winblad, B. y col, *The Lancet Neurology* **2016**, 15 (5), 455-532.
8. Brambilla, D., *Pharmaceutical Research* **2018**, 35 (3), 1-2.
9. Tolomeo, D. PhD Thesis, The Open University, United Kingdom, **2019**.
10. Rivera-Marrero, S. y col, *Current Radiopharmaceuticals* **2019**, 12 (1), 58-71.
11. Heurling, K. y col, *European Journal of Nuclear Medicine Molecular Imaging* **2016**, 43 (2), 362-373.
12. Bencomo-Martínez, A. y col, *Revista CENIC. Ciencias Químicas* **2012**, 43 (1).
13. Fernández-Gómez, I. y col, *Molecules* **2018**,23 (3), 686.
14. Sablón-Carrazana, M. y col, *PLoS ONE* **2015**,10 (9), e0135292.

**Dra. Loreley Morejón Alonso**

**Departamento de Química General e Inorgánica**

**Facultad de Química**

**Universidad de La Habana**

[lmorej@fq.uh.cu](mailto:lmorej@fq.uh.cu)



**L**as tecnologías de manufactura aditiva (AM por sus siglas en inglés), impresión 3D o prototipado rápido son técnicas alternativas para la manufactura de biomateriales que emplean el principio de construcción capa a capa o “layer by layer” a partir de imágenes geométricas <sup>1</sup>. Las mismas ofrecen una serie de ventajas en relación a los métodos tradicionales entre las que caben destacar: la fabricación de materiales con geometría compleja, la reducción de costos y tiempos de espera, el cuidado del medio ambiente, el incremento en la eficiencia y funcionalidad de la producción y la posibilidad de obtención de implantes personalizados mediante el acoplamiento al Diseño Asistido por Computadoras e imágenes 3D (CAD 3D).<sup>2</sup>

Los primeros intentos de crear un objeto capa a capa tuvieron lugar a fines de la década de 1960, en el *Battelle Memorial Institute* (Ohio, EU), donde se intentó solidificar una resina fotopolimerizable en el punto de intersección de dos rayos láser de diferente longitud de onda <sup>3</sup>. Años más tarde, Johannes F. Gottwald patentó un dispositivo de inyección de tinta la cual parece ser la primera patente que describe la impresión 3D con creación rápida de prototipos y fabricación de

patrones bajo demanda controlada <sup>4</sup>; mientras que el término de impresión 3D quedó acuñado en 1974 por David E. H. Jones. <sup>5</sup>

Sin embargo, los inicios de la manufactura aditiva se remontan a los años 80’s cuando Hideo Kodama (Nagoya, Japón) inventó dos métodos aditivos para fabricar modelos plásticos tridimensionales con polímeros termoendurecibles y fotoendurecibles; en los cuales el área de exposición a los rayos UV estaba controlada por un patrón de máscara o un transmisor de fibra de escaneo <sup>6</sup>. Los resultados de su investigación fueron patentados y publicados en 1981 <sup>7,8</sup>; sin embargo, su trabajo no fue reconocido, se abandonó la adquisición de los derechos de patente y el proyecto fue terminado. Igualmente, tampoco se les dio crédito a los científicos franceses Alain Le Méhauté, Olivier de Witte, and Jean Claude André quienes fueron los primeros en solicitar una patente para el registro del término estereolitografía. <sup>9</sup>

La primera patente registrada en la historia de la impresión 3D se debe al empresario estadounidense Bill Masters, quien en 1984 patentó un sistema y el proceso de fabricación automatizado por computadora, sentando así las bases para para los sistemas de impresión 3D que se utilizan en la

actualidad <sup>10</sup>. No obstante, la mayor parte de la bibliografía especializada le atribuye a Charles W. Hull la invención de la impresión 3D o estereolitografía (SLA por sus siglas en inglés), así como el diseño e invención del primer dispositivo <sup>11</sup> basado en manufactura aditiva con la cual se imprimió con éxito una taza de lavado de ojos (Fig. 1).



**Figura 1.** Primer objeto obtenido mediante impresión 3D (1983), creador del método Charles "Chuck" W. Hull y primera impresora de estereolitografía SLA-1.

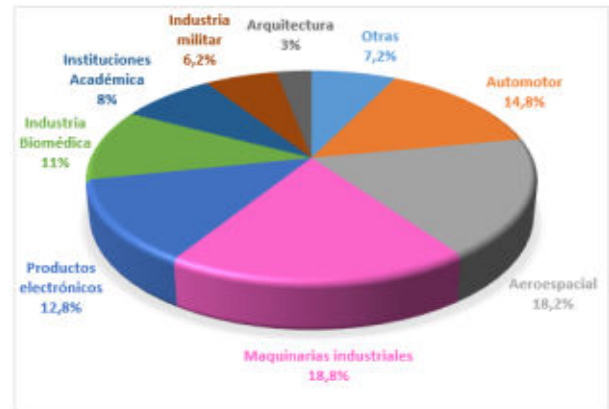
A partir de entonces, hubo varios avances que pavimentaron el camino para lo que hoy se conoce como fabricación aditiva, los cuales han sido recogidos en diferentes artículos científicos entre los que cabe mencionar el resumen elaborado por Jiménez y col. <sup>2</sup> que además ofrece un amplio panorama sobre el estado del arte de las tecnologías AM y las perspectivas futuras.

En los últimos 35 años el uso de las tecnologías AM ha ido en aumento, de manera tal que para el año 2024 se prevé que el crecimiento mundial de la industria alcance los 35 billones de dólares (Fig. 2).



**Figura 2.** Prospección de Mercado de las tecnologías de impresión 3D.

Según un reporte del 2017, la distribución por sectores del uso de estas tecnologías mostraba el mayor uso en la fabricación de maquinarias industriales, seguido por la industria aeroespacial, la industria automotora, los productos electrónicos y la industria biomédica (Fig. 3).



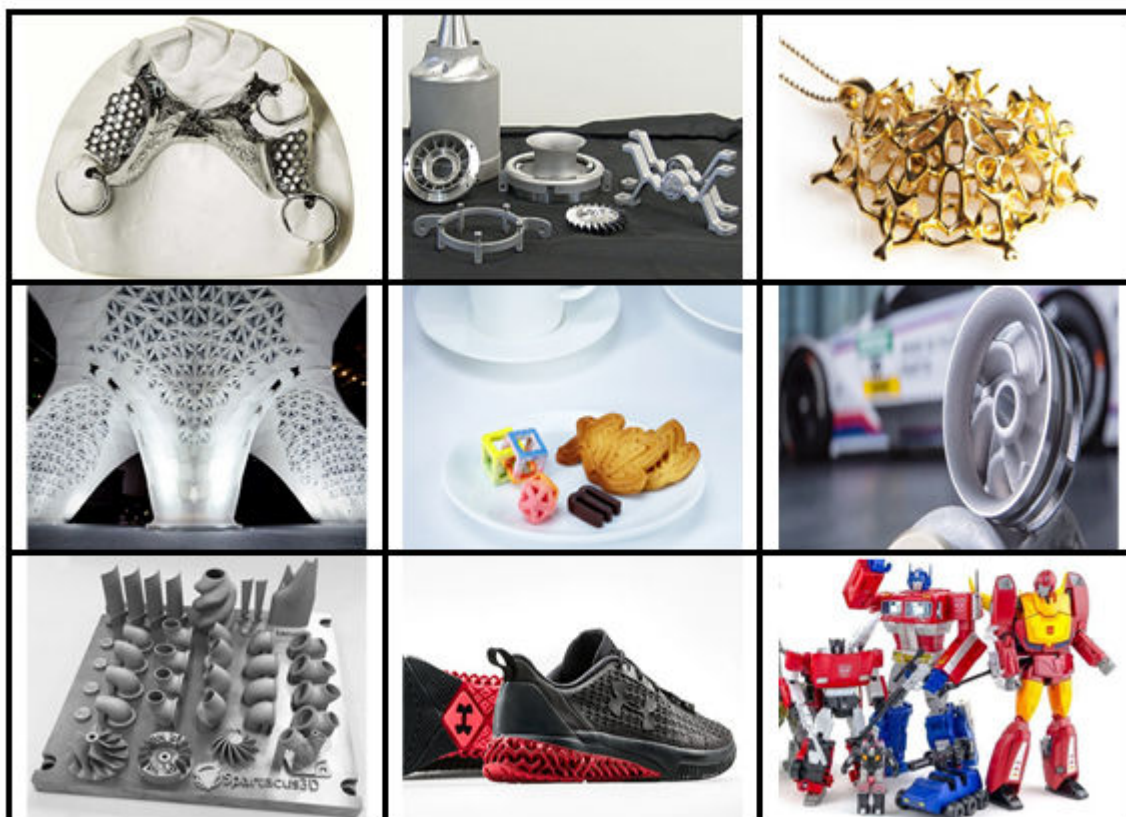
**Figura 3.** Estado del arte en la industria de la manufactura aditiva 2017 <sup>12</sup>.

Algunas de las principales aplicaciones de dichas tecnologías pueden observarse en la figura 4.

### **La impresión 3D de Biomateriales.**

La impresión 3D fue utilizada por primera vez para fines médicos en los años 90 en la fabricación de implantes dentales y prótesis personalizadas. No obstante, los primeros intentos de imprimir biomateriales tuvieron lugar por el año 2004 cuando el Dr Anthony Atala junto con un equipo de investigadores del *Wake Forest Institute for Regenerative Medicine* (WFIRM) comenzaron a experimentar con una impresora básica de chorro de tinta. Basado en este principio, Atala desarrolló impresoras capaces de imprimir andamios personalizados para el desarrollo de órganos humanos. Es necesario aclarar que, a pesar de todas las investigaciones realizadas sobre la impresión 3D de tejido y órganos, los implantes obtenidos mediante este método no se encuentran totalmente listos para su uso clínico. Sin embargo, el principio de construcción de andamios mediante im-

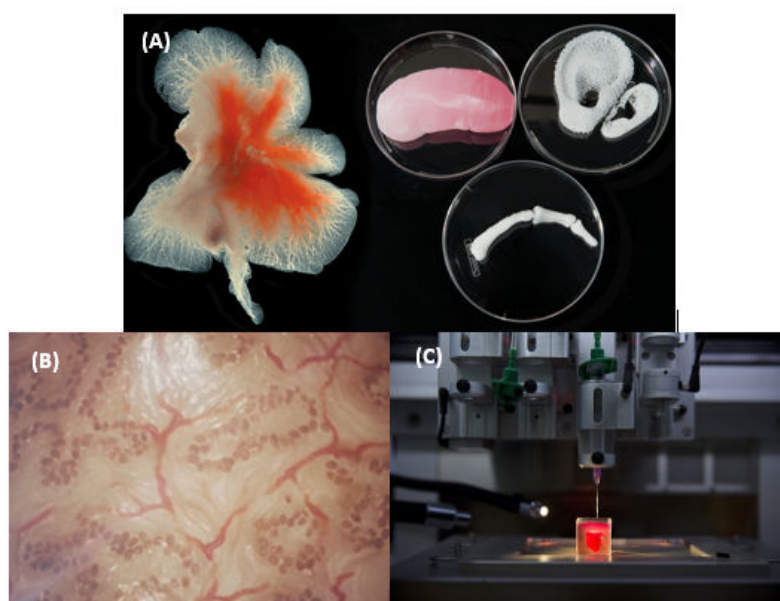




**Figura 4.** Algunas de las principales aplicaciones de las tecnologías de manufactura aditiva.

presión 3D ha sido utilizado con éxito en diferentes áreas como la ortopedia, debido a la inigualable posibilidad que ofrece la técnica para crear estructuras que mimetizan la estructura biológica de cada paciente.<sup>13</sup>

Durante los últimos 15 años la industria de la impresión 3D ha evolucionado grandemente y se ha diversificado siendo utilizada principalmente en el planeamiento quirúrgico, la liberación de medicamentos para la terapia, el diseño de implantes



**Figura 5.** (A) Diferentes tejidos y órganos obtenidos por bioimpresión (WFIRM, USA), (B) Primer tejido hepático impreso (Organovo™, USA 2013), (C) Primer órgano impreso, utilizando células humanas (Universidad de Tel-Aviv, Israel, 2015).

y prótesis personalizadas (implantes faciales de titanio, caderas, mandíbulas e incluso cráneos enteros), así como en la fabricación de *scaffolds* para la ingeniería de tejidos.<sup>14</sup>

El gran inconveniente que presenta la implantación de tejidos y órganos obtenidos mediante esta tecnología es que **resulta realmente difícil que el órgano sintético se vascularice una vez implantado en el organismo**. Así lo demuestran los contados trasplantes de este tipo que se han realizado hasta la fecha, cuando ya no hay más alternativa y siempre como procedimiento experimental. Los estudios realizados indican que a pesar de que el órgano impreso posee una serie de microcanales para asegurar la permeabilidad de los nutrientes y el oxígeno, las células implantadas tienden a morir por falta de nutrición.

De las diferentes técnicas de impresión 3D desarrolladas, sólo algunas pueden ser utilizadas en la impresión de Biomateriales (Tabla 1).

La belleza de esta técnica radica en la gran variedad de materiales con propiedades diversas que pueden ser utilizados para la fabricación de una pieza mediante dicha tecnología, lo cual la convierte en una herramienta universal. La decisión de utilizar uno u otro material, dependerá de las propiedades finales del producto deseado y determinará cuál de las técnicas de impresión será la más apropiada para lograr el objetivo deseado.

Aun cuando las tecnologías de impresión 3D nos ofrecen una amplia gama de ventajas y usos en relación a las tecnologías tradicionales de manufactura, existen diversos obstáculos que superar antes de que puedan crearse órganos 3D implantables y totalmente funcionales mediante bioimpresión. En primer lugar, la tecnología debe permitir la obtención de tejidos y órganos con

una alta resolución en cuestiones de minutos/horas, lo cual en estos momentos es un gran desafío. En segundo lugar, existe poca materia prima, pues pocos biomateriales pueden ser utilizados en una técnica u otra y aun un número más reducido pueden funcionar como biotinta.

Sin embargo, el consenso de la comunidad científica que está a la vanguardia de las investigaciones médicas en el trasplante de órganos artificiales impresos en 3D, es que el éxito es una cuestión de “cuando” y no “si” será posible.

## REFERENCIAS

1. ISO/ASTM 52900:2015 Additive manufacturing. General principles. Terminology.
2. M. Jiménez et al. *Complexity*, **2019**, 9656938.
3. D. Segura History of 3D Printing- Who invented what? **2017**. <https://3dprinterchat.com/3d-printing-history/>
4. J.F. Gottwald, Liquid metal recorder. Patente US3596285A **1971**.
5. D.E.H. Jones, *Ariadne*. *New Sci.* **1974**, 64 (917), 80.
6. H. Kodama, *IEICE Trans. Electron.*, **1981**, J64-C(4), 237–241.
7. H. Kodama, JP Patent: S56-144478. 3D figure production device **1981**.
8. H. Kodama **1981**, *Rev. Sci. Instrum.*, 52 (11), 1770–1773.
9. A. Jean-Claude, Dispositif pour realiser un modele de piece industrielle FR 2567668 A1. National De La Propriete Industrielle **1984**, granted Oct 16, 1987.
10. W.E. Masters. US4665492 Computer auto-

- mated manufacturing process and system **1984**, granted May 12, 1987.
11. Ch.W. Hull US4575330A Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography **1984**, granted March 1986.
12. A. Wohlers, *Annual Worldwide Progress Report 2017*.
13. M. Whitaker, *Bull. R. Coll. Surg. Engl.* **2014**, 96 (7), 228-229.
14. P. Ahangar et al. *Appl. Sci.* **2019**, 9, 1713-1726.
15. A. Bandyopadhyay, S. Bose, *MRS Bull.* **2015**, 40, 108-115.

**Tabla 1.** Tecnologías de impresión 3D y su aplicación en la fabricación de Biomateriales. <sup>15</sup>

Técnica	Detalles del Proceso	Materiales utilizados en inge-	Ventajas y Desventajas
<b>Bioimpresión: Direct inkjet writing (DIW)</b>	Deposición capa a capa	Gran variedad de Polímeros y cerámicos. PCL, HA, Vidrios Bioactivos, PLA/PEG etc.	<b>Ventajas:</b> Fácil incorporación de drogas, biomoléculas (proteínas y células vivientes) <b>Desventajas:</b> Procesamiento posterior (algunos materiales). Dificultades con la viscosidad de algunos materiales.
<b>Bioimpresión Asistida por láser (LAB)</b>	La deposición es controlada por un pulso de energía láser y se realiza sobre un disco de cuarzo transparente.	Gran variedad de materiales: HA, Zr, Composites HA/MG63 (células osteoblásticas), células osteoprogenitoras, endoteliales de cordón umbilical etc.	<b>Ventajas:</b> El ambiente húmedo es adecuado para materiales orgánicos, inorgánicos y células. <b>Desventajas:</b> Se necesita discos de cuarzo homogéneos.
<b>Sinterización Selectiva a Láser (LSL)</b>	Se crea una cama de polvo que va sinterizando capa a capa debido al calor de una punta de láser.	Gran variedad de polímeros, metales y materiales cerámicos. PCL, PLLA, Ti, HA, TCP etc.	<b>Ventajas:</b> No necesita soportes adicionales. La cama de polvo es el soporte. Puede usarse con gran variedad de materiales <b>Desventajas:</b> Las características y la resolución de la pieza de-
<b>Estereolitografía (SLA)</b>	Fabricación capa a capa por exposición la luz UV de un líquido fotopolimerizable. El polímero solidifica en el punto de contacto y el resto permanece líquido.	Gran variedad de polímeros fotocurables. Pueden usarse factores de crecimiento, proteínas y células.	<b>Ventajas:</b> Fabricación de diseños complejos. <b>Desventajas:</b> Sólo aplicable a fotopolímeros.
<b>Modelado por Deposición Fundida (FDM)</b>	Los materiales termoplásticos son extruidos a través de una punta y depositados capa a capa.	Biopolímeros, composites cerámico-polímero y metal-polímero.	<b>Ventajas:</b> Fácil de usar con gran variedad de materiales. <b>Desventajas:</b> Restricciones para el uso de algunos polímeros
<b>Deposición asistida por Robótica Robocasting</b>	Impresión directa de sólidos cargados en una matriz en forma de pasta	Composites cerámico-polímero: HA/PLA, HA/PCL y vidrios bioactivos/PCL	<b>Ventajas:</b> Técnica adecuada para composites cerámicos/polímeros. <b>Desventajas:</b> No útil para gran

# Fuentes alternativas de energía en síntesis química: microondas y ultrasonido.

Investigación  
Química



Dr. Armando Ferrer Serrano

MSc. Juan A. Revilla Puentes

Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Oriente

[aferrer@uo.edu.cu](mailto:aferrer@uo.edu.cu)

[jrevilla@uo.edu.cu](mailto:jrevilla@uo.edu.cu)



La mayoría de las reacciones químicas que se llevan a cabo en los laboratorios, industrias, incluso en los hogares, necesitan de fuentes de energía, tanto para calentar (en mayor medida) como para enfriar. En el ambiente de un laboratorio químico, es evidente el uso del quemador o planchas de calentamiento, así como las útiles mantas. De esta forma, tanto el gas natural como la energía eléctrica ocupan el primer lugar en la síntesis química como fuentes de energía. Sea una reacción inorgánica o de naturaleza orgánica, los procesos de filtración a gravedad, evaporación, reflujo, secado (entre otros) son comunes y demandan de una manera u otra de energía para llevarse a cabo.

Si se hace una exploración en revistas dedicadas a publicar artículos de síntesis orgánica, es posible notar que la mayoría de las reacciones químicas llevan largos tiempos de calentamiento a reflujo o en algún paso de la ruta sintética hay que someter a los reaccionantes a altas temperaturas. A este nivel no es posible notar la seriedad del asunto, pero haciendo un escalado a niveles donde las producciones pasan de gramos a toneladas, entonces el gasto energético es evidente.

Es ahí donde, otra vez, las propuestas de la Química Sostenible podrían jugar un gran papel. Uno de los principios planteados por Paul Anastas<sup>1</sup> se refiere directamente la disminución del consumo energético.

Hace algunas décadas que las microondas comenzaron a ser útiles para la transformación de sustancias químicas. El basamento de su uso es simple y se puede resumir de la siguiente manera:

- La radiación por microondas es una forma de energía electromagnética situada en el rango de frecuencias (300 -300.000 MHz) correspondiente a una longitud de onda (1m - 1mm).

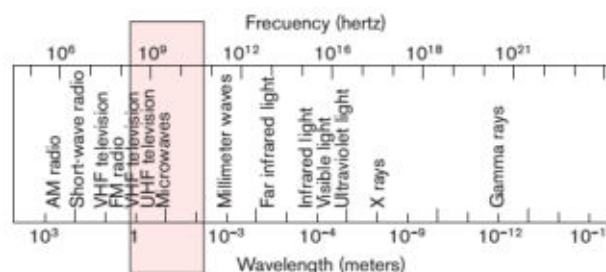


Figura 1. Región de las microondas en el espectro electromagnético.

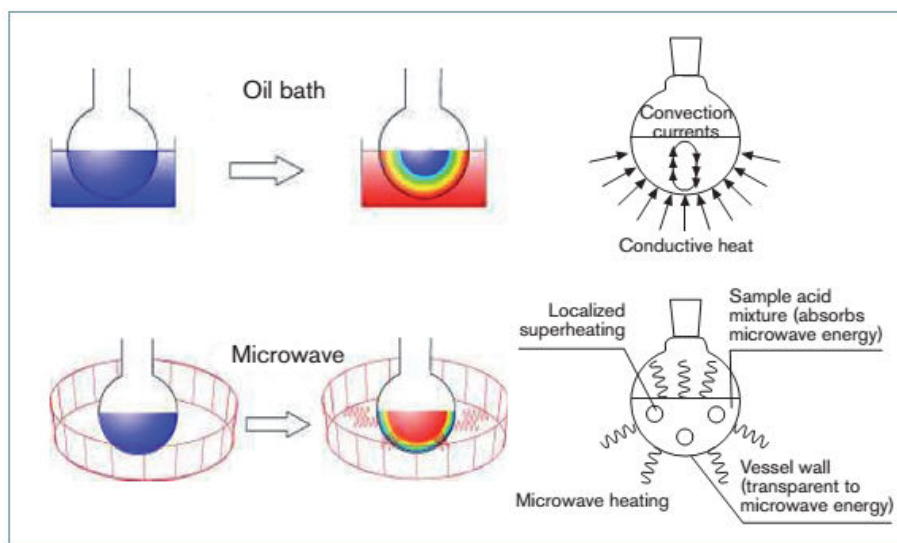
- Al incidir sobre un cuerpo la radiación de tipo microondas, se ve afectada la rotación de las moléculas de la sustancia que lo forma, mientras que su estructura molecular se mantiene inalterable.



- La energía microondas consiste en un campo eléctrico y un campo magnético, aunque solamente el campo eléctrico transfiere energía en forma de calor a la sustancia con

la que dicha radiación entra en contacto.

- El mayor calentamiento ocurre en el centro del recipiente, al contrario del calentamiento convencional (Fig. 2).



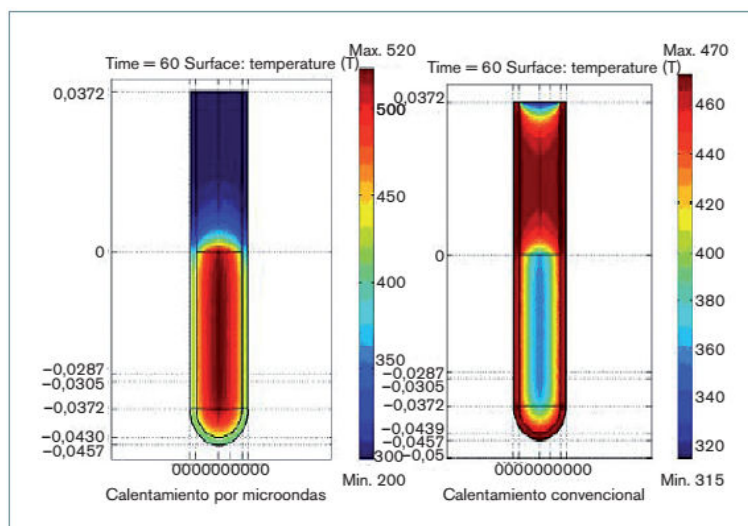
**Figura 2.** Mecanismo de calentamiento de una sustancia en contacto con la radiación de microondas, comparado con el método de baño de aceite convencional.

Los dos mecanismos de transferencia de energía de la radiación microondas para conseguir el calentamiento de la muestra son la rotación dipolar y la conducción iónica.<sup>2</sup>

La rotación dipolar es una interacción en la cual las moléculas polares intentan alinearse sobre sí mismas a medida que el campo eléctrico de la radiación microondas cambia. El movimiento rotacional de la molécula intenta orientarse en la dirección del campo, consiguiendo de esta forma

una transferencia de energía.

La conducción iónica se da cuando hay especies iónicas libres o iones libres presentes en la disolución. El campo eléctrico genera un movimiento iónico mediante el cual las especies intentan orientarse al cambio del campo eléctrico de la radiación microondas, y de forma análoga a la rotación dipolar se produce un supercalentamiento (Fig. 3).

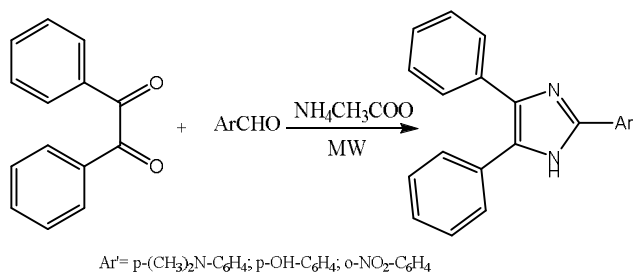


**Figura 3.** Representación del proceso de conducción iónica en el calentamiento por microondas.



Reacciones orgánicas tales como los acoplamientos de Suzuki,<sup>3</sup> los rearrreglos de Claisen,<sup>4</sup> las reacciones tipo Mitsunobu,<sup>5</sup> las adiciones de Michael<sup>6</sup> y muchas más<sup>7</sup> han sido adaptadas con éxito al uso de microondas.

La síntesis de imidazoles constituye ya una tradición en el Grupo de Investigación “Compuestos Bioactivos y Química Sostenible” desde inicios de su fundación. El método más usado es una modificación al procedimiento de Davidson.<sup>8,9</sup> Usando vías convencionales de calentamiento, se someten a 6h de reflujo el compuesto dicarbonílico (generalmente bencilo o furilo), el aldehído que introducirá el sustituyente en posición 2 y acetato de amonio como fuente de nitrógeno, todo esto en un medio de ácido acético glacial. Sin embargo, el uso de las microondas por Wolkenberg y colaboradores<sup>10</sup> en 2004 permitió acelerar el tiempo de reacción notablemente hasta 5 minutos con rendimiento del 88-97%. Acevedo y col.<sup>11</sup> en la Universidad de Oriente, lograron obtener imidazoles 2,4,5-trisustituídos a partir de bencilo empleando también energía de microondas, pero eliminando la adición del ácido acético a la mezcla de reacción (Fig. 4). De esta manera también se cumple con el principio de la Química Sostenible relacionado con la reducción de sustancias auxiliares.



**Figura 4.** Imidazoles sintetizados con microondas en ausencia de ácido acético como disolvente.<sup>11</sup>

Son varias las ventajas del calentamiento por microondas respecto al calentamiento convencional:

- Los tiempos de reacción disminuyen considerablemente.
- Mayor pureza de los compuestos orgánicos obtenidos, ya que generalmente se forman menos productos secundarios.
- Mayor selectividad de los productos sintetizados.
- Menor descomposición térmica de los compuestos.

No solo las microondas pueden ser utilizadas como fuente de energía. Hace muchos años se desconocía la capacidad del ultrasonido para este fin, aunque la bibliografía describe usos importantes de la misma.<sup>12</sup> Desde 1917 se conoce la primera aplicación comercial del ultrasonido en el llamado SONAR (sound navigation and ranging), muy útil en la marina de guerra y comercial. Ciertas aplicaciones del ultrasonido entran en el campo de la biología y la bioquímica, utilizándose en la homogenización y ruptura celular. Otros usos van desde la limpieza de dentaduras en odontología hasta tratamientos de contracciones musculares en medicina e imagenología en obstetricia (ecografía), entre otros.<sup>12</sup>

A finales del siglo pasado hubo una escala importante de los usos y aplicaciones del ultrasonido en la química,<sup>13,14,15</sup> dando nacimiento a una rama de la ciencia conocida como Sonoquímica. Tal vez, lo más importante acerca de la teoría de la Sonoquímica sea el proceso de cavitación.<sup>12</sup>

Las ondas ultrasónicas pueden ser transmitidas a través de cualquier material poseedor de un carácter elástico. El movimiento de la fuente de sonido es transmitido a las partículas del medio, el cual oscila en dirección de la onda y produce ondas longitudinales, así como ondas transversales (Fig. 5). Como las moléculas del medio vibran, la distancia promedio entre ellas decrece durante el

ciclo de compresión e incrementa durante la rarefacción. Es en realidad un proceso de nucleación a pequeños intervalos de tiempo, dentro de pequeñas burbujas de vapor dentro del líquido que contiene a los reaccionantes.<sup>12</sup>

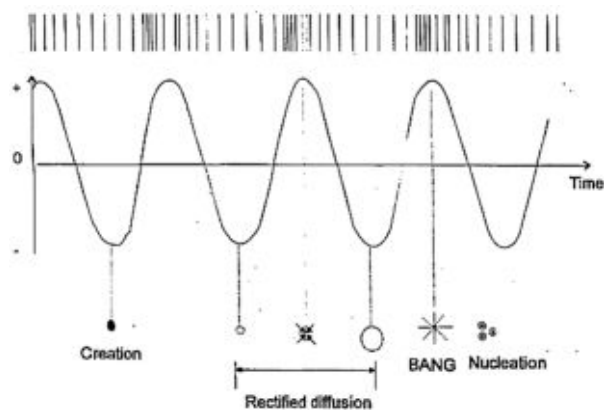


Figura 5. Tiempo de vida de una burbuja "cavitación acústica".<sup>12</sup>

El vapor compuesto por reactivos y solvente sufre fragmentaciones para generar especies reactivas tales como: radicales libres o carbenos. Estas especies de alta energía se concentran en la interfase y conducen a reacciones intermoleculares. ¿Cómo se producen estas ondas? La bibliografía sugerida tiene las respuestas,<sup>12-15</sup> muy interesantes, por cierto.

La Sonoquímica permite que sean llevadas a cabo reacciones de compuestos organometálicos de forma segura. Por ejemplo, la reacción del magnesio con bromuro de etilo, butilo y fenilo; es acelerada mediante el uso de ondas ultrasónicas.<sup>12</sup> Otras reacciones orgánicas se han perfeccionado gracias al ultrasonido<sup>16</sup>, tales como: reducciones, acoplamientos de Ullmann, reacciones de Reformatsky, condensaciones de aciloinas, entre otras.

El grupo de Compuestos Bioactivos y Química Sostenible también ha incursionado en esta fuente alternativa de energía, con resultados ciertamente alentadores, utilizando un "baño ultrasónico" adaptado con este propósito.<sup>17</sup> De esta for-

ma fue posible obtener imidazoles furilsustituídos con rendimientos adecuados, así como buen grado de pureza.

Investigadores de Universidad de Granma y de la UO también utilizaron ondas ultrasónicas pero esta vez, para la formación de complejos metálicos con el ligando curcumina.<sup>18</sup>

Las aplicaciones de las ondas ultrasónicas han impactado hasta en la nanotecnología, reportándose trabajos interesantes, como el desarrollado por Sandra Cabañas<sup>19</sup> donde se sintetizan nanoestructuras de compuestos de níquel mediante la asistencia de ultrasonido.

Hasta este punto ¿Cuáles son las ventajas del uso de las ondas ultrasónicas en síntesis?<sup>20</sup>

- Los tiempos de reacción no son extensos, llegando a ser mucho menores que los reportados para métodos convencionales de calentamiento.
- Puede ser aplicado a un gran número de reacciones químicas.
- Normalmente, se reduce el número de etapas en las síntesis.
- Las materias primas pueden ser utilizadas sin purificación preliminar.
- Los productos finales se obtienen generalmente en forma más fina.
- El tamaño de las partículas metálicas disminuye.
- Es posible combinar esta fuente de energía con otras como las microondas.

En años recientes ha sido interesante el uso de ambas técnicas de manera combinada.<sup>21</sup> Esta iniciativa, aunque semidesconocidos los mecanismos, conduce a mejores rendimientos, selectividad y, sobre todo, a reacciones mas "verdes" al

intentar síntesis con ausencia de solventes indeseados bajo la combinación de dos formas distintas de “activar” a los reaccionantes.

Antes de terminar este artículo, sería bueno preguntarnos: ¿Seguimos intentando una química más amigable con el medio ambiente? ¿Pensamos en una Química que, en verdad, sea sostenible? Tenemos las herramientas (el conocimiento): ¡Usémoslas!

## REFERENCIAS

1. P. T. Anastas, J. C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*, **1998**, Oxford University Press.
2. B. L. Hayes, *Microwave synthesis. Chemistry at the speed of light.*, **2002**, CEM Publishing: Matthews, NC.
3. A. K. Sharma, K. Gowdahalli, J. Krzeminski, S. Amin, *J. Org. Chem.*, **2007**, 72, 8987-8989.
4. R. I. Baxendale, A. I. Lee, S. V. J. Ley, *Chem. Soc., Perkin Trans.* **2002**, 1850-1857.
5. A. Steinreiber, A. Stadler, S. F. Mayer, K. Faber, C. O. Kappe, *Tetrahedron Lett.*, **2001**, 42, 6283-6286.
6. K. M. Amore, N. E. Leadbeater, T. A. Millar, J. R. Schmink, *Tetrahedron Lett.*, **2006**, 47, 6283-6286.
7. C.O. Kappe, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2004**, 43, 6250-6284.
8. D. Davidson, *J. Org. Chem.*, **1937**, 2, 319.
9. S. A. Siddiqui, U. C. Narkhede, S. S. Palimkar, T. Daniel, R. J. Lahorti, K. V. Srinivasan, *Tetrahedron*, **2005**, 61: 3539–3546.
10. S. E. Wolkenberg, D. D. Wisnoski, W. H. Leister, Y. Wang, Z. Zhao, C. W. Lindsley, *Organic Letters*, **2004**, 6(9), 1453-1456.
11. J. Acevedo, F. Nápoles, H. Martínez, C. Soler, A. Loupy, *Revista Cubana de Química*, **2003**, 15(1), 32-36.
12. V. Singh, K. Preet Kaur, A. Khurana, G. L. Kad, *Resonance*, **1998**, 56-60.
13. T. J. Mason, J. P. Lorimer, *Sonochemistry: Theory, Applications and Uses of Ultrasound in Chemistry*, **1988**, Ellis Horwood Ltd.
14. K. S. Suslick, *Ultrasound, its Chemical, Physical and Biological Effects*, **1988**, VCH Publishers, Inc.
15. M. A. Margulis, *Advances in Sonochemistry*, **1990**, T. J. Manson Ed.
16. R. Van Eldik, C. D. Hubbard (eds.), *Chemistry under extreme or non-classical conditions.*, **1997**, Spektrum/Wiley.
17. C. E. Lavadié, *Tesis de licenciatura: Diseño y síntesis exploratoria de imidazoles furilsustituidos usando energía ultrasónica y como catalizadores diyodo y ácido bórico*. **2012**, Universidad de Oriente.
18. Y. Mojena, *Tesis de licenciatura: Síntesis asistida por ultrasonido de complejos curcumina – metal tipo ML y ML2 potencialmente bioactivos*. **2016**, Universidad de Oriente.
19. S. Cabañas, *Tesis de Doctorado: Síntesis asistida por ultrasonido de nanoestructuras de compuestos de níquel.*, **2012**, Universidad Autónoma de Madrid- CSIC.
20. B. I. Kharisov, U. Ortíz, *Ingenierías*, **1999**, 2(5), 13-21.
21. R. Martínez-Palou, *J. Mex. Chem. Soc.*, **2007**, 51(4), 252-264.

# Aplicación del análisis de procesos en la evaluación de plantas industriales

Investigación

Química

**Dra. Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas**

Departamento de Ingeniería Química

Facultad de Ingeniería Química

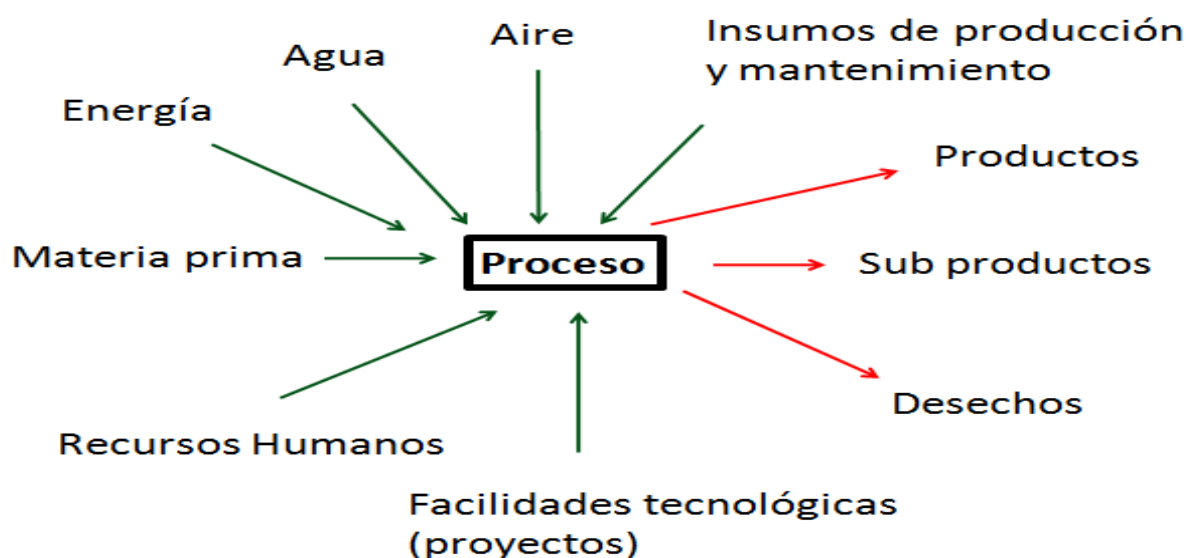
Universidad Tecnológica de La Habana "José A. Hechevarría"

[lourdes@quimica.cujae.edu.cu](mailto:lourdes@quimica.cujae.edu.cu)



**U**n proceso es una agrupación de operaciones de carácter físico-químico (u de otro tipo) que tienen lugar en equipos que están fuertemente vinculados entre sí, de forma tal que aseguren la obtención de una determinada cantidad

de productos con una calidad definida y un costo dado a partir de una o varias materias primas, con la participación decisiva del factor humano y minimizando los impactos ambientales negativos <sup>1</sup> (Fig. 1).



*Figura 1. Principales componentes de un proceso.*

Hay dos indicadores claves a evaluar en un proceso: la eficacia, habilidad para alcanzar resultados deseados, y la eficiencia, que compara los resultados alcanzados y los recursos utilizados para obtenerlos.

En general, el profesional vinculado a la in-

dustria de procesos se enfrenta a problemas no estructurados, o sea aquellos problemas en que no hay suficiente información de la situación a resolver o que es la primera vez que ocurre.

Una planta de proceso y las actividades que se relacionan con ella conforman un sistema. Este

sistema existe y opera en distintos niveles y dimensiones: desde los procesos de transformación hasta la contabilidad pasando por la administración de recursos humanos, la gestión de las materias primas y los productos finales, el «marketing» y el cuidado del medio ambiente, entre otros. Para poder capturar esta diversidad y dar una respuesta coherente, el enfoque del análisis también debe ser sistémico.

Se requiere, por tanto, del Análisis de procesos, conjunto de trabajos realizados para caracterizar tecnológicamente el proceso industrial y proponer los cambios a realizar en él para mejorar su eficiencia. Varias son las herramientas para desarrollar un análisis de procesos: balances de masa y energía, estadística y diseño de experimentos, modelación matemática, simulación, optimización, análisis económico, aseguramiento de la calidad, control de procesos, evaluación del impacto ambiental, entre otros.

En la aplicación del Análisis de procesos (Fig. 2)

en la actualidad están presentes algunas regularidades como:<sup>2</sup>

- Uso intensivo de las técnicas de computación lo que permite un trabajo más eficiente (rápido y con alta confiabilidad) y en el que pueden considerarse más alternativas.
- Uso intensivo de nuevas técnicas de medición, control y diagnóstico, empleando instrumentos de altísima fiabilidad y precisión, lo que permite caracterizar mejor el proceso y aplicar soluciones que pudieron parecer imposibles anteriormente.
- Uso del concepto de aseguramiento de la calidad.
- Papel preponderante del factor humano y del grupo.
- Uso de técnicas de análisis de información.
- Necesidad de preservar el medio ambiente con la aplicación de tecnologías limpias, minimización, reciclaje, entre otras).



**Figura 2:** Metodología a seguir para realizar el Análisis de procesos



Varias son las acciones a realizar para desarrollar esta estrategia de análisis: caracterización tecnológica, identificación del problema, planteamiento de alternativas de solución del problema y selección de la mejor; realización práctica de las modificaciones propuestas, comprobación de resultados y ejecución de ajustes.<sup>3</sup>

La **caracterización tecnológica** consiste en determinar la configuración o el esquema tecnológico del proceso. Para ello se deberá: caracterizar los equipos que lo conforman; caracterizar las materias primas y materiales; caracterizar la estructura de producción y la calidad de los productos, sub-productos y desechos; caracterizar los costos o gastos; identificar las variables del proceso y cómo se regulan; establecer la influencia de las variables del proceso en el rendimiento, la calidad, los costos y el comportamiento del proceso e identificar los impactos ambientales.

Para identificar las variables del proceso y establecer la influencia de éstas se requiere clasificar las variables en tres tipos: variables fijadas por condiciones externas; variables fijadas por las exigencias del proceso, dentro de cierto intervalo y valores cambiantes a voluntad para que el proceso opere eficientemente, que son las variables de mando.

Los valores de las variables de mando influyen en los rendimientos, la calidad, los costos y el comportamiento general del proceso. Las variables más importantes son las que influyen en mayor grado en los resultados aun cuando cambien poco. Éstas son las variables principales a considerar en el análisis.

La **identificación del problema** implica definir el objetivo específico que se persigue, que puede ser parcial, para finalmente llegar a uno total. Es común que este objetivo surja de la de-

tección de problemas operacionales o tecnológicos existentes. Un proceso con este tipo de problemas tiene siempre una eficiencia menor que la esperada o normal. Hay que resolver el problema para lograr esta eficiencia y después, buscar aumentarla.

Hay síntomas comunes para detectar problemas operacionales en un proceso como: nivel de producción menor que lo esperado; rendimiento inferior al establecido; costos muy elevados, por encima de lo previsto, lo que puede estar motivado por consumos excesivos de materias primas, materiales de producción y facilidades auxiliares; calidad inferior a la requerida en los productos; variables de operación fuera de los valores requeridos; inestabilidad operacional que provoca resultados desfavorables en el proceso; mayor volumen de desechos que el previsto, entre otros. Para abordar este tipo de problema es preciso definir cuáles son sus causas para precisar sobre qué se debe actuar.

Para el **planteamiento de las alternativas de solución del problema** se debe tener presente que existe más de una vía o alternativa para dar solución al problema planteado. Se alcanzará una solución mejor mientras más alternativas se consideren.

Para la **selección de la mejor** se hace uso de criterios técnico-económicos y ambientales. Se escogerá aquella variante más eficiente y racional desde estos puntos de vista. En esta etapa se usan la mayoría de las herramientas del Análisis de procesos.

Posteriormente se **ejecutan todas las modificaciones** y se realizan las mediciones necesarias para comprobar los resultados. Se comparan con lo esperado o deseado. Si no se obtienen los resultados esperados, se realizan los ajustes necesari-

rios en el proceso, lo cual puede implicar repetir total o parcialmente la estrategia.

En el diseño o en la operación no existe la posibilidad de decidir sin riesgo, pero hay que disminuirlo, evaluando las ventajas y las desventajas de cada alternativa sobre la base del cumplimiento de los objetivos o sea del grado de aproximación en la solución del problema; del tiempo necesario para alcanzar la solución, del costo y de la duración de los efectos, o sea de la estabilidad de la solución propuesta.

### Herramientas modernas para la solución de un problema en ingeniería

El procedimiento metodológico fundamental para resolver un problema en ingeniería consiste en representarlo de tal forma que se logre una sustitución del sistema real (equipo, proceso, etc.) por uno más adecuado para el análisis. La modelación matemática brinda un marco útil para representar, mediante un sistema de símbolos y reglas, el comportamiento de los sistemas reales. En la Figura 3 los componentes y acciones que integran la modelación de procesos.

### Simulación de procesos

La simulación es la representación de procesos químicos a partir de una red de modelos matemáticos integrados. Cada modelo matemático está diseñado para predecir el comportamiento de una operación unitaria. Los modelos se configuran a través de una red de corrientes. Utiliza el cálculo de los balances de materiales, energía y eventualmente cantidad de movimiento, de un proceso para el que se conocen la estructura y los datos preliminares de los equipos que lo componen.

No siempre la simulación es la mejor herramienta a utilizar. Si existe una formulación matemática pero su solución es muy compleja, si el sistema real no existe, si los experimentos son imposibles por razones económicas, éticas, de seguridad o de calidad, si el sistema evoluciona muy rápidamente o muy lentamente, la simulación resulta de gran utilidad.

En la etapa de análisis, los simuladores de procesos son la herramienta más importante, junto a las técnicas de optimización. Con ella se pueden generar alternativas y evaluar cada una, con un

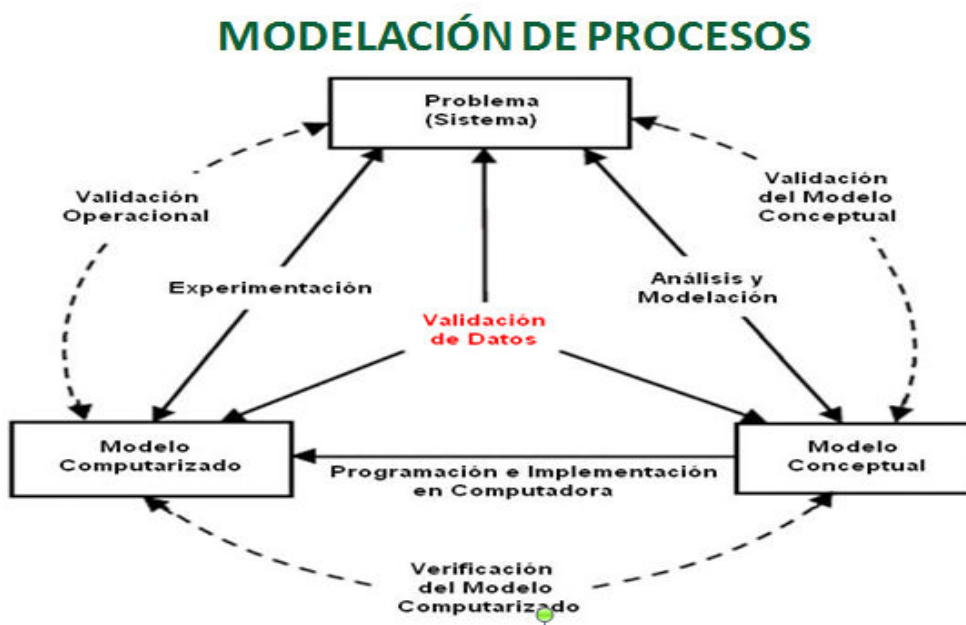


Figura 3: Componentes y acciones que integran la modelación de procesos

considerable ahorro de tiempo y recursos. Con los datos de las propiedades de todas las corrientes del proceso se puede obtener un costo estimado, además de otros datos importantes, como las emisiones al medio ambiente. Se discrimina entre diversas opciones posibles competitivas, o bien se verifica un desempeño en etapas más finas, como son control, confiabilidad, viabilidad de la puesta en marcha y parada.

En el campo de la ingeniería química se destaca el uso de los simuladores ASPEN, ASPEN-HYSYS y SuperProDesigner, simuladores de procesos soportado en Windows, completamente interactivos, de estructura modular no secuencial, en los que se pueden simular procesos en estado estacionario y dinámico, que se usan en el diseño de plantas y procesos o para la solución de problemas de funcionamiento y en los que se pueden manipular las variables de procesos y las operaciones unitarias.

### **Análisis de componentes principales**

Cuando el número de variables es alto y existe dificultad para interpretar las relaciones entre ellas, el análisis de componentes principales (ACP) es una herramienta muy útil. El ACP constituye un método estadístico multivariante de simplificación o reducción de la dimensión de una matriz de muestras - variables con datos cuantitativos, para obtener otra de menor número de variables, combinación lineal de las primarias, que se denominan componentes principales o factores, cuya posterior interpretación permite un análisis más simple del problema estudiado.<sup>4,6</sup>

Los objetivos principales del ACP son: extraer la información importante de la base de datos; disminuir la dimensionalidad de la matriz de datos manteniendo esta información importante; expresar esa información como una nueva matriz

de variables ortogonales; simplificar la descripción de los datos y analizar la estructura de las observaciones y las variables. Uno de los softwares de amplia divulgación que permite la realización del ACP es The Unscrambler X.<sup>7</sup>

### **Redes neuronales artificiales**

Las redes neuronales artificiales (RNA) constituyen una forma de procesar la información con una diferencia fundamental respecto al resto de las técnicas tradicionales: son capaces, en un porcentaje elevado de casos, de detectar y aprender complejos patrones y características dentro de los datos; así como de modelar de manera efectiva y eficiente problemas grandes y complicados, de forma individual, o combinadas con otros métodos, para aquellas tareas de clasificación, agrupamiento y regresión. Funcionan como una caja negra, pues no requieren conocimiento previo acerca del proceso.<sup>8</sup>

Las RNA constituyen una técnica de inteligencia artificial que imita el proceso de aprendizaje del cerebro humano. Una neurona biológica recibe información a través de las sinapsis o sistema de unión de sus dendritas, que son los elementos de entrada de otras neuronas, con el axón o fibra nerviosa de salida de otra neurona y alcanza el cuerpo de la célula. La cantidad de señal transmitida depende de la naturaleza y la cantidad de producto químico liberado. La neurona se activa si el resultado es superior a un determinado límite umbral (sesgo o bias) y envía una señal a otras neuronas.<sup>9</sup>

La necesidad de reducir el costo de experimentación, de obtener pronósticos de control en tiempo real y su rapidez y simplicidad de respuesta, le han abierto camino en el campo de la ingeniería química.

## Conclusiones

La aplicación de la Estrategia de Análisis de procesos en las instalaciones industriales permite analizar qué problemas existen integralmente y sus posibles soluciones, determinar las variables que influyen de forma significativa en los resultados clave del proceso, contar con modelos matemáticos para la predicción del comportamiento del sistema y la búsqueda del óptimo del proceso, simular el proceso para hacer estudios de alternativas de solución sin incremento de costos de experimentación.

## REFERENCIAS

1. <http://www.heflo.com/es/definiciones/analisis-de-proceso/>. Consultado en: 15 de marzo del 2020.
2. S. Luque, A. Vega en Simulación y optimización avanzadas en la industria química y de procesos: HYSYS. Universidad de Oviedo, Oviedo **2005**. 338 p.
3. O. Gozá, “Estrategia de análisis para lograr un uso más eficiente de la energía en los centrales azucareros”. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Facultad de Ingeniería Química. Cujae, 1996.
4. A. Tharwat. *International Journal of Applied Pattern Recognition* **2016**, 3, 197-238.
5. I. Jolliffe, J. Cadima. *Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences*. **2016**, 374(2065)
6. W.K. Hardle, L. Simar en *Applied Multivariate Statistical Analysis* Fourth Edition Ed. Springer-Verlag Berlin. **2015**, 580 p.
7. CAMO Software products. *The Unscrambler X.v10.4*. User's Manual. **2016**.
8. <http://ctan.mirrorcatalogs.com/graphics/pgf/contrib/neuralnetwork/examples/neuralnetworks-ebook.pdf>.
9. M. A Korany, H. Mahgoub, O. Fahmy, M. Taherzadeh. *Journal of Advanced Research*. **2012**, 3(1), 53-63.

**Dr. Jorge A. Pino Alea**  
**Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia e**  
**Instituto de Farmacia y Alimentos,**  
**Universidad de La Habana**  
[jpino@iiaa.edu.cu](mailto:jpino@iiaa.edu.cu)



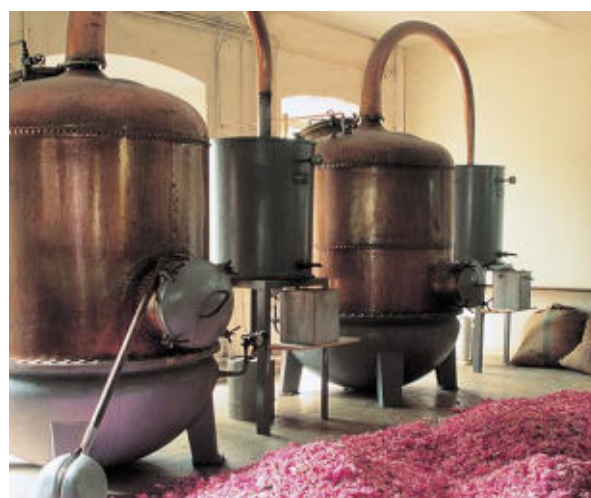
**L**os aceites esenciales (AEs) son productos caracterizados por un fuerte olor, constituidos por mezclas complejas de compuestos volátiles y obtenidos a partir de algún material natural mediante destilación (seca, con agua o vapor) o por expresión mecánica (para las frutas cítricas) (Figura 1).<sup>1</sup>



**Figura 1.** Fuentes naturales de AEs.

Estos productos están asociados al reino vegetal, pero algunos pocos de ellos se encuentran en fuentes animales (almizcle, civeta y ámbar gris).<sup>2</sup> La Farmacopea Europea define al AEs como: “Un producto oloroso, usualmente de composición compleja, obtenido de un material de una planta definida botánicamente, mediante destilación con vapor, destilación seca o por algún proceso mecánico sin calor”<sup>3</sup>. La Figura 2 muestra destiladores usados industrialmente para la obten-

ción del AE de la flor de lavanda. El Consejo de Europa lo describe como un producto obtenido a partir de materiales vegetales.<sup>4</sup> Debido a la prohibición del uso de materiales provenientes de animales para la elaboración de fragancias, en la actualidad, los AEs son producidos solamente a partir de materiales vegetales.



**Figura 2.** Destiladores para flor de lavanda.

Los extractos de plantas aromáticas obtenidos mediante el uso de disolventes o gases fluidizados no son considerados como AEs<sup>4</sup>. Los concretos, pomadas, absolutos y oleorresinas, que pueden considerarse como extractos aromáticos no son AEs, de igual forma que los productos obtenidos por extracción con fluidos supercríticos tampoco lo son. No deben ser confundidos los



AEs con los aceites grasos, que están compuestos por mezclas de lípidos que no necesariamente son volátiles. Una prueba simple de diferenciación es precisamente esta diferencia de volatilidad, pues una gota de un AE sobre un papel de filtración se evaporará completamente, mientras que la gota del aceite graso permanecerá en el papel.

En las últimas décadas ha habido un renacer por el interés en la medicina natural, particularmente con el empleo de remedios herbales como complemento de la medicina moderna. Ocurre igual con el uso de materiales naturales en las industrias de alimentos, bebidas, saborizantes, productos agrícolas y perfumería. La búsqueda de sustancias activas se ha animado, particularmente en el uso de AEs y sus compuestos volátiles como agentes antimicrobianos y antioxidantes en alimentos y productos alimenticios, por sus propiedades medicinales, plaguicidas, insecticidas, entre otras<sup>5-10</sup>. El hecho de que los AEs y sus constituyentes, además de su capacidad aromatizante, sean naturales y biodegradables, posean generalmente poca toxicidad y sean capaces de cumplir la función de sustancias obtenidas por vía sintética, han contribuido a este resultado. Los AEs también son fuente de materias primas valiosas y de bajo costo, pues sus componentes mayoritarios pueden aislarse por destilación o cristalización. Por ejemplo, se obtiene eugenol a partir de los AEs de clavo (*Syzygium aromaticum*) y pimienta (*Pimenta racemosa*), citronelal del AE de eucalipto (*Corymbia citriodora*) y citronela (*Cymbopogon winterianus*), citral del AEs de litsea (*Litsea cubeba*), mentol del AE de menta japonesa (*Mentha arvensis* var. *piperascens*), entre otros. Estos compuestos son usados como tales o sirven de punto de partida para la síntesis de otros derivados que son utilizados en perfumería y como saborizantes.<sup>1</sup>

Desde hace décadas, el mundo está experimentando un cambio hacia el consumo de “productos verdes”, con el interés de usar cada vez menos aditivos sintéticos y productos que no afecten al medio ambiente, por lo que el uso de los AEs en la actualidad es de especial interés en las industrias cosmética, farmacéutica y alimentaria.<sup>5-10</sup>

Los AEs son la fuente de los olores de las flores, hojas, frutos, corteza y madera de muchas plantas aromáticas, generalmente localizadas en zonas templadas y cálidas como las áreas mediterráneas y tropicales. Ellos son más comunes en especies de las familias Apiaceae (Umbelliferae), Asteraceae (Compositae), Cupressaceae, Hypericaceae (Guttiferae), Lamiaceae (Labiatae), Lauraceae, Leguminosae (Fabaceae), Liliaceae, Malvaceae, Myrtaceae, Oleaceae, Pinaceae, Rosaceae, Rutaceae y Zingiberaceae<sup>1,2</sup>. En algunos casos, sus compuestos están enlazados con carbohidratos en forma de glicósidos, que deben ser liberados por hidrólisis del enlace glicósido mediante una reacción enzimática que normalmente tiene lugar durante el marchitado del material vegetal antes de la destilación<sup>1,2</sup>. Los mohos, algas, esponjas y hongos también pueden contener AE.<sup>11</sup>

En la actualidad se conocen alrededor de 3000 AEs, 300 de los cuales son comercialmente importantes<sup>1,2</sup>. Los AEs son ampliamente usados en perfumería, cosmética, industria farmacéutica, agricultura, como aditivos en la industria alimentaria y remedios naturales, así como en aromaterapia.<sup>1-11</sup>

### Historia de los aceites esenciales

Las plantas aromáticas, que contienen AEs, han sido usadas desde tiempos remotos para varios fines que incluyen tratamientos médicos, preservantes alimentarios y saborizantes de alimen-

tos, así como en la preparación de perfumes. El término “aceite esencial” fue empleado por primera vez en el siglo XVI por el reformador de la medicina suizo Paracelsus von Hohenheim, quien nombró al componente efectivo de una droga, en su libro *Quinta essentia*.<sup>12</sup>

La aparición de las primeras civilizaciones y su preocupación por la imagen y apariencia ante los demás pueden considerarse como el origen de la búsqueda y estudio de los AEs. El uso de hierbas y especias en la condimentación de los alimentos es tan antiguo como el propio hombre y la comercialización de la canela, cardamomo y jengibre se menciona en manuscritos antiguos que datan de antes del 2000 a.n.e.<sup>13</sup>

El Antiguo Testamento recoge numerosos testimonios sobre el conocimiento y uso de los AEs. Los primeros procesos de destilación de AEs se realizaron en Oriente (Egipto, Persia e India). Sin embargo, estas rudimentarias destilaciones consiguieron su máximo desarrollo en Occidente. Los legados sobre los métodos, objetivos y resultados de estas primeras destilaciones son escasos y ambiguos. Sólo en los escritos de grandes historiadores como Herodoto (484–425 a.n.e.), Plinio (23–79 a.n.e.) y su contemporáneo Dioscórides (¿?–65 a.n.e.), empiezan a haber reseñas sobre AEs, en donde el AE de trementina fue el primero

mencionado por los historiadores griegos y romanos.<sup>12</sup>

En la Antigua Grecia y Roma, pero sobre todo a partir de la Edad Media, se elaboraban AEs cuya obtención distaba mucho de los métodos utilizados en la actualidad. Los aceites grasos se embotellaban con flores, raíces u otras partes aromáticas de las plantas y después de un tiempo de maceración se conseguían “aceites olorosos”.

El primer manuscrito que define la destilación como método de obtención de un AE fue escrito por Arnald de Villanova (1235–1311), quien especificó detalladamente el proceso de destilación del AE de trementina.<sup>12</sup>

En el siglo XIII, los AEs se producían en droguerías y sus aplicaciones ya eran descritas en farmacopeas<sup>2</sup>, pero su uso en Europa no parece extenderse hasta el siglo XVI, época en la que comenzaron a comercializarse en Londres. Cabe destacar la obra de 1556 titulada *New Gross Destillirbuch*, de Brunschwig y Reiff (1556), que contiene la primera referencia sobre la industria y comercialización de AEs<sup>12</sup>. De acuerdo con el médico francés Du Chesne, en el siglo XVII la preparación de AEs era muy común y las farmacias comercializaban de 15 a 20 tipos de AEs diferentes<sup>12</sup>. El uso del AE del árbol del té con fines medicinales fue bien documentado desde la colonización de Australia a finales del siglo XVIII.<sup>14</sup>

Todos estos avances en la obtención de AEs se desarrollaron paralelamente a técnicas de fraccionamiento y caracterización. En el siglo XIX comenzó la revolución química con el planteamiento de la hipótesis sobre la naturaleza de las sustancias que componen estas mezclas y la forma de separarlas para conseguir su identificación. Las primeras investigaciones relacionadas con la



*Figura 3. AEs sagrados egipcios.*

composición de los AEs se deben al químico francés M. J. Dumas (1800–1884), quien publicó sus resultados en 1833. Otro químico francés, M. Berthelot (1827–1907) caracterizó distintos compuestos químicos naturales y sus productos de reordenamiento mediante polarimetría. Sin embargo, los estudios más importantes se deben al químico alemán O. Wallach, un asistente de A. Kekulé (1829–1896). Houton en 1887 fue el primero en detectar la relación carbono/hidrógeno, aunque no fue hasta 1918 cuando Wallach sentó las bases de los terpenos y su clasificación.<sup>12</sup>

Como consecuencia de los avances en la caracterización y propiedades de los AEs, su uso se ha ampliado a lo largo de la historia. Los primeros experimentos sobre las propiedades bactericidas de los vapores de los AEs fueron descritos por De la Croix en 1881.<sup>15</sup> Sin embargo, en el transcurso de los siglos XIX y XX, el uso de los AEs con fines médicos pasó a un segundo plano, dando mayor importancia a su empleo como saborizantes.<sup>12</sup> En la actualidad se han afianzado las aplicaciones en alimentos (como saborizantes), perfumes (como fragancias), farmacéuticas (por sus propiedades funcionales) y en aromaterapia.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Algunos de sus componentes también se aíslan y se usan para formulaciones de saborizantes y fragancias.<sup>16</sup>

### Situación en Cuba

Cuba es un país tropical que cuenta con innumerables especies botánicas, muchas de las cuales son poco conocidas científicamente a pesar de tener múltiples usos alimentarios y medicinales por la población.

El estudio de la composición y uso de los AEs se inició en 1969 en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas donde un grupo de químicos: Rolando Tápanes Peraza, José Pérez Zayas,

Aristides Rosado Pérez, Ricardo Baluja Rivero y Hermán Véliz Castro, graduados en la extinta República Democrática Alemana, realizaron trabajos con asesoría alemana, que culminaron en sus propias tesis de doctorado en temas de AEs y sus constituyentes. Hasta finales de la década de los 80 este grupo hizo grandes aportes a esta temática, participó en un programa principal estatal y formó especialistas, entre los que se incluye el presente autor. Infortunadamente este grupo inicial no continuó en esta temática, lo que causó un impase en la ciencia cubana, pues tratar de diseñar un camino que debe recorrerse para descubrir y conocer las especies aromáticas, así como para evaluar el inmenso potencial económico y social que se encierra en cada una de ellas, debe ser un objetivo constante de la comunidad científica nacional.

En la actualidad, solo pueden mencionarse que continúan este trabajo con una cierta sistematicidad a la Dr.C. Oriela Pino Pérez (Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria) en el manejo de plagas agrícolas y urbanas, el Dr.C. Rolando Quert Álvarez (Instituto de Investigaciones Agroforestales) en la obtención y caracterización de AEs a partir de especies y residuos forestales y el Dr.Cs. Jorge A. Pino Alea en la obtención, caracterización y evaluación de actividades biológicas. Los resultados de este último en AEs de plantas cubanas hasta 2011 abarcan 131 especies agrupadas en 80 géneros, pertenecientes a 24 familias botánicas, y distribuidas a lo largo del país.<sup>17</sup> Las familias más estudiadas, en orden decreciente, han sido Myrtaceae, Lamiaceae, Asteraceae, Rutaceae, Piperaceae y Verbenaceae, mientras que los géneros más ampliamente estudiados corresponden a *Eugenia*, *Psidium*, *Mentha* y *Ocimum*

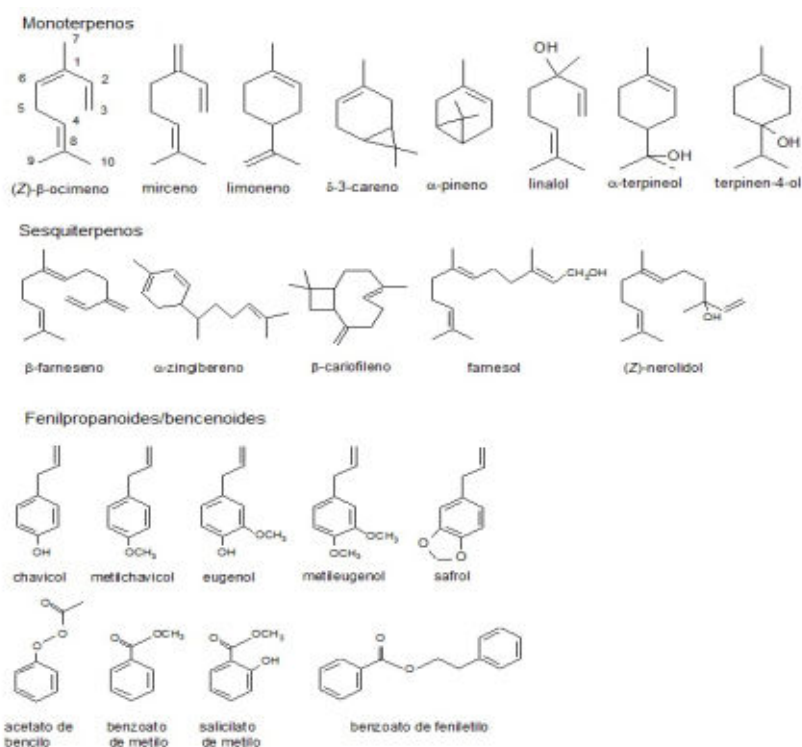
## Química de los aceites esenciales

Las plantas, como organismos sedentarios, tienen que ajustar el ambiente que las rodea durante su ciclo de vida. Para compensar la inmovilidad, las plantas han desarrollado varios mecanismos para su interacción con el ambiente que incluyen el desprendimiento de numerosos compuestos volátiles de sus hojas, flores y frutas hacia la atmósfera, así como de las raíces y rizomas hacia el suelo.<sup>18</sup> En la actualidad, se han identificado cerca de 1700 componentes volátiles de más de 90 familias de plantas aromáticas.<sup>1</sup> Estos compuestos constituyen alrededor del 1 % de los metabolitos secundarios de las plantas conocidos hasta la fecha y están representados por hidrocarburos mono- y sesquiterpénicos, así como derivados oxigenados biogénicamente derivados de ellos. Otros constituyentes comunes son fenilpropanoides/bencenoides generados por la vía del ácido shikímico y sus productos de biotransformación, así como otros compuestos provenientes del metabolismo de los ácidos grasos y aminoáci-

dos. También pueden estar presentes compuestos nitrogenados y azufrados<sup>1,2</sup>. La Figura 4 ilustra algunos ejemplos de estos compuestos.

Con la introducción de las técnicas de separación cromatográficas, en particular la cromatografía de gases y las técnicas espectroscópicas, como la espectrometría de masas, espectroscopía infrarroja y resonancia magnética nuclear, es que se logró la asignación de estructuras químicas. El desarrollo logrado en el conocimiento en el campo de los AEs se debe a los avances en la química analítica de la segunda mitad del siglo pasado, en particular al acoplamiento cromatografía de gases-espectrometría de masas.<sup>19</sup>

Los métodos analíticos usados para el análisis de los AEs dependen del fin que se persiga. Si se desea determinar la cantidad de sus constituyentes volátiles se necesita de la cromatografía de gases con detector de llama, mientras que si se requiere de la identificación de los compuestos entonces se necesita la cromatografía de gases-espectrometría de masas.



**Figura 4.** Estructuras típicas de constituyentes de aceites esenciales.

A pesar de que otras técnicas instrumentales pueden ser también empleadas, como la resonancia magnética nuclear, espectroscopía infrarroja, etc., la mayoría de las investigaciones se realizan con las dos primeras.<sup>20</sup> Por otra parte, cuando se requiere de un control de calidad deberán incluirse las determinaciones de una serie de métodos físicos y químicos tradicionalmente usados, junto con la evaluación sensorial.

## Conclusiones

El interés científico que despierta el estudio de los AEs se pone de manifiesto, en el ya voluminoso y aún creciente número de artículos que se publican anualmente sobre este tema en las revistas científicas.

Cuba es un país con innumerables especies vegetales y en los últimos años hemos empezado a darnos cuenta de ello y a tratar de diseñar el camino que debemos recorrer para descubrir y conocer nuestras especies y poder así evaluar el inmenso potencial económico que se encierra en cada una de ellas, así como del beneficio de su explotación. Por otra parte, para participar de forma sostenible y con éxito en el mercado internacional, el desarrollo agroindustrial de productos basados en AEs con impacto en la economía cubana debe enfocarse como cadena de valor

Es evidente que para un país dueño de tal biodiversidad, la tarea fundamental debe ser la de buscar estrategias para conocer y aprovechar este potencial. Para ello es fundamental, antes que todo, hacer un estudio serio de esa diversidad, diseñado no sólo para establecer inventarios, sino también para evaluar sus posibles aplicaciones.

## REFERENCIAS

1. J.A. Pino, *Aceites Esenciales: Química, Bioquímica, Producción y Usos*, Editorial

Universitaria, La Habana, **2015**.

2. K. Bauer, D. Garber, H. Surburg, *Common Fragrance and flavor Materials: Preparation, Properties and Uses*, Wiley-VCH, Weinheim, **2001**.
3. *Farmacopea Europea: Pharmacopoeia*, 6th ed. EDQM (Council of Europe), Strasbourg, France, p. 680, **2008**.
4. Anónimo, *Natural Sources of Flavourings*. Report No. 1. Council of Europe Publishing, Strasbourg, France, **2000**.
5. R. Pavela, G. Benelli, *Trends Plant Sci.*, **2016**, 21(12), 1000–1007.
6. R. Ribeiro-Santos, M. Andrade, A. Sanches-Silva, N. Ramos de Melo, *Food Bioprocess. Technol.*, **2017**, 1(1), 43-71.
7. R. Schneider, N. Singer, T. Singer, *Hum. Psychopharmacol. Clin. Exp.*, **2018**; e2683.
8. O. Campolo, G. Giunti, A. Russo, V. Palmeri, L. Zappalà, *J. Food Qual.*, **2018**, Article ID 6906105.
9. J. Rao, B. Chen, D.J. McClements, *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, **2019**, 10, 3.1–3.23.
10. S. Tariq, S. Wani, W. Rasool, K. Shafi, M.A. Bhat, A. Prabhakar, A.H. Shall, M.A. Rather, *Microbial Pathogenesis*, **2019**, 134, 103580.
11. K.H.C. Başer, F. Demirci, *Flavours and Fragrances. Chemistry, Bioprocessing and Sustainability*, Springer, Heidelberg, pp. 43–83, **2007**.
12. E. Guenther, *The Essential Oils*, Vol. 1-6, Allured Pub. Corp., Carol Stream, IL., 1972–1998. <http://www.allured.com/pf/peoeg.html>



13. G. Reineccius, *Flavor Chemistry and Technology*, CRC Press, Boca Raton, FL., **2006**.
14. C.F. Carson, T.V. Riley, *Letters Applied Microbiol.*, **1993**, 16, 49-55.
15. W. Boyle, *Am. Perf. Essent. Oil Rev.*, **1955**, 66, 25-28.
16. H.A.E. Shaaban, A.H. El-Ghorab, T. Shibamoto, *J. Essent. Oil Res.*, **2012**, 24(2), 203-212.
17. J.A. Pino, Contribución al estudio de la composición volátil de la flora de Cuba, Tesis de Doctor en Ciencias, IFAL, La Habana, **2011**.
18. N. Dudareva, F. Negre, D.A. Nagegowda, I. Orlova, *Crit. Rev. Plant Sci.*, **2006**, 25(5), 417-440.
19. E.E. Stashenko, J.R. Martinez, En: S.M. Bagher Hashemi, A.M. Khaneghah, A. de Souza Sant'Ana (Eds.), *Essential Oils in Food Processing: Chemistry, Safety and Applications*, Wiley-Blackwell, London, **2017**.
20. M.C. González-Mas, J.L. Rambla, M.P. López-Gresa, M.A. Blázquez, A. Granell, *Front. Plant Sci.*, **2019**, 10, article 12. doi:10.3389/fpls.2019.00012.

## Situaciones problémicas experimentales para estudiantes de la carrera Licenciatura en Educación Química

Enseñanza de  
la Química



MSc. Alina Fernández Salazar

MSc. Maximiliano Pérez Barrera

MSc. Turmin Pérez Lambert



Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad de Oriente

[alinafs@uo.edu.cu](mailto:alinafs@uo.edu.cu)

**L**as categorías de la enseñanza problémica, como peldaño del conocimiento, permiten a los educandos descubrir y conocer el objeto de estudio y llegar a su esencia; reflejando los momentos más importante en el proceso productivo de asimilación de la verdad en el proceso docente-educativo<sup>1,2</sup>. Entre dichas categorías se encuentran: la situación problémica, el problema docente, la tarea problémica, la pregunta problémica y lo problémico.

Por lo que la situación problémica que es lo que nos compete analizar en la investigación es un estado psíquico de dificultad que surge en los estudiantes cuando, ante un planteamiento o una tarea que se les oriente, no pueden explicar el nuevo hecho mediante los conocimientos que tienen o los procedimientos que ya conocen, por lo que deben hallar un nuevo procedimiento para actuar. Constituye la contradicción entre lo conocido y lo desconocido, que funciona como fuente de desarrollo de la actividad cognoscitiva.

Por eso es necesario tener en cuenta que las situaciones científicas y las situaciones cotidianas estarán más o menos alejadas, dependiendo de

los planteamientos docentes bajo los que se examinen. Pero, si la educación debe prepararnos para enfrentarnos a la realidad, en algún momento del proceso de aprendizaje se hace necesario establecer un nexo entre ambos niveles. Este nexo entre el mundo conceptual científico y el entorno de cada día se establece en la escuela mediante puestas en situación, más o menos realistas, en las que se busca que el estudiante aplique u obtenga conocimientos científicos abstractos.

Estas situaciones, en sus diversas variedades, se denominarán ejercicios, problemas de lápiz y papel, prácticas, experiencias de laboratorio, trabajos prácticos, pequeñas investigaciones, problemas abiertos, etc. Se diferenciarán unas de otras, entre otras cosas, en el mayor o menor grado de reproducción controlada de la realidad y en el sentido que toma la situación de aprendizaje: desde los conceptos científicos hacia el mundo real o viceversa.

En los últimos años van abriéndose paso planteamientos que integran estas diferentes situaciones de aprendizaje, a las que, en lo sucesivo denominaremos situaciones problemáticas.

## Visión investigativa

Para tener clara esta visión se comienza con el análisis de la siguiente interrogante: *¿Qué es una situación problémica?*

Ante cualquier situación que se nos presenta en la vida diaria nos pueden ocurrir dos cosas: que conozcamos el mecanismo para solucionarla o que no sepamos qué hacer. En el primer caso, aplicaremos los pasos necesarios para resolver la situación haciendo uso de nuestra memoria. En el segundo, tendremos que buscar la solución mediante muchas más destrezas intelectuales: análisis, síntesis, memoria, búsqueda y clasificación de la información. Este planteamiento, núcleo central de los análisis de varios autores, supone que diferentes personas estarán en uno u otro caso según su experiencia. Supone también que la resolución que adopte cada una será diferente y los caminos serán múltiples. En el aula ocurre exactamente lo mismo. La reacción de un estudiante ante una situación planteada por el profesor depende de que conozca o no previamente el mecanismo de resolución. En ciertas situaciones, el estudiante tiene ya respuestas satisfactorias de acuerdo a algún modelo de solución, presentado anteriormente por el profesor en clase como "solución-tipo". En este caso el estudiante debe reconocer la situación planteada y resolverla mediante la solución-tipo conocida. Estamos ante lo que denominaremos ejercicio o, en su versión de trabajo experimental, práctica.

Otra interrogante está dada en *¿Qué debe hacer el estudiante cuando se le orientan las situaciones problémicas experimentales?*

Se considera que la metodología de trabajo propuesta (SPE) contribuye a la formación del estudiante de la carrera Licenciatura en Educación Química, en la medida en que, a través de la

misma, se le demanda al estudiante: el planteo de una situación problema por sí mismo, su abordaje bibliográfico (búsqueda en diversos medios, selección con criterio de pertinencia, lectura crítica y selección del material a utilizar), el planteo de objetivos a lograr, el delineamiento y la concreción de una secuencia de trabajo que lleve al cumplimiento de las metas propuestas con eficacia y eficiencia, el procesamiento y el análisis de los datos obtenidos la elaboración de la conclusión con sentido crítico a la trasmisión oral y a sus palabras.

*¿Qué son situaciones problémicas experimentales?*

Son situaciones experimentales planteadas donde el estudiante tiene que investigar en diferentes bibliografías las vías de solución, así como los útiles necesarios y el procedimiento para dar respuesta a cada una ellas, para luego comprobar en la práctica todo lo indagado teóricamente.

## Visión científica

Las diferentes modalidades de situaciones problemáticas se sitúan en el camino hacia la "convergencia de situaciones problémicas", produciéndose a lo largo de éste una convergencia entre teoría y práctica que nos lleva hacia los problemas abiertos. Para no basar todo el análisis en planteamientos abstractos, es conveniente presentar una situación problemática y varias soluciones posibles que ilustren su diversidad.

El aprendizaje basado en problemas, es una metodología docente constructivista orientada a formar profesionales dentro del paradigma "Aprender a Aprender"; este método utiliza situaciones reales en las que los estudiantes desarrollan competencias transversales.

La investigación realizada se centra en la re-

percusión del aprendizaje basado en situaciones problemáticas experimentales para la formación del estudiante de la carrera Licenciatura en Educación Química. En este caso, la creación de situaciones y problemas orientados al aprendizaje activo, que van más allá, de la visión de los conocimientos específicos de una asignatura, constituyen un cambio profundo del entorno educacional.

### Metodología de Trabajo

Grupo de trabajo no superior a tres estudiantes, el profesor como facilitador del grupo y espacio de trabajo en el laboratorio.

El aprendizaje basado en problemas se desarrolla en las siguientes etapas:

1. Presentación de la situación problemática experimental
2. Conjunto de ideas para identificar puntos clave del problema

Niveles	Nombre
0	Demostración
1	Ejercicios
2	Investigación estructurada
3	Investigación abierta
4	Proyecto

3. Distribución de las ideas para la búsqueda individual de información sobre ella
4. Exposición y análisis de la nueva información
5. Reformulación del problema combinando la información existente previamente y la nueva
6. Propuesta final
7. Desarrollo de la actividad experimental
8. Evaluación

### Visión didáctica (Metodología para resolver las situaciones problemáticas experimentales)

Según Gofard y col.<sup>3</sup>, los conocimientos científicos se construyen en ocasiones en contra de las ideas y formas de abordar los problemas de la vida cotidiana. Por tal motivo, la enseñanza de la ciencia ha de tenerlas necesariamente en cuenta, para que pueda tener lugar un aprendizaje efectivo de los mismos<sup>4</sup>. Por eso el uso de libros y otras bibliografías, ya sean impresas o digitales, son fuentes de contenido. De igual forma, las actividades experimentales son de gran importancia para la formación del estudiante ya que le permite adquirir habilidades y destrezas que no alcanzaría en una clase teórica o conferencia.

De acuerdo al Manual de Prácticas elaborado por Jiménez y col.<sup>5</sup> las prácticas experimentales pueden tener varios niveles de abertura (**Tabla 1**). Este grado de abertura se refiere a la cantidad de información que el profesor facilita en cuanto al problema, la manera y el medio para afrontarlo y la respuesta de ese problema.

### Tabla 1. Niveles de aberturas implementadas en la investigación.

El nivel 0 de esta clasificación se basa en comprobar principios, teorías y en la que el estudiante conoce previamente tanto el objetivo, materiales o útiles que ha de usar, método que tiene que utilizar y la solución que ha de llegar.

En las prácticas de nivel 1, llamado ejercicio, el estudiante conoce todo menos el resultado que va a obtener. Este sería uno de los niveles más utilizados en la docencia, el estudiante aprende a manipular útiles y reactivos de laboratorio siguiendo las instrucciones de la técnica operatoria. En estos dos niveles el estilo de las prácticas es utilizando el método expositivo.

En el nivel de abertura 2, encontramos las investigaciones estructurales, en las que el estudiante conoce el objetivo que tiene que alcanzar y

parte de los reactivos y materiales que ha de usar y del método a seguir

Las investigaciones abiertas constituyen el nivel 3, estas son las asumidas en esta investigación, aquí el estudiante solo conoce el objetivo de la práctica, todo lo demás lo ha de desarrollar él. Este sería un ejemplo práctico del método investigativo y no del expositivo. Este tipo de prácticas son una alternativa a los métodos expositivos y requieren de mucho más esfuerzo mental y atención por parte de los estudiantes. Estos no conocen el resultado final, ni tienen instrucciones que seguir para realizar la práctica. Se fomentan, por tanto, los procesos cognitivos de alto nivel ya que el estudiante tiene que buscar información, diseñar la técnica operatoria, desarrollar un método y llevarlo a cabo.

En el nivel 4, nos encontramos con los proyectos. Aquí los alumnos llevan a cabo una investigación en la cual el objetivo de la misma puede ser determinado por ellos mismos o propuesto por los docentes.

### **Ejemplo de situaciones problémicas experimentales que se proponen:**

*1. Los primeros metales que se descubrieron fueron justamente aquellos que se encontraron en la naturaleza en estado libre y que por su brillo son fácilmente detectables, sin embargo, se desconoce porque propiedad fueron descubiertos el resto de los metales.*

- a) Investigue a través de los medios tecnológicos y otras fuentes que usted pueda

utilizar y demuestre la validez del planteamiento anterior.

- b) ¿Cómo se pueden obtenerse en el laboratorio químico las sustancias ante mencionadas?
- c) Elabore una técnica operatoria para su obtención. Escoja los útiles necesarios.
- d) Ponga ejemplos de su utilidad en el hogar, la comunidad y la industria.

### **REFERENCIAS**



*Figura 1. Estudiantes resolviendo las situaciones problémicas experimentales.*

1. R. Frómeta. *EduSol*, **2014**, 14(47), 1-11.
2. G. Abreu, K. García en *Educación y Sociedad*. **2010**
3. M. Gofard y col. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales* **1992**, 6, 73-85.
4. [http://campus.usal.es/~ofeees/NUEVAS\\_METODOLOGIAS/ABP/SPE.pdf](http://campus.usal.es/~ofeees/NUEVAS_METODOLOGIAS/ABP/SPE.pdf)
5. G. Jiménez Valverde, R. Llobera, A. Llitjós. *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, **2005**, 4(3).



## Influencia de la formación ético-profesional en el estudiante de la carrera Licenciatura en Educación Química

Enseñanza de  
la Química



MSc. Turmin Pérez Lambert  
MSc. Alina Fernández Salazar  
MSc. Franklin Pablo Madrid Estrada



Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad de Oriente

[turmin@uo.edu.cu](mailto:turmin@uo.edu.cu)

La misión de la universidad cubana es preservar, desarrollar y promover la cultura de la humanidad a través de sus procesos sustantivos. Todo ello en plena integración con la sociedad; llegando con ella a todos los ciudadanos, con pertinencia, calidad y de esta manera contribuir al desarrollo sostenible del país, Horruitiner<sup>1</sup>.

En la formación inicial de carreras pedagógicas constituye una prioridad la consolidación de conocimientos teóricos propios de la profesión y el desarrollo de habilidades necesarias a la misma. Todo esto con el propósito de lograr el desarrollo en el estudiante de modos de actuación profesional que los prepare para enfrentar las demandas del desarrollo económico y social en su campo de acción con una formación multilateral e independiente de la personalidad. Por tal motivo, es necesario desarrollar una educación integral que les garantice independencia en la toma de decisiones sustentada en una ética y en un sistema de valores.

La formación ética del profesional de la Educación ha sido abordada por diversos autores, en diferentes aristas, según la imagen que los estu-

diantes tienen de sus profesores y que llega a formar parte de una base de identidad profesional que muestra un reconocimiento hacia ellos por la calidad de sus conocimientos, la transmisión de sus experiencias en su trayectoria profesional, su rigor técnico, su grado de profesionalismo, nivel cultural etc. Autores como: Crisol y Romero<sup>2</sup>, sistematizan referentes teóricos que abordan la influencia del profesorado universitario como modelo de formación científica y profesional a seguir.

Potenciar la formación ética del profesional de la Educación desde el currículo, ha sido interés de varios investigadores<sup>3,4</sup>; los que la han asumido desde la clase y/o desde currículos optativos y propios creados con este propósito. Por otra parte, otros autores tienen en cuenta además su significado dentro de la profesionalidad pedagógica, y su correlación con el componente humanista en la formación docente, teniendo como uno de sus elementos estructurales a la relación ciencia-valor.<sup>5,6</sup>

Sin embargo, en el estudiante de la carrera pedagógica, especialidad Biología-Química, subsisten carencias en el logro del vínculo del conoci-

miento de la historia de la ciencia y el servicio que presta al desarrollo de la humanidad. Todo esto teniendo en cuenta los valores humanistas de los científicos que se consideran modelos paradigmáticos, sus aportes a la cultura laboral, medioambiental, patriótica y universal; lo que se propicia en la praxis pedagógica.

De lo expresado anteriormente se plantea como objetivo de la investigación: mostrar los resultados alcanzados en la formación ética profesional del estudiante de la carrera Licenciatura en Educación Biología-Química en el curso 2017-2018, y que se pretende sistematizar en la carrera Licenciatura en Educación Química con la implementación del currículo optativo *Personalidades Históricas de la Química*; a partir del intercambio con profesionales de prestigioso aval científico y pedagógico de la Universidad de Oriente y del territorio.

Se coincide con el autor citado anteriormente Horruitiner, cuando expresa que no sirve de nada tener todos los conocimientos del mundo, si se carece de los principios básicos que hacen de hombres y mujeres un ser racional, que piensa y actúa de acuerdo con determinados patrones de conducta comúnmente aceptados por la sociedad y no pone sus conocimientos al servicio de su pueblo, de su país.

Existe consenso en considerar que el hombre tiene que ser portador de valores dirigidos a lograr un desempeño justo, honrado, ético, moral, para que ponga sus conocimientos al servicio de la sociedad y en beneficio de ella y las instituciones escolares deben tener un rol fundamental en dicha formación. En este sentido, la formación pedagógica en particular, debe constituir la idea rectora principal y la estrategia más importante del proceso de formación.

A pesar de que existe todo un sistema en la Educación Superior y especialmente en los currículos de las carreras de perfil pedagógico relacionados con la formación ética y en valores; además de las diversas investigaciones que abordan estas temáticas, no se logra potenciar al máximo en una parte representativa de la juventud que estudian las carreras pedagógicas, los modos de actuación profesional que tienen que caracterizar a los profesionales de la Educación. Los currículos optativos, constituyen una vía para el fortalecimiento de la formación ética profesional pedagógica, esta investigación es una muestra de ello.

Por eso es necesario definir que estudia La Ética Profesional Pedagógica la cual se encarga de estudiar las particularidades de las exigencias morales que se originan por las características del trabajo pedagógico y que se manifiestan en las interrelaciones del profesor y el estudiante.

Una formación ética profesional pedagógica de calidad contribuye al logro de la identidad profesional, entendiendo este último término como una configuración subjetiva que expresa el sentido personal de pertenencia a una profesión, esta debe caracterizarse por el cumplimiento de la ética acorde a la profesión.

El estudio de personalidades de la pedagogía y de las ciencias, constituye una vía para dinamizar la formación ética del profesional de la educación, los referentes asumidos en esta investigación a partir de lo planteado por autores como Bermúdez & Pérez<sup>7</sup>, sobre la personalidad, como organización sistémica, que tiene integridad, la cual viene dada por la relación armónica entre sus componentes que se manifiestan en el plano interno por ejemplo, cuando una persona posee cualidades psicológicas compatibles entre sí como colectivismo, el altruismo y en el plano ex-

terno cuando el sujeto es capaz de comportarse en correspondencia con estas cualidades en cualquier situación que se encuentre. Lo que constituye una línea directriz en la investigación

En la investigación se utiliza una muestra 19 estudiantes a los que se les propone los dos currículos optativos a cursar (Tabla 1), el 63,1% se matriculó en la asignatura:

#### *Personalidades Históricas de la Química.*

Se propone como ejemplo el cierre del taller final del tema III del currículo optativo, Personalidades de la Química.

**Sumario:** Personalidades pedagógicas y de otras ramas de la ciencia Química con resultados destacados en la Universidad de Oriente. Su vinculación con el Proceso de Enseñanza Aprendizaje en la escuela media y media superior cubana.

**Objetivo:** Demostrar habilidades profesionales y de motivación hacia la profesión, mediante la valoración desde una perspectiva ética, de todo el quehacer revolucionario, científico, pedagógico de personalidades de la Química, de elevado prestigio laboral y social, que imparten docencia de la especialidad de Química en la Universidad de Oriente, teniendo en cuenta, la incidencia de sus resultados en el cuidado y protección del medio ambiente y en el desarrollo económico próspero y sostenible.

#### **Orientaciones metodológicas:**

a) El profesor (a) orientará el estudio de todo el quehacer revolucionario y científico de una selección de personalidades de la Química en la Universidad de Oriente, las mismas servirán de modelo para potenciar la formación ética profesional pedagógica, haciendo énfasis en el papel de la mujer en el desarrollo de esta ciencia. Se aclara que

con este estudio se hacer valer la equidad e igualdad de género.

- b) Se le asignará a los estudiantes el estudio de personalidades científicas de la ciencia Química, hombres y mujeres indistintamente, con ello se garantiza que no exista discriminación en sexo y género y que aprendan a dar juicios de valor de ambos géneros. Para lo cual se proponen guías, que son resultado de la experiencia pedagógica; las que deben ser analizadas por los estudiantes, además de los aspectos a tener en cuenta para el desarrollo exitoso de las entrevistas.
- c) Luego de completada y analizada la entrevistas por el dúo de estudiantes, deberán responder las siguientes preguntas:
- ¿Qué valores del científico o científica imitarías y por qué? Demuestra cómo los pondrías en práctica desde el Proceso de enseñanza-aprendizaje de la Química en la secundaria básica o en el preuniversitario.
  - ¿Qué conocimientos aprendidos te han motivado más? ¿Por qué?
  - ¿Te sirven estos conocimientos para mejorar tu conducta, actitudes en lo personal y en lo profesional? ¿Por qué?

Por último, como conclusiones del taller se ofrecen las valoraciones generales sobre la utilidad y pertinencia del trabajo desarrollado para su preparación como futuro profesional de la educación.

En la exposición de los trabajos se debe utilizar la Tecnología de la Información y las Comunicaciones. Se recomienda aplicar técnicas participativas donde se estimule el protagonismo, se autoevalúen críticamente y festejen los resultados

alcanzados. Los trabajos realizados en las clases podrán ser expuestos por los estudiantes en jornadas científicas como complemento del trabajo científico estudiantil, no solo en la universidad, sino en las unidades docentes. Además, podrán tutorar sociedades científicas y círculos de interés sobre personalidades de las ciencias.

La entrevista se desarrolla en dúos, teniendo en cuenta todos los requerimientos para su implementación.

**Los profesionales escogidos deberán poseer los siguientes requisitos:**

1. Poseer varios años de experiencia en la Educación con resultados satisfactorios, (30 años, excepcionalmente de 25 a 29 años).
2. Poseer experiencia en dirección en los diferentes niveles, incluyendo el grupo docente.
3. Poseer prestigio, moral y cumplimiento de la ética ante el colectivo docente y estudiantil.
4. Dedicación y entrega a la superación científico metodológica y a la investigación. Aplicación de sus resultados.
5. Contribución a los procesos revolucionarios desde su labor como docente, o en el cumplimiento de tareas asignadas por las organizaciones políticas y de masas a lo largo de su vida.
6. Sentido de pertenencia y dedicación hacia la profesión, manifestado en la labor educativa y el reconocimiento por parte del alumnado y del colectivo docente.
7. Ser ejemplo en su actuar cotidiano en la comunidad, en el centro de trabajo, en la residencia, basados en el respeto mutuo, colaborativo, laborioso y humano.

**Un ejemplo de una guía de entrevista es la siguiente:**

**Aspectos a investigar:**

1. Nombres y apellidos
2. Sexo
3. Institución donde labora
4. Lugar de nacimiento. Influencia familiar sobre su formación integral
5. Breve reseña de su vida estudiantil primaria, secundaria, preuniversitaria, universitaria, incluye cargos estudiantiles, resultados académicos, cumplimiento de las tareas de la Revolución en las diferentes etapas de su vida (dentro o fuera del país), algo más de interés que quiera aportar
6. ¿Qué lo(a) motivó a estudiar su profesión?
7. ¿Quiénes influyeron en su formación como docente universitario? ¿Por qué?
8. Estudios realizados de postgrado, maestrías, doctorados
9. Cursos de posgrados impartidos
10. Principales actividades científicas desarrolladas. ¿Qué impactos han tenido en lo social, medioambiental, económico?
11. ¿Qué experiencias significativas puedes aportar sobre tu vida laboral y profesional?
12. ¿Los aportes científicos realizados por usted contribuyen a perfeccionar o elevar la calidad del Proceso de Enseñanza Aprendizaje de la Química en la escuela cubana? ¿Por qué?
13. Cargos ejercidos. Experiencias en dirección
14. ¿Cómo has contribuido a la formación de tantas generaciones, que hoy te recuerdan con tanto respeto, admiración y cariño?

15. ¿En su condición de mujer para lograr su desarrollo profesional desde sus inicios hasta la actualidad, contó y cuenta con el apoyo de su familia, esposo, hijos(as) o amigos(as)? Argumente. (En caso de ser mujer)
16. ¿Qué mensaje o consejo nos diría para ser mejores integralmente cada día?

A continuación, se presentan fotos del taller realizado con la entrevista a las figuras de las

*Currículos optativos en el curso*

<b>Curriculo optativos</b>	<b>Estudiantes Matriculados</b>
Ecología de las Aves	7
Personalidades Históricas de la Química.	12

Ciencias Químicas de la Universidad de Oriente.



**Figura 1.** Estudiantes en el taller de cierre del currículo.



**Figura 2.** Estudiante a la izquierda y a la derecha la DrC. Químicas y Profesora Titular América García López de la Universidad de Oriente.



**Figura 3.** Entrevista de estudiantes a la derecha e izquierda y en el centro la DrC. Pedagógicas y Profesora Titular María Mirna Castillo Rodríguez de la Universidad de Oriente.



**Figura 4.** Estudiantes a izquierda y derecha junto a figura de las Ciencias Pedagógicas de la Universidad de Oriente: MSc. y Profesor Auxiliar Nelsón Duany Timosthe.

**BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

1. Horruitiner Silva, P en *La universidad cubana; el modelo de formación*, 2009, La Habana: Editorial Universitaria.
2. Crisol, M. y Romero, M.A. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, 2014, Vol.5 (2), pp. 23–35.
3. Celeiro, A. *La cultura ético-axiológica humanista del profesional de la educación desde la formación inicial*, 2012, (Tesis inédita de doctorado). Universidad de Ciencias Pedagógicas Frank País García, Santiago de Cuba.
4. Cabrera, N.V. *Concepción Pedagógica del Proceso de formación ético profesional pe-*



- dagógico para los profesores en formación inicial de la carrera Marxismo Leninismo e Historia*, 2015, Tesis presentada en opción al grado científico Doctor en Ciencias Pedagógicas. Universidad de Ciencias Pedagógicas "Rafael María de Mendive". Pinar del Río.
5. Varela, N, A. *A favor de la ética: Alternativas interdisciplinaria en Ciencias Naturales para la formación de profesores de la Educación Media*, 2016, Voletin Virtual. Julio. Vol.5-6 ISSN 20266-15-36.
  6. Chacón, N en *Dimensión ética de la educación cubana*, 2002, La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
  7. Bermúdez Morris, R, Pérez Martín, L. M en *Aprendizaje formativo y crecimiento personal*, 2004, Ciudad de La Habana: Editorial. Pueblo y Educación.

## El almacenamiento de sustancias químicas.

### Etapa de alto nivel de riesgos.

Química y

Sociedad

**Dra. Mercedes Fernández García**

**Departamento de Química General e Inorgánica**

**Facultad de Química**

**Universidad de La Habana**

[mercy@fq.uh.cu](mailto:mercy@fq.uh.cu)



**A** todos nos ha conmocionado el reciente accidente ocurrido en la ciudad de Beirut, Líbano, el cual puede catalogarse como una verdadera tragedia: 228 fallecidos, más de 6000 heridos y un número importante de desaparecidos. Por otro lado, el puerto quedó totalmente destruido y la ciudad prácticamente en ruinas, a consecuencia de incendios y explosiones producidos por una sustancia química; el nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), la cual se encontraba almacenada en el puerto de esa ciudad. Aunque las causas que pueden haber desencadenado tal tragedia aún están sujetas a investigaciones, lo cierto es que, según los datos aportados hasta el momento, se evidencian violaciones en las normativas establecidas para el almacenamiento de sustancias de alta peligrosidad, como lo es el nitrato de amonio.

El almacenamiento de sustancias químicas es una de las etapas que compone el Ciclo de Vida de ellas. Esta etapa puede considerarse como una de las que implica mayores niveles de riesgos debido a que en la misma se necesita de locales con condiciones constructivas especiales, con ventilación y temperaturas adecuadas, y con ubicación geográfica específica. En esos locales las sustancias en general permanecen por más tiem-

po que en otros, en mayores cantidades, comparten el espacio con otras sustancias de composiciones y propiedades diferentes que en ocasiones son incompatibles con ellas. Todo esto implica que, cualquier violación, incumplimiento, o negligencia en esta etapa pueda conducir a accidentes con consecuencias impredecibles.

Para la interacción con las sustancias químicas, en cualquiera de las etapas de su Ciclo de Vida es importante una adecuada capacitación del personal implicado, ello posibilita tener la percepción necesaria de los riesgos asociados, y con ello que se puedan adoptar conductas responsables, lo que permitiría evitar, o por lo menos minimizar, cualquier efecto perjudicial causado por las propiedades peligrosas que tienen tales sustancias.

La etapa de almacenamiento, además de la más riesgosa, es propensa a que en ella se violen muchas veces las normativas establecidas: es frecuente que el personal que accede a los locales de almacenamiento no esté debidamente capacitado, que a tales locales accedan más personas que las autorizadas, que el local no cumpla con los requerimientos constructivos y/o carezca de las condiciones y dotaciones necesarias para el cumplimiento de lo establecido, que la cantidad de

reactivos almacenada sea superior a lo reglamentado para las dimensiones y ubicación del local, que al colocar las sustancias no se cumpla con el principio básico de almacenamiento, que las sustancias estén allí más tiempo que el válido según su caducidad, que no exista el control adecuado de la entrada y salida de las sustancias y para qué fin son utilizadas, entre otras posibles violaciones.

Tomando en consideración lo anterior, es oportuno tratar algunas cuestiones que representan requisitos básicos a cumplir en el almacenamiento correcto de sustancias químicas, válidos tanto para grandes almacenes destinados estos al suministro a otros más pequeños, ubicados los últimos en industrias, centros docentes, de investigaciones, o de salud.

En principio, desde el punto de vista constructivo, cualquier local destinado al almacenamiento de sustancias químicas debe cumplir con los siguientes requisitos:

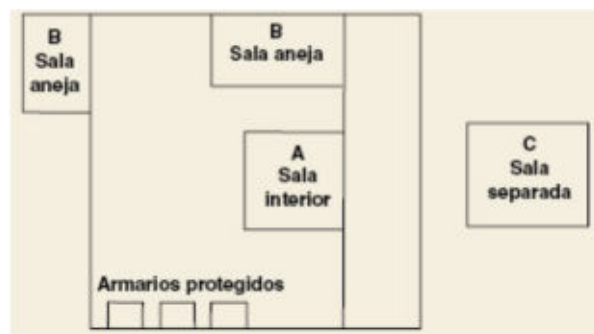
- Espacio seguro, pero de fácil acceso y control
- Piso con base impermeable
- Estructuras de retención en caso de derrames
- Debidamente identificados por la señalética adecuada
- Acceso controlado y limitado a uno o dos empleados
- Iluminación adecuada con lámparas antideflagrantes
- Extintores tipo ABC de 10 lbs
- Sistema de extracción o ventilación normal y forzada
- Sistema de comunicación
- Equipo y materiales para el control de derrames

mes

- Ducha de emergencia y fuente de lavado de ojos

Los grandes almacenes, encargados del suministro a otros más pequeños, denominados estos últimos, salas de almacenamiento, deben estar geográficamente situados en zonas despobladas y en terrenos poco explotados desde el punto de vista agrícola, como medida preventiva.

Las salas de almacenamiento, locales en general pertenecientes a centros destinados a otros fines, suelen clasificarse teniendo en cuenta la posición del local con relación a las paredes externas (Figura 1). Estas posiciones determinan que existan ciertas restricciones para el almacenamiento seguro de ciertas sustancias.



*Figura 1. Distintos tipos de salas de almacenamiento teniendo en cuenta la posición de sus paredes externas.*

Como se observa en el gráfico, las **salas anejas** son aquellas que tienen una o dos paredes al exterior, la **sala interior** no tiene ninguna pared al exterior y la **sala separada** está aislada del edificio y todas sus paredes dan al exterior. El tipo de sala determina la cantidad máxima de reactivos que se podrá almacenar en ella, así como la posición relativa de cada tipo de sustancia según sus peligrosidades predominantes en relación con las paredes que dan al exterior.

Para colocar las sustancias en los almacenes o salas, o sea en el sitio de almacenamiento, deben tenerse en cuenta dos principios básicos: la com-

patibilidad química y el tipo de peligrosidad más riesgosa que presenta la sustancia en cuestión. Deben cumplirse estos dos requisitos en este mismo orden, ya que puede suceder, que sustancias con el mismo tipo de peligro asociado sean incompatibles; entendiéndose por incompatibilidad la posibilidad que tienen dos sustancias de reaccionar entre sí. De ocurrir esto en un sitio de almacenamiento pudieran sobrevenir otras reacciones con resultados desastrosos; por tal motivo estas dos premisas constituyen el principio básico en el almacenamiento de sustancias.

Las informaciones sobre las propiedades peligrosas de las sustancias se pueden obtener de las propias Etiquetas o en las Fichas de Datos de Seguridad, en las cuales aparecen estas propiedades en forma de figuras ilustradas con los posibles daños que pudieran causar al hombre, o al medio ambiente.

Estas figuras se denominan Pictogramas de Peligros. En la Figura 2, aparecen los pictogramas antiguos con su equivalencia en el actual Sistema Globalmente Armonizado (SGA).



**Figura. 2.** Equivalencia entre los Pictogramas antiguos y los actualizados según el SGA.

Las incompatibilidades específicas de cada sustancia se pueden obtener de la Ficha de Datos de Seguridad de la misma, aunque de modo general, se pueden establecer por las propiedades peligrosas, y la posibilidad de ocurrencia de reacciones entre ellas. Algunos ejemplos de posibles incompatibilidades pueden ser:

- Ácidos con bases Ej. *Ácido sulfúrico con hidróxido de sodio.*
- Ácidos fuertes con ácidos más débiles que desprenden gases. Ej. *Ácido nítrico con ácido clorhídrico; ácido nítrico con cianuro o*

*sulfuros.*

- Oxidantes con reductores. Ej. *Ácido nítrico con compuestos orgánicos.*
- Agua con compuestos varios. Ej. *Agua con anhídridos, carburos, haluros de ácidos, hidruros, isocianatos, metales alcalinos.*

En la Tabla I aparecen de modo más explícito la relación entre las peligrosidades y su posible ubicación en un almacén con relación a otras sustancias que presentan otras peligrosidades asociadas.

Tabla 1. Compatibilidades a considerar para el almacenamiento según peligrosidad más riesgosa.

TABLA DE COMPATIBILIDAD ARA SUSTANCIAS CONTROLADAS										
IDENTIFICACIÓN DE PELIGRO			Líquido Inflamable	Sólido comburente	Corrosivos (L)	Tóxico agudo (L)	Tóxico crónico (L)	Peligro ambiental	Nocivo Irritante	Nocivo Irritante (L)
líquido inflamable			●	●	●	●	●	●	●	●
Sólido comburente			●	●	●	●	●	●	●	●
Corrosivos (L)			●	●	●	●	●	●	●	●
Sustancias tóxicas efecto agudo (L)			●	●	●	●	●	●	●	●
Sustancias tóxicas efecto crónico (L)			●	●	●	●	●	●	●	●
Sustancias peligrosas para el ambiente			●	●	●	●	●	●	●	●
Nocivo/Irritante (s)			●	●	●	●	●	●	●	●
Nocivo/Irritante (L)			●	●	●	●	●	●	●	●
Se pueden almacenar juntos Revisar las secciones 7 y 10 de hoja de seguridad del producto										
Almacenar en estantes separados										
L=Sustancias en estado Líquido S=Sustancias en estado Sólido										

El orden de riesgo de las propiedades peligrosas está relacionado con la magnitud de los daños que pueden derivarse de esa propiedad. En orden descendente de riesgos asociados se establece.

1. Explosivos
2. Comburentes
3. Inflamables
4. Tóxicos
5. Corrosivos
6. Irritantes
7. Nocivos

En los sitios de almacenamiento las sustancias deben colocarse por grupos teniendo en cuenta la peligrosidad asociada. Los de mayor riesgo se almacenan generalmente en estantes teniendo como vecinos más próximos otro grupo de sustancias de peligrosidad asociada que sea compatible con él, tanto de forma horizontal como vertical.

Es importante la posición de las sustancias con respecto a las paredes externas, ya que el calor

puede ser, en muchos casos, la causa del inicio de algunas reacciones. También la selección del tipo de estantería por el material del cual está elaborado: no debe haber posibilidad de reacción entre las sustancias y el material del estante.

Los reactivos tóxicos necesitan de vitrinas que se mantendrán cerradas con llave. Así como aquellas sustancias que requieran de bajas temperaturas para su conservación, deben guardarse en frigoríficos especialmente diseñados para este fin.

Los sitios de almacenamiento deben tener un riguroso control. Esto debe hacerse mediante inventarios. En el inventario debe aparecer reflejado:

1. Nombre del producto o sustancia química
2. Fecha de recibo o expiración.
3. Característica de peligrosidad asociada.
4. Estado físico
5. Tipo de envase y cantidad
6. Nombre del fabricante

7. *Cantidad que pueda entrar o salir de cada sustancia*

8. *Destino en caso de salida*

Debe disponerse de la Ficha de Datos de Seguridad (MSDS en inglés) de cada una de las sustancias. En la misma puede obtenerse toda la información necesaria de cada una de las sustancias almacenadas y dicha ficha debe ser de obligatoria consulta antes del trabajo con cualquiera de ellas. Las figuras 3 y 4 ilustran lo anteriormente dicho.



**Figura 3.** La FDS (MSDS) como guía para almacenar sustancias químicas.



**Figura 4.** La FDS como herramienta básica en la gestión de riesgos químicos.

Es importante la realización de inspecciones periódicas a los sitios de almacenamiento, esto permitirá observar el estado del local y de cada una de las sustancias. La estantería debe mantenerse en buen estado. Cualquier variación en la forma del envase o en la apariencia de la sustancia puede ser un signo de una transformación u alteración que ha ocurrido en la misma; si así fuera, dicha sustancia debe retirarse del local. Las etiquetas de los envases deben conservarse en

buen estado: no deben existir envases de reactivos de naturaleza desconocida pues las mismas pueden resultar de muy alta peligrosidad.

A los locales de almacenamiento sólo debe tener acceso el personal autorizado y el mismo debe acceder al lugar usando los medios de protección adecuados, según las propiedades de las sustancias almacenadas en el local en cuestión.

A modo de conclusión, tomando en consideración lo señalado anteriormente, podemos entender que grandes almacenes de sustancias o productos químicos representan un nivel de riesgo extremadamente alto y pueden resultar verdaderos polvorines. Por tal motivo, deben estar situados lejos de ciudades, poblados, terrenos de utilización agrícola y ríos. Igualmente, cualquier local donde se almacenen sustancias de propiedades diferentes o incluso exista una sola sustancia de propiedades peligrosas marcadas que puedan encontrarse en condiciones no adecuadas o por tiempos muy prolongados, pueden conducir a lamentables accidentes.

Un accidente pudiera ser el resultado de cualquier violación de las normativas establecidas e implicaría vulnerabilidad en el sistema; propiciando así las condiciones para que aumente la probabilidad de riesgos asociados.

Con los datos anteriores, sin conocer aún la o las razones que llevaron a que se desencadenara el accidente en el puerto de Beirut, se evidencian tres violaciones importantes en el almacenamiento del nitrato de amonio, en tal puerto, enumeradas a seguir:

1. *El almacenamiento de grandes cantidades (2 750 ton) de una sustancia química de una alta peligrosidad. El  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  es un marcado comburente debido a su carácter oxidante, que cual hace que sea incompati-*



ble con un gran número de sustancias químicas.

2. Utilizar como almacén un local del puerto, por demás, cercano a una ciudad, probablemente sin las condiciones requeridas para almacenar correctamente dicha sustancia.
3. Mantener grandes cantidades del  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  en tal local por un tiempo excesivamente prolongado (6 años).

Mucha más información sobre el nitrato de amonio pudiéramos obtener si consultamos sus Fichas de Datos de Seguridad. En ellas también, por ejemplo, se señala, que el rango de temperaturas en el que debe almacenarse debe estar entre los 15-25 °C, en un ambiente seco, ventilado y sin incidencia de rayos de luz. Cualquier contacto con sustancia combustible pudiera producir una reacción de combustión con generación de gases tóxicos correspondientes a óxidos de nitrógeno a partir de los 1300°C, vapor de agua y amoníaco. Por encima de 3000°C ya ocurren reacciones explosivas de gran magnitud, con una onda expansiva de alta energía característica de las detonaciones.

Es importante, por tanto, que se tenga muy en cuenta que todas las sustancias químicas son peligrosas, en mayor o menor medida, esto determina que tengan posibles riesgos asociados, pero, no existe riesgo sin exposición, o sea, sin que se propicien las condiciones para que esas propiedades peligrosas estén en contacto con otras sustancias, objetos o sujetos que permitan, que esas propiedades ejerzan su acción negativa. El almacenamiento, por las posibles vulnerabilidades asociadas, propiciaría muchos riesgos, que se evitan o minimizan, cumpliendo con las medidas establecidas para esta etapa del Ciclo de Vida de las sus-

tancias químicas y que están previstas en la Gestión de Riesgos Químicos.

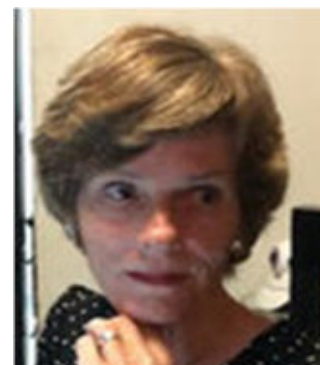
## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Decreto Ley 309: 2013. De la Seguridad Química.
2. NC 229: 2002 Seguridad y Salud en el trabajo. Productos químicos peligrosos. Medidas para la reducción de riesgo.
3. Resolución No.136/2009 CITMA. Reglamento para el manejo integral de desechos peligrosos.
4. Decreto Ley No.225: 2002 MININT Explosivos industriales, medios de iniciación, sus precursores químicos y productos químicos tóxicos.
5. J.A. Reyes-Labarta, V. Montiel, Almacenamiento de productos químicos y gestión de residuos peligrosos en la Universidad de Alicante, 2011.
6. Urban, P.G en *Butterworth-Heinemann: Boetherick's Handbook of Reactive Chemical Hazards*, London 2000.
7. *Personal & Industrial Safety, Compare Chemical Compatibility and Ensure Proper Hand Protection*, 172-173.
8. Ministerio de Asuntos Sociales de España, *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, 1998.
9. *Normas de Seguridad. Etiquetaje y Almacenamiento de Productos Químicos. Servicio de prevención de Riegos*. Edic.3. Universidad de Santiago de Compostela, 2012.
10. *Clasificación y Almacenamiento de Reactivos*, Universidad de los Andes, 2005.
11. Ficha de Datos de Seguridad del nitrato de amonio, ROTH, X988, 20

**Dra. Elena Izquierdo Kulich**

Dpto de Química Física, Facultad de Química  
Universidad de la Habana

[elenaik@fq.uh.cu](mailto:elenaik@fq.uh.cu)



**Dr. Edgardo Jonathan Suárez Domínguez**

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Universidad Autónoma de Tamaulipas, México

[edgardo.suarez@docentes.uat.edu.mx](mailto:edgardo.suarez@docentes.uat.edu.mx)

**E**l aumento de la calidad material de la vida que hemos experimentado desde principios del siglo pasado, manifestada en el incremento de bienes y servicios, así como en la satisfacción de las necesidades alimentarias, de salud y de comunicación, se debe en buena medida a los avances que se han logrado en el contexto de la ciencia y de la integración entre la ciencia y la tecnología.

En el caso particular de la química, la aplicación de los principios de la física cuántica y de la termodinámica estadística ha permitido predecir teóricamente las propiedades de las moléculas y su relación con las propiedades macroscópicas observadas, y ha conllevado al surgimiento de la química computacional, una rama multidisciplinaria de la química que hace posible estudiar, diseñar y modificar las estructuras moleculares mediante cálculos matemáticos que se ejecutan en computadoras.

Aunque la química computacional es una herramienta fundamentalmente teórica, sus objetivos y resultados se han enlazado exitosamente con la química experimental, la tecnología química, la electrónica y la industria biotecnológica y

farmacéutica, entre otras, contribuyendo exitosamente al desarrollo de nuevos productos y mejoras de las propiedades de productos existentes, los cuales satisfacen las demandas cada vez más crecientes de la sociedad. Esta estrecha interrelación entre la química computacional y la tecnología tiene lugar fundamentalmente en las áreas de investigación y desarrollo de las grandes empresas y en los países con mejor desempeño económico, así como a nivel académico en el contexto de los proyectos de investigación que se ejecutan en las universidades. Sin embargo, en el caso de los países subdesarrollados o en vías de desarrollo, esta importante integración entre ciencia y tecnología resulta aún insuficiente, lo cual se debe a factores tanto objetivos como subjetivos. En este sentido, los países menos desarrollados se encuentran en la transición de visualizar la ciencia aplicada desde una perspectiva multidisciplinaria.

Los países menos desarrollados por lo general basan su economía en la exportación de materias primas y la importación de productos terminados. Estos países por lo general compran tecnología (en algunas ocasiones obsoleta) a los países desa-

rrollados, y muchas veces esta adquisición excluye conocimientos científicos importantes, protegidos bajo diferentes patentes y leyes, que no son entregados con esta tecnología, y que solo pueden ser obtenidos mediante técnicas de ingeniería inversa. Los ingenieros y operadores de procesos trabajan sobre la base de manuales de operación que indican las acciones que deben ser tomadas bajo diferentes circunstancias, lo cual la gran mayoría de las veces resulta suficiente. Este aparente empirismo no favorece, ni tampoco estimula, que los ingenieros asociados a los departamentos de investigación y desarrollo de estas empresas demanden de los químicos teóricos para resolver los problemas tecnológicos que se puedan presentar. Además, el objetivo general de cualquier industria suele ser producir para satisfacer las demandas de la sociedad, con la máxima eficiencia y factibilidad económica y el menor impacto negativo sobre el medio ambiente. Sin embargo, la investigación básica y aplicada se ha logrado integrar en el desarrollo de fármacos en donde se realizan todos los estudios, se tienen patentes, lo cual lo ha convertido en un sistema económicamente atractivo que produce un valor económico, pero que requiere también altos niveles de inversión.

No obstante, en la escala industrial eventualmente se suelen presentar problemas operacionales cuya solución pudiera facilitarse si se emplean las herramientas de la química computacional, aunque siempre es necesario e imprescindible la ejecución previa de experimentos en la escala de laboratorio. Estos problemas incluyen, por mencionar algunos ejemplos, la necesidad de sustituir un tipo de catalizador por otro que cumpla la misma función, la sustitución de ciertas materias primas por otras que, aunque son más asequibles y baratas, pueden incluir impurezas que interfieran

de forma significativa con la calidad del producto final, el desarrollo de nuevos productos que se empleen como aditivos para mejorar las propiedades de transporte de los flujos involucrados y el análisis de cómo la modificación de las estructuras moleculares de los productos obtenidos pueden mejorar de forma significativa su calidad. Nótese que la solución teórica de estos problemas requiere ineludiblemente el conocimiento de las estructuras y propiedades moleculares de las sustancias involucradas, de las interacciones moleculares que tienen lugar y de cómo estas propiedades e interacciones influyen sobre los comportamientos macroscópicos observados. De esta forma la química computacional puede contribuir a explicar los comportamientos experimentales observados, y de qué forma estos pudieran ser modificados.



**Figura 1.** *Químicos e ingenieros químicos trabajan en un proyecto conjunto con arquitectos e ingenieros civiles en el Laboratorio de Hidrocarburos de la FADU en la Universidad Autónoma de Tamaulipas para evaluar y mitigar los efectos de la contaminación de aguas subterráneas con hidrocarburos sobre los cimientos de las viviendas en la zona de Ciudad Madero, Tamaulipas, México.*

Esta insuficiente integración entre ciencia y tecnología que se presenta en la industria también

se refleja en la academia. Si bien en la antigüedad una sola persona podía dominar varias ciencias y artes, el nivel de conocimiento alcanzado en la actualidad es tan elevado y diverso que ha sido necesario compartimentarlo y organizarlo de acuerdo a diferentes criterios. La primera gran división se produce entre las carreras de humanidades y las de ciencia, y esta última, a su vez, se subdivide en las carreras de ciencias básicas y las carreras tecnológicas. En algunos lugares esta distinción entre ciencias básicas e ingeniería se exagera por el hecho de existir adicionalmente una separación geográfica entre ambas.

De esta manera, la química y la ingeniería química se conciben como carreras separadas, y en ocasiones existen paradigmas y consideraciones subjetivas que no facilitan la integración entre ambas. La química imparte una serie de conocimientos teóricos profundos, dentro de los cuales se incluyen los que conciernen a la química computacional, y métodos experimentales que abarcan fundamentalmente la síntesis y caracterización de productos.

En este sentido, la integración entre teoría y práctica se establece en la escala de laboratorio, donde se verifican los resultados teóricos predichos. En esta escala el tamaño del sistema no influye sobre los resultados obtenidos, y los procesos se llevan a cabo en sistemas cerrados que tienden al estado de equilibrio. Por otra parte, muchas veces en los procesos de síntesis se emplean reactivos de laboratorio con índices altos de pureza, por lo que los procesos asociados a la separación de las impurezas pueden ser obviados. El trabajo de investigación científica requiere tiempo (de hecho, en el caso de moléculas complejas, los cálculos teóricos en computadora suelen tardar una cantidad apreciable de horas), intuición y en ciertas etapas admite cierto caos

creativo antes de encontrar la solución. Para los químicos, el problema de la cantidad de producto a obtener se puede resolver mediante una simple regla de tres, lo que puede generar la falsa percepción de que el escalado a nivel industrial es también una regla de tres y que la ingeniería es algo muy fácil.

Si la investigación es difícil en la rama entre estas dos áreas, lo es aún más cuando se quieren integrar otras ramas del conocimiento como, por ejemplo, la ingeniería civil y la arquitectura, aunque si se analizan los desarrollos que conllevan a las colaboraciones multidisciplinares como en el caso de la farmacéutica o de las aplicaciones aeroespaciales, se pudieran apreciar los grandes beneficios que se lograrían de forma colateral.

La ingeniería química se encarga de diseñar la tecnología mediante la cual estos procesos químicos se llevan a cabo en una escala superior, requiriéndose la mayoría de las veces que ocurran de forma continua y lejos del equilibrio termodinámico para lograr una mayor eficiencia y una adecuada factibilidad económica. La columna vertebral de la ingeniería química, conocida como operaciones unitarias, abarca un conjunto de conocimientos relacionados con el diseño y operación de los equipos tecnológicos a partir de una serie de procedimientos y modelos matemáticos. Estas técnicas permiten calcular los tamaños y las condiciones de operación requeridas en estos equipos, las cuales deben ser debidamente adaptadas a las especificaciones que proveen los proveedores de estos. Estos modelos se basan, en última instancia, en un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales espacio - temporales, las cuales reflejan las leyes de conservación de la masa, la energía y la cantidad de movimiento. Estas ecuaciones no pueden ser solucionadas de forma exacta en la mayoría de las situaciones que

se presentan. Como resultado, ha sido necesario obtener modelos aproximados basados en las correlaciones que se han observado experimentalmente entre diferentes parámetros no dimensionales. Estos parámetros involucran las propiedades de las sustancias, las condiciones de operación y el tamaño de los equipos. En este contexto, la relación entre el tamaño y la cantidad de producto no es trivial e influye significativamente sobre la eficiencia de operación. Así pues, la ingeniería química tiene un carácter marcadamente empírico, donde los problemas que se presentan en la industria deben resolverse de forma ágil y en el menor tiempo posible. Para los ingenieros, el trabajo hay que realizarlo de forma organizada, y bajo ningún concepto se acepta el caos o la ambigüedad que es tan característica de la investigación científica. Además, las cosas funcionan o no funcionan. No hay términos medios. Para un ingeniero las complicadas ecuaciones involucradas en la química computacional son demasiado teóricas, por lo que a los efectos prácticos para él no tienen ninguna utilidad.

Esta diferencia de paradigma entre la química y la ingeniería química no contribuye a una debida integración entre ciencia y tecnología, la cual resulta cada vez más importante en ámbitos tales como la biotecnología, la conservación del medio ambiente, la fabricación de productos autóctonos y la sustitución de importaciones en los países más pobres, como una forma de contribuir a su desarrollo tecnológico. Sin embargo, esta limitación no es difícil de superar, y la Universidad puede jugar un papel clave en esta necesaria integración. En principio, los cursos de química que se imparten en las carreras tecnológicas pueden ser actualizados incluyendo dentro de sus temáticas los fundamentos de la química computacional, e integrándose verticalmente con los cursos de termodinámica a través de los fundamentos básicos de la ter-

modinámica estadística. Esto permite que los estudiantes de ingeniería comprendan mejor la importancia de la teoría para predecir y comprender mejor las propiedades fisicoquímicas que exhiben las sustancias, así como el importante papel de las interacciones moleculares en las propiedades de transporte, y cómo la química computacional puede contribuir para mejorar estas propiedades.

Por otra parte, en la carrera de química es posible implementar cursos en los cuales se presenten los fundamentos básicos de la ingeniería, de tal forma que los químicos comprendan la necesidad de involucrar a los ingenieros cuando se trata de aplicar sus resultados.

Si no existiera la estigmatización de la aplicación de la química tal vez se hubieran logrado mayores beneficios. ¿Pero no es rompiendo los paradigmas que ha logrado brincar a pasos agigantados la tecnología? O en la teoría ¿no fue difícil que la física clásica aceptara la física cuántica o también la relativista? La teoría del comportamiento dual de la luz tomó mucho tiempo para ser aceptada, pero una vez asimilada ¡cuántos frutos no se han dado. Tal vez estamos cerca de esa superación, que implicará una catarsis entre los investigadores con ideas arriesgadas.

Otra manera de incrementar esta integración es a través de proyectos conjuntos entre la universidad y las empresas tecnológicas, y que estén encaminados a resolver una multitud de problemas que se presentan frecuentemente en la industria, así como en el desarrollo de nuevas producciones a partir del uso de las capacidades existentes. Los resultados que se alcancen en estos proyectos pueden ser publicados y divulgados en eventos científicos, siempre que se respete la confidencialidad establecida, de tal forma que sirvan de estímulo para una integración más creciente entre ciencia y tecnología.

# Los aportes de Vladimir V. Markovnikov a la Química Orgánica

Historia de  
la Química

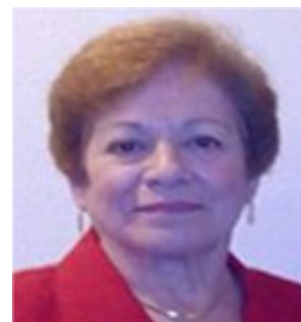
**Dra. Margarita Suárez Navarro**

**Departamento de Química Orgánica**

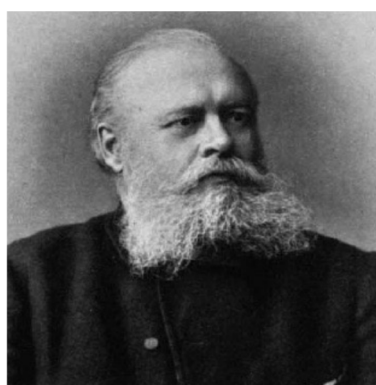
**Facultad de Química**

**Universidad de La Habana**

[msuarez@fq.uh.cu](mailto:msuarez@fq.uh.cu)



¿Qué estudiante que haya cursado la asignatura Química Orgánica I no recuerda “la regla de Markovnikov”? ¿De donde viene el nombre de la regla? Pues del apellido de Vladimir Vasilievich Markovnikov (Figura 1), uno de los grandes químicos rusos del siglo XIX.



*Figura 1: Vladimir Vasilyevich Markovnikov*

(1838-1904)

Pero además de que es el autor de una de las reglas empíricas más conocidas en química orgánica, ¿hay algo más? Conozcamos la vida de ese gran químico y sus aportaciones en este campo.

Vladimir Vasilyevich Markovnikov nació en diciembre 10 (22) de 1838 en la ciudad de Chernoreche, cerca de Nizhny Novogorod. Comenzó a estudiar en la Universidad Imperial de Kazan en 1856. Allí fue el estudiante más talentoso de

Aleksandr M. Butlerov. Se graduó en 1860 con la tesis “*Acerca del Isomerismo de los Compuestos Orgánicos*”. A continuación viajó a Alemania donde participó en las conferencias impartidas por los químicos Hermann Kopp y Emil Erlenmeyer y por el físico Gustav Kirchoff. En Alemania realizó investigaciones en los laboratorios de Erlenmeyer, de Adolf von Baeyer y de Adolph W. Kolbe, grandes químicos de la época. Al regresar a Rusia comenzó a trabajar en la Universidad Imperial de Kazán de 1867 a 1873. Cuando en 1868 se crea la Sociedad de Química Rusa se integra como uno de sus fundadores.

En la primavera de 1869, Markovnikov defendió su tesis doctoral titulada “*Evidencias sobre las Interrogantes de la Influencia mutua de los Átomos en los Compuestos Químicos*”. De 1871 a 1873 trabajó como Profesor de Química en la Universidad de Odesa y a partir de ese año y hasta 1904 lo hizo en la Universidad Imperial de Moscú, donde se quedaría hasta el final de su vida laboral.

La lista de los trabajos publicados por Markovnikov entre 1860 y 1904 incluye 318 artículos. La mayoría informa de sus resultados de trabajos experimentales relacionados con la estructura de los compuestos orgánicos, la química del



petróleo y de los compuestos cíclicos y fueron publicados en revistas en Rusia, Alemania y Francia.

Un aporte importante realizado por Markonikov y que lo llevo a ser reconocido en el campo de la química fueron sus trabajos relacionados con el petróleo del Cáucaso. Conjuntamente con su asistente Vladimir N. Ogloblin, en el laboratorio químico de la Universidad Imperial de Moscú, Markovnikov escribió en 1883 un artículo titulado *Estudio del Petróleo del Cáucaso*. En el mismo, describieron las propiedades de varios compuestos orgánicos aislados del petróleo los cuales ellos llamaron “naftenos” los que posteriormente fueron nombrados como cicloalcanos. Así, describió el octonafteno [ciclooctano] ( $C_8H_{16}$ ), el nonafteno [ciclononano] ( $C_9H_{18}$ ), el decanafteno [ciclododecano] ( $C_{10}H_{20}$ ), el undecanafteno [cicloudodecano] ( $C_{11}H_{22}$ ), el dodecanafteno [ciclododecano] ( $C_{12}H_{24}$ ), el tetradecanafteno [ciclotetradecano] ( $C_{14}H_{28}$ ), y el pentadecanafteno [ciclopentadecano] ( $C_{15}H_{30}$ ). En 1895, Markovnikov describió el hexanafteno [ciclohexano] ( $C_6H_{12}$ ), un nuevo nafteno y dos años más tarde reportó el aislamiento del pentametileno [ciclopentano] ( $C_5H_{10}$ ), ambos también aislados del petróleo.

Además, realizó aportes al conocimiento de la estructura de los compuestos orgánicos ya que demostró que los ácidos butírico e isobutírico tienen la misma fórmula molecular pero diferente estructura, es decir, son isómeros (Figura 2).

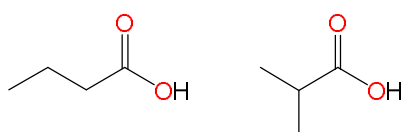


Figura 2: Ácidos butírico e isobutírico

Volvamos a la regla de Markovnikov, la misma se formuló antes del descubrimiento del concepto de carbocatión y permitía predecir el producto principal de la adición de un reactivo no simétrico a un alqueno con un doble enlace no simétrico. En términos modernos, esta regla dice que la adición iónica de un reactivo no simétrico a un doble enlace no simétrico, el agente electrofílico (que puede ser un protón y otro grupo electropositivo) se unirá al átomo de carbono del doble enlace que contenga el menor número de grupos alquilo o aquél que tenga el mayor número de hidrógenos (Figura 3).

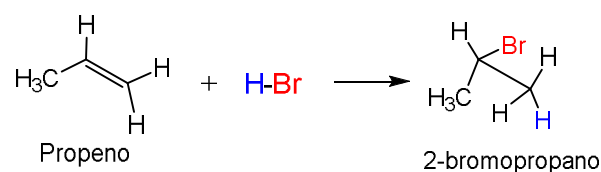


Figura 3: Reacción del propeno con bromuro de hidrógeno.

La explicación química para la regla de Markovnikov es la formación del carbocatión más estable durante el proceso de adición (Figura 4).

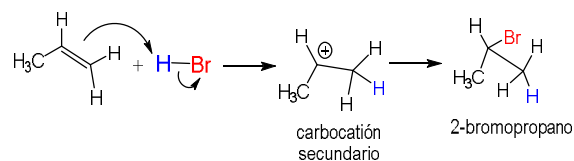


Figura 4: Formación del carbocatión más estable.

En 1904 el químico Ivan A. Kablukov escribió “cuando regresó de San Petersburgo en la Navidades comenzó a sentirse mal y los médicos le prohibieron salir de su casa. El 13 de enero, se sintió mejor y a pesar de la prohibición de los doctores, fue a trabajar al laboratorio, pero en la tarde sufrió una embolia que lo dejó inconsciente”.

Vladimir V. Markovnikov murió el 29 de enero [11 Febrero], sin embargo, a más de 150 años de formulada, cuando se imparte el curso de Química Orgánica, la regla empírica de Markovnikov aún se utiliza para explicar el comportamiento de los alquenos no simétricos en las reacciones de adición electrófilicas.

#### **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

1. A. Sztejnberg, *Substantia*, **2019**, 3, 97-103.
2. I.P. Beletskaya, V.G. Nenajdenko, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2019**, 58, 4778.
3. P. Hughes, *J. Chem. Educ.* **2006**, 83, 1152.



**Dra. Rosa Rodés García**  
[rrodes@fq.uh.cu](mailto:rrodes@fq.uh.cu)

**Laboratorio de Fisiología Vegetal. Departamento  
Biología Vegetal. Facultad de Biología. Universidad  
de La Habana**

**Dr. Eduardo Ortega Delgado**  
[eortega@fq.uh.cu](mailto:eortega@fq.uh.cu)



**P**osiblemente, pocos químicos y biólogos jóvenes sepan que el Laboratorio de Fisiología Vegetal (LFV), que ocupa parte de la nave al lado del Comedor Machado, comenzó sus actividades como parte de Química; allá por el año de 1969. Hoy, orgullosamente, formamos parte de la Facultad de Biología; somos punto de unión de dos relevantes instituciones de la UH.

tonces la UH se unía a toda Cuba para la Zafra de los 10 Millones. Se desarrollaban muchas actividades relacionadas con la agricultura. La Escuela de Química, tenía dos colectivos de investigación en temas agrícolas.

Uno de ellos, el Centro de Nutrición Vegetal,



**Figura 2.** 1971. Dr. Arturo Amaral con algunos compañeros en el Laboratorio.



**Figura 1.** Sede del LFV de la UH desde 1969, al lado del Comedor José Machado.

En este *Encuentro* vamos a dar a conocer a químicos, biólogos y otros interesados, sobre los orígenes del LFV y resumir lo que allí se ha hecho durante estos primeros 50 años.

Los años 1969 y 1970 fueron cruciales para el origen del Laboratorio de Fisiología Vegetal. En-

dirigido por el Dr. Raúl García, entonces recién graduado de Doctor en Ciencias Agrícolas en Bulgaria. El otro colectivo era el Laboratorio de Caña, dirigido por el Dr. Arturo Amaral†, que investigaba sobre caña de azúcar, entre otros temas sobre la quema de los campos; relevantes aspectos para el deseado auge de la industria azucarera nacional. Pronto surgió la necesidad de unir ambos colectivos. En aquellos años trabajaban, en uno u otro grupo, recién graduados de

química entre los cuales estaban Gisela Alonso, Walfredo Torres†, Nicolás Medina, Noemí Tió†, los que poco tiempo después, pasaron a otros centros. También formaban parte del colectivo en sus primeros años, varios técnicos, como Cartaya†, Cejudo†, Clara, Kira, Quique, Oscar, Luis, Ginoria, Miguel, Sergio, y otros.

Con algunos compañeros de los dos colectivos, en la segunda mitad de 1970, se creó el Centro de Nutrición de la Caña de Azúcar que continuó dirigiendo el Dr. Arturo Amaral hasta 1974. El Dr. Amaral se desvinculó del colectivo de Caña al enfrascarse en una interesante y valiosa investigación sobre el control de varias enfermedades (entre ellas el cáncer), a partir del extracto químico de los orines del propio enfermo. Después de 1974 y hasta 1977 el Centro fue dirigido por el Dr. Roberto de Armas.

Entre 1975 y 1979 nos asesoró el Dr. Nicolai N. Musienko, de la Unión Soviética, que ayudo en la preparación docente y de investigación; fue tutor de un núcleo de profesionales del Grupo para la realización de las tesis de doctorado; Candidato a Doctor, como se le llamaba entonces.

En 1976 al crearse el Ministerio de Educación Superior, la UH se multiplicó por cinco. Entonces cofundamos, junto a otras instituciones universitarias relevantes, la nueva Facultad de Biología como parte de lo que continuó siendo Universidad de La Habana. El colectivo contribuyó a crear el nuevo Departamento de Fisiología y Biofísica. En 1981, luego de una sabia decisión, formamos el Departamento de Fisiología Vegetal.

El Dr. Roberto de Armas dirigió ambos Departamentos entre 1976 y 1984. Al pasar el Dr. de Armas a cargos superiores, la dirección del Departamento la asumió el Dr. Eduardo Ortega,



**Figura 3.** Prof. Dr. Nicolai N. Musienko con relevantes miembros de la dirección política de la UH. El Dr. Miguel Comas (primero a la izquierda) Primer Secretario del PCC en la UH. 1978.

quien realizaba funciones de dirección desde 1974 en el Centro Nutrición de la Caña.



**Figura 4.** 1976. Rosa Rodés recibe la categoría docente. Estaban recién creados el MES y la Facultad de Biología. Entrega el diploma el Dr. Armando Pérez, quien años más tarde sería Rector de la UH.

La estructura del Dpto. Fisiología Vegetal de la Facultad de Biología, se mantuvo por 12 años. En 1993 Fisiología Vegetal dejó de ser Departamento y su colectivo pasó a formar parte de Biología Vegetal. Desde entonces, el Grupo mantiene el formato de Laboratorio de Fisiología Vegetal, sin constituir estructura formal en el organigrama universitario.

Se han realizado tareas docentes y de investigación científica, interactuando íntimamente los campos de las ciencias químicas y biológicas, aplicadas al funcionamiento de las plantas y su relación con el medio ambiente. Desde 1974 y hasta hoy, la docencia y la investigación en Fisiología Vegetal ha sido el eje central.

Entre 1976 y 1993 también impartimos clases de Análisis Químico, Análisis Instrumental y Morfología Vegetal a las tres carreras de Biología. Hemos formado en Fisiología Vegetal a cientos de estudiantes de las carreras Química, Biología, Bioquímica y de Microbiología. De 1976 a 1981, la FV también formó parte del Plan de Estudios de los estudiantes de Farmacia y Alimentos de la UH.

Hemos investigado en varios temas; pero el más relevante, por el cual el colectivo es aún conocido como “Caña”, es porque hasta el año 2000 se acometieron con mucha fuerza las investigaciones en fisiología de la caña de azúcar, hasta entonces el principal renglón económico de Cuba.



**Figura 5.** Profesores del Proyecto Carleton-UH en una finca, durante la toma de muestras de caña de azúcar para el estudio de microorganismos fijadores de nitrógeno. 1998.

Tareas relevantes son:

- Participación en el Programa de Investigaciones en Caña de Azúcar del MINAZ, liderando los estudios fisiológicos.
- Investigaciones en el cultivo de la microalga espirulina, que nos permitió formar un grupo valioso de estudiantes de la Facultad de Biología.
- Participación activa en la Red Iberoamericana BIOFAG; por 7 años representamos a Cuba y nos enlazó con relevantes científicos

de Iberoamérica sobre el rol de los microorganismos en la agricultura y la importancia de los biofertilizantes; organizamos en La Habana, la Reunión Iberoamericana de Rhizobiología de 2009.

- Actividades en el Proyecto Carleton-UH, en investigaciones de fijación de nitrógeno en caña de azúcar, de importancia singular, demostrando que fue correspondida la confianza de los Profesores Margaret McCully y Martin Canny, Universidad Carleton de Canadá, al poner en nuestras manos la investigación y divulgación sobre fijación de nitrógeno en caña de azúcar.
- Investigaciones en fijación de nitrógeno con Alemania, Profesor Dr. Diethelm Kleiner Universidad Bayreuth, y con México, Dr. Jesús Caballero Mellado† de la UNAM.
- Interacción, mutuamente beneficiosa, con la Universidad Complutense de Madrid y la Universidad Humboldt de Berlín, para investigar sobre la calidad de los jugos y la fisiología de la fotosíntesis en caña de azúcar.
- Supervisión de decenas de tesis de diploma, maestría y doctorado de jóvenes de la UH y de diferentes instituciones cubanas.
- Investigación y enseñanza en Fisiología Vegetal contribuyendo a la formación integral de cientos de jóvenes cubanos y de otras latitudes.

La educación de postgrado en el LFV, ha incluido la dirección y el desarrollo de Programas de Maestría y Doctorado de Excelencia. Hemos tenido la suerte y el privilegio de contar con la colaboración de amigos y colegas nacionales y





**Figura 6.** En el Simposio de Bioquímica y Biología Molecular de 2012, con la contraparte brasileña UFRN.



**Figura 7.** En uno de los 5 cursos teórico-prácticos, de Postgrado, en Biología Molecular de Plantas, iniciados en 2012 e impartidos cada dos años, con profesores de la Universidad Humboldt de Berlín. A la extrema izquierda el Prof. Dr. Bernhard Grimm.

extranjeros. Mencionamos relaciones académicas y amistosas con: Humboldt-Universität zu Berlin; Carleton University; Universidad Complutense de Madrid; Universidad de Granada; Universidad Nacional Autónoma de México; Universität Bayreuth; Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas; Universidade Federal do Rio Grande do Norte; Universidade Federal Rural do Semi-Árido; Universität Rostock; Rutgers University; INCA; Universidad Agraria de la Habana (ISCAH o UNAH); Universidad de Granma; Universidad de Oriente; IMRE-UH; Instituto Jorge Dimitrov; INIFAT; Instituto de Investigaciones de Granos; INICA; Instituto de Investigaciones del Tabaco; Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología; Estación de Pastos y Forrajes Indio Hatuey... Entrañables amigos y colegas. Por falta de espacio no podemos mencionarlos; apre-

ciamos su valiosa colaboración académica y cariñosa amistad.



**Figura 8.** Participando en QuimiCuba 2018, con nuestros estudiantes de postgrado ecuatorianos.



**Figura 9.** Prof. John Digton de Rutgers University, en el curso Soil Ecology en el LFV. Otro punto de unión universitaria. 2019

En los cincuenta años de actividad que celebramos, recordamos a personas que formaron parte del colectivo. Unos han partido definitivamente; otros encontraron su futuro en otro trabajo o en lejanas tierras y no pocos disfrutaron merecidamente la jubilación. Por su significado y aportes mencionamos a:

Dr. Arturo Amaral†, Dr. Raúl García, Dra. Nelly Cabrera†, Dra. Hortensia Casanovas, Dra. Melba Bejottes, Dra. Ileana Peláez, Dr. Luis Rojas, Dr. Noel Tejera, Lic. Domingo Mesa, MSc. Enrique de la Fuente†, Ing. José Pardo†, Ing. Eduardo Soto†, Lic. Salvador Naranjo, Ing. Otto Recio, Ing. Pedro Valdés†, MSc. Carlos W. Rodríguez, Ing. Ana María Pérez, Lic. Osvaldo Pérez, Dr. Guillermo Gálvez.



No se mencionan otros, que estuvieron menos tiempo y así evitamos una lista que, al no ser completa, deje a alguien sin mencionar. Todos, junto a los valiosos, y queridos técnicos Milagros Diez-Cabezas, María Elena de Castro y Victoriano García, formaron parte, contribuyeron y dejaron su huella en la UH para el desarrollo, contra viento y marea, del Laboratorio de Fisiología Vegetal. Aunque no fueron parte formal del Grupo, sí tuvieron una participación relevante trabajando en el Laboratorio, Dr. Belarmino Díaz†, Dra. Irene Balbín y Dr. Ramiro Valdés.

Hoy, el colectivo está compuesto por un pequeño número de miembros reales (Tabla 1) y otros que, sin formalidades, mantienen una fuerte relación con el LFV. Mantenemos el trabajo en investigación, con atención especial a los cultivos del arroz, frijoles, caña de azúcar y *Jatropha curcas*, los cuales representan base y combustible para nuestra docencia de pre y postgrado.

**Tabla 1.** Miembros actuales del LFV; con asterisco\* los fundadores.

Nombre	Nombre
Eduardo Ortega*	Loiret Fernández
Rosa Rodés*	Patricia Ortega
Roberto de Armas*	Diandra García
Rigoberto Rico	David Mojarena
Isabel Medina	Raúl Benítez
Maritza Martínez	Katherine Meirama
Alenna Vázquez	

No muchos colectivos cumplen 50 años de existencia. Es un privilegio que nos hace felices. De acuerdo a nuestros conocimientos, solo dos colectivos de investigación en la UH cumplieron 50 años en 2019; el LFV y el CIM, ambos creados en 1969. La UH es casi tricentenaria; nos enorgullece haber podido contribuir con 50 años de trabajo a esos casi 300 años de nuestra Alma Mater. Con alegría y emoción, la mirada esperanzada y puesta en el futuro brindamos y compartimos con los lectores, los primeros 50 años de vida del Laboratorio de Fisiología Vegetal.



**Figura 10.** Junto con campesinos, investigamos actualmente en el cultivo del arroz, uniendo conocimientos académicos y conocimientos ancestrales.

***“María mía, ...Pues este libro es mucho mejor, ...Lee el último capítulo. La Physiologie Végétale - la vida de las plantas - y verás qué historia tan poética y tan interesante. Yo la leo, y la vuelvo a leer, y siempre me parece nueva .”***

José Martí, en carta a María Mantilla. Fechada en Cabo Haitiano, 9 de abril, 1895; pocas horas antes de salir para Cuba, para embarcar, 11 de abril, por Playitas de Cajobabo y dar inicio a “la guerra necesaria”.



*Figura 11. El colectivo de LFV, celebra, junto a amigos, el 50 Aniversario, en diciembre de 2019.*

**Dra. Margarita Suárez Navarro**

**Departamento de Química Orgánica**

**Facultad de Química**

**Universidad de La Habana**



**C**on que agrado los habaneros presentamos el bello espectáculo de fuegos artificiales realizado el 16 de Noviembre desde la Fortaleza San Carlos de la Cabaña y al día siguiente en la gala ofrecida en el Capitolio Nacional, por la celebración del 500 Aniversario de nuestra ciudad.



**Figura 1.** Fuegos artificiales (a) en el Capitolio Nacional (b) Fortaleza San Carlos de la Cabaña. (Fotos cortesía Diana de Armas Bellón)

Cada fuego artificial que en esos momentos se lanzó hacia el cielo era una mezcla de productos

químicos y combustible, cuidadosamente preparados para producir un efecto especial. Cada explosión, es el resultado de muchas reacciones químicas, oxidaciones y reducciones, en fase gaseosa.

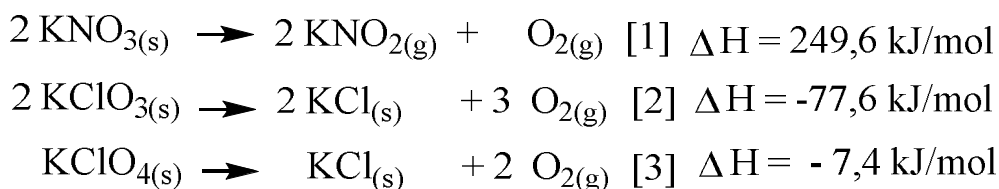
Los fuegos artificiales se utilizan en muchas ocasiones como un gran final de celebraciones oficiales y espectáculos. A nivel mundial existen numerosas industrias pirotécnicas que se dedican a la confección de estos artilugios.

La palabra pirotecnia proviene de los vocablos griegos *piros*, fuego, y *techne*, arte o técnica y significa “el arte que trata de todo género de invenciones de fuego, en máquinas militares y en otros artificios para diversión y festejos”. Desde la antigüedad los pueblos chino, indio y egipcio fueron aficionados a las fiestas donde utilizaban fuegos artificiales, a los que daban color empleando sales de sodio. Ellos transmitieron sus conocimientos a los griegos y más tarde a los romanos, de los que quedan documentos que relatan su empleo en festejos nocturnos.

El empleo de los fuegos artificiales resurge en el siglo IX con la introducción de la pólvora descubierta por los chinos. El desarrollo de la técnica se llevó a cabo en toda Europa, principalmente en España e Italia, donde los pirotécnicos buscaban

un mayor impacto visual en el público. También, en la escuela alemana de Nüremberg se trabajó para alcanzar un mayor conocimiento científico de los procesos involucrados en la pirotecnia.

Hasta el siglo XIX, los fuegos artificiales fueron monocromáticos, ya que casi exclusivamente se utilizaba el sodio. Se necesitaron algunos avances en la química para introducir los colores que observamos hoy. Así, por ejemplo, la introducción del color rojo se encuentra estrechamente ligada a la historia del descubrimiento de los elementos químicos, concretamente del estroncio, que fue extraído del  $\text{SrCO}_3$  por primera vez en 1807 por Davy. Este carbonato aún es uno de los componentes básicos en la fabricación de los fuegos. También se utilizaron sales de clorato para formar, a partir de ellas los cloruros que dan diferentes especies responsables del color. Por lo que,



Dicha diferencia se basa en la cantidad de oxígeno que cada una cede en forma de oxígeno molecular. En el caso de los nitratos (reacción [1]), de acuerdo a la estequiometría, de las tres moléculas de dióxígeno que se podrían liberar, solo se libera una para dar el correspondiente nitrito y el dióxígeno. Es decir, que los nitratos ceden un tercio del oxígeno que contienen. Por el contrario, los cloratos ceden la totalidad de su contenido en oxígeno, causando una reacción espectacular y explosiva y los percloratos ceden todo su oxígeno en forma de oxígeno molecular, pero es menos probable que exploten por efecto de un

como tantos hechos de la vida cotidiana, los fuegos artificiales están relacionados con muchos conceptos químicos.

Se requiere experiencia para la preparación de las mezclas más adecuadas para producir los fuegos artificiales. La pirotecnia se basa en el empleo de varios componentes básicos que son los siguientes:

#### **Sustancias oxidantes:**

Son las encargadas de generar el oxígeno que reaccionará en la reacción de combustión. Existen fundamentalmente tres tipos de oxidantes: los nitratos, los cloratos y los percloratos, cuyos aniones son  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{ClO}_3^-$  o  $\text{ClO}_4^-$  respectivamente, los que van acompañados de un catión metálico. Considerando las reacciones de descomposición de los oxidantes más utilizados, podemos observar una diferencia fundamental:

impacto. De ellas la reacción [1] es la única endotérmica y por tanto resultará favorecida al elevar la temperatura. Las reacciones [2] y [3] son exotérmicas y se favorecen a baja temperatura.

#### **Sustancias reductoras:**

Son las encargadas de actuar como combustibles reaccionando con el oxígeno molecular liberado por los oxidantes, dando lugar a la producción de grandes cantidades de gases calientes. Entre las especies reductoras más comunes en pirotecnia se destacan al carbono y al azufre. Sus reacciones de combustión dan lugar a la formación de  $\text{CO}_2$  y  $\text{SO}_2$ .



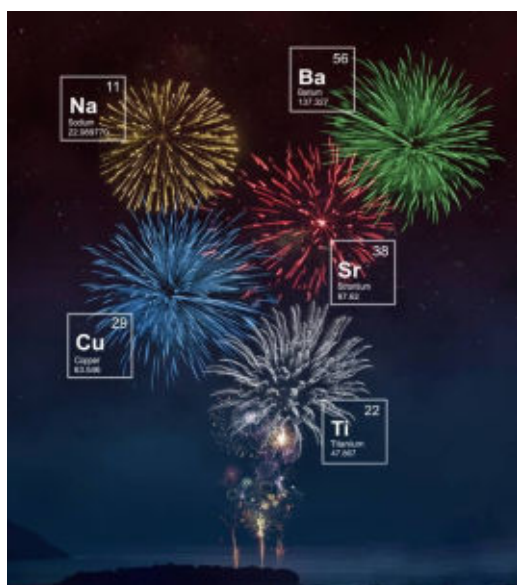
## Elemento responsable del color:

Son las sales o metales, que se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Sustancias químicas de partida utilizadas para producir los colores de los fuegos artificiales.

Color	Sustancias químicas
Rojo	$\text{Li}_2\text{CO}_3$ , $\text{SrCO}_3$ , $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ , $\text{SrC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Naranja	$\text{CaCl}_2$ , $\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ , $\text{CaCO}_3$
Dorado	Fe, C, Aleación Ti-Fe
Amarillo	$\text{NaNO}_3$ , $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ , $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , $\text{NaHCO}_3$ , $\text{NaCl}$
Verde	$\text{BaCl}_2$ , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ , $\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2$ , $\text{BaCO}_3$
Azul	$\text{CuCl}$ , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Violeta	Mezcla de compuestos de Sr (rojo) y Cu (azul)
Plata	Al, Ti, Mg
Blanco	Al, Mg, BaO
Metálico	Al, Mg, BaO, sales de antimonio

Los agentes que producen el color se usan en forma de sales y a veces como metales en polvo. De las sales metálicas solamente el catión produce el color, mientras que los aniones no influyen directamente en el color, aunque sí lo hacen en la temperatura de la llama, que está relacionada con la excitación de las moléculas. En la Figura 2 e



**Figura 2.** Elementos químicos en los fuegos artificiales. (Foto Getty Images).

observan los colores asociados a cada elemento.

Además de todos los componentes que se han indicado, se adicionan otras sustancias que actúan como reguladoras de la velocidad de la reacción y agentes aglomerantes para estabilizar la mezcla, protegerla de la humedad y garantizar que durante su almacenaje no se echen a perder.

Entre estas sustancias se utilizan la goma arábiga, la dextrina, y el parlón (caucho clorado) que, además, es útil cuando se emplean sales de estroncio y bario para obtener colores rojos y verdes.

Al producirse la mezcla, los agentes productores del color tales como las sales de estroncio, bario, etc., reaccionan con los oxidantes en una primera etapa para dar óxidos e hidróxidos. En una segunda etapa, se pueden producir otras nuevas especies que son las realmente responsables de los colores observados. En varios casos, se trata de moléculas diatómicas transitorias generadas en las llamas a temperaturas elevadas, por combinación del cloro liberado de las sales de partida con los iones metálicos de los productos originales. El  $\text{SrCl}$  y el  $\text{BaCl}$  existen sólo a altas temperaturas, mientras que el  $\text{CuCl}$  es inestable en estas condiciones.

Los procesos responsables de la producción del color en los fuegos artificiales son dos: la incandescencia y la luminiscencia.

La incandescencia es la emisión de radiación (que en un intervalo de frecuencia o longitud de onda adecuada da lugar al color) como consecuencia de que el cuerpo emisor está a alta temperatura. La emisión de esta radiación suele comenzar en la zona infrarroja del espectro, y a medida que la temperatura aumenta, se desplaza hacia la zona del rojo/amarillo. El problema que tiene la incandescencia es que los únicos colores

que se pueden producir son los rojizos/amarillos, o si la temperatura es muy alta, el blanco.

Por su parte, con la luminiscencia sí pueden obtenerse todos los colores del espectro visible. Para que haya color es necesario que un cuerpo

emita radiación con una longitud de onda adecuada (el espectro visible está entre los 400 nm (azul) y los 700 nm (rojo), Figura 3).

En el caso de los fuegos artificiales, el cuerpo que emite la radiación son los cationes metálicos

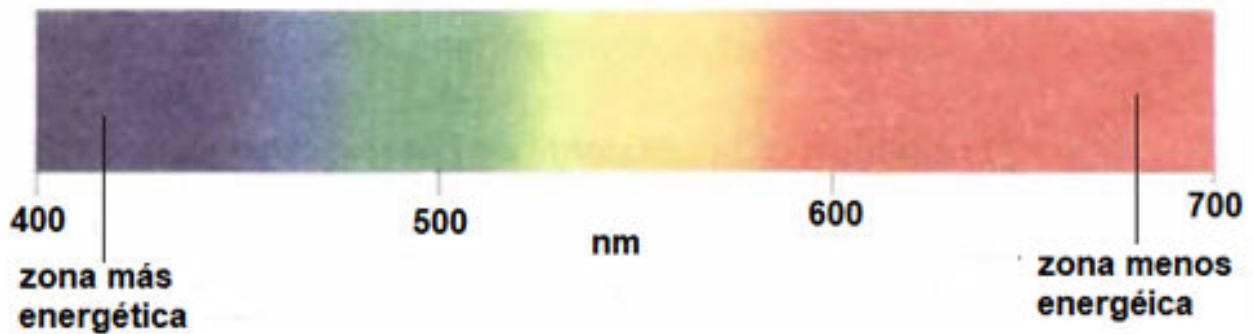


Figura 3. Espectro electromagnético.

de las sustancias que se han mostrado en la Tabla 1. Debido a las grandes cantidades de energía que se liberan en la reacción de combustión, los electrones más externos de estas sustancias metálicas son promovidos a niveles de energía superiores. Sin embargo, los electrones tienden a volver rápidamente al nivel energético que ocupaban antes de la excitación. Para ello, deben emitir el exceso de energía que han adquirido con la combustión, lo que permite observar el color (Figura 4). Cuanto más energética sea la transición más vinculada esta con los colores azules, mientras que las de menos energía estarán relacionadas con la zona roja del espectro.

Es conveniente conocer los peligros que entra-

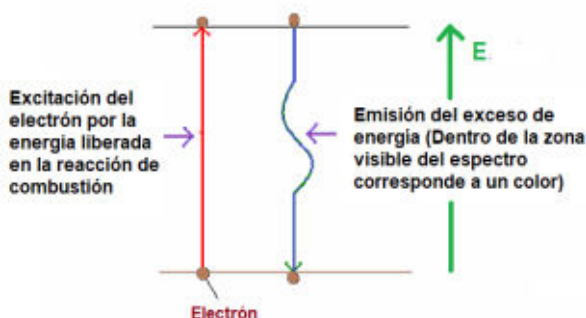


Figura 4. Transiciones electrónicas.

ñan los fuegos artificiales pues varios han sido los accidentes que se han provocado debido a la manipulación imprudente de estas sustancias. Ejemplo del mal manejo de estos dispositivos fue el suceso que ocurrió en 2017 durante la celebración de las tradicionales Parrandas de Remedios, donde varias personas sufrieron graves quemaduras.

Muchos fuegos artificiales pueden contaminar el medio ambiente con residuos y humo, por lo que los maestros pirotécnicos ya han comenzado a afrontar algunos de estos problemas y uno de los objetivos actuales de investigación de la industria pirotécnica es la búsqueda de nuevas maneras de hacer fuegos artificiales que sean más respetuosos con el medio ambiente, como la creación de compuestos que utilicen materiales abundantes en nitrógeno y nitrocelulosa, lo que produce menos humo.

Los científicos están desarrollando nuevas formas de producir llamas de colores brillantes con compuestos menos contaminantes. Por ejemplo, se han obtenido diferentes compuestos basados



en el 5-aminotetrazol que se pueden utilizar como sustituto del perclorato tanto en las llamaradas rojas como en las verdes.

También se trata de sustituir los casquillos tradicionales que usan carcassas de carton y que son desechos, por otros fabricados utilizando polímeros como el polibutadieno con grupos hidroxilos. que se queman por completo.

Estas investigaciones constituyen uno de los objetivos actuales de investigación de la industria pirotécnica.

### BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. J. A. Conkling, Pirotecnia. *Investigación y Ciencia*, **1990**, 168, 58-65.
2. F. Prada, El fuego: química y espectáculo. *Anales de Química*, **2006**, 10, 54-59.
3. F. Prada, J. L. de Luis, Ciencia, fuego y pirotecnia,. Universitat d'Alacant. **2001**.
4. J. A. Conkling, C. J. Mocella, Chemistry of Pyrotechnics: Basic Principles and Theory, 2nd ed., CRC–Taylor & Francis, FL (USA), **2010**, pp. 69–70.
5. T. M. Klapçtke, H. Radies, J. Stierstorfer, K. R. Tarantik, G. Chen, A. Nagori, *Propellants Explos. Pyrotech.* **2010**, 35, 213–219.
6. J. J. Sabatini, J. D. Moretti, High-Nitrogen-Based Pyrotechnics: Perchlorate-Free Red and Green-Light Illuminants Based on 5-Aminotetrazole, *Chem. Eur. J.* **2013**, 19, 4094–4099.
7. J. J. Sabatini, C. T. Freeman, J. C. Poret, A. V. Nagori, G. Chen, *Propellants Explos. Pyrotech.* **2011**, 36, 145–150.
8. J.A. Conkling, Investigación y Ciencia, **1990**, nº 168.

**Dra. Loreley Morejón Alonso**

**Departamento de Química General e Inorgánica**

**Facultad de Química**

**Universidad de La Habana**

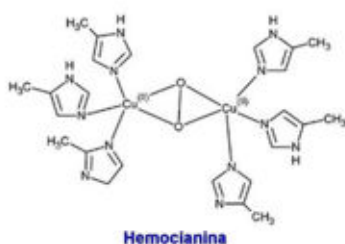
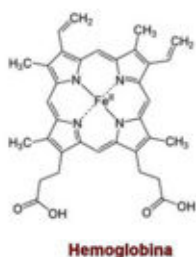
[Imorejon@fq.uh.cu](mailto:Imorejon@fq.uh.cu)



**A** pesar que para muchos la Química resulta una materia **blindada**, es imposible negar que la misma se encuentra presente en nuestra vida cotidiana. A continuación, les presentamos 10 curiosidades relacionadas con dicha ciencia que esperamos les resulten interesantes.

1. *La sangre de algunos crustáceos, arácnidos y moluscos es incolora; sin embargo, si se expone al aire se torna azul.*

El color de nuestra sangre está determinado por la presencia de la **hemoglobina**. Sin embargo, en ciertos animales la sangre es azul debido a la presencia de **hemocianina**. Mientras la primera es roja, por la presencia de átomos de hierro en su composición, la hemocianina posee átomos de cobre en su estructura, aunque en este caso el transporte de oxígeno es menos eficiente. Dicha proteína resulta de gran interés en la industria biomédica debido a sus propiedades inmunoestimulantes.



2. *¿Por qué lloramos al cortar cebolla?*



Dentro de las células de la cebolla existen algunos compuestos que contienen azufre. Al cortar la cebolla, las células se rompen y se liberan enzimas (sintasa) capaces de vincularse con una molécula inodora en el interior del alimento, conocida como trans-(+)-S-(1-propenil)-L-cisteina sulfóxido. Siendo así, el ácido sulfénico se transforma en sulfóxido de tiopropanal, producto lacrimógeno quien es el causante del lagrimeo mientras cortamos la cebolla.

3. *Un café expresso contiene menos cafeína que un café regular.*

Una porción típica de café de filtro por goteo contiene 95-200 mg de cafeína por taza de unos 230 mL y una porción estándar de expresso contiene 47-75 mg de cafeína por taza de 30 mL. Así que, mientras que el café por goteo contiene más cafeína que el *expresso*, el *expresso* tiene más

caféina por ml, lo que explica «el subidón» que se obtiene de esta pequeña taza café. Por otro lado, el grano de café utilizado también es importante pues diferentes granos de café tienen diferentes niveles de contenido de caféina.



4. *La nuez moscada contiene un alcaloide tóxico que puede causar alucinaciones.*



La nuez moscada es una especia que se utiliza en la cocina internacional para dar sabor. En cantidades superiores a 10mg provocan alucinaciones debido a la presencia de un compuesto orgánico conocido con el nombre de *miristicina*. Entre sus efectos nocivos también se reportan vómitos, psicosis y ansiedad.

5. *¿Por qué algunos quesos huelen a pies? Y viceversa...*

Una de las bacterias utilizada en la fermentación de los quesos, pertenece a la familia de una de los microorganismos más comunes que habitan nuestros pies. Durante la fermentación de los quesos, se producen una serie de metabolitos aromáticos que dan su “olor característico”; olor

muy similar al que se produce por el contacto del sudor con la flora bacteriana del pie. Entre otras, la sustancia que quizá más caracteriza ese olor es el *ácido isovalérico*.



6. *El maní o cacahuete es el principal ingrediente de la dinamita.*



La dinamita es básicamente una mezcla de nitroglicerina y tierra u otros materiales orgánicos tales como arcilla o aserrín. El aceite que se obtiene del maní al ser procesado genera glicerol, que a su vez es la materia prima utilizada para fabricar nitroglicerina.

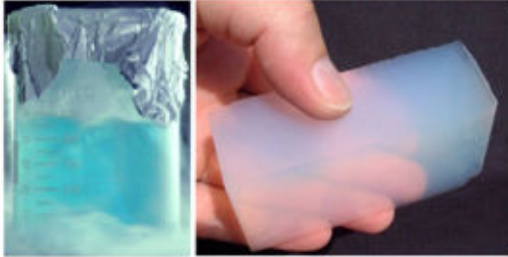
7. *Los limones son más dulces que las fresas.*



El limón posee un 70% de azúcar, mientras que la fresa contiene un 40%. A pesar de esto, el

sabor predominante en el primero es el ácido debido a la presencia de *ácido cítrico* que supera la cantidad de sacarina presente en el limón.

8. ***El oxígeno en su estado gaseoso es incoloro, pero en su estado sólido o líquido es de color azul.***



El oxígeno líquido es una sustancia altamente paramagnética que absorbe todas las frecuencias de la radiación incidente (en el espectro visible) excepto la azul; por tal motivo refleja la misma y la sustancia posee un color azul claro. Es altamente oxidante y posee naturaleza criogénica: materiales orgánicos se queman rápida y energicamente en su presencia y otros, al ser remojados en oxígeno líquido, pueden detonar de forma impredecible ante fuentes de ignición tales como llamas, chispas o el impacto de los golpes de luz.

9. ***Las frutas como el plátano o el mango pueden hacernos engordar.***



Los carbohidratos o **hidratos de carbono** son macronutrientes (azúcares, almidones y fibras) encargados de proporcionarnos la energía necesaria para mantener las funciones corporales y la actividad física a través de la glucosa.

Las fuentes más saludables de carbohidratos

son los que se obtienen de granos enteros, verduras y frutas; sin embargo, las frutas son ricas en azúcares y pueden hacernos aumentar de peso. Plátano: 27 g, Pasas (1 taza): 110 g, Mango (1 taza): 22 g, Piña (1 taza): 19 g, Manzana: 50 g.

10. ***El tomillo y le orégano fueron utilizados en el antiguo Egipto en los procesos de momificación.***



El Timol (2-isopropil-5-metilfenol) es una sustancia cristalina incolora con un olor característico que está presente en la naturaleza en los aceites esenciales del Tomillo (*Thymus vulgaris*) y del Orégano (*Origanum majorana*); dos hierbas aromáticas muy usadas para cocinar. Por sus propiedades bactericidas y fungicidas era utilizado por los antiguos egipcios en la conservación de sus momias. En la actualidad, esta sustancia es empleada en la conservación de libros para combatir los hongos.

#### **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

1. [https://www.taringa.net/+biotecno/sangre-azul-hemocianina\\_14n4e0](https://www.taringa.net/+biotecno/sangre-azul-hemocianina_14n4e0)
2. <https://www.infobae.com/tendencias/2017/08/10/por-fin-descubrieron-por-que-la-cebolla-hace-llorar-y-su-truco-para-evitarlo/>
3. <https://capuchinox.com/que-tipo-de-cafe-tiene-mas-cafeina/>
4. <http://entrematracas.iqm.csic.es/sabias-que->

- 
- nuez-moscada/
  5. <https://blogs.20minutos.es/el-nutricionista-de-la-general/2014/03/26/por-que-el-queso-huele-a-pies-o-era-al-reves/>
  6. <https://supercurioso.com/>
  7. <https://laquimicaylaciencia.blogspot.com/>
  8. [https://es.wikipedia.org/wiki/Ox%C3%ADgeno\\_1%C3%ADquido](https://es.wikipedia.org/wiki/Ox%C3%ADgeno_1%C3%ADquido)
  9. <https://www.eluniversal.com.mx/menu/alimentos-con-mas-carbohidratos>
  10. <https://es.wikipedia.org/wiki/Timol>



**L**a 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**<sup>1</sup>) y, si procede, después de las marcas de puntuación (por ejemplo, **Soto**,<sup>2</sup>). 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](http://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](mailto: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.

