



# Innovación y Ciencia

Volumen XVIII • Nº 3 • Tarifa postal reducida 2011-194 • Colombia \$ 15.000



*Edición especial*

**2011**

**AÑO INTERNACIONAL  
DE LA QUÍMICA**



ASOCIACIÓN COLOMBIANA  
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA

**OCTUBRE 18 / 23**  
**CORFERIAS** BOGOTÁ - COLOMBIA

## Estructura General de la Feria

- Exposición comercial e institucional
- Rueda de negocios
- Expociencia Infantil y Juvenil - Feria Colombiana de la Innovación
- Museo
- Programación Académica
- Programación Cultural
- Túnel de la Ciencia

# XII EXPOCIENCIA EXPOTECNOLOGÍA 2011

La Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC, entidad privada sin ánimo de lucro, que durante 40 años viene trabajando por el fomento de la ciencia, la tecnología y la innovación en Colombia, presenta en el año 2011 la décima segunda versión de Expociencia Expotecnología, la feria más importante que en este campo se realiza desde 1989.

Expociencia Expotecnología tiene como propósito fundamental propiciar espacios para que la industria, las entidades públicas y privadas y el sector educativo den a conocer sus avances científicos, desarrollos tecnológicos y adelantos investigativos en curso a través de espacios como la exposición comercial e institucional, la rueda de negocios y la programación académica general.

**REVISTA INNOVACIÓN Y CIENCIA**  
**VOLUMEN XVIII N° 3- 2011**  
**EDICIÓN ESPECIAL**

**PUBLICACIÓN DE:**

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC

**JUNTA DIRECTIVA ACAC**

Eduardo Posada Flórez

Marcelo Riveros R.

Beatriz Bechara Cabrera

Carlos Corredor P.

Elena Stashenko

Guillermo Hoyos V.

Helena Groot

Horacio Torres S.

José Felix Patiño

Rubén Ardila Ardila

Corporación para Investigaciones

Biológicas - CIB

Centro Internacional de Entrenamiento

e Investigaciones Médicas - CIDEIM

Academia Colombiana de Ciencias Exactas,

Físicas y Naturales - ACECFYN

Centro Interactivo Maloka

**PRESIDENTE**

Eduardo Posada Flórez

**DIRECTORA EJECUTIVA**

Carmen Helena Carvajal López

**EDITOR**

Germán Cubillos Alonso

**COORDINACIÓN EDITORIAL**

Asociación Colombiana para

el Avance de la Ciencia, ACAC

**COMITÉ EDITORIAL**

Eduardo Posada Flórez

Carmen Helena Carvajal

Elizabeth Castañeda

Marcelo Riveros

Jordi Carreras

**CONSEJO EDITORIAL INTERNACIONAL**

José Antonio López Cerezo

Alejandro Franco García

**PRODUCCIÓN, DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**

Susana Carrié M.

**DISEÑADORA ASISTENTE**

Sandra P. Pineda

**CORRECCIÓN DE ESTILO**

María Teresa Ropaín García

**FOTOGRAFÍA**

Autores y Banco de imágenes

**IMPRESIÓN**

Nomos Impresores

**COMERCIALIZACIÓN**

Departamento de Mercadeo de ACAC

**DISTRIBUCIÓN**

Distribuidoras Unidas



**CARÁTULA**

*Marie Curie*

Imagen: Susana Carrié

*Innovación y Ciencia* es la revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC.

**DERECHOS RESERVADOS**

Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización expresa del Comité Editorial. La publicación no es responsable legal del contenido de la publicidad de cada edición.

Los conceptos expresados en los artículos no reflejan necesariamente la opinión de los editores.

Resolución Ministerio de Gobierno No. 5447 del 9 de octubre de 1992

ISSN 0121-5140

Tarifa postal reducida: 2011-194 4-72. La Red Postal de Colombia, vence 31 de diciembre de 2011

ACAC Calle 44 N° 45-67, Unidad Camilo Torres Bloque C, Módulo 3

Teléfonos: 3150734 – 3155900

Fax: 2216950

Email: [innovacionyciencia@acac.org.co](mailto:innovacionyciencia@acac.org.co)

Bogotá, D.C. – Colombia

Precio de venta al público edición especial: \$15.000

Suscripción (4 números al año): \$50.000 para Bogotá,

\$55.000 fuera de Bogotá.

## Entrevista 8

### Las primeras

Entrevista a Margoth Suárez Mendieta, la primera doctora en Química de la Universidad Nacional de Colombia

ACAC



## Inicios de la investigación química en el Departamento 14

de Química de la Universidad Nacional de Colombia. Respuesta a la entrevista de Flor Marina Poveda Gómez, primera magister y segunda doctora en Química de la Universidad Nacional de Colombia

ACAC



## Ensayo 24

### Química, la ciencia central

CARLOS ALEXANDER TRUJILLO



## Productos naturales 34

Productos naturales marinos: fuente de inspiración para la ciencia, la tecnología y la innovación

CARMENZA DUQUE BELTRÁN Y HEBELIN CORREA VELANDIA



## Productos "sin químicos" y algunas hazañas 42 e historias de los químicos

ELENA E. STASHENKO



# Sumario

Innovación y Ciencia Volumen XVIII Nº 3 2011

## Química y genética ◀ ..... ▶ 60

Química y Genética: inseparables en la función del ADN

HELENA GROOT DE RESTREPO, DIANA M. NARVÁEZ,  
MARÍA DEL PILAR MIRANDA



## Historia de la Química ◀ ..... ▶ 68

Viejos y nuevos compromisos de la Química:  
Fragmentos de una historia

GERMÁN CUBILLOS ALONSO



## Premios Nobel en Química ◀ ..... ▶ 84

ÓSCAR OSORNO REYES



## Química y rayos ◀ ..... ▶ 92

Las bondades de los rayos y la química

HORACIO TORRES-SÁNCHEZ



## Narración ◀ ..... ▶ 102

Fútbol y tabla periódica

DAGOBERTO CÁCERES ROJAS



## Fotografía ◀ ..... ▶ 106

Ver para conocer, conocer para preservar

CARMEN HELENA CARVAJAL



## Reseña ◀ ..... ▶ 110

*El big bang: aproximación al universo y a la sociedad,  
diálogo sobre el origen del mundo.*

GERMÁN PUERTA RESTREPO

**A** raíz de la reciente sanción del Acto Legislativo No. 05 del 18 de julio de 2011, “por el cual se constituye el Sistema General de Regalías, se modifican los artículos 360 y 361 de la Constitución Política y se dictan otras disposiciones sobre el Régimen de Regalías y Compensaciones”, que asigna el 10% de las regalías mineras y petroleras a proyectos de ciencia, tecnología e innovación, se ha vuelto a abrir en el país un viejo debate centrado en la pregunta de si Colombia debe hacer investigación básica o dedicarse únicamente a la investigación aplicada, que algunos llaman ciencia relevante y otros ciencia pertinente. Lo que esa discusión muestra es una mirada muy superficial del tema, que ignora la historia de la ciencia y la manera como ésta ha incidido en el desarrollo de la sociedad contemporánea.

Es evidente que si el gobierno inglés hubiera aplicado el criterio de relevancia a los experimentos de Michael Faraday en el siglo XIX, de los cuales ni él mismo tenía claro para qué podrían servir, hoy no tendríamos de algo tan esencial como la electricidad. O, más cerca de nosotros, si de eso hubieran dependido los trabajos de Watson y Crick sobre la estructura del ADN, no estaríamos viviendo hoy la asombrosa revolución de la agricultura y la medicina.

Es fácil responder que ese tipo de ciencia se debe hacer en los países ricos, pero que un país “pobre”, como nosotros, no debe dedicar recursos sino a temas de impacto, que resuelvan problemas nacionales. Al analizar el tema con mayor detenimiento, resulta evidente que en el país se está haciendo buena ciencia pertinente y que, para hacerla aún mejor, se requiere una inversión mucho mayor que la actual. Es indudable que para atacar con éxito las enfermedades tropicales, o para hacer mejoramiento de productos agrícolas, se necesita un conocimiento profundo de la genética que no se puede lograr sino teniendo en el país investigadores de alto nivel y laboratorios dotados de los mejores equipos de secuenciación. Si queremos que un día el país posea un satélite de observación de la Tierra, es indispensable disponer de investigadores de muy alto nivel y muy actualizados, para que, cuando llegue el momento de adquirirlo, tengan la capacidad de negociación suficiente gracias a su conocimiento del tema; de esa manera se podrá evitar que se cometan errores muy difíciles de corregir posteriormente.

Al pensar en establecer políticas para la financiación de la ciencia y la tecnología en el país, se debe siempre dejar un espacio para el apoyo a proyectos de investigación básica de largo plazo. Son los que, a la larga, producen mayores frutos, como lo ilustran los anteriores ejemplos. El resto debería dedicarse al fomento de la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico, encaminados a la solución de problemas nacionales y a la modernización del sector productivo.

Garantizar una gran eficiencia en esos temas requiere con urgencia diseñar los procedimientos para el trámite y la ejecución de proyectos, con el fin de lograr que los recursos de que se va a disponer a partir del año entrante sean utilizados de la mejor manera. No cabe duda de que el país posee una base importante de investigadores, grupos y centros que debemos fortalecer e incrementar, y cuyo papel en estos procesos es vital. Lo importante ahora es asegurar ágiles mecanismos administrativos para lograr que el conocimiento que se genere en las universidades y centros de investigación impacte a la sociedad colombiana, no sólo en lo que se refiere a las ciencias naturales y la tecnología sino, tal vez aun más importante, en lo que tiene que ver con las ciencias sociales y el desarrollo sostenible.

**Eduardo Posada Flórez**

Presidente

**Carmen Helena Carvajal López**

Directora Ejecutiva



Publique en

# Innovación y Ciencia



## Especificaciones para la presentación de artículos a la revista

**I**nnovación y Ciencia es una revista de divulgación de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (ACAC), cuyo objetivo es dar a conocer las investigaciones científicas que se desarrollan en Colombia y los avances en ciencia y tecnología de nuestro país y de América Latina. Necesariamente, en un mundo globalizado, se busca también la divulgación de la ciencia que se desarrolla en otras regiones del mundo.

El contenido de la revista depende de la generosidad intelectual de los investigadores y académicos, quienes envían espontáneamente sus artículos. También, permanentemente la revista envía invitación a participar en sus páginas a universidades y centros de investigación. Los artículos, ensayos, reseñas, noticias y fotografías que se publican corresponden a temáticas de ciencias naturales, ciencias sociales y humanas, tecnología, política científica y tecnológica, historia de la ciencia, educación y epistemología. El tercer número de cada año, que circula en septiembre, es un número especial dedicado a un solo tema que se anuncia en el primero, que circula en abril.

### POLÍTICA EDITORIAL

Los escritos que llegan a la revista son revisados en primera instancia por el editor, quien, si lo considera necesario, le sugiere al autor cambios o complementos necesarios antes de enviarlos al Comité Editorial. Este es el encargado de realizar la evaluación de los escritos y, según el grado de especialización, lo envía a evaluadores expertos siguiendo las tradiciones internacionales de anonimato e independencia. Las sugerencias de este proceso de evaluación se le envían al escritor quien tendrá plena libertad de acogerlas o no. La versión final será revisada nuevamente y se tomará la decisión de publicar o no el escrito. Cuando la revista toma la decisión de publicar un escrito, éste se somete a una rigurosa corrección de

estilo de acuerdo con las normas del español, particularmente las de la Real Academia de la Lengua. Puesto que las comunidades científicas involucran cierta terminología especializada, muchas veces no reconocida aún en español, después de la corrección de estilo el escrito vuelve al autor para su aprobación general, correcciones puntuales y sugerencias.

Puesto que la revista pretende que cada número refleje el interés de la ACAC por acoger una diversidad intelectual y científica, los artículos no se publican por orden de aceptación sino atendiendo al equilibrio temático.

La comunicación de los autores con la revista se da a través del editor quien expresa la posición de la revista y la opinión del Comité Editorial.

### ESPECIFICACIONES

#### *Temas*

Ciencias naturales, ciencias sociales y humanas, tecnología, política científica y tecnológica, historia de la ciencia, educación, epistemología.

#### *Escritos*

Artículos y ensayos de alrededor de 10 páginas tamaño carta en letra Arial 12, a doble espacio (excluyendo ilustraciones y cuadros). Notas cortas, noticias científicas y reseñas de libros de alrededor de 4 páginas.

#### *Lenguaje*

- Claro, ágil y de fácil comprensión para el lector no especializado. Evitar la terminología técnica y sustituirla por su equivalente en el lenguaje cotidiano. Si no es posible, dar una definición sencilla entre paréntesis o entre comas. Por ejemplo: "...en general se registra taquipnea (respiración rápida), cianosis (coloración azulosa de mucosas y partes más claras de piel)...".

- Evitar, hasta donde sea posible, el uso de expresiones y demostraciones matemáticas, así como el uso innecesario de formulaciones químicas.
- Es importante que el título sea atractivo además de significativo.
- Cuando se incluyan siglas o símbolos, la primera mención debe decodificarse; ejemplo: "En medicina humana se ha acuñado la expresión ARDS (del inglés: Adult Respiratory Distress Syndrome)".
- Sólo deben usarse abreviaturas y expresiones matemáticas en casos estrictamente necesarios.
- Las ecuaciones y fórmulas deben generarse desde un archivo de Word.
- Todo cuadro, figura o ilustración debe estar traducido al español.

### Envío

Por correo electrónico o en CD, en formato Word. Si se usa otro formato, es necesario el envío también en formato Word.

### MATERIAL GRÁFICO

Es importante anexar el mayor número posible de ilustraciones, fotografías y diapositivas acompañadas de notas explicativas (pie de fotos) y sugerencias de ubicación dentro del texto. Este material puede incluir:

- Fotografías en versión digital de alta resolución (300 dpi) en formato tif, jpg o eps.
- Si no es posible el material digital, entonces fotografías originales en papel fotográfico o diapositiva de muy buena resolución.
- Los esquemas gráficos explicativos en formato digital deben estar generados en Corel, In Design, Illustrator u otro programa de lenguaje vectorial.
- Las tablas o recuadros sin demasiadas columnas. (Generados en Word o en los programas vectoriales arriba señalados).
- Los archivos de imagen que necesariamente ilustran el texto deben estar guardados en una carpeta aparte del archivo de texto en Word, aunque deben ir insertos también en este para facilitar su ubicación.
- El material fotográfico no debe ser tomado de libros, revistas o internet sin autorización expresa de los editores y debe indicarse la autoría y la fuente. Del material recibido se seleccionará el de mayor calidad para su publicación.

### Referencias

En el texto, las referencias se deben citar con el sistema autor-fecha (apellido del primer autor, inicial del nombre, la fecha de publicación, dos puntos y número de página. (La revista dispone de un documento sobre este tema que se le puede enviar a los autores que lo soliciten: *Citas, notas y bibliografía*). El listado de referencias se debe organizar en orden alfabético, con el siguiente formato:

Cita de artículo de revista científica:

Lee, M. R., Ho, D.D., Gurney, M. E. (1987), "Functional interaction and partial homology between human immunodeficiency virus and neuroleukin", *Science* 237: 1047 – 1051.

Cita de Libro:

Day, R.A. (1990), *Cómo escribir y publicar trabajos científicos*, Organización Panamericana de la Salud, Washington, DC.

### Resumen

Descripción breve (5 oraciones cortas) del tópico central del artículo, para su inclusión en el índice de la revista.

### IDENTIFICACIÓN DEL AUTOR

- Nombre
- Títulos
- Cargo Actual
- E-mail
- Dirección postal

Los artículos que hayan aparecido en otras publicaciones, los informes de investigación en curso y aquellos textos cuyos temas sean muy especializados y de interés exclusivamente local no serán considerados para publicación.

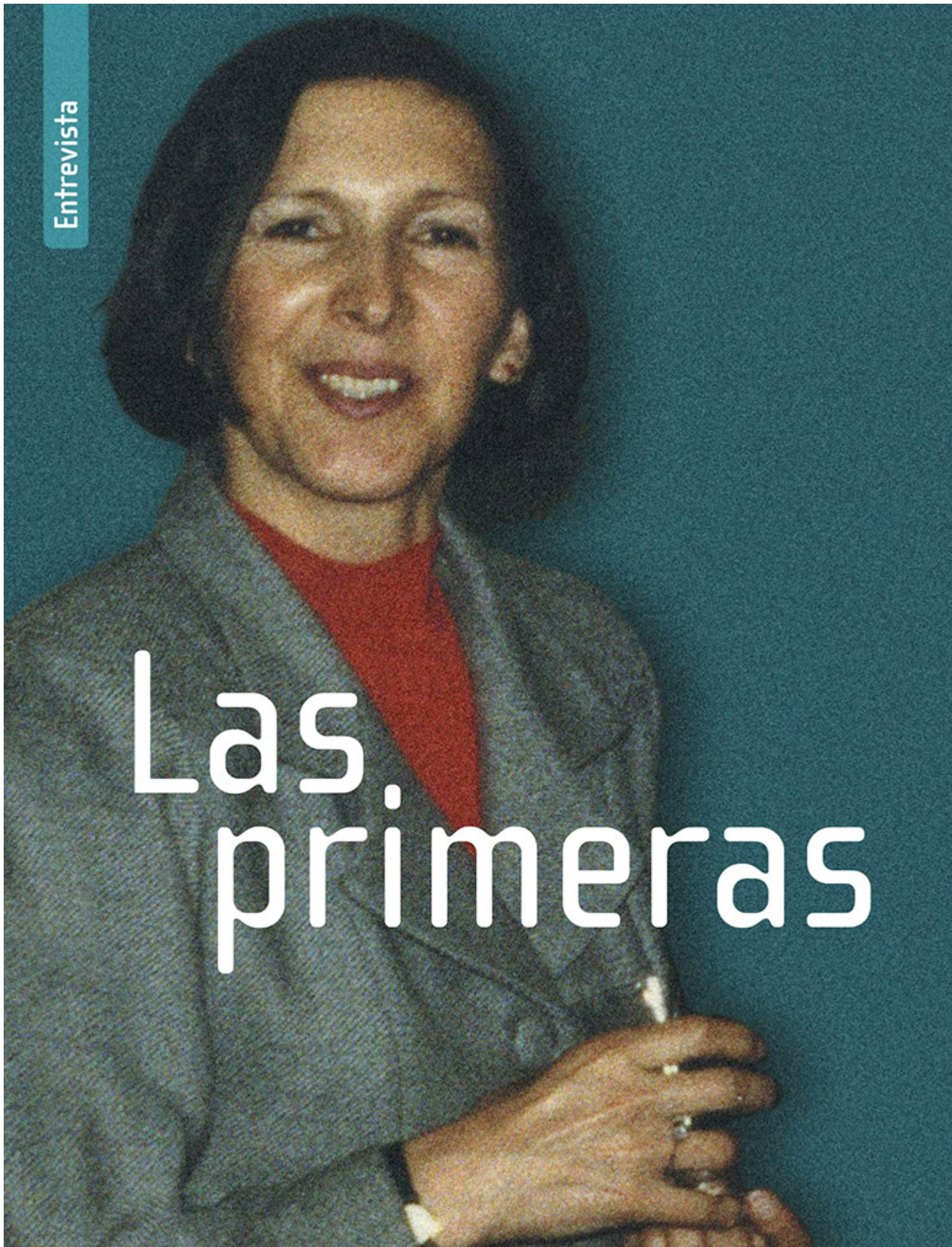
La revista *Innovación y Ciencia* está indexada en Latindex: Sistema de información en línea para revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. UNAM, México

Asociación Colombiana  
para el Avance de la Ciencia -ACAC-  
Calle 44 N° 45 - 67 Unidad Camilo Torres  
Bloque C • Módulo 3

Fax: 2216950 • 2219953 • Tels: 3155898 • 3150734  
innovacionyciencia@acac.org.co  
Bogotá, DC, Colombia

Entrevista

# Las. primeras



**I**nnovación y Ciencia entrevistó a Margoth Suárez Mendieta, la primera doctora en Química, y a Flor Marina Poveda Gómez, la primera magister en Química, formadas y graduadas en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia

La Unión Internacional de Química pura y aplicada, IUPAC, y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO, impulsaron desde el 2008 la celebración de un año internacional de la Química, que finalmente fue establecido como el 2011, y la Organización de las Naciones Unidas les encargó la organización de dicha celebración. El establecer la celebración en este año, permite también celebrar el centenario del otorgamiento del Premio Nobel de Química a María Sklodowska-Curie por su descubrimiento del radio y el polonio. Por este motivo, y porque después de Marie Curie solamente tres mujeres químicas en estos cien años lo han recibido, Joliot-Curie (1935), Dorothy Crowfoot Hodgkin (1964) y Ada E. Yonath (2009), uno de los objetivos de esta celebración es despertar en las mujeres la vocación por los estudios de química y destacar en todos los países la presencia y la trayectoria de las mujeres en esta ciencia.

Puesto que en Colombia el número de mujeres que se dedican a la investigación es equiparable al número de hombres, resaltar la labor de algunas de ellas sería injusto con la mayoría, por lo tanto hemos decidido destacar dos eventos históricos decisivos en el desarrollo de la Química en Colombia, que tuvieron como protagonistas a dos mujeres químicas: la graduación de la primera magister y la primera doctora formadas totalmente en nuestro país.

Son eventos históricos, en primer lugar porque en el proceso de consolidación de la comunidad científica química, es en las maestrías y en los doctorados ligados estrechamente con los grupos de investigación, donde se ha desarrollado la investigación química en nuestro país, y en segundo lugar porque en estos dos casos las mujeres tomaron la delantera.

*Innovación y Ciencia*, (I y C) realizó las siguientes entrevistas con Flor Marina Poveda Gómez, la primera magister graduada en la Universidad Nacional de Colombia en 1976, y Margoth Suárez Mendieta, la primera doctora de la misma Universidad, graduada en 1992.

## Entrevista a Margoth Suárez Mendieta, la primera doctora en Química de la Universidad Nacional de Colombia POR ACAC

■ **MARGOTH SUÁREZ MENDIETA.** Química de la Universidad Nacional de Colombia, Doctora en química de la misma universidad (1993), Jefe de la Unidad de Investigación del Departamento de Química, 1994-95. Directora de la Revista Colombiana de Química, 1994-95. Proyectos de investigación: “Estudio químico y evaluación de las propiedades aleloquímicas de especies nativas, como alternativa en el control de plagas”, investigadora principal. “Contribución al estudio químico de las lauráceas colombianas”, coinvestigadora. “Química de aromas”, coinvestigadora.

### **I y C** *Doctora Margoth, ¿Cuándo se decidió a estudiar Química y por qué?*

Mi decisión de estudiar Química nació cuando empecé su estudio durante el bachillerato, ya que tenía un excelente profesor, quien nos indujo a pensar que la Química era innovación, transformación, desarrollo y que estaba muy asociada a la industria; esto me motivó y decidí que eso era lo que quería. Desafortunadamente en sexto de bachillerato tuve una profesora que casi me hace desistir de mi propósito.

### **I y C** *Cuando ingresó a la Universidad, ¿encontró lo que estaba pensando que era la Química? ¿Cambió la imagen que tenía de ella?*

Inicialmente fue frustrante, estuve a punto de cambiar de carrera, no veía cómo encajaban las asignaturas básicas con la idea que tenía de lo que era la Química. Sin embargo, poco a poco entendí que la química era mucho más. Cuando empecé a ver las orgánicas y bioquímica, asocié ese conocimiento con las transformaciones que ocurren en los seres vivos, me interesé y nuevamente tomé el camino.

### **I y C** *Cuando se graduó, ¿ya tenía decidido que quería dedicarse a la docencia y a la investigación, o pensó en salir a trabajar en una industria, por ejemplo?*

En octavo semestre dictaba clases de química a estudiantes que estaban finalizando bachillerato; fue entonces cuando descubrí que me atraía la docencia. Luego hice control de calidad en una industria de alimentos y, aunque me gustaba, pronto perdí el interés porque lo encontré rutinario. Posteriormente tuve conocimiento de las investigaciones que se realizaban en el Instituto de Investigaciones Tecnológicas, IIT, en el Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, y en Bavaria, y me comencé a interesar por la investigación. Puesto que ya tenía que realizar el trabajo de grado, busqué la posibilidad de realizarlo en Bavaria y efectivamente fue allí donde finalmente lo pude realizar. El trabajo fue: "Utilización de la sémola de sorgo en cervecera". Lo importante para mí no fue solamente llenar el requisito para poderme graduar, sino que vi la necesidad que la industria tiene de involucrar la investigación, que los químicos podemos hacer aportes muy grandes a la industria y eso me cautivó. Así supe que me dedicaría a la docencia y a la investigación. Me vinculé a la Universidad de Córdoba como docente y allí permanecí por cuatro años. Ante la necesidad de actualizarme, concursé en la Universidad Nacional para un cargo docente, fui aceptada y después ingresé a la maestría, con la dirección y el apoyo del profesor Jorge Bonilla, que siempre me orientó.

### **I y C** *¿Qué dificultades encontró por ser mujer, en su experiencia de vida, por ser estudiante universitaria y después profesora e investigadora universitaria?*

Ninguna, afortunadamente. Tanto en docencia como en investigación, siempre encontré puertas abiertas y apoyo, por eso en esta etapa de mi vida siento agradecimiento por el Departamento de Química y por las personas con quienes compartí mi experiencia académica. Pienso que ni en docencia ni en investigación hay cabida para ningún tipo de discriminación.

## I y C *¿Cuál fue su línea de investigación y cómo se decidió por ella?*

Inicialmente, "Productos naturales", ya que el profesor Bonilla estaba a cargo del proyecto "Contribución al estudio químico de las lauráceas colombianas", y él fue mi director de tesis de maestría. Me decidí por el estudio de las plantas porque me parecía interesante conocer su química y cómo usar sus constituyentes; sin embargo, desde el principio tenía muy claro que, más que resolver un problema o encontrar una aplicación, podría contribuir al desarrollo de ese tema específico, mejoraría mi proceso de formación docente e investigativa y ayudaría a consolidar el programa de maestría, que hasta ese momento estaba empezando.

## I y C *¿Cuál es la investigación que usted más valora de las que realizó durante su experiencia universitaria?*

La investigación que realicé para la tesis de doctorado, desarrollada dentro del proyecto "Química y Tecnología del Aroma de Frutas Tropicales", dirigido por la profesora Carmenza Duque, porque me permitió mejorar la productividad académica, el nivel de investigación y, además, se hicieron aportes a la Química como ciencia, ya que fue posible correlacionar la evolución de algunos constituyentes volátiles con la maduración de la fruta, proponer rutas biogénicas con sólidas evidencias y encontrar constituyentes glicosídicos precursores del aroma de la pulpa y corteza de lulo. Sin embargo, todos los trabajos de pregrado, maestría y doctorado que dirigí después de mi grado, tienen especial significado porque hubo que buscar financiación, instituciones con las cuales desarrollar tesis por cooperación, como por ejemplo Universidad Nacional-Federación Nacional de Cafeteros y otras universidades; esto en ese momento fue un reto.

[www.arcanalysis.com](http://www.arcanalysis.com)



**Respondemos a su confianza** enlazando la academia y la industria con productos innovadores. **Quiere saber cómo?**  
Contactenos@arcanalysis.com



PBX: (571) 4372001  
Telefax: (571) 5371648  
Calle 81 No. 74 A -05  
Bogotá - Colombia L.A.

**I y C** *¿Cuáles cree usted son las principales limitaciones que se tienen en Colombia para desarrollar investigación de alto nivel?*

Creo que la principal limitación es el escaso presupuesto que se destina para este fin. Es muy difícil lograr condiciones que garanticen altos niveles de investigación, desarrollo científico y por supuesto mayor cobertura, si no se cuenta con la infraestructura adecuada. No sé actualmente, pero cuando se inició el programa de maestría era difícil acceder a literatura actualizada y equipos modernos, por lo



• A la derecha Margoth Suárez Mendieta en reunión social de profesores en el Departamento de Química de la Universidad Nacional.

que debíamos acudir a otras universidades. Así, el trabajo se hacía lento y francamente se perdía el entusiasmo y la continuidad; realmente era frustrante. Si las cosas continuaban como en ese entonces, creo que difícilmente la investigación básica, por lo menos en productos naturales, puede llegar a ser un factor clave en la transformación económica del país. Se harán grandes esfuerzos para lograr escasos resultados y poca innovación.

**I y C** *¿Cuál es su recomendación para las nuevas generaciones de químicos respecto a la realización de estudios de posgrado?*

Actualmente es una necesidad hacer posgrados si se quiere ir al ritmo del desarrollo científico y tecnológico; por eso aconsejo que inicien los posgrados una vez terminen el pregrado, para que logren altos estándares de formación siendo jóvenes y alcancen las metas propuestas. Adicionalmente, integrar a los equipos de investigación profesionales de áreas que aporten conocimientos para que las investigaciones conduzcan al desarrollo económico y social de nuestro país.

**I y C** *¿Para usted tiene algún significado especial el haber sido la primer doctora graduada en un programa de doctorado hecho en Colombia?*

Realmente no fue significativo el haberme graduado como la primera doctora, pudo ser otro estudiante. Creo que el mérito fue de los profesores que trabajaron arduamente para abrir esos programas, que buscaron financiación y nos convencieron que en nuestra Universidad con mínima infraestructura, pero mucha tenacidad, se podía hacer maestría y posteriormente doctorado. La tesis fue posible desarrollarla en el tiempo propuesto porque se complementó el trabajo realizado en el Departamento de Química de la Universidad Nacional con avances logrados en la Universidad de Wurzburg (Alemania). De no ser así, no hubiera sido la primera.

**I y C** *Si pudiera regresar el tiempo y volver al momento de ingresar a la universidad, ¿seleccionaría la misma carrera?*

Seleccionaría nuevamente Química, realizaría los mismos posgrados, pero canalizaría mi investigación en una sola dirección, como una alternativa organizada para que resultara más eficaz.


Generamos conocimiento científico para la consolidación de modelos de gestión de riesgos de incendios forestales o de cobertura vegetal en Colombia



Entrevista

## Inicios de la investigación química en el Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia





Respuesta a la entrevista de  
Flor Marina Poveda Gómez, primera magister  
y segunda doctora en Química de la  
Universidad Nacional de Colombia  
**POR ACAC**

■ **FLOR MARINA POVEDA** Química de la Universidad Nacional de Colombia (1969), Magister Scientie - Química, (1976) y Doctora en Ciencias - Química de la misma Universidad (1995). Proyectos de investigación: “Estudio teórico de reacciones de fragmentos de hidrocarburos sobre un catalizador de níquel usando métodos semiempíricos”, investigadora principal (1998-2000). “Aplicación de herramientas computacionales para el diseño y estudio de la reactividad en catalizadores”, Proyecto de la red iberoamericana de catálisis computacional, coinvestigadora (1995-1998). Programa de investigación en Química Teórica y Quimiometría, coinvestigadora (1990-1994). “Aplicación de la teoría del campo ligante a los tiocianatos de los iones de los elementos de la primera serie de transición”, investigadora principal (1978-1983). Miembro del Comité Asesor de Posgrado en Química (1986-1989). Organizadora del II Taller Iberoamericano de Catálisis Computacional (1995). Coordinadora en Colombia de la Red Iberoamericana de Catálisis Computacional del CYTED (1995-2000) Miembro del Comité del V Premio Nacional de Química Asquimco (2005). Presidente de la Asociación Química Colombiana (1984-1985). Presidente del Consejo Profesional de Química de Colombia (1986-1989) y (2002-2005).

La Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, dentro de sus actividades divulgativas en la revista Innovación y Ciencia para la conmemoración del Año Internacional de la Química, me solicitó una entrevista como la primera magister graduada en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia. Si bien la entrevista me permitía evaluar muchos episodios de mi carrera como estudiante, profesora e investigadora en esta prestante institución universitaria, decidí proponerles, a partir de sus preguntas, este escrito donde he querido reflexionar sobre una de las actividades fundamentales para un país que quiere conquistar mayores niveles de independencia económica, política y cultural en el mundo contemporáneo, la investigación.

## Los primeros pasos

Como partícipe directa en los acontecimientos que dieron origen al establecimiento de la investigación científica en el Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia, me parece interesante hacer una pequeña crónica que preserve la memoria de los eventos para no repetir caminos y entender la actualidad. No es mi intención hacer un recuento exhaustivo de los acontecimientos, sino de lo vivido y lo percibido por mí como química, magister y doctora graduada en ese Departamento, profesora en el área de Físicoquímica y Química Teórica durante 31 años y participante activa de la comunidad química desde la Asociación Química Colombiana y el Consejo Profesional de Química.

En 1964 ingresamos 14 mujeres en un grupo de 120 nuevos alumnos a la Facultad de Química e Ingeniería Química, a estudiar una de las dos carreras, las cuales tenían programa común en los primeros dos años y a partir del tercero se separaban. Eso ocurrió hasta 1965, cuando comenzó el proceso de integración, bajo la rectoría de José Félix Patiño, por el cual se reunieron las diferentes Facultades, Departamentos, Secciones, Escuelas, etc. que conformaban la Universidad, en ocho Facultades. Una de ellas fue la Facultad de Ciencias, bajo la cual quedó la carrera de Química; la de Ingeniería Química pasó a ser regentada por la Facultad de Ingeniería.

Uno de los requisitos para optar al título de Químico era hacer un trabajo de tesis, el cual se iniciaba en el quinto año de la carrera (en ese tiempo los períodos académicos eran anuales). En esta época de mediados de los años sesenta, ya había un grupo de profesores entre quienes estaban Luis Montoya Valenzuela, químico, Bernardo Fajardo Pinzón, químico de la primera promoción, Sven Zethelius, químico, Doctor en Química con especializaciones en Química Agrícola y Química Atómica y Eduardo Calderón, químico farmacéutico, doctor en Farmacodinámica; los dos primeros dirigían trabajos en las áreas de química analítica; el Doctor Zethelius en química agrícola y radioquímica; y el Doctor Calderón en productos naturales; a ellos recurrían los estudiantes bien para solicitarles un tema o bien para proponerles alguno. No había líneas de investigación sino preferencias de los profesores por algunas áreas e interés de los estudiantes en algunos temas de la Química, de tal manera que, en general, la investigación se nutría de las tesis; y en la mayoría de los casos esos eran trabajos aislados cuyos escritos quedaban archivados en la biblioteca del Departamento.

De la misma manera, el jurado calificador de esos trabajos estaba conformado por cinco profesores, entre quienes figuraban al menos tres de los anteriormente mencionados. En mi caso, el trabajo de tesis "Aplicación de la Teoría del Campo Ligando a los tiocianatos de  $\text{Co}^{++}$ ,  $\text{Ni}^{++}$  y  $\text{Fe}^{+++}$ " surgió del proyecto de investigación personal realizado en el Laboratorio de Físicoquímica III en el cual trabajé con el tiocianato férrico utilizando un método fotométrico para determinar el número de iones tiocianato enlazados al ión férrico. La idea en la tesis era responder a qué se debía el color de este tipo de compuestos de los elementos de transición; mi director fue el Doctor Marcel Ewert.

La formación obtenida en ese proceso y la experiencia ganada durante el año y medio durante el cual fui monitorea de Análisis Cualitativo y de Química General dieron lugar, por una parte, a mi convencimiento de que eran la investigación y la docencia las actividades a las cuales quería dedicarme y, por otra, a tener el honor de que primero el Doctor Lorenzo Panizzo, Jefe de la Sección de Química Instrumental, me ofreciera puesto en su área y luego el Doctor Marcel Ewert, Jefe de de Físicoquímica, y quien había sido mi director de tesis, me ofreciera trabajo en esa Sección a donde ingresé tan pronto me gradué; fui la primera mujer admitida allí —según me enteré hace relativamente pocos años—, después de una evaluación y aceptación unánime por parte de los miembros de la misma.

## Algunos hechos que contribuyeron a la fundación de la investigación

Además de la creación de la Facultad de Ciencias en la Universidad Nacional, en la década de los 60, se dieron otros hechos que contribuyeron a la germinación de la idea de hacer de la investigación una actividad organizada, más amplia en su campo de acción y, para unos cuantos químicos, con objetivos más ligados al desarrollo de la ciencia química; por eso en la siguiente década comienza a hablarse de Química Pura y Química Aplicada.

En 1962 se había vinculado como profesor el ya mencionado Doctor en Ciencias Químicas, de la Universidad Libre de Bruselas, Marcel Ewert y desde la jefatura de la Sección de Físicoquímica, asumida al año siguiente, estimuló el rigor en la realización de las medidas experimentales e impulsó el trabajo sobre estructura molecular utilizando las técnicas espectroscópicas, lo cual exige el conocimiento de las bases teóricas de la espectroscopía, es decir, de la teoría cuántica. Desde esa concepción, el Doctor Ewert dictaba en el quinto año de la carrera el curso denominado Física Moderna; y, a partir de 1969, inició cursos de posgrado en Espectroscopía, Química Cuántica y Teoría de Grupos.

También en la misma época llegaron a la Universidad dineros provenientes de préstamos del Banco Interamericano de Desarrollo con los cuales se adquirieron nuevos libros y revistas para la biblioteca del Departamento, una buena cantidad de material especializado de laboratorio, de instrumentos de medida y equipos modernos para trabajar con técnicas tales como las de absorción atómica, potenciometría y espectrometría ultravioleta, visible e infrarroja. Los espectrofotómetros fueron de gran utilidad para la realización de los trabajos de tesis de grado y de posgrado que comenzó a dirigir en esa época el Doctor Ewert y en algunos proyectos de investigación personal adelantados dentro del curso Laboratorio de Físicoquímica III de la carrera de Química cuyo objetivo era introducir a los estudiantes en la práctica de la investigación científica. De igual manera, quienes trabajaban en productos naturales encontraron en esas técnicas herramientas valiosas para adentrarse en el estudio de las estructuras de los nuevos compuestos hallados en los sistemas estudiados. En general, todo el nuevo equipamiento propició el desarrollo tanto en docencia como en investigación en las diferentes áreas de la Química.

Simultáneamente estaban regresando al Departamento varios profesores después de haber realizado estudios de posgrado en el exterior, con la idea de establecer sus laboratorios para continuar sus investigaciones. Esto estimuló a otros profesores a buscar becas para ir a hacer posgrados a diferentes países, tanto en América como en Europa, quienes estarían volviendo al Departamento en la década de los 70. Los campos de investigación escogidos fueron, entre otros, Química de Alimentos, Productos Naturales, Química del Carbón, Termodinámica de soluciones.

También se registra la venida al país de profesores extranjeros a dictar cursos, como fue el caso del Doctor John P. Fackler, profesor de Western Case University, quien durante los meses de enero y febrero de 1969 dictó un seminario sobre Química Inorgánica; la primera parte en el Departamento de Química de la Universidad Nacional en Bogotá y la segunda en el de la Universidad Industrial de Santander en Bucaramanga. El tema principal de tal seminario fue la teoría de grupos aplicada a la química; asistimos el Dr. Ewert, casi todos los alumnos, varios miembros de la sección de Química Inorgánica de la Universidad Nacional y profesores del área de las universidades Industrial de Santander y del Valle. Con algunos



La actividad científica aislada es poco productiva y de bajo impacto; la resolución de un problema, en general, requiere del conocimiento de diferentes aspectos y la mirada desde diferentes puntos de vista para obtener mejores resultados y más completos...

de ellos coincidiríamos después en reuniones científicas presentando trabajos sobre compuestos de coordinación. Para mí fue particularmente importante haber participado en ese seminario, puesto que encontré en él la herramienta teórica para interpretar los espectros UV-Vis de los compuestos que tenía y llegar a conclusiones sobre su estructura molecular para presentar y sustentar mi tesis de grado en julio del mismo año, mientras mi director asistía, en calidad de alumno, al “Instituto de verano en Química Cuántica, Física del Estado Sólido y Biología Cuántica”, organizado por el Profesor Per Olov Löwdin en Uppsala. En los primeros años de la década siguiente, algunos profesores de la Sección de Físicoquímica asistimos al mismo Instituto, gracias a la conexión que había establecido el Doctor Ewert, con la consiguiente elevación del nivel de formación en cuántica reflejada tanto en la investigación como en la docencia.

En los años setenta se dan pasos hacia la consolidación de la investigación como actividad importante y reconocida, tanto en el Departamento como fuera de él. Entre ellos, la selección del Departamento, en 1972, como Centro de Excelencia en el área de productos naturales por la OEA, dentro del Proyecto Multinacional de Química, con lo cual se reconoció la experiencia ganada en este terreno por el Doctor Calderón, sus alumnos y los profesores posgraduados en el exterior y que aseguró la financiación para esta área. Cuatro años más tarde, el Departamento organizaría el Seminario Latinoamericano de la “Química de los productos naturales”, en Bogotá, con asistencia de investigadores nacionales, latinoamericanos, europeos y norteamericanos.

Por su parte, los profesores que regresaban de hacer los estudios de posgrado comenzaron la formulación de diferentes proyectos de investigación como fue el caso de Virginia Montes de Gómez y Gerardo Pérez, quienes iniciaron la investigación en bioquímica; de Crisólogo Camargo en frutas tropicales y de Libardo Torres en síntesis de compuestos organometálicos. Arnulfo Poveda, en 1977, presentó un proyecto sobre síntesis de compuestos de coordinación unidimensionales.

Como había mencionado anteriormente, desde 1969 el Doctor Ewert había comenzado a dictar cursos de posgrado y se estaba llevando a cabo investigación en algunos temas de la Físicoquímica como la interacción soluto-solvente, espectroscopía de emisión y estructura molecular; esto desembocó en la creación, en 1973, del programa de Magister en Química en la Universidad Nacional, con lo cual se institucionaliza la labor docente e investigativa que se venía desarrollando con ese objetivo y la posibilidad de ofrecer cursos de posgrado y temas de tesis dentro de las otras áreas de investigación en el Departamento.

La actividad científica aislada es poco productiva y de bajo impacto; la resolución de un problema, en general, requiere del conocimiento de diferentes aspectos y la mirada desde diferentes puntos de vista para obtener mejores resultados y más completos; un ejemplo fue la colaboración entre las Secciones de Estado Sólido y de Físicoquímica de los Departamentos de Física y de Química respectivamente, mediante la realización conjunta de seminarios y talleres sobre las propiedades magnéticas de las moléculas y el uso de la resonancia magnética electrónica (RME) para la elucidación de la estructura de las mismas; igualmente permitió el uso del equipo de RME para realizar parte de mi trabajo de tesis de maestría y la participación en reuniones científicas sobre esos temas. Más adelante también entrarían en colaboración con el grupo de trabajo en elucidación de estructuras de sólidos mediante el uso de Rayos X.

Como consecuencia del desarrollo de la investigación científica en la Universidad, en 1977 se crea el CINDEC (Comité de Investigaciones y Desarrollo Científico) de la Universidad Nacional con las funciones de coordinar, financiar, fomentar y asesorar a los Consejos Académico y Superior en las políticas de investigación; se contó entonces con un ente universitario que con un presupuesto muy limitado podía ayudar a financiar algunas investigaciones. Fue un paso importante, puesto que en los inicios para la realización de las tesis de grado y posgrado utilizaban los recursos dispuestos para la docencia tales como reactivos, material de vidrio, instrumentos de medida, etc. No había un presupuesto específico

de ellos coincidiríamos después en reuniones científicas presentando trabajos sobre compuestos de coordinación. Para mí fue particularmente importante haber participado en ese seminario, puesto que encontré en él la herramienta teórica para interpretar los espectros UV-Vis de los compuestos que tenía y llegar a conclusiones sobre su estructura molecular para presentar y sustentar mi tesis de grado en julio del mismo año, mientras mi director asistía, en calidad de alumno, al “Instituto de verano en Química Cuántica, Física del Estado Sólido y Biología Cuántica”, organizado por el Profesor Per Olov Löwdin en Uppsala. En los primeros años de la década siguiente, algunos profesores de la Sección de Físicoquímica asistimos al mismo Instituto, gracias a la conexión que había establecido el Doctor Ewert, con la consiguiente elevación del nivel de formación en cuántica reflejada tanto en la investigación como en la docencia.

para investigación. Cuando comienzan a plantearse proyectos por parte de los profesores que habían estado haciendo posgrado en el extranjero, algunos recurren a entidades internacionales tales como la OEA en búsqueda de financiación; y a partir de los años setenta se inicia la presentación de solicitudes a Colciencias, entidad que había sido creada en 1968.

## El programa de Maestría en Química

En este punto vale la pena analizar un poco el desarrollo del programa de maestría como hito que fue en la institucionalización de la investigación en Química. En 1981 escribí una comunicación interna sobre la situación del posgrado que deja ver el camino difícil que se había recorrido hasta entonces. A continuación presento algunas ideas basadas en los datos allí recogidos:

Hasta 1980 se habían vinculado en calidad de estudiantes 34 personas; de ellas solamente 2 habíamos obtenido el título de *Magister Scientiae*, y continuaban matriculados 18, entre quienes se contaban 14 docentes del Departamento. Estaban 2 próximos a graduarse y se esperaba que, al finalizar el año 81, al menos 2 más hubiesen terminado su trabajo de tesis. Los primeros 4 graduados éramos profesores de la Facultad de Ciencias, nuestras tesis fueron trabajos en áreas de Físicoquímica y, mientras fuimos alumnos de la maestría, continuamos con las labores docentes en la Facultad.

De los alumnos retirados, 7 docentes fueron excluidos del programa por alguna de las siguientes causas: no graduarse dentro de los plazos fijados por el Consejo de la Facultad de Ciencias, o no haber podido realizar el trabajo de tesis por carencia de recursos. Otros 5, también profesores del Departamento, fueron al exterior a realizar sus estudios y 2 ya habían regresado con Doctorado. Este balance muestra, por una parte, que se puso a andar el programa sin asignarle los recursos financieros necesarios para sustentar la investigación y, por otra, la enorme desigualdad de condiciones entre quienes nos quedamos en el país y quienes salieron de él para obtener los títulos de posgrado; los primeros estábamos creando y experimentando en medio de la precariedad de recursos, los segundos llegaban a insertarse como estudiantes de tiempo completo en un medio bien organizado y con tradición.

Siguiendo con el recuento, el número de aspirantes, en su mayoría profesores del Departamento de Química, fue aumentando poco a poco desde la iniciación del programa hasta 1976, cuando comienza a disminuir considerablemente hasta llegar al punto en que la mayoría de las solicitudes provenían de profesionales diferentes a químicos: licenciados en química, químicos farmacéuticos e ingenieros químicos. Era la reacción natural ante la situación expuesta en el párrafo anterior.

Entonces, en 1981 se establecen estímulos para el ingreso al programa de profesionales no vinculados a la Universidad: la apertura de plazas de becarios para posgrado, obtenidas mediante concurso, y la aceptación como tesis de una investigación desarrollada en el lugar de trabajo. Así ingresaron 7 nuevos alumnos; 3 seleccionados como becarios, quienes harían sus trabajos de tesis en Físicoquímica y 4 funcionarios del Instituto Nacional de Salud, interesados en Bioquímica, cuyas tesis se realizarían en ese Instituto. De esa manera se solucionaba parcialmente la falta de recursos y comenzaba la colaboración con centros nacionales de investigación externos a la Universidad, política que dio muy buenos resultados.

El éxito de esas nuevas medidas se puede ver en los datos presentados por Poveda y colaboradores (1989). En ese año el programa de Magister contaba con un total de 35 graduados, de los cuales 14 habían hecho su investigación en el área de Bioquímica. Ese dato deja ver también que, hacia la mitad de la segunda década de funcionamiento del posgrado, el programa se había consolidado, había contribuido a engrosar las filas de investigadores en Colombia y, por ende, que la investigación científica era ya una actividad organizada y fortalecida suficientemente como para enfrentar el siguiente reto: acelerar la marcha del Doctorado creado en 1986 en la Universidad Nacional de Colombia.

## Una reforma importante

En los años ochenta se inicia un movimiento nacional mediante encuentros de profesores de las diferentes áreas de la química para dar a conocer tanto sus programas docentes como investigativos,

analizar los currículos de las carreras y las posibilidades de colaboración entre grupos. Este proceso coincidió con el trabajo de reforma del pñsum de la carrera de Química de la Universidad Nacional en el que se trataba no sólo de racionalizar los contenidos de los cursos sino de mejorar las metodologías de trabajo dentro de los mismos con el fin de obtener la mejor formación del químico.

Ese trabajo, de alguna manera estaba relacionado con el proyecto de Historia y Epistemología de la Química que habíamos iniciado en 1982 con los profesores Germán Cubillos y José Luis Villaveces, uno de cuyos objetivos era estudiar el surgimiento y evolución de los conceptos básicos de la Química, lo que redundaría en mejores metodologías para el trabajo pedagógico e investigativo. También se relacionaba con la investigación que como grupo estábamos realizando sobre el desarrollo de la comunidad química en Colombia, dentro del gran proyecto de Colciencias sobre Historia Social de la Ciencia en Colombia.

La comunidad de intereses alrededor de los conceptos de átomo, molécula, estructura molecular y reactividad química, tanto desde el punto de vista de su evolución durante el desarrollo de la ciencia química como en su tratamiento actual, nos llevó a conformar el que se denominó *Grupo de Química Teórica* hacia mediados de la década del 80. Este grupo fue muy activo en el proceso de construcción de las asignaturas del plan de estudios para la carrera de Química de 1990, especialmente aquellas de los primeros semestres donde se iban a desarrollar los conceptos básicos de la química y de la fisicoquímica y en los de profundización en los temas de química teórica. Igualmente, puso en marcha varios proyectos como “Cálculos teóricos y métodos numéricos en Química”, “Estudio teórico de biomoléculas”, “Modelación teórica de la formación de la mesofase carbonácea a partir de hidrocarburos aromáticos simples”, “Estudio teórico de reacciones de fragmentación de hidrocarburos sobre superficies metálicas utilizando métodos semi-empíricos”, dentro de los cuales se realizaron tesis de grado y de posgrado tanto en maestría como en doctorado.

Ese plan de 1990 para la carrera fue el resultado de un estudio serio de aproximadamente diez años en el que participó activamente más de la mitad del profesorado del Departamento y estuvieron involucrados, en algunas de las etapas, la Asociación Química Colombiana y algunos exalumnos. Fue posible gracias al desarrollo que se había alcanzado durante más de veinte años en investigación en los diferentes campos de la Química que llevó a una concepción de la carrera organizada alrededor de un eje integrador: “la Química”, y cuyas actividades pedagógicas deberían estar regidas por los principios de organicidad y continuidad, desembocando en la vinculación del estudiante, en la etapa de profundización, a algún proyecto de investigación de acuerdo con sus intereses, para completar su formación. Fue además una demostración de que la investigación y la docencia universitaria son actividades que deben estar estrechamente ligadas para lograr una buena formación del futuro químico.

## El programa de Doctorado en Química

Uno de los efectos del establecimiento del programa de Magister, como ya se mencionó, fue formación y fortalecimiento de grupos de investigación, de tal manera que a mediados de los 80 existían en el Departamento líneas de investigación en funcionamiento en productos naturales, carbones, química agrícola, química de alimentos, frutas tropicales, bioquímica, fisicoquímica, síntesis orgánica e inorgánica y química teórica. Basados en esa situación y con el convencimiento de que sólo en los programas de doctorado se puede realmente formar investigadores, en 1986 los doctores Luis Blanco, entonces Vicerrector Académico, José Luis Villaveces, Director de programas curriculares de Química, y Alfredo Oviedo propusieron el programa de doctorado, escogiendo las líneas de investigación en Termodinámica de Soluciones, Catálisis Heterogénea, Química Teórica y Síntesis Orgánica como las mejor preparadas para iniciarlo.

El Consejo Superior de la Universidad Nacional acogió la propuesta y mediante el Acuerdo N° 31 de 1986 creó el programa, quedando bajo potestad del Consejo Académico la aprobación del plan de estudios y de las líneas de investigación que podrían participar en el programa. Inicialmente aprobó las cuatro propuestas; pero en el lapso de cinco años se aceptaron además las de Química del Carbón, Bioquímica, Productos Naturales Vegetales, Productos Naturales Marinos, Síntesis Inorgánica y Química de Aromas. Quedaba así establecido el primer programa de Doctorado en Química en Colombia, al

igual que lo había sido el de Magister en su momento. Aunque en sus comienzos tuvieron tropiezos, con el tiempo se consolidaron y en octubre de 2005 contaba la Universidad Nacional con 54 doctores y 100 magister graduados (Cubillos, G. 2006).

En diferentes momentos se ha suscitado controversia sobre la conveniencia de realizar estudios de maestría y posteriormente los de doctorado; hay quienes sostienen que eso es una pérdida de tiempo porque es únicamente en este último donde se forman investigadores. En mi caso, la experiencia vivida durante la maestría me sirvió para no cometer los mismos errores; en primera instancia, cuando en 1992 decidí hacer el doctorado me prometí obtener el título en los 3 años reglamentarios; para ello debía plantear un problema y una metodología de trabajo posible de realizar en el tiempo previsto, con los recursos disponibles dedicando tiempo completo a las actividades propias del programa. Lo logré porque tenía la experiencia ganada durante la realización de la tesis de maestría y del proyecto emprendido desde entonces, y había hecho una pasantía en el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, IVIC, donde podría llevar a cabo la tesis de doctorado. Así fue como inicié el programa en julio de 1992 aprovechando mi año sabático y luego de 2 años de comisión de estudios, en julio de 1995, recibí el diploma de Doctora en Ciencias, de tal manera que fui la segunda persona que obtenía ese título en la Universidad Nacional de Colombia. “Contribución al estudio teórico de reacciones de fragmentos C<sub>1</sub> sobre una superficie de níquel” fue mi tesis realizada en el Laboratorio de Química Computacional del IVIC, con la dirección de los doctores José Luis Villaveces, en la Universidad Nacional, y Fernando Ruetter en el IVIC.


Sobre este último punto quiero llamar la atención; a medida que avanzaba en mi carrera como docente e investigadora fui apreciando cada vez más la importancia de la interacción activa con miembros de otras entidades nacionales e internacionales dedicadas a las mismas actividades, ya que permite conocer diferentes formas de enfrentar los problemas y generar soluciones, poner a prueba la manera de generar hipótesis de trabajo y los resultados de la investigación, y ampliar el campo de acción. Por ejemplo, mi incorporación al grupo del Doctor Ruetter en el IVIC abrió las puertas para que otros miembros de nuestro Grupo hicieran pasantías en ese Laboratorio e, incluso, que químicos egresados de nuestra Universidad fueran admitidos en ese Instituto para hacer la maestría. Además, de 1995 a 2000, formé parte de la Red Iberoamericana de Catálisis Computacional en calidad de coordinadora local en Colombia; participé como coinvestigadora en el proyecto “Aplicación de herramientas computacionales para el diseño y estudio de la reactividad en catalizadores”, en el cual trabajamos investigadores de Argentina, Brasil, España, México y Venezuela y, por último, colaboré como profesora en el Primero y Segundo Cursos-Taller Iberoamericanos de Catálisis Computacional dictados en La Plata, Argentina (1996) y Río de Janeiro, Brasil (1999) respectivamente.



...a medida que avanzaba en mi carrera como docente e investigadora fui apreciando cada vez más la importancia de la interacción activa con miembros de otras entidades nacionales e internacionales dedicadas a las mismas actividades, ya que permite conocer diferentes formas de enfrentar los problemas y generar soluciones, poner a prueba la manera de generar hipótesis de trabajo y los resultados de la investigación, y ampliar el campo de acción.

## Investigación, congresos y premio nacional de Química

Una etapa necesaria del trabajo de investigación es la presentación y puesta en discusión, ante pares, de los resultados obtenidos; con la realización del Primer Congreso Nacional de Química Pura y Aplicada, en Bogotá, en el Departamento de Química de la Universidad Nacional en noviembre de 1974, la Asociación Química Colombiana dio un paso más en la conformación de la comunidad química colombiana y proporcionó un espacio de afianzamiento de la actividad investigativa. En ese congreso se presentaron 31 trabajos correspondientes a resultados de tesis y avances de los proyectos de inves-



Uno de los primeros espacios internacionales a donde llegamos en grupo los químicos colombianos a exponer nuestros trabajos, quizás fue el XII Congreso Latinoamericano de Química, llevado a cabo en Quito, Ecuador en septiembre de 1976.

tigación realizados en los departamentos de Química de las universidades Nacional, Industrial de Santander, del Valle y de Antioquia y en institutos tales como el de Investigaciones Tecnológicas, de Asuntos Nucleares y Laboratorio Químico Nacional. En julio de 1977 se lleva a cabo el segundo congreso y desde entonces esa Asociación viene organizando periódicamente esas reuniones científicas.

Uno de los primeros espacios internacionales a donde llegamos en grupo los químicos colombianos a exponer nuestros trabajos, quizás fue el XII

Congreso Latinoamericano de Química, llevado a cabo en Quito, Ecuador en septiembre de 1976. Seis años más tarde, la Asociación Química Colombiana promovió y organizó la asistencia de un grupo grande de Químicos al XV Congreso Latinoamericano de Química en San Juan de Puerto Rico, con el objetivo de pedir la sede del XVII; en calidad de Vicepresidente de la Asociación, participé y presenté la ponencia que habíamos preparado para tal efecto en la XV Asamblea de Delegados de la Federación Latinoamericana de Asociaciones Químicas. El tema central de dicho congreso sería “La integración de los Químicos latinoamericanos”. El objetivo se cumplió y en octubre de 1986 se celebró en Bogotá el XVII Congreso Latinoamericano de Química - VI Congreso Colombiano de Química, dentro del cual se programaron seminarios y mesas redondas alrededor del tema central. Vale la pena aclarar que a partir del V Congreso en la Asociación Química Colombiana se decidió cambiar el nombre del mismo por dos razones: Congreso Nacional puede referirse a cualquier nación y, para ese entonces, calificar a la Química como pura o aplicada ya no tenía sentido.

Ese VI Congreso Colombiano marcó el inicio de la entrega del Premio Nacional de Química creado por la Asociación Química Colombiana; el primero fue llamado Asquimco xx años para celebrar los 20 años de dicha asociación con el fin de “hacer un reconocimiento a los esfuerzos personales que en investigación han hecho varios colegas, incentivar la investigación química, contribuir a difundir el gran potencial de esta profesión para el desarrollo del país y hacer que la investigación trascienda y aporte al conocimiento científico y al avance de la nación” (Asquimco, Junta Directiva Nacional, 1986: 3). Esta declaración muestra su interés por estimular el desarrollo de la ciencia Química y la capacidad de los químicos para incidir en la transformación del país.

Aunque la intención inicial era institucionalizar ese premio con periodicidad anual, resultó demasiado ambiciosa, puesto que la producción investigativa no era suficiente para tener un número adecuado de trabajos en concurso cada año; además, se presentaron diversas circunstancias de tipo económico y administrativo que llevaron a que desde 1986 hasta la fecha solo se convocaran siete concursos y el próximo 2 de diciembre, con ocasión del Año Internacional de la Química, la Asociación otorgará el Octavo Premio Nacional. Han sido premiados trabajos realizados en los departamentos de Química de la Universidad Nacional de Colombia —tanto de la Sede Bogotá como de la sede Medellín—, en el de la Universidad del Valle, en el de la Universidad de Cartagena y en algunos institutos tales como el Ingeominas e ICA. Cabe anotar que en 2004 y 2008 el Consejo Profesional de Química, considerando la importancia de incentivar la actividad investigativa, decidió patrocinar ese Premio aportando el dinero correspondiente al primer puesto.

## A manera de epílogo

El recorrido hecho deja ver que, aunque el inicio de la investigación en química en la Universidad Nacional no fue el resultado de una política de la Universidad ni obedeció a plan alguno, a medida que fue creciendo el número de proyectos y de investigadores y la formación y madurez de los últimos aumentaba, se vio la oportunidad de organizar los programas de posgrado como una forma de fortalecer la investigación y mejorar la formación del personal docente. La mayor cualificación de los investigadores



• Flor Marina en el Taller iberoamericano de catalisis computacional. Cartagena de Indias 1995.

y la evolución de las políticas del estado hacia el reconocimiento del valor de la ciencia y la tecnología como motores del desarrollo dieron como resultado la asignación en el presupuesto nacional de una partida para investigación administrada por Colciencias, de tal manera que a finales del siglo pasado ya era menos utópico pensar en conseguir algún dinero para desarrollar proyectos de investigación.

Sin embargo, el fomento de ciencia investigación y desarrollo (CID) en nuestro país está todavía atrasado, y no está entre los países latinoamericanos que mejor lo están haciendo.

Varios países latinoamericanos, en particular Argentina, Brasil y Chile, han implementado un amplio abanico de políticas para fomentar la innovación. No obstante, y a pesar de que en la región se están aplicando cerca de treinta tipos de instrumentos de política de CTI, los sistemas nacionales de innovación siguen siendo endeble. [...] Por ejemplo, la buena investigación que emana del sector académico local no suele ser recogida y utilizada por el sector productivo local. En términos más generales, la inversión en I + D sigue siendo baja y las burocracias ineficientes (Unesco, 2010).

Por lo tanto, todavía queda un largo camino por recorrer por parte de la comunidad académica para que el estado entienda que son el conocimiento, la ciencia, la investigación científica y la elevación del nivel educativo de la población los principales medios para generar un verdadero desarrollo económico y lograr mejorar el nivel de vida de todos los colombianos. La capacidad para crear conocimiento genera autonomía y abre caminos para comprender los problemas y plantear soluciones apropiadas.

## Referencias

- Asquimco, Junta Directiva Nacional (1986), "Editorial", en *Noticias Químicas*, vol. 10, num. 43.
- Cubillos, G. (2006), *Facultad de Ciencias: Fundación y consolidación de las comunidades científicas*, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia Unibiblos.
- Poveda, A., Duque, C., Sánchez de Gómez, M., Montes de Gómez, V., Pérez, G. (1989), *Desarrollo e inserción social de la química y la bioquímica en Colombia. Estado actual y perspectivas. Misión de Ciencia y Tecnología*, Bogotá, Multicopiado.
- Unesco (2010), *Informe de la Unesco sobre la ciencia 2010. El estado actual de la ciencia en el mundo*. Resumen, [en línea], recuperado: marzo 10 de 2011, disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001808/180883s.pdf>

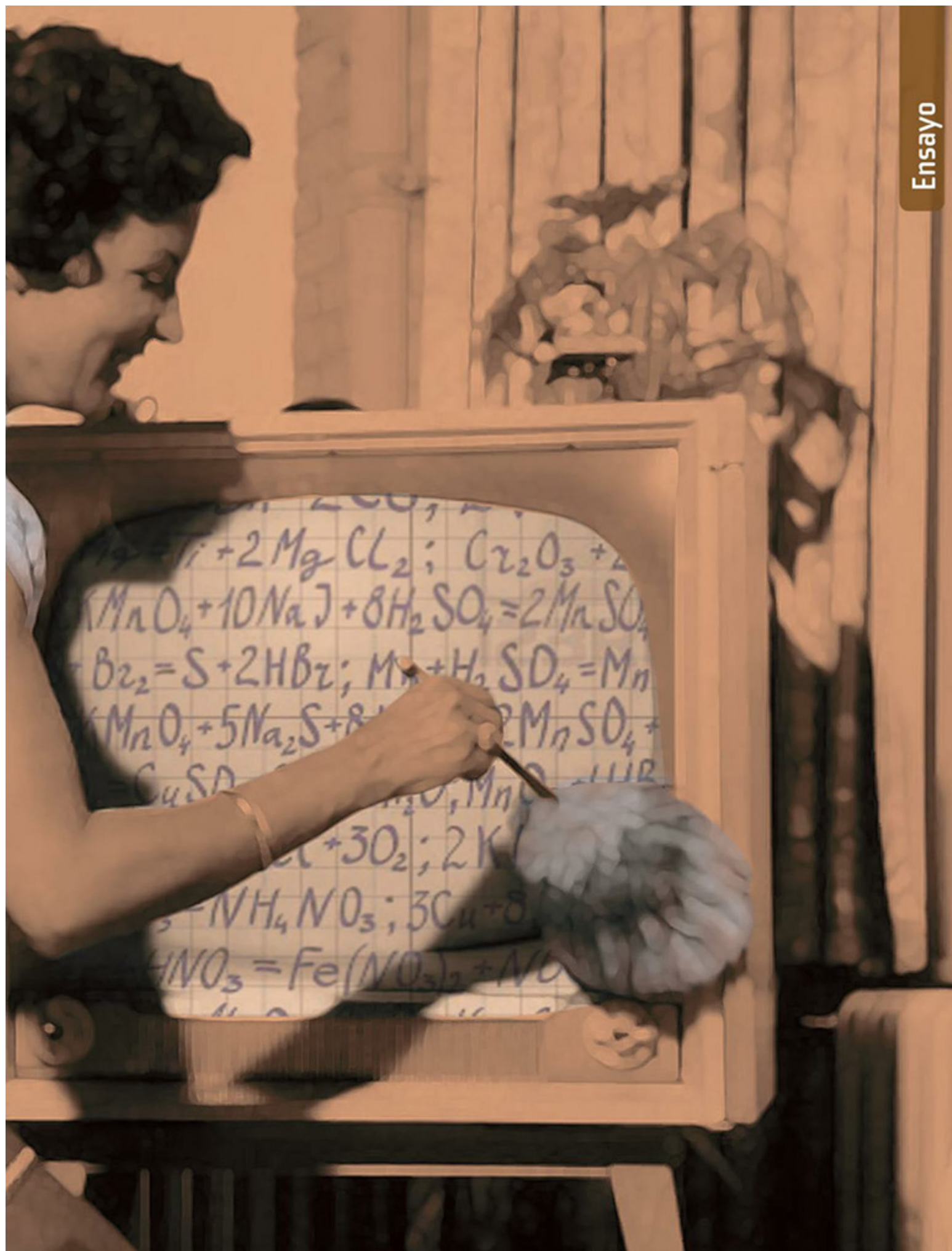


# Química, la ciencia central

**CARLOS ALEXANDER TRUJILLO**

QUÍMICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.  
DOCTOR EN CIENCIAS-QUÍMICA DE LA MISMA  
UNIVERSIDAD. POSTDOCTORADO EN LA UNIVERSITÄT  
KARLSRUHE, DE ALEMANIA

[catrujillo@unal.edu.co](mailto:catrujillo@unal.edu.co)



La revista *Innovación y Ciencia*, cuyo próximo número estará dedicado al Año Internacional de la Química, se puso en contacto conmigo para solicitarme responder la pregunta: ¿Por qué se dice que la Química es la “ciencia central”? Naturalmente, me entusiasmó la idea de responder a la pregunta y contar lo que yo les transmito a mis estudiantes de primer semestre cuando los recibo en su primer curso de Química.

Alguna vez se ha preguntado ¿por qué envejecemos?, ¿Cómo funcionan las cosas?, ¿Por qué el agua se evapora y el hielo se derrite?, ¿Por qué los alimentos se descomponen?, ¿Se podría curar tal o cual enfermedad?

Muchas de las preguntas que se hace y se ha hecho la humanidad se responden con una ciencia con fama de difícil, de ser complicada o de ser para muy pilos: La Química. La Ciencia en general no tiene todas las respuestas, pero muestra el camino para llegar a ellas; y dentro de las ciencias la Química es la ciencia central, la ciencia que ofrece más respuestas.

La química es la ciencia con mayor impacto en nuestra vida diaria. Si de repente desaparecieran las creaciones de la química, especialmente las de los últimos ciento ochenta años, probablemente esta revista se esfumaría de sus manos, gran parte de su ropa y abrigo también lo harían, de repente tendría mal aliento y el agua ya no sería segura para beber. Con lo que quede de su carro, si queda algo, no tendría como moverse y los alimentos escasearían a tal grado que la hambruna y el frío despacharían más de la mitad de la población mundial.

El campo de la química es muy amplio; se encarga de entender el comportamiento de los átomos y las moléculas —de la creación de los átomos en las estrellas a las complejas moléculas de la vida—. El mundo de la química tiene que ver con las piedras que pisa, la carne y los huesos de los que está hecho; con el cemento, el concreto y el hierro del que está construido el edificio donde vive; con los alimentos que consume, con las estrellas distantes que nos alumbran. En todas partes hay química. La Química es la ciencia de la materia, de los cambios que ésta experimenta y de la energía involucrada en esos cambios. Pero la Química no se limita a entender la materia y la energía, la química crea nuevas formas de materia. Los Químicos somos arquitectos del mundo molecular, podemos organizar los átomos en formas completamente nuevas, aún para la naturaleza. Con los mismos bloques de construcción que nos han entregado las estrellas —los átomos— los químicos creamos nuevas formas de materia; somos magos con la posibilidad de crear moléculas que nunca antes han existido —y probablemente no existan— en otros lugares del universo.

El hombre practica la química desde tiempos inmemorables, aunque no supiera que lo que hacía era química; podemos imaginar el gran impacto que tuvo en las sociedades antiguas el manejo de los metales, materiales duros que permitían trabajar mejor otros materiales abundantes como la madera, construir casas más fuertes, mejores armas, etc. Llegar allí requirió de la química y, como otras cosas

en la historia de la humanidad, la química recibió su nombre mucho más tarde. La ciencia en general y la química en particular han avanzado dramáticamente en los últimos dos siglos, periodo en el que la química ha alcanzado su edad adulta, pero sin dejar de crecer —la mayor parte de las publicaciones científicas tienen que ver con química—; no obstante, las fronteras entre las ciencias son difusas, y siempre el trabajo científico es y ha sido interdisciplinario. Esa imagen del científico loco que se sumerge en el laboratorio y de pronto sale descubriendo algo importante, sólo existe en Hollywood; en la vida real se produce trabajando en equipo.

Muchas de las preguntas que se hace y se ha hecho la humanidad se responden con una ciencia con fama de difícil, de ser complicada o de ser para muy pilos: La Química. La Ciencia en general no tiene todas las respuestas, pero muestra el camino para llegar a ellas; y dentro de las ciencias la Química es la ciencia central, la ciencia que ofrece más respuestas.



La Química proporciona una forma diferente de ver el mundo, nos permite imaginar el mundo de los átomos y de las moléculas. Cada vez que algo impacta nuestros sentidos, podemos interpretarlo en función de sus constituyentes y de cómo a través de múltiples interacciones se llega a las propiedades que hacen a esos objetos particulares. Incluso, al mezclar y combinar formas de materia existentes podemos obtener propiedades nuevas, ofrecer productos y materiales para soluciones específicas.

La Química del siglo XXI está directamente involucrada en la resolución de los problemas más apremiantes de la humanidad: alimento, agua, salud, energía, ambiente, entre otros. Ahora más que nunca, con base en el conocimiento acumulado, los científicos buscamos soluciones a esos problemas, generando de paso nuevo conocimiento que sirve a las generaciones presentes y futuras.

A comienzos del 2012 la humanidad alcanzará la cifra de 7.000 millones de habitantes. La gente que piensa que todo pasado fue mejor, cuando compara no toma en cuenta que en los tiempos actuales, todos los días, cada segundo, se bate el récord de población humana en el planeta Tierra. Nunca antes habían existido tantos seres humanos en este planeta como en el preciso momento en que usted está leyendo estas páginas. Esto es posible gracias a la ciencia en general, pero en especial a la Química. No se trata de demeritar a las otras ciencias, se trata de resaltar una ciencia que desafortunadamente no tiene muy buena imagen pública y a la que la gente común no le reconoce sus logros. Gracias a los agroquímicos la producción de alimentos por hectárea cultivada se ha multiplicado entre 5 y 10 veces en los últimos 120 años. Si tuviéramos las mismas prácticas agrícolas del siglo XIX no podríamos alimentar tal cantidad de población. Podría ser entonces un logro de la agronomía, pero, ¿qué sería de la agronomía sin los fertilizantes, o del conocimiento básico que



proporciona la química para entender el comportamiento del suelo y de las plantas, de las enfermedades y las plagas, etc. No al uso de agroquímicos piden algunos; pero sin el control de plagas, enfermedades de las plantas y malezas no podríamos disponer de todo el alimento que la humanidad necesita. Debemos recordar que competimos con otros seres vivos por los alimentos, y también por la luz solar que requieren las plantas que queremos cultivar. Desarrollar moléculas que sean efectivas para controlar a nuestros adversarios sin afectar a las plantas deseadas ni a nosotros mismos, es tema de investigación permanente en la química. Es una guerra dinámica por la capacidad de nuestros competidores a adaptarse, capacidad que nos exige crear permanentemente armas nuevas. Pero aún así, “—son moléculas tóxicas”, gritarán aquéllos más difíciles de convencer. Todo es tóxico, absolutamente todo; si usted exagera tomando más agua de la que debe, descubrirá que la puede pasar muy mal, por más pura que ésta sea. Si respira más de lo necesario no logrará suicidarse por esa vía, pero sí puede encontrar un desmayo. La clave está en la dosis, en recorrer esa delgada línea entre lo necesario, lo útil, lo práctico y lo dañino.

La humanidad ha evolucionado para disponer hoy en día de vías de comunicación, de edificios, puentes y vehículos para transportar los bienes que los seres humanos necesitamos para subsistir ¿Sería posible afirmar que esto se debe sólo a la ingeniería? A los ingenieros la Química les proporciona materiales con diversidad de propiedades, que permiten el diseño de soluciones tanto pequeñas como a gran escala; y detrás de una hermosa obra de arquitectura siempre habrá mucha química. La química permite entender cómo funcionan esos materiales y por qué fallan cuando lo hacen, cómo se pueden mejorar, cómo cambiar las propiedades de la materia, etc.

Los avances en la medicina han logrado combatir enfermedades que hace unos cuantos siglos diezaban la población, la gente vive más y el nivel de vida en promedio ha mejorado ostensiblemente ¿Es esto acaso sólo el logro de los médicos o de la medicina? Por supuesto que no, se trata de un trabajo interdisciplinario donde la química ha jugado un rol central en el desarrollo de medicamentos, la potabilización del agua, el desarrollo de materiales para transportar esa agua potable, el desarrollo de medicamentos contra los parásitos, la preservación de los alimentos, la creación de materiales adecuados para la construcción de viviendas confortables y apropiadas para el ser humano, productos para mantener esas viviendas limpias, materiales de abrigo y vestuario, combustibles y materiales para la cocción de los alimentos, etc. Podemos ubicar a la química como el centro del conocimiento aplicado que permite que hoy seamos tantos y disfrutemos de beneficios que las generaciones anteriores apenas soñaron.

De las palabras que usamos para designar las ciencias, Química es la que más se ha empleado y se usa como adjetivo de la palabra industria. “Industria Química” es un término común en el léxico de los economistas; todos los países desarrollados presentan un balance positivo entre exportación e importación de productos químicos. Contrario a lo que muchas personas piensan, las sociedades que más manejan los conceptos químicos son las que brindan mayor bienestar a sus ciudadanos. En los últimos años, gracias a los avances en química han sido posibles avances en comunicaciones, transporte, salud, agricultura, vivienda, vestuario, y todos los aspectos que la sociedad requiere para que podamos ser tantos.

Para darse una idea de la importancia de la química es conveniente que usted sepa que más de la mitad de los átomos de azufre en los aminoácidos que constituyen nuestro cuerpo han visto el interior de una planta de ácido sulfúrico y con seguridad más del ochenta por ciento de los átomos de nitrógeno de los mismos aminoácidos conoce el interior de una planta de amoníaco. El mundo no sería lo que es hoy si Haber —quien era Químico— no hubiera encontrado una forma barata de hacer amoníaco y si

Todo es tóxico, absolutamente todo; si usted exagera tomando más agua de la que debe, descubrirá que la puede pasar muy mal, por más pura que ésta sea. Si respira más de lo necesario no logrará suicidarse por esa vía, pero sí puede encontrar un desmayo. La clave está en la dosis, en recorrer esa delgada línea entre lo necesario, lo útil, lo práctico y lo dañino.

Bosch y Mittash —ambos Químicos— no hubieran invertido una década de su vida en BASF liderando el escalamiento del proceso inventado por Haber.

Pero es curioso, rara vez se reconoce que detrás de un éxito médico hay gran cantidad de química; que detrás de un hermoso puente o edificio hay grandes desarrollos de la química; que los alimentos que consumimos son posibles gracias a los avances en esta humilde ciencia; que los combustibles con los que nos movemos son producto de procesos químicos. Por el contrario, hoy la palabra “químico” tiene en muchos casos un significado que es sinónimo de dañino, tóxico, cancerígeno, etc. Como todo, la ciencia tiene su lado positivo y su lado negativo y los avances de la ciencia, y de la química en particular, no han estado exentos de problemas. Lo injusto es que la imagen que predomine en las personas del común sea la negativa, en parte impulsada por los medios de comunicación. Por lo general se reconocen los logros de otras profesiones como la Biología, la Medicina, la Física o las Ingenierías, pero rara vez se resalta el trabajo de los científicos químicos que con ingenio y diseño molecular han permitido los inventos, descubrimientos y desarrollos de esas profesiones. Sin embargo, debemos reconocer que hay cierto grado de razón para la mala imagen; hasta aproximadamente 1980 la industria química fue una gran contaminadora y hubo incidentes que causaron conmoción a escala mundial como el de Bopal en India.

La gente pidió cambios a los comportamientos que afectaban el ambiente y la salud de las personas y la industria comprendió que la polución era evitable, en algunos casos con altas inversiones, pero se entendió que es posible el progreso sostenible. En la actualidad, por razones ambientales y de costos, la industria Química utiliza métodos de producción mucho más eficientes y amigables con el ambiente.

En un pasado reciente muchas de las reacciones químicas se hacían con reactivos estequiométricos; éstos generaban gran cantidad de desechos que, simplemente, se botaban a los ríos. Un ejemplo es la producción de aldehídos y cetonas por oxidación con cromo(IV), que hoy en día se realiza catalíticamente utilizando oxígeno atmosférico sin generar desechos peligrosos. La gente pidió cambios a los comportamientos que afectaban el ambiente y la salud de las personas y la industria comprendió que la polución era evitable, en algunos casos con altas inversiones, pero se entendió que es posible el progreso sostenible. En la actualidad, por razones ambientales y de costos, la industria Química utiliza métodos de producción mucho más eficientes y amigables con el ambiente.

Cinco décadas atrás se generaron movimientos donde la gente pidió que sus alimentos, su agua, su vestuario, etc. no tuvieran sustancias químicas; eso no es posible, todo producto está hecho de sustancias químicas y, aunque sean naturales, hoy en día es prácticamente imposible encontrar productos que no hayan sido modificados en algún grado por procesos químicos. Pero en realidad lo que pedían esos movimientos era que cesara la contaminación, que los procesos fueran más amigables con el ambiente, que se evaluara mejor la toxicidad de las sustancias que se fabricaban y utilizaban en forma masiva, etc. Estos movimientos, en muchos casos con justa razón, hicieron que la sociedad tuviera miedo a los productos de la química; incluso, cuando la gente oye la palabra química aún piensa en polución, veneno, cáncer y contaminación. Pero, de otro lado, los principios de la química han permeado la población y la gente reconoce que la química tiene que ver con las relaciones, con la forma en que los átomos se relacionan, y la palabra química se usa para definir las buenas relaciones entre las personas.

La presión social creció enormemente y hoy en día la producción de desechos se ha disminuido ostensiblemente y la Industria Química, por ser intensiva en capital, es muy cuidadosa en su comportamiento y con su imagen, ya que una decisión política o una sociedad en contra pueden arruinar grandes inversiones. No obstante, aún hay mucho por mejorar, especialmente en la percepción social de una ciencia tan importante.

La Ciencia proporciona conocimiento sobre la naturaleza, y si la conocemos la podemos manipular, podemos modificar el entorno para adaptarlo a nuestras necesidades. Eso conlleva sus riesgos, pero



claramente el balance es positivo, si no lo fuera no seríamos tantos en este momento. La química es tan valiosa para la humanidad que a su vez es la herramienta para corregir y superar muchos de los problemas que el desarrollo y la sobrepoblación causan. Hoy en día se habla de sostenibilidad o desarrollo sostenible. Una sociedad sostenible es aquella que satisface sus necesidades sin comprometer las de las generaciones futuras. Para alcanzar este ideal se deben utilizar muchas herramientas, siendo la Química una de ellas. Hoy se halla en pleno furor la Química Verde, una rama de la Química que busca desarrollar productos y procesos amigables con el ambiente, esto significa con baja o nula producción de desechos, ¡prevenir antes que curar! Para la industria química actual la protección del ambiente es mandatorio, y es consciente de que cada vez hay que mejorar y hacer los procesos y productos más amigables.

La historia del refrigerador casero es un buen ejemplo de cómo la ciencia y la química en particular han traído confort a la humanidad, por supuesto con algunos costos, pero con un balance positivo. Las primeras máquinas para hacer hielo y enfriar se desarrollaron en la primera mitad del siglo XIX, y su efecto inmediato fue alargar la vida de los alimentos en el verano y los meses de alta temperatura.

Pero usaban líquidos refrigerantes tóxicos como el dióxido de azufre, el amoníaco y el cloruro de metilo que causaron accidentes fatales en algunos casos de rotura accidental de las tuberías. El refrigerador sólo se volvió casero cuando se desarrollaron los fluorocarbonos, que tienen una toxicidad muy baja. Los fluorocarbonos y la popularización de la electricidad permitieron que los hogares lo incorporaran a sus necesidades esenciales. Pero pronto se descubrió que los fluorocarbonos causaban problemas con la capa de ozono; entonces, la misma química permitió desarrollar líquidos refrigerantes sin cloro, proporcionando a la humanidad un beneficio con menos riesgo. Sin esas sustancias que sintetizan los químicos, no podríamos contar con ese dispositivo hoy esencial en nuestro estilo de vida. ¡Y pensar que las generaciones nuevas creen que siempre ha existido!

Uno de los problemas serios que hace que la química no sea popular es la forma en que se les enseña a los jóvenes. La Química se ofrece como una ciencia para memorizar, sin sentido real, sin conexión con la vida cotidiana de las personas. Recientemente debí

La química tiene también mucho de arte, el arte de crear formas de materia con nuevas propiedades; no creamos los átomos, simplemente los reorganizamos. Los químicos tenemos reglas que no alcanzan a tener la categoría de leyes; pero su dominio permite modificar las propiedades de la materia, sintonizar las características que se requieren en un material para tal o cual aplicación, desarrollar la molécula que actúe sobre tal o cual enzima, etc. Crear soluciones para problemas concretos requiere combinar las leyes de la física con una dosis de creatividad que tiene mucho que ver con la genialidad de los artistas.

ayudar a una sobrina a balancear un montón de ecuaciones químicas que no significaban nada para ella. Debía hacer la tarea para cumplirla a su profesora, pero por supuesto la consideraba aburrida e inútil. Estudiar o saber de química no está dentro de sus planes para el futuro; muchos adolescentes piensan de la misma forma en nuestro país y en el mundo gracias a la educación secundaria. No obstante, hay notables excepciones: recuerdo una ocasión donde llegaron ocho estudiantes del mismo colegio a mi curso de Química General de primer semestre para la carrera de Química. Al preguntarles por qué escogieron la química como su profesión, contestaron que gracias a su profesor de bachillerato.

También, muchas compañías aprovechan la mala imagen de la química para ofrecer publicidad equivocada a las personas. Ofrecen sus productos como "Sin Químicos", cómo si algo se pudiera hacer sin sustan-

cias químicas. El hecho de que las sustancias sean producidas por un organismo vivo como una planta no quiere decir que no sean sustancias químicas o que esas sustancias sean inocuas para el ser humano. De hecho, las diez sustancias conocidas más tóxicas para la especie humana son todas naturales, esto es, son producidas por organismos vivos; existen en la naturaleza. Una reconocida marca de azúcar publicita sus productos como "sin químicos", como si la sacarosa no fuera una sustancia química; no solo eso, es la sustancia química más vendida en alto grado de pureza a nivel mundial.

Los profesionales de la química rara vez se definen como expertos en algo. Se debe esto a que, mientras más se sabe, más se es consciente de lo que no se conoce. También falta algo más de protagonismo de los profesionales químicos en la sociedad, tenemos la tendencia a ser modestos y hemos dejado que los honores se los lleven otros. La ley de conservación de la masa fue enunciada por un químico, pero cuando se habla de ella se dice que es una ley física. Y bueno, puede que así sea, ya que es una ley fundamental y la Física como ciencia busca enunciar la generalidad, pretende entender los aspectos fundamentales de la energía y la materia. La Química, como ciencia que es, también busca establecer patrones generales de comportamiento, pero mantiene un interesante balance entre la generalidad y la particularidad. Los profesionales de la química reconocen en su trabajo cotidiano que los sistemas tienen más propiedades que la suma de las propiedades de sus componentes y reconocen la inutilidad de una teoría que lo explique todo.

Por eso la química tiene también mucho de arte, el arte de crear formas de materia con nuevas propiedades; no creamos los átomos, simplemente los reorganizamos. Los químicos tenemos reglas que no alcanzan a tener la categoría de leyes; pero su dominio permite modificar las propiedades de la

materia, sintonizar las características que se requieren en un material para tal o cual aplicación, desarrollar la molécula que actúe sobre tal o cual enzima, etc. Crear soluciones para problemas concretos requiere combinar las leyes de la física con una dosis de creatividad que tiene mucho que ver con la genialidad de los artistas. Las obras de los químicos rara vez salen en los periódicos pero, igual que las obras de los artistas famosos, con frecuencia producen mucho dinero porque la gente, así desconozca su origen, valora los productos y paga por ellos.

La esencia de la Química es la creación e innovación, actividades sobre las cuales se habla con mucha frecuencia cuando del desarrollo del país se trata. Es necesario cambiar la imagen de la Química, es conveniente que las personas entiendan que gracias a la Química podemos ser lo que somos, así de simple, porque, por ejemplo, sin alimentos simplemente no seríamos. Es necesario cambiar la educación en química de modo tal que ésta se conecte con sus productos en la sociedad y pase de ser una clase memorística a ser una clase de vida, pues la Química está en todas partes. Se aprende haciendo y eso no necesariamente requiere de un laboratorio; la casa, la vida cotidiana está llena de química, sólo hay que llamar la atención sobre esos hechos para que los jóvenes y la sociedad entiendan mejor una de las ciencias que más beneficios y confort ha traído a la humanidad. Entiendan la Química como la "ciencia central" para el desarrollo de una sociedad sostenible y estable.

Una sociedad sostenible puede ser posible, pero no es sólo responsabilidad de la Química, el tema requiere una mirada holística. Para ilustrar esto me referiré a algunos de los éxitos de la Química. Como primer ejemplo, el polietileno, que es un material muy común en la actualidad, pero hace solo cincuenta años se volvió popular. Tiene propiedades revolucionarias: una bolsa de supermercado con sólo unos micrómetros de espesor resiste una arroba de peso; no solo eso, es un material barato, al que toda persona puede acceder. Pero abusamos del uso de las bolsas de supermercado y hoy los residuos de polietileno representan una fracción importante de la masa de los rellenos sanitarios. Veamos otros casos. La Química ha permitido más alimentos por hectárea, pero la obesidad se ha vuelto una enfermedad, abusamos de los alimentos. La Química ha permitido combustibles relativamente económicos pero exageramos el uso del carro. Los medicamentos desarrollados por la Química en conjunto con la medicina han permitido llegar a una vejez agradable, pero las leyes no reconocen el derecho a una muerte digna, como si no fuera algo que debe ocurrir.

No basta con que la ciencia logre desarrollos, se requiere moderación en el consumo. La sociedad debe entender que por ahora sólo hay un planeta habitable y los recursos son limitados. Que la ciencia proporciona beneficios y problemas, pero siempre tratando de que el balance sea más positivo que negativo. Que tenemos derechos y también deberes; y dentro de los deberes está utilizar de una manera racional los recursos que nos ofrece la naturaleza, pensando en dejar algo a las nuevas generaciones cuando median procesos químicos en la transformación de estos recursos. Todo esto requiere educación, necesitamos que las nuevas generaciones sean más ilustradas científicamente, sepan más de química. No nos referimos con esto a que reciten la tabla periódica, ni a que sepan balancear ecuaciones de reacciones que jamás han visto. Existe un conocimiento que permite entender el mundo y transformarlo, y ese conocimiento al que nos referimos es el centro de la química, la ciencia central.



Fundación  
RedCOLSI

15 Años

Promoviendo los semilleros de investigación  
para el desarrollo de la cultura científica.

+ De 10.000 Proyectos

+ De 20.000 Estudiantes

345 instituciones adscritas

15 Nodos departamentales

# Productos naturales marinos: fuente de inspiración para la ciencia, la tecnología y la innovación

**CARMENZA DUQUE BELTRÁN**

DR. SC., PROFESORA EMÉRITA,  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA, UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE COLOMBIA, BOGOTÁ,  
COLOMBIA.

[cduqueb@unal.edu.co](mailto:cduqueb@unal.edu.co);

**HEBELIN CORREA VELANDIA**

M. SC., ESTUDIANTE DE DOCTORADO EN  
CIENCIAS-QUÍMICA, FACULTAD DE CIENCIAS,  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA,  
BOGOTÁ, COLOMBIA.

[hcorreav@gmail.com](mailto:hcorreav@gmail.com)

*El conocimiento y aprovechamiento sustentable de la biodiversidad carecen en Colombia de una clara política que oriente, apoye y proyecte los desarrollos en esta área en Ciencia, Tecnología e Innovación. En efecto, es muy poco lo que se conoce en este campo y muchos los vacíos y debilidades que impiden, tanto a los científicos colombianos como al Estado, liderar aplicaciones y negociar este importante recurso teniendo en cuenta su potencial de desarrollo (para qué podría servir), el suministro sustentable del recurso y su protección. Así, en este ensayo se ha tratado de dar una visión global de la importancia de los compuestos naturales aislados particularmente de organismos marinos, campos de aplicación y primeras aproximaciones de su valoración económica.*

## Introducción

Los productos naturales (compuestos aislados de la biota tanto terrestre como marina) son actualmente la fuente de la mayoría de los principios activos de las medicinas humanas (Newman y Cragg, 2007; Buttler, 2008), como lo recordaba hace unos pocos meses, en el Correo de la UNESCO de enero-marzo de 2011, la científica brasilera Vanderlan da Silva Bolzani...

...aunque el hombre vive en la era de la química combinatoria, del cribado a alta velocidad, y de la ingeniería molecular, sigue extrayendo de la naturaleza las materias primas necesarias para muchos productos terapéuticos nuevos, que tienen mucho éxito, tanto en los laboratorios como en el mercado. En los últimos 40 años, la naturaleza ha suministrado la mitad de las sustancias químicas aprobadas como drogas por los organismos de reglamentación del mundo entero.

Las plantas, animales y microorganismos fabrican un arsenal de compuestos químicos que pueden ser usados para el tratamiento de enfermedades fatales y nosotros los químicos somos los llamados a descubrir estas magníficas armas químicas que nos permitirán enfrentar con éxito muchas enfermedades, particularmente el cáncer y las infecciones.

## Productos naturales a lo largo de la historia de la humanidad

Las plantas y los extractos de plantas han sido usados desde tiempos inmemoriales (inclusive su uso ha sido registrado en los descubrimientos arqueológicos más antiguos); tanto que en este momento aproximadamente entre el 40 y 60 por ciento del millón de productos naturales descubiertos a partir de organismos vivos, han sido obtenidos de plantas terrestres (Penesyan et al., 2010), y de ellos, entre el 20 y 25 por ciento poseen propiedades como antibacterianos, antifúngicos, antiprotozoarios, antineoplásicos, anticáncer, antivirales y antiinflamatorios. Algunos ejemplos de compuestos de plantas bien conocidos como drogas anticáncer son el paclitaxel (taxol®) aislado de *Taxus brevifolia*, el etopósido (vepesid®) obtenido por síntesis parcial del lignano podofilotoxina de la planta *Podophyllum pectatum* e irinotecano (camptosar®) obtenido optimizando la estructura del alcaloide camptotecina aislado de la planta *Camptotheca acuminata*.

Aunque la exploración de microorganismos como fuente de medicamentos solo empieza en el siglo XX, hoy puede afirmarse que éstos han sido el origen de cerca del 10 por ciento de los compuestos naturales bioactivos conocidos (Penesyan et al., 2010), la mayoría de los antibióticos; y la doxorubicina (adriamicina®) y la bleomicina son unos pocos ejemplos de la importancia de compuestos naturales obtenidos a partir de microorganismos en la fabricación de drogas contra las infecciones y contra el cáncer, respectivamente.

Por otro lado, está establecido que los organismos marinos son una fuente increíble de compuestos químicos con estructuras novedosas, los cuales son producidos principalmente como parte de mecanismos de defensa química contra depredadores, competidores y organismos colonizadores (Pawlik 1993; Hay, 1996; Paul-Ritson Wilkins, 2008; en Penesyan et al., 2010). Es paradójico que, aunque el océano con su inmensa biodiversidad cubre aproximadamente el 70 por ciento de la superficie terrestre, y nos ha provisto de alimentos desde siempre y de manera permanente, si comparamos el aprovechamiento de estos recursos marinos por el hombre con lo que se ha venido haciendo en plantas terrestres —como ya se mencionó—, solo hace unos 40 años los científicos han puesto sus ojos en los organismos marinos que habitan el océano como depositarios de los secretos ancestrales de la evolución para producir compuestos utilizables como agentes terapéuticos.

## Productos naturales marinos

En efecto, según el recuento histórico crítico de Mayer et al., 2010, hacia el año de 1974, dos productos derivados de compuestos naturales —citarabina, Ara-C® y vidarabina, Ara-A® (Figura 1)— entraron a formar parte de la farmacopea usada para tratar enfermedades humanas. La citarabina, hoy en día usada como agente anticáncer, es un nucleósido pirimidínico derivado del esfingolípido espongotimidina aislado de la esponja del Caribe *Tethya crypta*; y la vidarabina, usada como agente antiviral contra el herpes, herpes zoster y vaccinia, es un nucleósido purínico, desarrollado a partir de la espongouridina, un nucleósido también aislado de la esponja marina *Tethya crypta*. En el año 2004, el Ziconotido denominado Prialt®, un potente analgésico (Figura 1) con un mecanismo de acción novedoso fue aprobado por la FDA (por su sigla en inglés, Federal Drug Administration de Estados Unidos). Este compuesto es el equivalente sintético de un péptido de 25 aminoácidos, originalmente aislado del veneno del caracol marino *Conus magnus*. Hace un par de años, la trabectedina (Yondelis®, ET-743) un alcaloide tetrahidroisoquinolínico (Figura 1), aislado inicialmente del tunicado *Ecteinascidia turbinata* fue aprobado por la Unión Europea para pacientes con sarcoma de tejidos blandos y cáncer de ovario. Actualmente, este producto está además siendo desarrollado en fase II para cáncer de seno, pulmón y próstata y en fase III como agente anticáncer para su aprobación en Estados Unidos.

De los 18.552 compuestos naturales marinos aislados de 27 Phyla a la fecha (Blunt et al., 2011; Erwin et al., 2011; MarinLit data base, 2010; Faulkner, 2002.), 1.258 empezaron estudios en fase preclínica en el período comprendido entre 1998 y 2006. De ellos, 592 fueron para el tratamiento de cáncer y los demás para estudios farmacológicos varios como agentes antibacteriales, anticoagulantes, antiinflamatorios, antifúngicos, antihelmínticos, antiplaquetarios, antiprotozoarios y antivirales. En 2010, de acuerdo a Mayer et al., 2010, permanecen 118 en ensayos preclínicos, y 12 continuaron en las fases clínicas (I, II y III) posteriores —10 como agentes anticáncer, (Mesilato de eribulina, Soblidotin, Plinabulina, Plitidepsina, Elisidepsina, PM1004, Tasidotina, Briostatina, Hemiasterlina y Salinosporamida A), 1 para el tratamiento de esquizofrenia (DMXBA) y 1 como agente cicatrizante (Pseudopterosina) (Figura 1).

Figura 1.

Número de compuestos naturales marinos aislados y su etapa de desarrollo como agentes terapéuticos hasta la fecha.

Fuente: Datos tomados de Mayer et al., 2010.

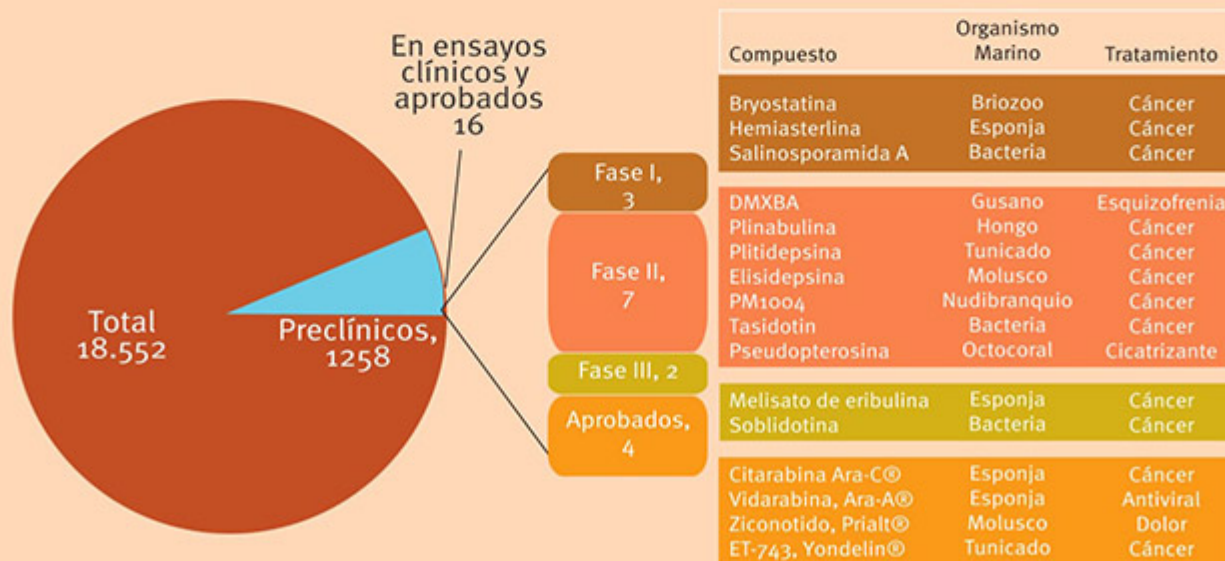
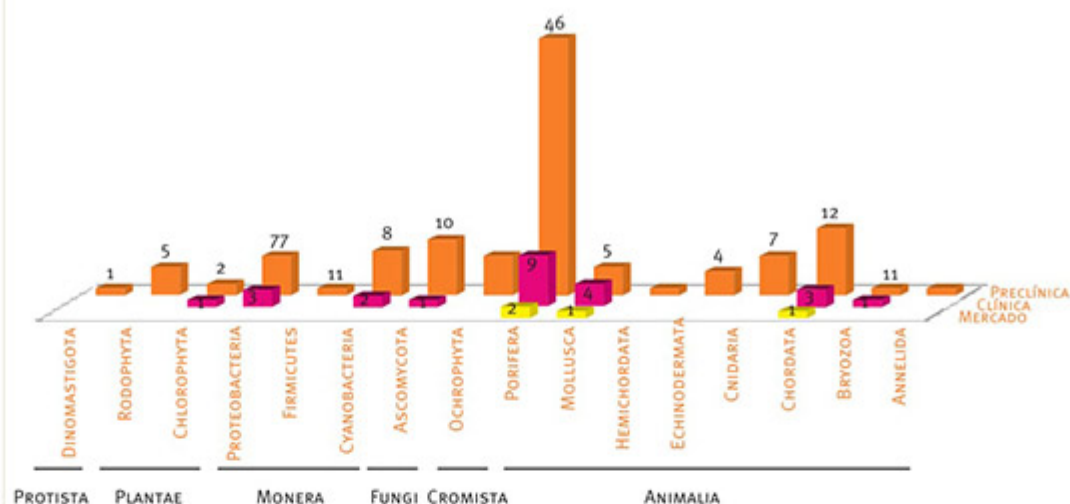


Figura 2.

Número de Productos Naturales Marinos en ensayos preclínicos, estudios clínicos y en el mercado, clasificados de acuerdo al Reino y Phylum del organismo fuente del que fueron aislados.



Fuente: Datos tomados de Erwin et al., 2011.

La Figura 2 presenta el número de compuestos naturales marinos que hasta la fecha (2011) han entrado en fase de desarrollo como agentes terapéuticos según el Phylum y el Reino de los organismos fuente de dichos compuestos.

También algunos de los compuestos de origen marino han mostrado actividades insecticidas, herbicidas y antifúngicas, convirtiéndose en excelentes candidatos para ser transformados en agentes agroquímicos (Peng et al., 2003). De igual forma el campo de productos naturales marinos como principios activos de recubrimientos *antifouling* ambientalmente amigables es una perspectiva reciente que bien vale la pena ser explorada (Qian et al., 2010).

## Estimativos económicos de la biodiversidad marina

Aunque el valor de los organismos marinos es infinito, vale la pena mencionar que, gracias a la química de productos naturales, muchos de los desarrollos actuales importantes en química orgánica han sido posibles basados en la novedad de las estructuras químicas que los compuestos de fuentes marinas exhiben (la mayoría sin contraparte terrestre), y a la necesidad de aislar cantidades tan pequeñas de ellos, del orden de unos pocos miligramos, que han impulsado el desarrollo de nuevas técnicas analíticas para su separación; por ejemplo, Cromatografía en Contracorriente y Cromatografía de Alta y de Ultra Eficiencia. Así mismo, la necesidad de determinar sus estructuras ha impulsado el desarrollo de técnicas tan modernas como la RMN para micromuestras, el Dicroísmo Circular y las combinaciones de Cromatografía Líquida con Espectrometría de Masas de Ionización Suave, y Cromatografía Líquida con RMN, etc. También es importante considerar los avances realizados en las metodologías de síntesis química y la posibilidad de hacer análogos del compuesto líder para mejorar sus propiedades farmacológicas, los cuales se aplican hoy en día como etapas básicas para desarrollos comerciales.

Sin embargo, a pesar de la importancia de los productos naturales en la investigación farmacéutica y de los beneficios económicos que de ellos se derivan para la sociedad humana, el valor global de la biodiversidad marina no ha sido estimado, con excepción de un estudio focal de la biodiversidad de arrecifes coralinos en Jamaica, donde se la estimó en un valor de 70 millones de dólares (Ruitenbeek y Carter, 1999 en Erwin et al., 2011). Estudios recientes, utilizando modelos matemáticos (Erwin et al., 2011), han calculado un valor entre 563 billones y 5,69 trillones de dólares solo para productos naturales marinos que pueden ser convertidos en drogas anticáncer, aislados principalmente de las Phyla animal (Chordata, Mollusca, Porifera y Byrozoa) y microbiana (proteobacteria y cianobacteria). En contraste, algunos estudios han valuado el valor de las medicinas de bosques tropicales en el rango entre 2,8 y 420,0 billones (Mendelsohn y Balick, 1995; Pearce and Purosothaman, 1992 en Erwin et al., 2011). Los cálculos anteriores representan tan solo los primeros ensayos para mostrar con cifras el potencial económico de los compuestos aislados de los organismos que habitan nuestros océanos.

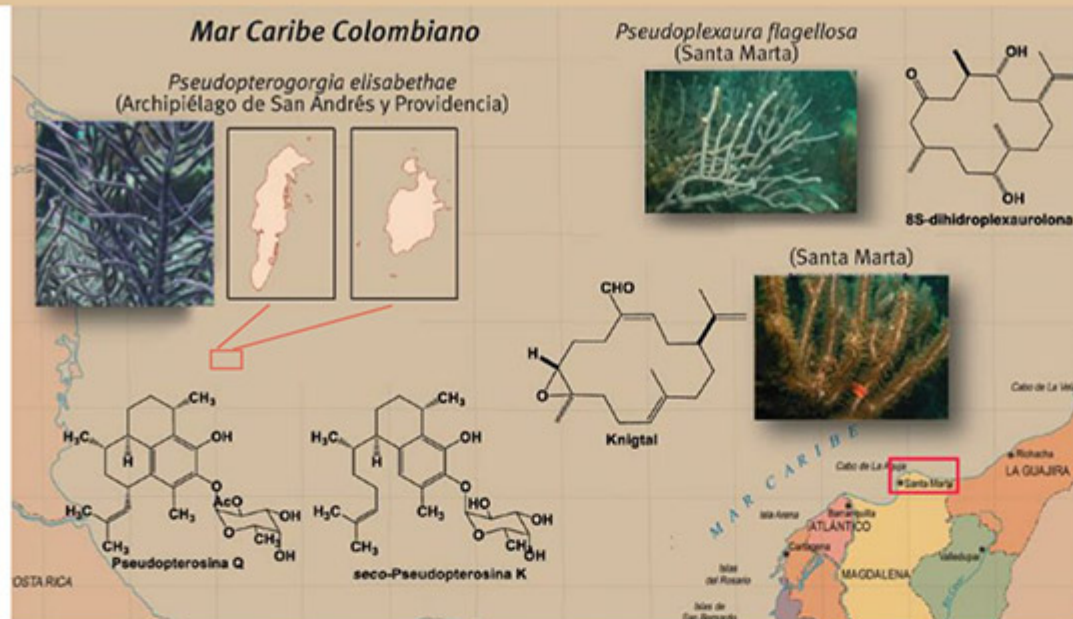


Figura 3.

Octocorales recolectados en el mar Caribe colombiano, fuente de algunos de los mejores compuestos con actividad biológica que hemos aislado en Colombia.

## Investigaciones en Colombia

Aunque cada una de estas clases de bio-productos representa un potencial de multi-billones de dólares en el mercado mundial, en Colombia es poco lo que se ha hecho a pesar del esfuerzo pionero que algunos pocos investigadores hemos venido haciendo, por lo que el estudio de aislamiento e identificación de sustancias bioactivas o aprovechables industrialmente de organismos marinos, particularmente de los que viven en el Caribe colombiano, está aún en su infancia. El grupo de investigación “Estudio y aprovechamiento de productos naturales marinos y frutas de Colombia”, de la Universidad Nacional de Colombia, ha sido líder en la investigación química de organismos tales como esponjas, octocorales, zoantídeos, estrellas de mar, ofiuros, y erizos de mar, concentrando los esfuerzos en el estudio de aquellas especies que no han sido estudiadas en otras partes del mundo, pero que en nuestros bioensayos han probado ser fuente de compuestos novedosos y de interés farmacéutico e industrial en general (Duque et al., 2003; Duque, 2007; Duque, 2010).

Hasta el momento, siguiendo las primeras etapas bioprospectivas de aislamiento, identificación y hasta evaluación de la actividad biológica de los compuestos aislados, se han estudiado cerca de 100 especies de los organismos marinos mencionados arriba, encontrando alrededor de 700 compuestos (Duque et al., 2003; Duque, 2007; Duque, 2010), de los cuales unos 70 han presentado estructura novedosa y más de 40 con actividad biológica interesante (citotóxica, antimicrobiana, antiinflamatoria y antifouling) y con una gran perspectiva de uso industrial. De ellos vale la pena resaltar, por sus interesantes resultados en actividad biológica (Figura 3), las pseudopterossinas y seco-pseudopterossinas —aisladas del octocoral *Pseudopterogorgia elisabethae* recolectado en el archipiélago de San Andrés y Providencia—,

**UA** Universidad del Atlántico

Vicerrectoría de Investigaciones, Extensión y Proyección Social

**Programas de Educación Continua**

### Diplomados

- Alta Gerencia
- Logística Empresarial
- Gerencia de Empresas Comerciales
- Finanzas Territoriales
- Conservación y rehabilitación del patrimonio edificado
- Avalúos e inmobiliarios
- Fundamentos de la Etnoeducación y la Cátedra de Estudios Afrocolombianos
- Didáctica de la Docencia - Pedagogía e Investigación para profesionales no licenciados

- Docencia Universitaria con énfasis en Humanística
- Comunicación Estratégica y Técnicas en Redacción Profesional y Comunicación Oral
- Políticas Públicas
- Bioética
- Literatura Americana y Británica con énfasis de ICT en el Aula
- Enseñanza de la Catequesis
- Conciliación Formación de Conciliadores en Derecho
- Seguridad Social en Pensiones
- Gestión Empresarial en Seguridad y Salud Ocupacional
- Gestión Empresarial Ambiental
- Plantas Medicinales
- Gestión de Servicios Farmacéuticos
- Gestión y Patrimonio Cultural del Caribe Colombiano

### Áreas de Asesoría y Consultoría

- Inmunología y biología molecular
- Calidad de medicamentos
- Asesoría en la Implementación de Buenas Prácticas de Manufactura
- Historia Sociedad y Cultura Afrocaribe
- Recuperación de archivos y datos históricos
- Nación, Ciudadanía y Educación
- Estudios de Género y Cultura
- Estudios sobre antropología y cultura
- Gestión Cultural
- Estudios de Biodiversidad

### Cursos Libres

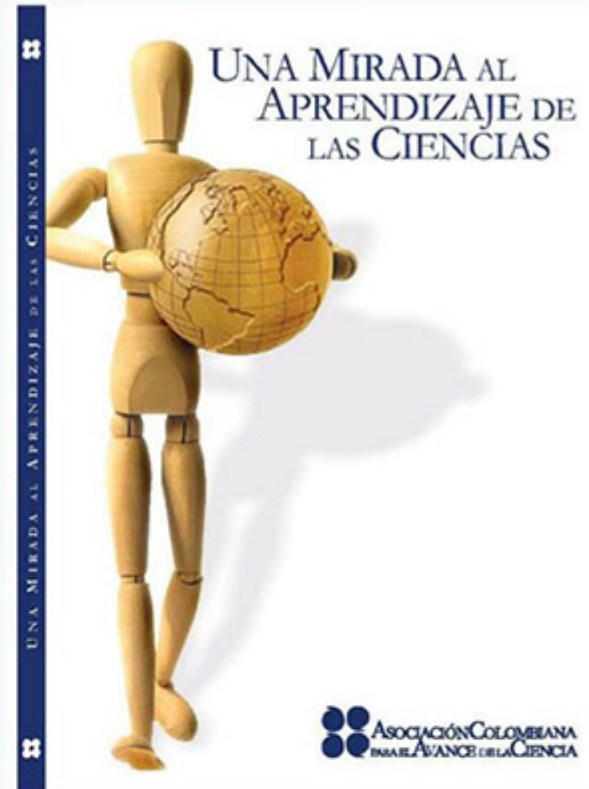
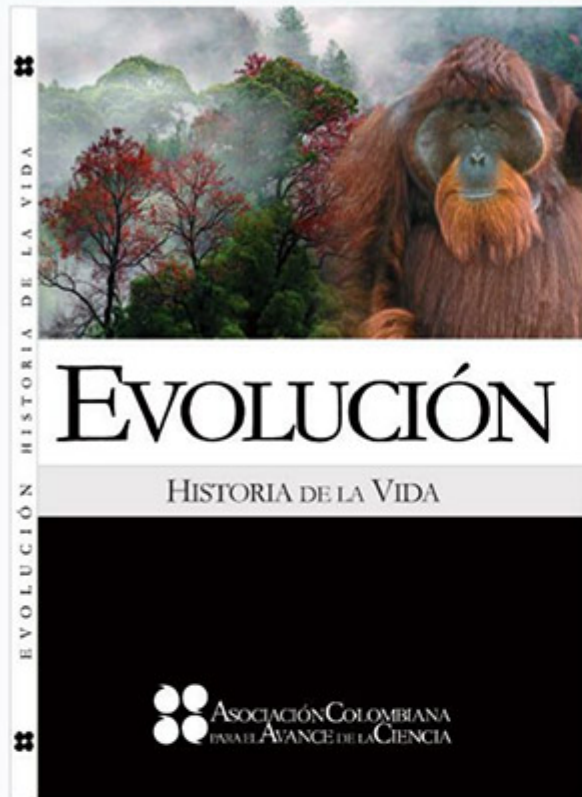
- Cursos Libres Bellas Artes
- Cursos Libres de Lenguas Extranjeras
- (Inglés, Alemán, Francés)
- Cursos Microsoft Excel (Básico y Avanzado)

compuestos que vienen mostrando una muy buena actividad como agentes citotóxicos, antiinflamatorios y antimicrobianos, y algunos cembranos como el knigtal y la 8-hidroxiplexauralona aislados de los octocorales *Eunicea knighti* y *Pseudoplexaura flagellosa*, respectivamente, recolectados en la Bahía de Santa Marta, como agentes antimicrobianos e inhibidores del QS (por sus siglas en inglés, *quórum sensing*).

Como conclusión general podemos asegurar que las nuevas tecnologías y la colaboración eficiente entre los científicos, académicos e industriales, será esencial para asegurar el éxito futuro de los productos naturales marinos como entidades terapéuticas nuevas y novedosas que pueden hacer una contribución significativa al tratamiento de las enfermedades humanas.

## Bibliografía

- Blunt, J.W., Munro, M.H.G., Northcote, P. T., Prinsep, M.R., 2011, Marine Natural Products, en *Nat. Prod. Rep.* 28:196-268. Ver todas las referencias previas de esta serie. DOI: 10.1039/c005001f
- Buttler, M.S., 2008, Natural products to drugs: natural product-derived compounds in clinical trials, en *Nat. Prod. Rep.* 25:475-516.
- Da Silva-Bolzani, V., 2011, Primacía de la naturaleza, En *Correo de la UNESCO*, enero-marzo.
- Duque, C., 2010, *Pseudopterogorgia elisabethae* de San Andrés y Providencia, una pluma de mar con excelente potencial como fuente de productos naturales con aplicación industrial, En *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 34:89-103.
- Duque, C., 2007, Bioprospección de sustancias bioactivas obtenidas de organismos marinos. En Sánchez, J. (ed.), *Potencial biotecnológico de microorganismos en ecosistemas naturales y agrosistemas*, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia.
- Duque, C., Puyana, M., Osorno, O., Zea, S., 2003, Visión retrospectiva de las investigaciones en productos naturales marinos en Colombia durante los últimos quince años, En *El mundo marino de Colombia: investigación y desarrollo de territorios olvidados*, Bogotá, Unibiblos.
- Erwin, P.M., López-Legentil, S., Schumann, P.W., 2011, The pharmaceutical value of marine biodiversity for anti-cáncer drug discovery, En *Ecological Economics* 70:445-451.
- Faulkner, D.J., 2002, Marine natural products, En *Nat. Prod. Rep.* 19:1-48. Ver todas las referencias previas de esta serie.
- Harvey, A.L., 2008, Natural products in drug discovery, En *Drug Dis. Today* 13:894-901.
- MarinLit Data Base*, 2010, Department of Chemistry, University of Canterbury, disponible en <http://www.chem-canterbury.ac.nz/marinlit/marinlit.shtml>
- Mayer, A.M.S., Glaser, K.B., Cuevas, C., Jacobs, R.S., Kem, W., Little, R.D., McIntosh, J.M., Newman, D.J., Potts, B.C., Shuster, D.E., 2010, The Odyssey of marine pharmaceuticals: a current pipeline perspective, En *Trends in Pharmacological Sciences* 31:255-265.
- Newman, D.J., Cragg, G.M., 2007, Natural products as sources of new drugs over the last 25 years, En *J. Nat. Prod.* 70:461-477.
- Penesyan, A., Kjelleberg, S., Egan, S., 2010, Development of novel drugs from marine surface associated microorganisms, En *Mar. Drugs* 8:438-459. DOI: 10.3390/md8030438
- Peng, J., Shen, X., El Sayed, K.A., Dunbar, C., Perry, T.L., Wilkins, S.P., Hamann, M.T., Babzin, S., Huesing, J., Camp, R., Prinsen, M., Krupa, D., Wideman, M.A., 2003, Marine natural products as prototype agrochemical agents, En *J. Agric. Food Chem.* 51:2246-2252.
- Qian, P.-Y., Xu, Y., Fusetani, N., 2010, Natural products as antifouling compounds: recent progress and future perspectives, En *Biofouling* 26:223-234.



CULTURA CIENTÍFICA: FACTOR DE SUPERVIVENCIA NACIONAL - José Luis Villaveces  
 LA EPISTEMOLOGÍA Y LA HISTORIA EN LA PEDAGOGÍA DE LAS CIENCIAS NATURALES - Germán Cubillos Alonso  
 LA ADQUISICIÓN DE CONOCIMIENTO CIENTÍFICO  
 Juan Ignacio Pozo  
 EL MUNDO NO ES COMO LO PINTAN - Beatriz Helena Robledo  
 LA COMPRESIÓN Y LA EXPLICACIÓN - V CONGRESO NACIONAL SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA - Dino De Jesús Segura Robayo  
 HISTORIA DE LA ELECTROSTÁTICA  
 RECONTEXTUALIZACIÓN DE SABERES EN LA ENSEÑANZA - Edwin Germán García  
 EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS COMO EXPERIENCIA INVESTIGATIVA - Hugo Cerda Gutiérrez  
 LA ACAC EN EL DESARROLLO DE LA CONCIENCIA CIENTÍFICA COLOMBIANA - Teresa León Pereira

LA EVOLUCIÓN COMO PROCESO CREADOR - Francisco J. Ayala  
 LA ADAPTACIÓN BIOLÓGICA. ALGUNAS TESIS DE COMPRESIÓN - Germán Amat García y Orlando Vargas Ríos  
 ESPECIE: ¿ES O SON? - Fernando Fernández, Julio Mario Hoyos y Daniel Rafael Miranda Esquivel  
 LOS VIRUS DE ARN COMO MODELOS PARA EL ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN EXPERIMENTAL - Andrés Moya y José Manuel Cuevas  
 FILOGENIA GENÓMICA EN MOSAICO EN BACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO - Daniel Piñero Dalmau  
 FILOGENIA, FORMA Y FUNCIÓN - Susana E. Freire y Liliana Katinas  
 MORFOLOGÍA, MOLÉCULAS Y LA HISTORIA DE LA VIDA DE ORTODOXIAS Y HEREJÍAS - Jorge V. Crisci y Juan J. Morrone

**Valor: 25.000 c/u**  
 20% de descuento  
 para nuestros asociados

**ELENA E. STASHENKO**

QUÍMICA, PH.D., PROFESORA TITULAR LAUREADA. DIRECTORA DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN BIOMOLÉCULAS, CIBIMOL. DIRECTORA DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES PARA LA AGRO-INDUSTRIALIZACIÓN DE ESPECIES VEGETALES AROMÁTICAS Y MEDICINALES TROPICALES, CENIVAM, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

[elena@tucan.uis.edu.co](mailto:elena@tucan.uis.edu.co)



Productos  
“sin químicos”  
y algunas  
hazañas  
e historias de los  
químicos

## Preludio

Durante todo el año 2011, la Química y los químicos con sus quehaceres y estudios, los experimentos que llevan a cabo, las investigaciones que realizan sobre distintas formas de la transformación de la materia, la compleja historia del desarrollo de conceptos químicos y los sorprendentes inventos de esta ciencia, han estado en el centro de atención de todo el mundo científico. Es el *Año Internacional de la Química*. La química es una de las ciencias fundamentales o “duras”, como la llaman coloquialmente, universal y transversal, y sin ella es imposible concebir el mundo moderno y su progreso. Sin la Química, su desarrollo y sus aplicaciones, no existiría la biología moderna, no habría enormes logros en medicina, no serían posibles ni geología, ni metalurgia, ni la creación de nuevos y sorprendentes materiales, no habría fármacos, pinturas y telas con colores nuevos, electrizantes y con texturas exuberantes, no existirían —para guardar alimentos— los empaques funcionales con sustancias que suprimen la proliferación de gérmenes. Sin la Química, no gozaríamos de nuevos olores, sabores y fragancias, no se sabría nada sobre la existencia de feromonas (moléculas de comunicación entre los seres vivos) y de su rol en la naturaleza, ni de la composición de un meteorito, no habría tanto encanto y tantas sorpresas en nuestra vida, rodeada de productos —y entre otros, de nuevos y sorprendentes compuestos y moléculas— creados por los químicos. La Química está en todo, omnipresente y eterna.

Como una llamativa estrategia de mercadeo para destacar una ventaja “competitiva” y promocionar o publicitar un producto o un artículo nuevo, hoy en día, a menudo, se emplea una frase sacramental (aunque ya muy trillada) que reza: “este producto fue hecho *sin químicos*” (*sic!*). Bueno, nosotros, los químicos, al verlo, quedamos simplemente perplejos, ya que “*químico*” es un profesional quien sabe sobre la Química y la practica como una actividad técnica o científica, empresarial o de investigación, en pedagogía o en la industria. Pero, cuando se habla sobre los artículos o productos que no contienen “*químicos*”, suena bastante extraño (Figura 1).

Figura 1.

En las carreteras, en los almacenes, por la radio, en la televisión, nos bombardean avisos publicitarios que anuncian productos “sin químico” o “sin químicos”. ¿Qué querrá decir esto? ¿Qué “químico” estará ausente?





Foto: © Elena E. Stashenko



Tal vez, lo que se quiere afirmar es que éstos no son *productos químicos* o que no contienen *sustancias químicas* obtenidas típicamente por vía sintética, es decir, *artificialmente*, a partir de moléculas-precusores. La palabra “*químicos*” viene de “chemicals”, es un anglicismo, una tosca calca del inglés al español, que quiere decir “sustancias químicas”, lo que hace confundir la profesión del *químico*, o a un profesional “químico”, con un producto químico fabricado, frecuentemente, por medio de una síntesis química. Sin embargo, no deja de ser un poco *quimiofóbica* la expresión “*sin químicos*” o “*no tiene químicos*”, porque todo, todo lo que nos rodea (incluyendo a nosotros mismos), contiene inacabable cantidad de diversas sustancias químicas —numerosas moléculas y sus aglomeraciones— compuestas por átomos de diferentes elementos químicos, unidos de formas variadas y en distintas proporciones. Esto hace que las propiedades de las sustancias sean únicas y características y, a la larga, determinan sus usos particulares y aplicaciones en diferentes productos finales, procesos o transformaciones.

Uno de los objetivos capitales de la Química es el estudio de la composición de la materia, verbi-gracia, sustancias, sus propiedades y transformaciones. El *análisis químico* es una de las ramas más importantes y también de mayor aplicación en muchos otros campos de la Química, por ejemplo, en síntesis orgánica, estudio de productos naturales, geoquímica y química del petróleo, alimentos y farmacología, y las demás ramas de esta ciencia. Es el área que responde *grosso modo* a las preguntas ¿De qué está hecha la materia, un objeto material o un producto dado aislado de la naturaleza (producto natural) o sintetizado en el laboratorio?, ¿Qué moléculas o sustancias lo conforman y en qué proporción se encuentran en él? Por ejemplo, es importante establecer si un juguete para niños contiene plomo u otros metales pesados; si el material de una botella plástica —para almacenar el agua— tiene residuos de hidrocarburos, bloques constituyentes de un polímero del cual está hecha; si un fármaco lleva trazas de solvente o productos de descomposición de su principio activo; si el agua de un lago está contaminada con los desechos de la industria del papel, entre otros. ¿Cuáles son las sustancias químicas que emana una flor que atrae mariposas? (Figura 2), ¿Cuáles son las moléculas-fósiles o biomarcadores presentes en el petróleo y que permiten establecer su origen y edad?, ¿Cómo se puede diferenciar un jugo con aromatizantes sintéticos de uno natural, sin aditivos artificiales? Estas, y muchas otras, son preguntas típicas que puede responder un químico después de hacer los respectivos —a menudo bien complejos— análisis.

Un análisis químico puede ser cualitativo o cuantitativo. El *análisis cualitativo* permite saber, por ejemplo, qué elementos químicos se encuentran en una muestra (así llamamos una parte o alícuota de la materia sometida al análisis) o de qué moléculas (sustancias o compuestos) está constituida. El *análisis cuantitativo* complementa la información sobre la naturaleza química de la muestra y permite establecer no solamente qué elementos químicos o sustancias la conforman, sino en qué proporción o cantidad se encuentran en ella.

Figura 2.

Plantas e insectos se comunican entre sí. Las palabras, en este caso, son moléculas, sustancias químicas que se sintetizan y emiten. Cada sustancia es un mensaje, una invitación, una alarma o un anuncio de peligro o de alimento disponible, emitidos para reunirse o para amar, entre otros muchos mensajes, que pueden generar e interpretar plantas o insectos.

## Nuestro mundo es una mezcla química muy compleja

El mundo que nos rodea —cuyas pequeñas “fracciones” o procesos investigamos a través de procedimientos analíticos— es una *mezcla* compleja de decenas a miles de sustancias de naturaleza química muy diversa. Por ejemplo, el *aroma de café* puede contener más de 800 sustancias químicas diferentes, prácticamente, de todas las clases de compuestos orgánicos y con diversas funcionalidades, verbigracia, hidrocarburos, alcoholes, aldehídos, ácidos, éteres, ésteres, heterociclos, etc. Las fragancias florales, extractos frutales y aceites esenciales o esencias destiladas de plantas aromáticas pueden estar compuestos por centenares de sustancias; el *petróleo* constituye otro ejemplo de una mezcla complejísima, que puede contener de cien mil a un millón de diversos compuestos químicos, fundamentalmente hidrocarburos, desde un simple metano hasta agregados macromoleculares de alto peso molecular (asfaltenos, resinas) de muy complicada caracterización química. Hay más de cien mil proteínas en el cuerpo humano. Entre diversos productos naturales, se han caracterizado miles de terpenos y terpenoides, derivados fenólicos y alcaloides, que son metabolitos secundarios de plantas y se sintetizan en ellas con propósitos diferentes, básicamente como mecanismo de adaptación al ambiente y para supervivencia. Los ejemplos de mezclas complejas se pueden continuar, pero la idea principal es muy clara: en un laboratorio de análisis químico se manejan —casi sin excepción alguna— *mezclas*, a menudo muy complejas. El tipo y la diversidad de mezclas complejas que se procesan en el laboratorio químico son muy amplios e incluyen muestras *ambientales* (aire, aguas, suelos), de origen *biológico* (especies vegetales, tejidos, células, fluidos fisiológicos, etc.), alimentos y bebidas, productos de la *química combinatoria*, *artículos de uso personal*, *drogas y evidencias forenses* (residuos de incendios, explosivos, pinturas, etc.), entre muchos otros.

No obstante, en una mezcla, sólo uno o algunos compuestos problema o *analitos-target* pueden ser de interés científico. *El analito* es una sustancia que se analiza, una sustancia de interés, que está presente en una mezcla compleja. A menudo, hay que aislarla o separar de otros compuestos de la mezcla, para establecer su identidad química y su cantidad, a través de un análisis químico.

Entre *analitos-problema* se pueden encontrar, por ejemplo, plaguicidas, fármacos o sus metabolitos, sustancias responsables por un olor desagradable (*off-flavour*) en un alimento, residuos de disparo en las manos de un sospechoso o trazas de sustancias que pueden acelerar un incendio malicioso, entre otras sustancias. Típicamente, se requiere determinar su presencia e identificarlos (análisis cualitativo), pero frecuentemente también hallar su respectiva cantidad (análisis cuantitativo).

Para esta actividad científica —análisis de mezclas y *analitos-target*— se usan diferentes estrategias, métodos o herramientas para análisis; su conjunto y aplicaciones conforman el área de la Química que se llama *Análisis Químico Instrumental*. “Instrumental” viene del uso de un instrumento o aparato especial, un equipo, que permite “prolongar” o amplificar miles de veces nuestras capacidades de ver, medir, percibir, contar, diferenciar e identificar. Entre los instrumentos (equipos analíticos) pueden encontrarse balanzas, microscopios, espectrómetros, polarímetros, cromatógrafos, diversos espectroscopios y otros instrumentos. El cambio de alguna propiedad físico-química de la sustancia, la absorción o emisión de la energía por una molécula, su interacción con un campo electromagnético o simplemente su descomposición (fragmentación o disociación) y el posterior análisis de sus “partes”, conforman las estrategias comunes para analizar una sustancia química y elucidar su estructura, verbigracia, su composición elemental, tipo de unión y disposición espacial de átomos o grupos funcionales en ella presentes.

## Métodos de análisis instrumental

No existe una técnica analítica instrumental *universal* (es decir, que sirva para analizar absolutamente todas las mezclas) para separar, detectar, cuantificar o identificar inequívocamente todos los *analitos-target* (sustancias de interés) presentes en una mezcla compleja. Tampoco existe una técnica instrumental capaz de hacerlo directamente, sin tratamiento previo (aunque mínimo) de la muestra, es decir, sin llevar a cabo

los procesos de extracción, concentración, fraccionamiento o limpieza del extracto obtenido que contiene el analito-problema. Frecuentemente, se requiere aislar de la mezcla y purificar un solo compuesto de interés (analito), para establecer inequívocamente su identidad (estructura).

El arsenal de métodos de análisis instrumental para establecer la estructura química de la sustancia es bien amplio, pero, típicamente, requiere el uso de la combinación de varios métodos. El *analizador elemental* o el *equipo de absorción (o emisión) atómica* se usarán para establecer qué átomos (elementos químicos) conforman una sustancia; la *espectroscopia ultravioleta-visible* dará saber sobre la naturaleza saturada (cuando no hay enlaces dobles o triples en la molécula) o aromática (cuando hay anillos bencénicos o sus análogos presentes) de la sustancia; la *espectroscopia infrarroja* indicará qué grupos funcionales (aldehído, amino, cetona, sulfuro, etc.) entran en su composición, mientras que la *resonancia magnética nuclear* verterá la luz no solamente sobre la estructura de la molécula (unión de todos los átomos en ella), sino sobre su disposición en el espacio (estereoquímica).

Una de las técnicas muy importantes de análisis instrumental es la *espectrometría de masas* (Figura 3). Este método cuenta ya con más de un siglo de desarrollo y goza de una aplicación muy extensa en diversas ramas de la ciencia, Química y Biología, Bioquímica y Medicina, Ciencia de Materiales, Farmacología, Astronomía, Ciencia de Alimentos, Química Ambiental, Ciencia Forense, por mencionar solo algunas.

Desde el inicio del siglo XX, la *espectrometría de masas* sólo ha demostrado su vertiginoso desarrollo y progreso, múltiples y cada vez nuevas y sorprendentes aplicaciones, prácticamente en todos los campos de la ciencia, que van desde el estudio de nanopartículas hasta las investigaciones que se llevan a cabo en las naves o estaciones espaciales donde se instalan espectrómetros. Las aplicaciones de esta técnica son incontables, incluyen el análisis de agentes de dopaje en el deporte, detección de residuos de explosivos y sus precursores, estudio de metabolitos de un fármaco, determinación de biomarcadores (fósiles moleculares) en el petróleo o gas, análisis de gases de exhalación (aliento) de un paciente, detección de trazas de dioxinas o bifenilos policlorados (sustancias con varios anillos aromáticos clorados, altamente tóxicos) en un pescado o en el humo de una chimenea o un incinerador. La *espectrometría de masas* permite hallar

Foto: © Elena E. Stashenko

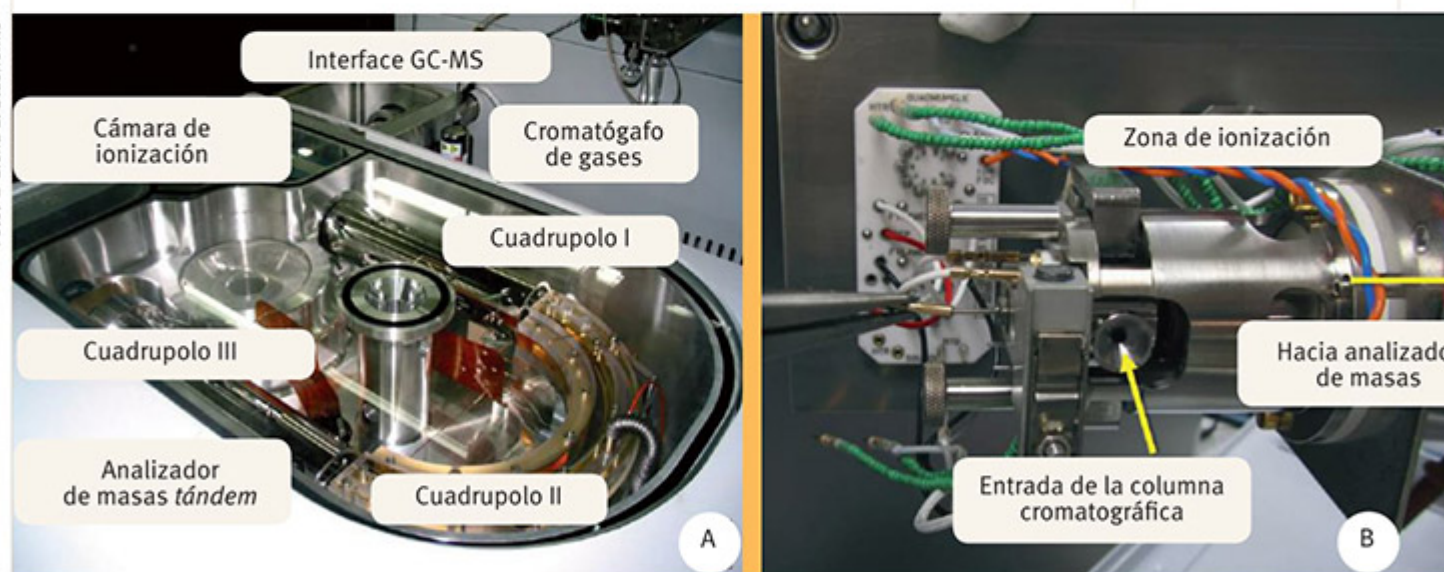


Figura 3.

La *espectrometría de masas* —que cuenta con más de cien años de desarrollo— es una de las técnicas instrumentales más importantes para identificar una sustancia, pura o en una mezcla, determinar su peso molecular y estructura química. Al inicio de su desarrollo, los espectrómetros de masas eran equipos grandes, que ocupaban mucho espacio. Hoy en día, estos aparatos pueden ocupar un espacio menor que el de un escritorio. (A) El equipo *tandem*, que comprende tres analizadores cuadrupolares en serie. (B) En acoplamiento con cromatografía, gaseosa o líquida, construye una de las más poderosas herramientas de análisis. La columna cromatográfica se inserta directamente a la cámara de ionización, donde las sustancias separadas en la columna, una por una, ingresan a la cámara, se ionizan y producen un *espectro de masas* que permite su identificación química (peso molecular, grupos funcionales presentes, estructura).

el peso molecular de una proteína, determinar la secuencia de aminoácidos en un péptido, revelar adulteraciones en una muestra de alimento, establecer la composición de un material semiconductor, estudiar el proceso de fermentación en un biorreactor en línea, detectar residuos de disparo en la mano de un sospechoso, encontrar explosivos ocultos en el aeropuerto o en una maleta; además, permite identificar los componentes de un perfume, encontrar y establecer cuáles son los contaminantes en suelo o agua, medir las relaciones isotópicas en la molécula de un biomarcador y establecer su origen y edad, determinar potenciales de ionización de moléculas o energías de enlace en un compuesto químico, entre decenas de otros usos. En realidad, será mucho más fácil indicar dónde y cuándo no se usa la *espectrometría de masas*, que dónde sí se emplea. Sus campos de aplicación son fundamentalmente química ambiental y forense, síntesis orgánica, productos naturales, química del petróleo y de alimentos, bioquímica y medicina, geoquímica, control de calidad en muchos procesos y de productos finales, entre varias otras aplicaciones.

Regresamos, nuevamente, a los “productos *sin químicos*”. Cuando se usa esta frase, se entiende que estos productos no contienen sustancias de *origen sintético*, es decir, que hayan sido producidos (sintetizados) en el laboratorio químico. Se cree que, de alguna manera, pueden afectar la salud humana, mientras que las sustancias *naturales* son buenas, útiles, mejoran la salud y el bienestar. ¿Serán todas las sustancias naturales —por defecto— inocuas? ¿Será que, por ser *naturales*, son necesariamente benévolas? Lejos de ser cierto. La *cicuta* (*Cicuta* spp., plantas de la familia Apiaceae, que contienen cicutoxina, una sustancia mortal), la *escopolamina* (alcaloide tropánico aislado de plantas *Datura* spp. o *Brugmansia* spp. de la familia Solanaceae, tóxico), el *ricino* (*ricin*, una proteína altamente tóxica, aislada de semillas de higuera, *Ricinus communis*), todas estas son sustancias o mezclas de sustancias naturales aisladas de plantas. Los ejemplos de sustancias naturales con efectos nocivos para la salud humana, se pueden seguir y seguir. Por supuesto, la famosa frase de Teofrasto Paracelso “Nada es veneno, todo es veneno: la diferencia está en la dosis”, no debe olvidarse nunca. La escopolamina puede matar, pero puede también ser muy útil durante el tratamiento de la enfermedad de Parkinson, para aliviar náuseas y vómito, o sobrellevar el periodo post-operatorio, entre otros usos.

A continuación sigue una historia real, donde una sustancia completamente *natural* produjo muchísimo daño: muerte y pérdidas económicas. Gracias al empleo de los químicos y de las técnicas analíticas de separación (*cromatografía*) y espectroscópicas (*espectrometría de masas*), se pudo establecer su origen e identidad.

## Una historia detectivesca

En los alrededores de una bonita ciudad, ubicada en una meseta confinada por las montañas, en una soleada mañana —que no auguraba ninguna malaventura—, en varias granjas avícolas, resultaron muertos miles y miles de pollos, sin que se hubiera antes presentado, en los galpones, alguna enfermedad o epidemia contagiosa. La historia que sigue tuvo un carácter verdaderamente detectivesco. El caso de la muerte repentina y masiva de miles de aves de corral pudo ser resuelto gracias a la aplicación de los métodos analíticos instrumentales, la cromatografía y la espectrometría de masas y su *acoplamiento*, técnicas que lograron revelar a un verdadero culpable de la muerte.

La necropsia de los pollos mostró destrozos y la severa afectación tanto de sus pulmones, como del hígado. Debido a que no hubo vestigios de alguna enfermedad previa, el alimento para aves, un concentrado fortificado con vitaminas y preparado con base en la harina de *sorgo*, resultó ser el primer sospechoso de este acontecimiento. El concentrado alimenticio, suministrado a las aves el día anterior a su muerte, se sometió a varias pruebas y análisis microbiológicos. Ninguna bacteria, hongo o parásito patógenos fueron detectados.

También se hicieron los respectivos análisis para determinar la posible presencia en el alimento de *aflatoxinas*, sustancias altamente tóxicas que figuran entre los compuestos más cancerígenos conocidos y que se pueden generar por diferentes hongos, sobre todo, los del género *Aspergillus*. Estos hongos pueden contaminar los *cereales* (maíz, sorgo, arroz, centeno, trigo, etc.), durante su cosecha, y sus granos, durante su almacenamiento, generando *aflatoxinas* (micotoxinas) de altísima nocividad para diversos organismos vivos (se afecta en ellos principalmente el hígado). La producción de *aflatoxinas* por hongos aumenta con

la temperatura y la humedad del ambiente. En nuestro caso, los análisis realizados mostraron que el alimento suministrado a los pollos no fue contaminado con *aflatoxinas*, por lo menos en cantidades por encima de las que pueden producir algún efecto adverso en la salud, o la muerte de aves. Entonces, ¿cuál fue el causante de la muerte masiva y repentina de miles de pollos?

El alimento (concentrado) para aves llegó al *Centro de Cromatografía y Espectrometría de Masas* de la Universidad Industrial de Santander (UIS, Bucaramanga) (Figura 4), donde se sometió a dos procesos de extracción independientes, para determinar la posible presencia de compuestos tóxicos.

Para la obtención de extractos, se usaron tanto el disolvente orgánico diclorometano,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , (extracción líquido-sólido en un equipo Soxhlet), como el fluido supercrítico, gas carbónico,  $\text{CO}_2$ , a presión de 72,9 atm y temperatura de 31,1°C. Un *fluido supercrítico* corresponde a un estado especial de la materia. Es cuando una sustancia, a temperatura y presión por encima de su *punto crítico*, se encuentra en el estado que no permite diferenciar nítidamente entre el líquido y el gas. El  $\text{CO}_2$ , en el estado supercrítico, reemplaza muchos disolventes orgánicos, ya que combina la difusibilidad alta, típica para los gases, con el poder de la solubilidad, típica para los líquidos. Mientras que el disolvente orgánico (por ejemplo, hexano, diclorometano, acetato de etilo, metanol, etc.) debe ser volatilizado después de la extracción, es decir, separado de otros analitos o sustancias de interés presentes en el extracto (esta operación se llama *concentración*), el  $\text{CO}_2$  —cuando se evapora durante su despresurización— deja el extracto “limpio”, libre de trazas de disolvente. La extracción con el  $\text{CO}_2$  supercrítico resulta ser una técnica *verde*, amigable con el ambiente y también con los químicos o técnicos que efectúan las extracciones y trabajos en el laboratorio o industria.

Para obtener extractos del alimento para aves en cuestión se usaron ambas técnicas de extracción. Los dos extractos obtenidos se analizaron por *cromatografía de gases* (Figura 5). Es una técnica instrumental analítica que permite *separar* las mezclas en sus constituyentes (éstos deben ser termoestables y volatilizables) y *cuantificarlos*, usando diferentes sistemas de detección. La separación sucede en una *columna cromatográfica*; en el caso de la *cromatografía de gases*, es un capilar largo (30-60 m) de sílice fundida (similar a la de una fibra óptica), cuya pared interna se encuentra revestida con una

Foto: © Elena E. Stashenko



Figura 4.

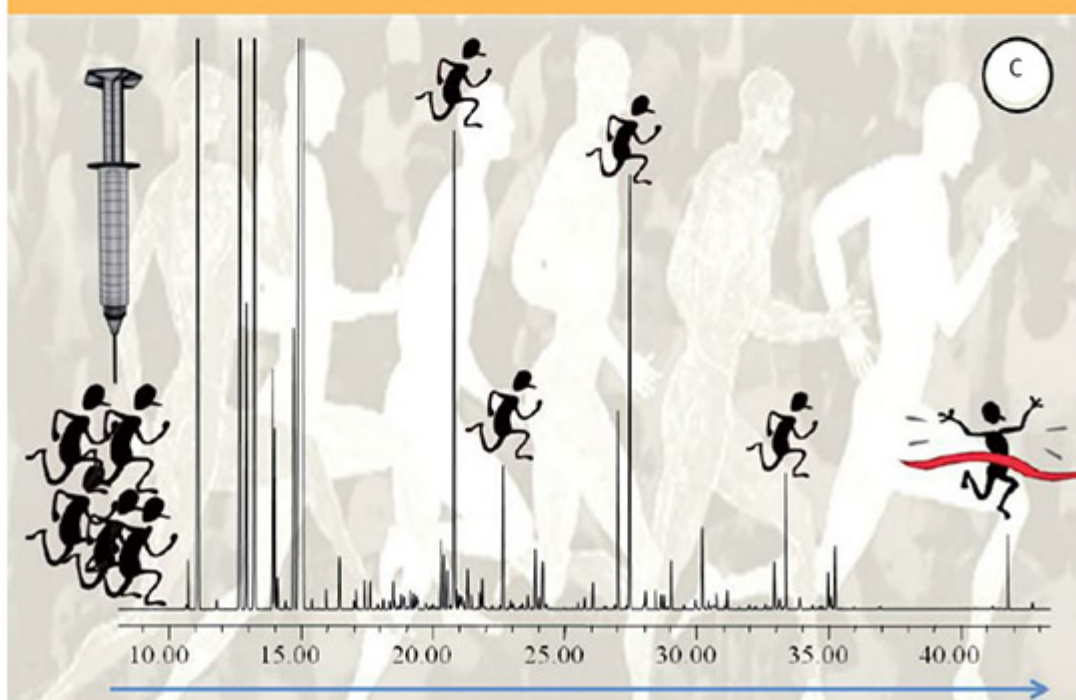
Centro de Cromatografía y Espectrometría de Masas (CROMASS) de la Universidad Industrial de Santander (Bucaramanga); desarrolla trabajos encaminados a la aplicación de técnicas cromatográficas y de espectrometría de masas en productos naturales, aromas y fragancias, química ambiental, de alimentos, química forense y petroquímica, entre otras aplicaciones, en las áreas de docencia, investigación y

delgada capa de un polímero, que llaman la *fase estacionaria*; mientras que por el orificio del capilar (columna), en su entrada, bajo determinada presión, ingresa un gas inerte (helio, nitrógeno), que es la *fase móvil* y se llama también el *gas portador*. Un extremo de la columna está unido a un *inyector*, un dispositivo para calentar y volatilizar la mezcla, y el otro, a un *detector*, que genera una señal eléctrica cuando ingresan en él las moléculas distintas a las del gas portador. La mezcla de sustancias que entra a la columna se mueve por ella, pero cada uno de sus componentes posee su velocidad propia de movimiento, diferente a la de los otros. En la columna, gracias a ello, los componentes experimentan su separación. Similar a una carrera atlética, cuando los deportistas inician todos juntos, pero llegan a la meta final en tiempos distintos, las sustancias, que entran simultáneamente a la columna cromatográfica, hacen su recorrido en ella en tiempos diferentes. Estos tiempos fundamentalmente dependen de la naturaleza química de las sustancias que conforman la mezcla, del tipo de la fase estacionaria y móvil, de la longitud y el diámetro interno del capilar (columna cromatográfica) y de la temperatura. La columna está ubicada en un horno, cuya temperatura se puede variar de modo programable.

La gráfica, que representa la señal eléctrica del detector en función del tiempo, se llama *cromatograma* (Figura 5C). Cada *pico cromatográfico*, o señal, debe representar, idealmente, una sola sustancia; y su tamaño o el área es proporcional a la cantidad del componente presente en la mezcla. Entonces, en el *cromatograma*, la sustancia o componente, representada por el respectivo pico cromatográfico, se caracteriza por su *tiempo de retención*,  $t_R$  (es decir, cuánto tiempo transcurrió desde su inyección hasta que éste emerge de la columna y entra al detector), y por el *área*, proporcional a su cantidad

Figura 5.

A. *Cromatógrafo de gases* (sistema de separación) acoplado a *espectrómetro de masas* (sistema de detección y registro).  
 B. *Columna cromatográfica* donde ocurre la separación de la mezcla en sus componentes constituyentes.  
 C. Resultado del análisis cromatográfico; es una gráfica, *cromatograma*, que registra la señal del sistema de detección en función del tiempo. En el cromatograma, cada componente de la mezcla se caracteriza por su *tiempo de retención*,  $t_R$ , y el área del pico. El tiempo de retención está relacionado con el tiempo que cada componente permanece en la columna (desde su inyección hasta la detección) y, el área, con su cantidad o concentración en la mezcla.



en la muestra analizada. Esto constituye un análisis tanto *cualitativo* (diferentes sustancias tendrán diferentes tR), como *cuantitativo* (mayor área del pico representará mayor cantidad de la sustancia).

En nuestro caso, el resultado del análisis cromatográfico de los dos extractos, nuevamente, fue negativo tanto para la presencia de diversos plaguicidas monitoreados, como para otras moléculas tóxicas, entre ellas, bifenilos policlorados, dioxinas e hidrocarburos poliaromáticos. Ninguno de estos contaminantes y sustancias tóxicas se encontró en el alimento concentrado. Entonces, las preguntas se mantienen: ¿Con qué se intoxicaron los pollos? ¿Qué generó su abrupta y masiva muerte?

Haciendo un análisis meticuloso, en los cromatogramas de ambos extractos, obtenidos del concentrado usado para alimentación de pollos, se observó, empero, la señal de una sustancia "X", que podía contener uno o varios átomos de nitrógeno. Esta conclusión fue posible porque el análisis se realizó en la columna cromatográfica unida al *detector selectivo de nitrógeno y fósforo*. Este detector registra, en la salida de la columna, sólo aquellas sustancias de la mezcla que contienen átomos de nitrógeno o fósforo (Figura 6). El siguiente paso es establecer qué tipo de molécula —con átomo de nitrógeno presente— es la sustancia "X". Para ello, el análisis de ambos extractos se realizó por *cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas*.

En esta técnica, el cromatógrafo de gases por medio de una *interface* (línea de transferencia) se une directamente al espectrómetro de masas o *detector de masas*. Es un método de acoplamiento de dos técnicas, una (cromatografía), para separar la mezcla en sus constituyentes y cuantificarlos; y la otra, para identificarlos químicamente. Los componentes de la mezcla, que emergen de la columna, uno por uno, en fila india, ingresan a la *cámara de ionización* del espectrómetro de masas. Un flujo de electrones de alta energía, emitidos por un filamento incandescente de tungsteno, a presión muy reducida (mil veces más baja que la atmosférica), colisiona con las moléculas y produce su respectiva ionización, por pérdida de un electrón. En este caso, las moléculas ionizadas, llamados *iones moleculares*, poseen la masa igual a la de la molécula neutra menos el peso de un electrón (despreciable, en comparación con el peso de la molécula).

La masa del ion molecular permite hallar el peso molecular de la sustancia, que es su característica distintiva. Generalmente, una fracción grande de moléculas ionizadas resultan con un exceso de energía alto y ello las hace fragmentar o disociar, descomponiéndose en *iones-fragmento*, que son partes constituyentes de la molécula, con diferentes estructuras y masas. Estudiando estos iones-fragmento en el espectro de masas, el modo como se disocia la molécula ionizada (patrón de fragmentación) y sabiendo su peso molecular, se puede determinar la estructura química de la molécula. Su estableci-

Foto: © Elena E. Stashenko

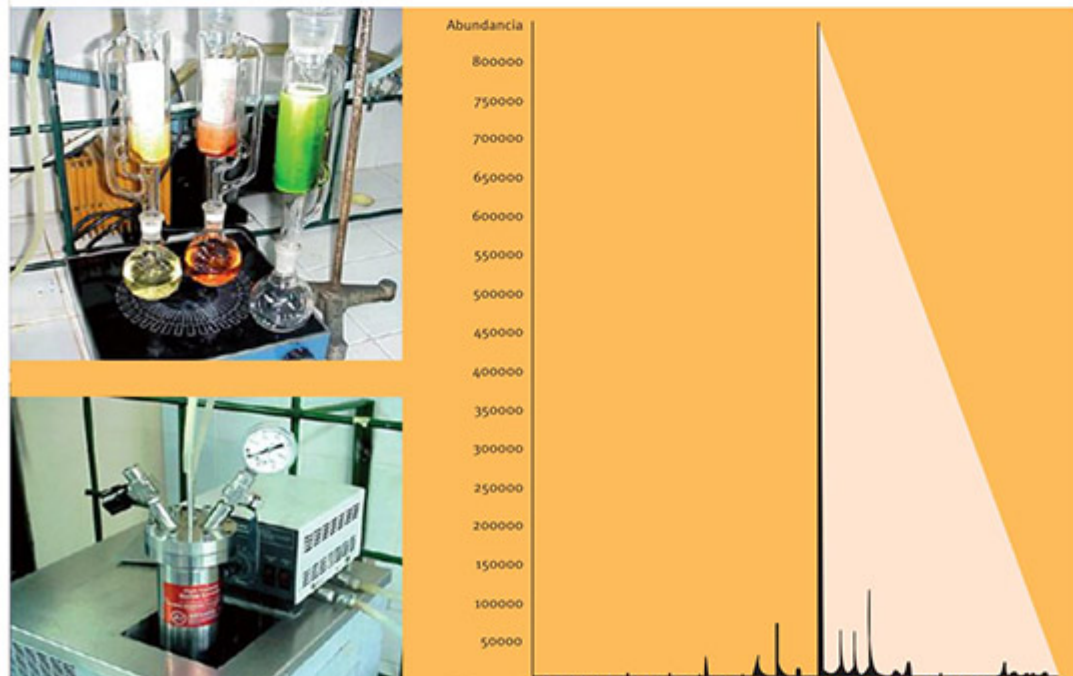


Figura 6.

En los extractos del alimento concentrado para pollos, obtenidos tanto con el *disolvente* (diclorometano, equipo Soxhlet), como con el *fluido supercrítico* (CO<sub>2</sub>), se descubrió la presencia de un *compuesto nitrogenado*, selectivamente registrado por cromatografía de gases, usando el *detector selectivo de nitrógeno-fósforo*.

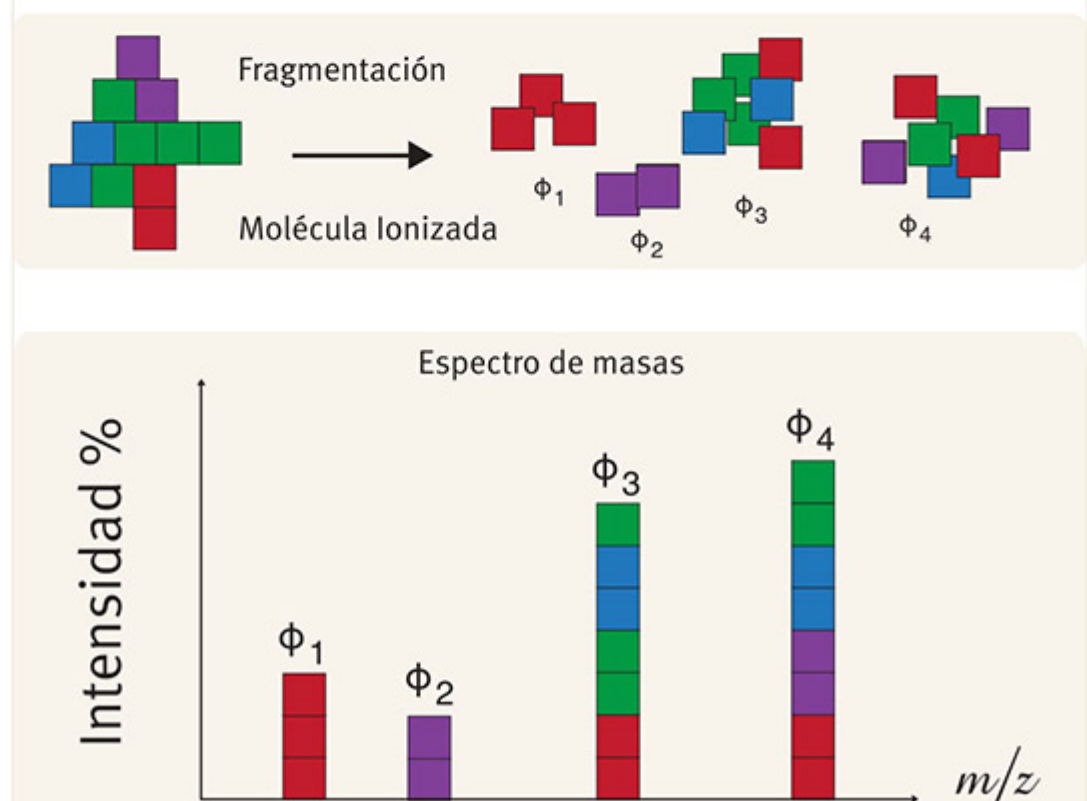
miento es similar a menudo al proceso de composición de un rompecabezas a partir de sus fragmentos. O, al trabajo de un arqueólogo, quien a partir de pequeñas piezas remanentes reproduce un objeto inicial. El *espectro de masas* de una sustancia es su verdadera “*huella digital*”, que permite su identificación inequívoca, ya que no hay dos moléculas distintas, por más que se parezcan entre sí (por ejemplo, isómeros), que tengan *absolutamente* idénticos sus espectros de masas (Figura 7).

El *espectro* experimental de la sustancia “X” se confrontó con los de la base de datos del instrumento, y esta comparación computacional reveló una altísima similitud (coincidencia) con el *espectro de masas* de la *monocrotalina* (Figura 8). ¿La *monocrotalina*? Uf!!! ¡Qué peligro! Es un alcaloide. Es una sustancia biológicamente activa. Perteneció a la familia de alcaloides *pirrolizidínicos* y es uno de los más tóxicos conocidos. En seres vivos, su blanco de acción típicamente son los pulmones, que padecen severa destrucción, y el hígado. La *monocrotalina* es una sustancia *neumotóxica* y *hepatotóxica*, y, en nuestro caso, la necropsia de los pollos descubrió también la afectación severa tanto de sus pulmones, como del hígado. La *monocrotalina* es cancerígena. Es una sustancia cristalina, los cristales son de color grisáceo y no poseen olor. Es un macrociclo con 16 átomos de carbono, 23 de hidrógeno, 6 de oxígeno y un átomo de nitrógeno. Su peso molecular es de 325,36 Dalton y la temperatura de fusión es alrededor de 200°C. Se conocen más de 350 alcaloides pirrolizidínicos, detectados en alrededor de 6.000 plantas, fundamentalmente de las familias Boraginaceae, Compositae y Leguminosae. Más de la mitad de estos alcaloides son altamente tóxicos (incluye la *monocrotalina*), pero casi todos carcinogénicos. Sus efectos perjudiciales en los organismos vivos se asemejan a los de las micotoxinas (por ejemplo, aflatoxinas).

El siguiente paso de nuestra investigación consistía en aislar la sustancia “X”, en forma pura, y establecer, de manera *confirmatoria*, su estructura química, complementando la información obtenida por espectrometría de masas con los resultados de otras técnicas espectroscópicas. Es como diagnosticar correctamente una enfermedad haciendo diferentes pruebas y análisis clínicos. Sabiendo la naturaleza alcaloidal de la sustancia “X” (presuntamente, la *monocrotalina*), se emprendió el respectivo procedimiento para aislarla y purificar. Cuando se obtuvieron y se purificaron los cristales grisáceos y se hizo

Figura 7.

*Espectro de masas* es una gráfica que relaciona las masas de *iones-fragmento*, productos de disociación de iones moleculares (más exactamente, la relación masa y carga,  $m/z$ ) y su intensidad (cantidad, %); el espectro constituye una representación única de cada molécula (*huella digital*), que la distingue de otras, y permite elucidar su estructura.



su análisis por espectroscopias ultravioleta-visible, infrarroja y de resonancia magnética nuclear, junto con el análisis por difracción de rayos X (cristalografía), no quedó ninguna duda que, efectivamente, la sustancia "X" era la *monocrotalina*. Las intoxicaciones por alcaloides *pirrolizidínicos* —y hasta con desenlaces fatales, tanto en animales como en humanos registrados en la India, Afganistán, Tayikistán— han sido descritas en la literatura científica. En animales domésticos, ganado y aves de corral, dosis muy bajas (1-4 ppm) de alcaloides pirrolizidínicos pueden resultar fatales, sobre todo cuando hay exposición crónica al alcaloide. Los cerdos resultan ser más sensibles a los alcaloides pirrolizidínicos, seguidos de pollos, ganado y caballos. Las ovejas y cabras son casi 200 veces menos sensibles (toleran las dosis más altas) a la acción tóxica de los alcaloides pirrolizidínicos que los cerdos y pollos. En nuestro caso, la causa de la muerte de los pollos ha sido establecida, fue la *monocrotalina*, presente en el alimento concentrado en concentración alta (>5 ppm). Punto. Pero, sigue la duda, porque ¿cómo resultó la monocrotalina en la comida para pollos?, ¿de dónde provino?

La harina de sorgo constituye la base del alimento para aves de corral. Entonces, se prosiguió a analizar el sorgo (granos) que fue usado en la fabricación del alimento concentrado suministrado a los pollos. Los granos de sorgo se sometieron al proceso de extracción por los mismos métodos, descri-

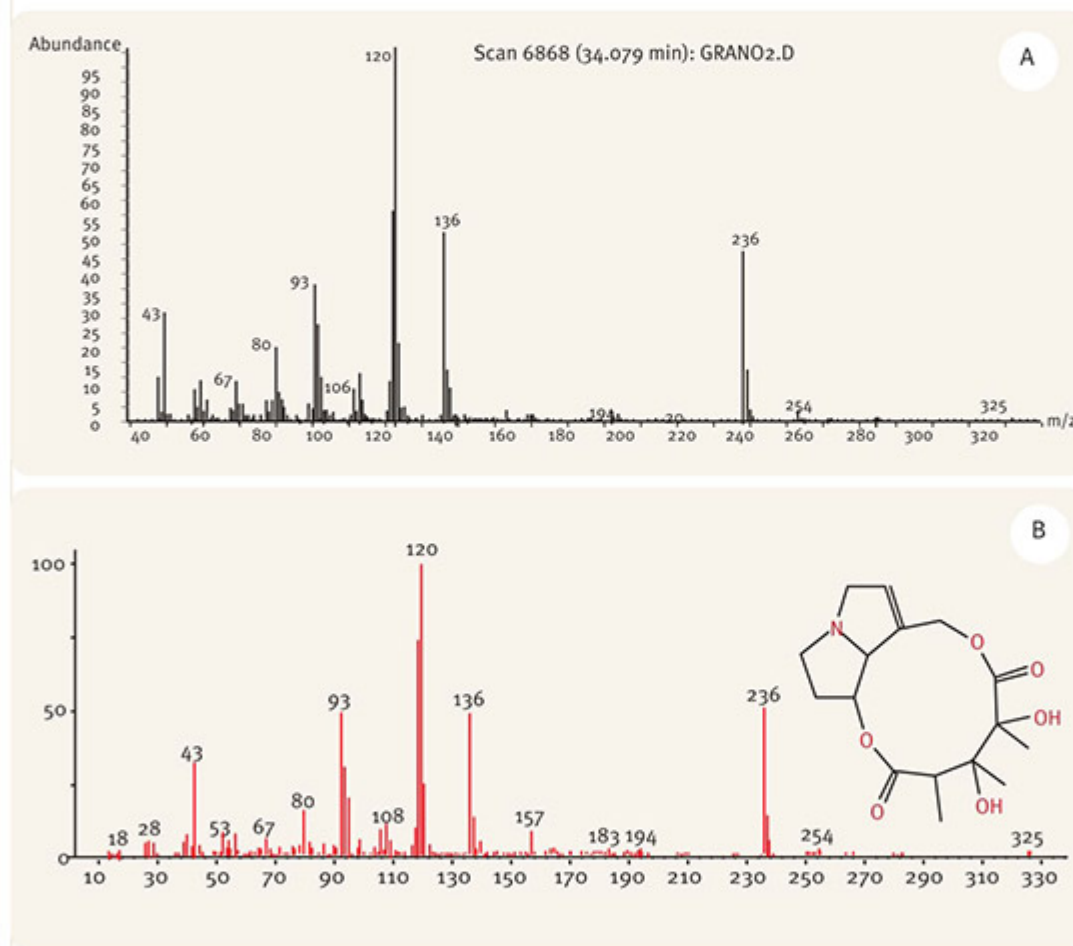


Figura 8.

A. Espectro de masas experimental del compuesto nitrogenado aislado del alimento concentrado para pollos. B. Espectro de masas del alcaloide *monocrotalina* de la base de espectros. Se observa una altísima similitud entre las dos señales espectrales.

tos anteriormente, que se usaron para el alimento para pollos. En ambos extractos, obtenidos con el disolvente (diclorometano) y con el fluido supercrítico (CO<sub>2</sub>), y analizados por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, nuevamente, se detectó la *monocrotalina* en alta concentración. Es difícil creer que los granos de sorgo (*Sorghum vulgare*, familia Poaceae) pudiesen contener el alcaloide, la *monocrotalina*; esta sustancia nunca ha sido descrita como producto del metabolismo secundario de esta especie.

Volvimos a revisar detenidamente los granos de sorgo y nos topamos con una gran sorpresa, porque encontramos en ellos *semillas intrusas*, del mismo tamaño y color, pero de forma muy diferente que

recordaba corazones (Figura 9). Una por una, las semillas intrusas fueron separadas de las del sorgo, y alcanzaron alrededor del 4% de la mezcla. Nuevamente, se hicieron las extracciones, por separado, de granos de sorgo y de las semillas *intrusas*; ambos extractos luego se analizaron. El obtenido de granos de sorgo no contenía el alcaloide; en cambio, la *monocrotalina* predominaba en el extracto de semillas *intrusas*. Otro paso adelante. Supimos ahora que las semillas intrusas fueron la fuente de la *monocrotalina*, pero seguía la pregunta y quedaba por descubrir su procedencia. ¿A qué planta correspondían? Cada nuevo hallazgo generaba una nueva pregunta.

El estudio de la literatura científica revela que los *alcaloides pirrolizidínicos* (la *monocrotalina* pertenece a esta familia) son de amplia distribución en el mundo vegetal; después de la *cafeína*, tal vez, son entre los que más probablemente pueden ser ingeridos con alimentos (contaminación de granos de cereales, remedios herbales e infusiones, fitomedicinas, etc.). Alrededor del 3% de todas las plantas que florecen pueden contener diferentes alcaloides pirrolizidínicos. Sus principales fuentes son plantas de las familias Boraginácea (todos los géneros), Asterácea (tribus Senecioneae y Eupatorieae) y Leguminosas (género *Crotalaria*). En nuestra investigación, quedaba muy difícil sólo con base en las semillas determinar a qué planta pertenecían. No se nos ocurrió nada más que hacer, sino sembrarlas, esperando a que crecieran. Las semillas *intrusas* germinaron pronto, en un par de meses crecieron las plantas (Figura 10) y se pudo entonces elaborar la *exsiccata*, verbigracia, espécimen botánico preparado a partir de la planta seca, substancialmente para su identificación y la deposición, bajo un número de registro (llamado *voucher*), en un herbario. La *exsiccata* se envió al Herbario del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá); el análisis taxonómico reveló que la especie vegetal era *Crotalaria retusa* de la familia Leguminosae.

Muchas leguminosas, y la *Crotalaria retusa* no es la excepción, suelen usarse en la agricultura para mejorar o reconstituir el suelo, ya que son eficientes fijadores del nitrógeno. Pueden sembrarse, crecen, pero luego se retiran antes de que se siembren las especies vegetales de interés (arroz, maíz, sorgo, otros cereales). No se puede descartar, empero, que algunas de estas plantas se queden y se mezclen con las especies vegetales de interés sembradas, por ejemplo, con el sorgo.

Figura 9.

Granos de sorgo utilizados para la preparación del alimento concentrado para pollos. Su análisis detallado reveló la presencia de semillas *intrusas*, parecidas en su tamaño y color, mas no en la forma, a los de granos de sorgo. Las semillas *intrusas* y granos de sorgo se separaron, para someterlos, individualmente, a la extracción y análisis.





Figura 10.

A. Las semillas *intrusas* se aislaron de los granos de sorgo y se sembraron. B. Las semillas pronto se germinaron y dieron origen a las plantas. C. Planta en florecimiento fue identificada como *Crotalaria retusa* (Familia Leguminosae). D. De las plantas *nuevas*, se obtuvieron las semillas, que se sometieron a las extracciones. En los extractos obtenidos, no se detectó la *monocrotalina*, presente en la concentración alta en semillas *intrusas* que contaminaron los granos de sorgo, base de alimento para pollos.

En nuestra investigación, las plantas que nacieron de las semillas *intrusas* crecieron, florecieron, dieron frutos. Es cuando decidimos volver a repetir la extracción de la *monocrotalina* a partir de las semillas nuevas, producidas por las plantas nacidas de semillas *intrusas*, aquellas que contaminaron los granos del sorgo y el alimento para pollos. Todos los procedimientos se repitieron con rigurosa reproducibilidad. Se usaron los mismos disolventes, las mismas manos, los mismos equipos, todo igual. Y, nuevamente, nos esperaba una —esta vez un poco desagradable— sorpresa. En los extractos de las semillas nuevas, obtenidos por los dos métodos diferentes, no se detectó ningún alcaloide. No estaba. Se repetían extracciones, se verificaban las condiciones y los procedimientos, pero nada, los extractos no tenían la *monocrotalina*. Desesperadamente, se volvió a repetir la extracción de las semillas *intrusas* presentes en el sorgo (contra-muestra); todo resultó bien, ahí, en el extracto, estaba presente la *monocrotalina*. Pero en los extractos aislados de las semillas de *Crotalaria retusa*, cultivada a partir de semillas *intrusas*, no hubo ni rastro de la *monocrotalina*. ¿Qué pasó? ¿Cómo explicar esto? Nuevamente, el avance de la investigación generaba más preguntas.

En el mundo vegetal, muchos metabolitos secundarios (terpenos, alcaloides, fenoles, glucósidos, otros) se producen en plantas como una respuesta química a los *cambios ambientales* (temperatura, humedad), la presencia de otras plantas vecinas o el ataque de herbívoros. Muchos mamíferos evitan apostar las plantas que poseen alcaloides pirrolizidínicos; las intoxicaciones, en ellos, surgen generalmente por ingestión accidental de un alimento, contaminado con estas plantas o sus semillas. Los alcaloides pirrolizidínicos juegan también un rol importante en la relación “*planta-insecto*”. Ciertas plantas pueden sintetizarlos en respuesta al ataque de un herbívoro. Los alcaloides juegan el papel de agentes *anti-alimentarios*, es decir, quitan el apetito al herbívoro, lo “indigestan”. La mayoría de los insectos evitan las plantas que contienen alcaloides pirrolizidínicos; sin embargo, varios (por ejemplo, algunas abejas), al contrario, las buscan para acumular estas moléculas en sus abdómenes en aras de beneficio propio, ya que las usan como una herramienta de protección (como veneno) contra sus propios enemigos depredadores.

Conociendo esta intrincada relación que pueden tener plantas con insectos, decidimos ir al campo, al monte, al hábitat natural de nuestra planta, *Crotalaria retusa*, cuyas semillas contaminaron otrora el sorgo e intoxicaron a miles de pollos, porque poseían la mortal *monocrotalina*. Sin embargo, las plantas de nuestra *Crotalaria retusa*, cultivadas a partir de las semillas “pirrolizidínicas”, crecieron en condiciones especiales, protegidas, en una parcela experimental en la universidad, bien cuidadas por

los químicos-investigadores. Las semillas, producidas de nuestras plantas cultivadas, resultaron libres de los alcaloides tóxicos. Por ello, era necesario saber cómo es la vida de esta planta, *Crotalaria retusa*, en condiciones naturales, junto a otras plantas y rodeada de insectos, herbívoros y depredadores.

En el campo, en los caminos montañosos, encontramos varios especímenes de nuestra *Crotalaria retusa*; pero también otras plantas pertenecientes a este género, entre ellas, *Crotalaria spectabilis*. La mayoría de ellas estaban fuertemente afectadas por herbívoros; sus hojas, con múltiples orificios, huecas (Figura 11).



Foto: © Elena E. Stashenko

Figura 11.

A. Planta de *Crotalaria retusa* cultivada en la parcela experimental de la universidad. B. *Crotalaria retusa* encontrada en su hábitat natural, afectada por herbívoros (orugas).

Pronto, encontramos dos tipos de orugas (de las familias Arctiidae y Notodontidae, tentativamente), que con avidez devoraban las hojas de *Crotalaria*. Capturamos varios de estos insectos y los llevamos a la parcela experimental de nuestras plantas de *Crotalaria*, aún intactas, cultivadas a partir de las semillas *intrusas* encontradas en el sorgo. Las orugas, traídas del campo, no se hicieron de rogar, se acomodaron y rápidamente empezaron a devorar las hojas de *Crotalaria*. Al día siguiente, el material vegetal (hojas, tallos y semillas) se sometió —por separado cada parte de la planta— al proceso de extracción. La *monocrotalina* apareció en todos los extractos, lo que confirmó la hipótesis sobre la síntesis de esta molécula inmediatamente después del asalto a la planta por los herbívoros (Figura 12).

Los herbívoros atacan la planta. La planta se defiende. Produce sus propias armas moleculares, los alcaloides, en el caso de *Crotalaria retusa*, *pirrolizidínicos*; más concretamente, la *monocrotalina*, que es una sustancia muy tóxica. Resultaron claros el origen de la *monocrotalina* y el porqué de la muerte masiva de los pollos, provocada por este alcaloide presente en el alimento (concentrado) a base de sorgo. En el campo, antes de sembrar el sorgo y con el propósito de mejorar las características del suelo y adecuarlo, se siembran las leguminosas (muchas, son excelentes fijadores de nitrógeno) y, entre éstas, la *Crotalaria retusa*. Luego, estas plantas se retiran, pero tal vez algunas se quedaron en el campo, y produjeron frutos, cuyas semillas se mezclaron con las del sorgo cosechado y usado luego para preparar el alimento para pollos. Todo parece indicar que la *Crotalaria retusa*, infortunadamente, fue afectada en el campo por herbívoros (quizás, orugas); luchó para sobrevivir y sintetizó en sus entrañas a la *monocrotalina*. El contenido de la *monocrotalina*, que se distribuye por toda la planta, es más alto en las semillas, en donde puede alcanzar hasta el 6% de su peso.

Bueno, en esta historia “química” se contestaron muchas preguntas. Pero ello no significa que no haya más interrogaciones... Por ejemplo: ¿Qué provoca o cataliza la síntesis de la monocrotalina en la planta? ¿Cuál es su mecanismo? ¿La monocrotalina u otros alcaloides pirrolizidínicos en las plantas sólo se producen bajo el ataque de herbívoros, o existen otros factores que condicionan su aparición? ¿De qué depende su concentración? Y siguen las interrogaciones. La ciencia existirá siempre, mientras viva la curiosidad, sigan las preguntas y los químicos se esfuercen en buscar y encontrar las respuestas.

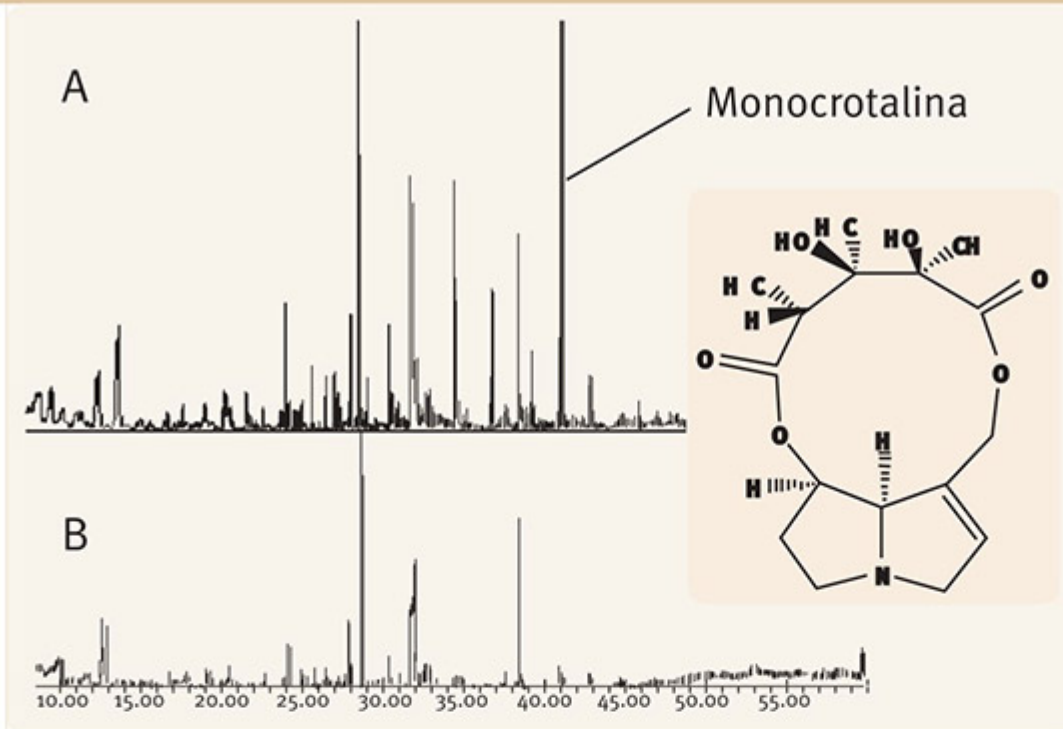


Figura 12.

A. Cromatograma típico del extracto obtenido de plantas de *Crotalaria retusa*, afectada por los herbívoros (orugas). Se observan los picos correspondientes a la *monocrotalina* y otros alcaloides pirrolizidínicos. B. Cromatograma típico del extracto de la planta de *Crotalaria retusa*, cultivada en la parcela experimental de la universidad y protegida de los ataques de insectos. En el extracto, no se detectaron los alcaloides pirrolizidínicos.

## Acordes finales

Los productos “*sin químicos*” no existen. Las *sustancias químicas* conforman todo lo que nos rodea, incluyendo a nosotros mismos. El agua es una sustancia química. Un medicamento *sin químicos* (propagandas habituales por la radio o en televisión) no puede existir. Su masa sería cero. Un cultivo de plantas *sin químicos* es un absurdo. El suelo mismo es un mar de sustancias químicas. Los abonos o fertilizantes “*orgánicos*” o “*naturales*”, productos de compostaje o lombricultura, son mezclas complejas de sustancias químicas. La vida es una permanente transformación química. No *todas* las sustancias *artificiales* o sintéticas, creadas en los laboratorios donde trabajan los químicos (profesionales que estudiaron la Química) serán malas, tóxicas o pueden afectar nuestra salud; tampoco *todas* las sustancias *naturales* serán —por defecto— benévolas e inocuas. La *monocrotalina* es una de muchas *sustancias naturales* con la cual hay que tener cuidado, ya que puede aparecer en la leche, en la miel, en un alimento a base de granos o cereales, en una infusión de plantas medicinales o en un té herbal (Figura 13), proveniente de aquellas plantas que eventualmente la pueden sintetizar con fines de su adaptación a condiciones externas, generalmente adversas. Los *químicos* son indispensables para revelar la existencia de estas poco amigables —para seres vivos— moléculas *naturales*, que seguirán existiendo en el mundo vegetal, y que en ningún caso debemos ingerir.

## Aplausos

Sinceras gracias y admiración para mis alumnos, hoy en día profesores y excelentes profesionales, los químicos Wilman Delgado, Teresa Álvarez, William Salgar y Deyanira Caballero; con ellos, juntos, encontramos la respuesta del porqué de la muerte masiva de los pollos en las granjas avícolas cerca a una montañosa y acogedora ciudad colombiana.



Figura 13.

Las infusiones o tés herbales, las decocciones de plantas medicinales, fitomedicinas, deberían ser revisadas para la presencia de *alcaloides pirrolizidínicos*, sustancias naturales, pero tóxicas, con propiedades carcinogénicas, provenientes de algunas plantas que las pueden sintetizar como la reacción química al ataque de herbívoros.

## Algunas referencias bibliográficas

- Mellon, F.A., Self R., Startin, J. R. (2000), Mass spectrometry of natural substances in food, *RSC*, Cambridge, 299 pp.
- Pilbeam, D.J., Lyon-Joyce, A.J. (1983), Occurrence of the pyrrolizidine alkaloid monocrotalina in *Crotalaria* seeds, *Journal of Natural Products*, Vol. 46, N°5, 601-605.
- Smith, L.W. and Culvenor, C.C.J. (1982), Plant sources of hepatotoxic pyrrolizidine alkaloids, *Journal of Natural Products*, Vol. 44, N°2, 129-152.
- Stegelmeier, B.L., Edgar, J.A., Colegate, S.M., Gardner, D. R., Schoch, T. K., Coulombe, R.A., Molyneux, R. J. (1999), Pyrrolizidine alkaloid plants, metabolism and toxicity, *Journal of Natural Toxins*, Vol. 8, N°1, 95-116.
- Watson, D.H. (1988), *Natural toxicants in food*, Sheffield Academic Press, 335pp.

# SUSCRIBASE A LA REVISTA **Innovación y Ciencia**



La Revista *Innovación y Ciencia* cuenta desde su aparición en octubre de 1992, con una gran acogida por parte del público y se ha convertido en un valioso instrumento de capacitación y actualización para sus lectores. El lenguaje divulgativo con que se tratan los temas científicos ha despertado entusiasmo palpable por la ciencia y sus aplicaciones. Está dirigida a empresarios, profesionales, científicos, docentes y estudiantes y, en general, a todos los lectores no especializados que buscan un tratamiento serio, ameno y accesible de temas científicos y tecnológicos de actualidad.

**VALOR DE LA SUSCRIPCIÓN POR UN AÑO PARA FUERA DE BOGOTÁ**  
**\$55.000 INCLUYE COSTO DE ENVÍO**

**VALOR DE LA SUSCRIPCIÓN POR UN AÑO PARA BOGOTÁ**  
**\$50.000 INCLUYE COSTO DE ENVÍO**

**CONSIGNACIÓN EN: BANCO DE OCCIDENTE CUENTA DE AHORROS N° 26880746 – 8, A NOMBRE DE LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA, SOLICITAMOS ENVIAR COPIA DE LA CONSIGNACIÓN CON EL SELLO DEL BANCO LEGIBLE AL TELEFAX (1) 221 9953**

**USTED PUEDE CANCELAR TAMBIÉN CON TARJETA DÉBITO O CRÉDITO,  
SIMPLEMENTE NOS ENVÍA UN CORREO HACIÉNDONOSLO SABER.**

**INFORMES**

Tel: 221 4631 - 315 0734



**PUBLICACIÓN DE LA**

Asociación Colombiana

**HELENA GROOT DE RESTREPO**  
DIRECTORA, LABORATORIO DE GENÉTICA  
HUMANA, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.

[hgroot@uniandes.edu.co](mailto:hgroot@uniandes.edu.co)

**DIANA M. NARVÁEZ**  
ASISTENTE DE INVESTIGACIÓN,  
LABORATORIO DE GENÉTICA HUMANA.

[di-narva@uniandes.edu.co](mailto:di-narva@uniandes.edu.co)

**MARÍA DEL PILAR MIRANDA**  
ESTUDIANTE DE MAESTRÍA,  
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.

[md.miranda45@uniandes.edu.co](mailto:md.miranda45@uniandes.edu.co)



Química  
y Genética:  
inseparables  
en la  
función  
del ADN

La química y la genética son áreas del conocimiento que se han desarrollado de manera independiente, pero cuyos caminos se han entrecruzado constantemente, principalmente cuando se piensa en la función del ácido desoxirribonucleico (ADN). Cabe preguntarse: ¿Es posible separar la química de la genética, o es posible hablar sobre cómo se transmite el mensaje hereditario, o cómo se llevan a cabo las funciones vitales, sin pensar cómo es esa molécula tan maravillosa que cumple con tan formidables tareas? Presentamos un recuento de algunos de los puntos en donde estas dos ciencias se convierten en una sola.

## Orígenes de la genética y la química

Las primeras observaciones sobre los efectos de la genética datan desde la antigüedad. Es así como las malformaciones congénitas fueron documentadas en el arte, en la mitología, e incluidas en las religiones de antiguas civilizaciones como la babilónica, la griega, la romana, la egipcia y la tolteca; a veces como dioses y a veces como personajes mitológicos: cíclopes o sirenas. Aunque, desde un principio, la semejanza entre padres e hijos era evidente, la primera teoría de la herencia fue propuesta por Hipócrates (460AC - 360AC), quien planteó que el semen contenía elementos de todas las partes del cuerpo y se desarrollaba en el útero de la mujer. Respecto a las malformaciones congénitas, la primera persona que hizo un planteamiento acertado fue Aristóteles (384AC - 322AC), quien las estudió cuidadosamente, y en su texto *De generatione animalium* planteó “..Las malformaciones ocurren contrarias a un orden particular, pero nunca ocurren al azar, y por lo tanto, aquello que parece contrario a la naturaleza, está de acuerdo con ella”. También observa que “...de los discapacitados nacen discapacitados y de los ciegos nacen ciegos....”.

Asimismo, en la Edad Media, eruditos como San Alberto Magno (1207 - 1280), Roger Bacon (1214 - 1294) y Santo Tomás de Aquino (1205 - 1274), entre otros, formularon hipótesis sobre el posible origen de las malformaciones congénitas interpretándolas como mensajes religiosos o moralizantes, en donde se asociaba la malformación con conductas diferentes. Por ejemplo, una cabeza más pequeña que la normal, con la humildad y el gigante con el orgullo. Los planteamientos mencionados anteriormente fueron la base de las teorías de la herencia que predominaron durante mucho tiempo, donde se sospechaba que los organismos estaban creados en miniatura, se desarrollaban y crecían.

Al igual que la genética, la química empezó a utilizarse de manera empírica. Desde la edad de bronce (3300AC - 1200AC), se empezaron a transformar y manipular los metales, pero los principios para el estudio de la química los propusieron filósofos griegos como Tales de Mileto (aprox. 640AC - 546AC), Anaxímenes (570AC), Heráclito (540AC - 475AC), Pitágoras (582AC - 497AC), Empédocles (490 - 430AC) y Aristóteles. Estos filósofos se preguntaron: ¿cuál es la naturaleza de las sustancias, qué es lo que les permite cambiar o transformarse? ¿Son diferentes sustancias o es una sola que las compone a todas? Aristóteles propuso la teoría más aceptada, al decir que la materia estaba compuesta por agua, aire, fuego, tierra y éter, pero todas estas eran diferentes formas de una materia original. Cuando Alejandro Magno conquistó el Imperio Persa, los conocimientos en química aplicada de los egipcios y las teorías filosóficas de los griegos se fusionaron, dando origen al arte de la *kheimeia*, que se basaba en la teoría aristotélica para buscar cómo transformar diferentes metales en oro (300AC). Cuando los árabes se apropiaron de ese conocimiento dieron origen a la *al-kimiya* o alquimia que predominó durante dos mil años (300AC - 1600DC), al desarrollar procedimientos y evidenciar fenómenos que dieron inicio al estudio de la química en el siglo XVII.

## La química y la vida se encuentran por primera vez

En los siglos XVIII y XIX hubo un rápido desarrollo de la química inorgánica, la química analítica, y la fisicoquímica, pero los compuestos obtenidos a partir de la materia viva no cumplían las mismas reglas. Fue sólo hasta el siglo XIX que se describieron los azúcares simples (1812), los aminoácidos (1820) y los ácidos grasos (1809); y en 1861 el químico alemán Friedrich August Kekulé von Stradonitz, quien

estudió en la Universidad de Guissen con Justus von Liebig, el más grande de todos los químicos orgánicos, definió la química orgánica estructural como la química de los compuestos del carbono.

## El mundo microscópico

El invento del microscopio, a inicios del siglo XVII, abrió las puertas para el descubrimiento de nuevas estructuras y organismos que sólo fueron observables gracias a instrumentos como éste, y nace, entonces, el mundo microscópico y el mundo microbiológico. Robert Hooke (1665), gracias al microscopio, observó las pequeñas celdas que componían el corcho y, por primera vez, utilizó el término célula. A mediados del siglo XVII, por la misma época, Anton van Leeuwenhoek mejoró el microscopio y describió pequeños organismos unicelulares que se denominaron “*animaluculos*”, hoy en día, microorganismos. A principios de 1840, Karl Wilhelm von Nägeli observó los cromosomas en células de plantas y, simultáneamente, Edouard van Beneden los observó en animales. El papel de la célula se dilucidó a partir de las investigaciones del fisiólogo Theodor Schwann (1847), el botánico Mathias J. Schleiden y Rudolph Virchow (1858), las cuales aportaron información que finalmente dio origen a la *teoría celular*, que reconoce que cada célula individual posee vida, que cada animal es la suma de unidades vitales, y que cada célula posee todas las características para producir vida.

A mediados del siglo XIX, Louis Pasteur, importante científico francés, con sus trabajos en química y cristalografía, dio origen a la ciencia de la estereoquímica. Adicionalmente, sus estudios sobre los procesos de fermentación de la materia orgánica demostraron que ésta se daba gracias a la acción de microorganismos que provenían del polvo en el aire; describió que este fenómeno ocurría gracias a una fuerza que sólo estaba en los seres vivos y que, posteriormente, fue denominada enzima.

El estudio de las enzimas dio origen a la bioquímica, que es el estudio de la estructura, organización y funciones de la materia viva en términos moleculares. La eliminación de microorganismos, mediante el calentamiento y enfriamiento sucesivo y controlado de los alimentos, evitaba que la fermentación ocurriera, proceso muy importante para la conservación de alimentos, que se conoce hoy en día, de forma muy acertada, como “pasteurización”. De esta manera se tiene evidencia que la teoría de la generación espontánea (la vida puede surgir espontáneamente de la materia inerte) era errónea. Con Pasteur, se demuestra que la unión entre los conceptos químicos y biológicos es de gran utilidad para explicar los fenómenos de la naturaleza. Este hecho ha logrado calificar a Pasteur como uno de los investigadores más renombrados en la ciencia y en la microbiología en particular.

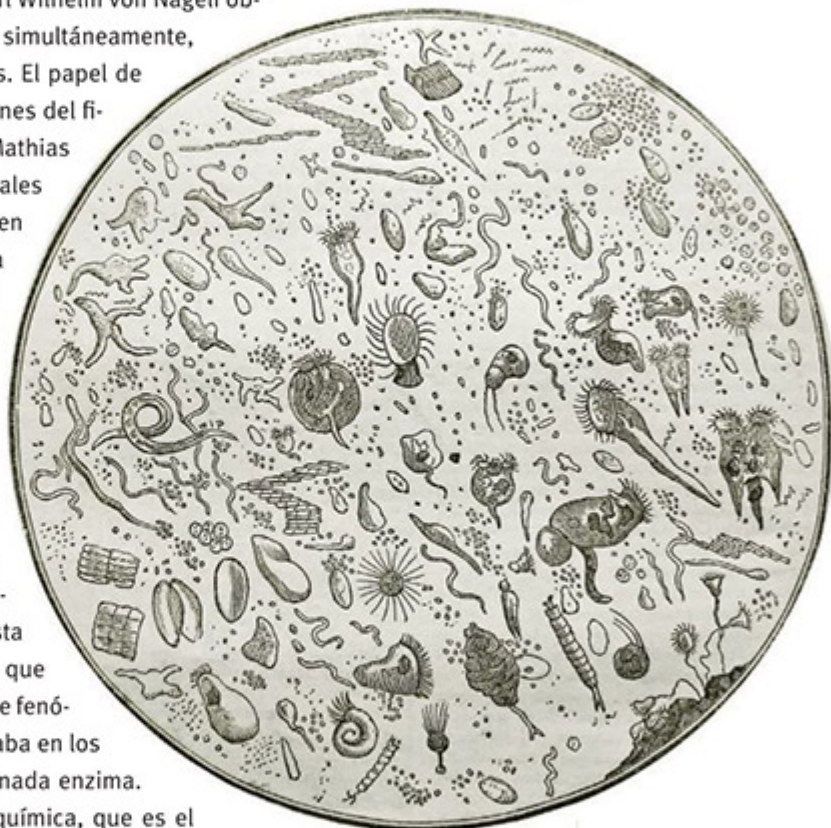


Figura 1.

Variedad de *Animaluculos* en una gota de agua. Tomado de *El Instructor o Repertorio de Historia, Bellas Letras y Artes*

Toma V. Londres: En casa de Ackelman y Compa. Repositorio de Artes, 96, Strand. 1838

## Gregor Mendel y la herencia

Los principios de la herencia, aunque no se comprendían con mayor detalle, fueron utilizados a lo largo de la historia para mejorar los cultivos y razas de animales. Las observaciones del mejoramiento de las ra-

zas, entre otras, fueron fundamentales para que Charles Darwin propusiera la teoría de selección natural como mecanismo de evolución en su libro *El origen de las especies* (1859). La teoría de Darwin dependía de la variación entre individuos de la misma especie para que el mecanismo de selección pudiera actuar, pero esta variación debía ser heredable. Por tal razón, Darwin propuso la teoría de *pangénesis*, donde tanto el padre como la madre producían *gémulas* que se mezclaban dando origen al embrión; de tal forma que, si una planta de flor roja se cruzaba con una amarilla, la descendencia debía ser de color naranja.

Mientras Darwin describía su teoría de la evolución, el monje austriaco Gregor Mendel (1822 - 1884) cultivaba guisantes en el jardín de un monasterio en Moravia (hoy República Checa). Al observar las características morfológicas de las plantas, se dio cuenta que la descendencia de un parental con semilla rugosa y uno con semilla lisa producía, en la primera generación, únicamente semillas lisas; pero si cruzaba entre sí la primera descendencia (F1), en la segunda descendencia (F2) aparecían semillas lisas y rugosas, siempre en las mismas proporciones. Esto, sumado a cruzar otras características en forma simultánea, le permitió definir que los caracteres se encuentran en pares, se reciben por partes iguales de los organismos parentales, se heredan de manera discreta e independiente y no como una mezcla, y que existen características que predominan sobre otras, dominantes y recesivas. De esta manera, quedan planteados los principios de la herencia. Estos argumentos, en su momento, no fueron aceptados por la comunidad científica, y fueron redescubiertos y aceptados hasta muchos años después.

## Mendel tiene la razón

En el año 1900, los resultados del trabajo de Mendel fueron repetidos independientemente por los botánicos alemanes Hugo de Vries y Carl Correns, y por el austriaco Erich von Tschermak, quienes le dieron crédito a sus investigaciones y confirmaron su teoría. Dentro de este contexto, Walter Sutton (1902), relaciona las leyes de Mendel con el comportamiento de los cromosomas durante la formación de las células sexuales o gametos, durante el proceso de meiosis, y confirma que los cromosomas se encuentran en pares, cada uno heredado de cada progenitor, y se separan uno del otro durante la formación de los gametos. Quedan entonces confirmadas las "Leyes de Mendel". Sutton, junto con Theodor Boveri, proponen que los "factores" mendelianos se encuentran en los cromosomas, y se origina la teoría cromosómica de Sutton-Boveri. En 1906, el inglés William Bateson presentó la palabra *genética* para denominar la ciencia naciente. Fue así como, en 1909, el botánico danés Wilhelm Johannsen propuso la palabra *genes* para denotar los "factores" de Mendel.

## La química explica la genética

El primer vínculo entre la genética y la bioquímica se dio a principios del siglo XX, cuando Sir Archibald Garrod describe la *alcaptonuria*, la primera enfermedad de origen genético. Descubrió que las personas que la sufren no tienen la capacidad de metabolizar algunas sustancias químicas, en este caso la tirosina y la fenilalanina, y que esta enfermedad congénita se hereda de manera recesiva, es decir que no se manifiesta en todas las generaciones, de la misma manera como Mendel había descrito las características recesivas de los guisantes de jardín en sus experimentos. Esta teoría fue corroborada por George Beadle y Eduard Tatum en 1941 y dio origen a la bioquímica genética.

Si bien ya se había descrito la asociación entre las enfermedades bioquímicas y la herencia, aún se desconocía el mecanismo que las unía, y mucho menos el mecanismo por el cual se transmitía la información. La búsqueda de la

molécula responsable de esto llevó el estudio de la genética al campo de la química analítica y orgánica.

...Sir Archibald Garrod describe la *alcaptonuria*, la primera enfermedad de origen genético. Descubrió que las personas que la sufren no tienen la capacidad de metabolizar algunas sustancias químicas, en este caso la tirosina y la fenilalanina, y que esta enfermedad congénita se hereda de manera recesiva.



Figura 2.

Gregor Mendel.  
República Checa  
(1822 - 1884).

Años atrás (1869), el médico suizo Friedrich Miescher realizó estudios para determinar la composición química de las células, y para esto trabajó inicialmente con glóbulos blancos obtenidos de los vendajes de los heridos en guerra. Gracias a sus conocimientos en técnicas de química orgánica, descubrió una sustancia diferente a las proteínas (que para la época eran el blanco importante para comprender el funcionamiento celular). Esta sustancia se precipitaba en una solución ácida y se disolvía nuevamente en condiciones alcalinas con propiedades diferentes a las proteínas. Como la nueva sustancia se encontraba en el núcleo de las células, Miescher la llamó *nucleína*. La *nucleína*, además, presentaba un alto contenido de fósforo y podía encontrarse en células de otro tipo de tejido, lo que sugirió que su presencia estaba más relacionada con la función fisiológica del núcleo, que con su morfología. Así mismo, en 1881, E. Zacharias estudió la composición química de los “pequeños hilos que bailaban dentro del núcleo en células en división” (hoy día los cromosomas), y logró establecer una relación entre las observaciones citológicas y la bioquímica. Las propiedades ácidas de la *nucleína* fueron demostradas en 1889 por el patólogo alemán Richard Altmann, quien le cambia el nombre al de *ácido nucleico*. Alrededor de 1882 el médico alemán Walther Flemming, quien estudiaba el comportamiento de la estructura nuclear durante la mitosis, observó, mediante la tinción de la célula, la existencia en el núcleo de estructuras en forma de cintas, que absorbían fuertemente el colorante. Estas estructuras se denominaron *cromosomas* (del griego, cuerpos con color); y la sustancia que los componía, *cromatina*, de donde se concluye que la nucleína es la misma cromatina.

En la primera mitad del siglo XX, Phoebus Levene demostró que los ácidos nucleicos estaban formados por dos azúcares —la ribosa y la desoxirribosa—, el ácido fosfórico y cuatro bases nitrogenadas —

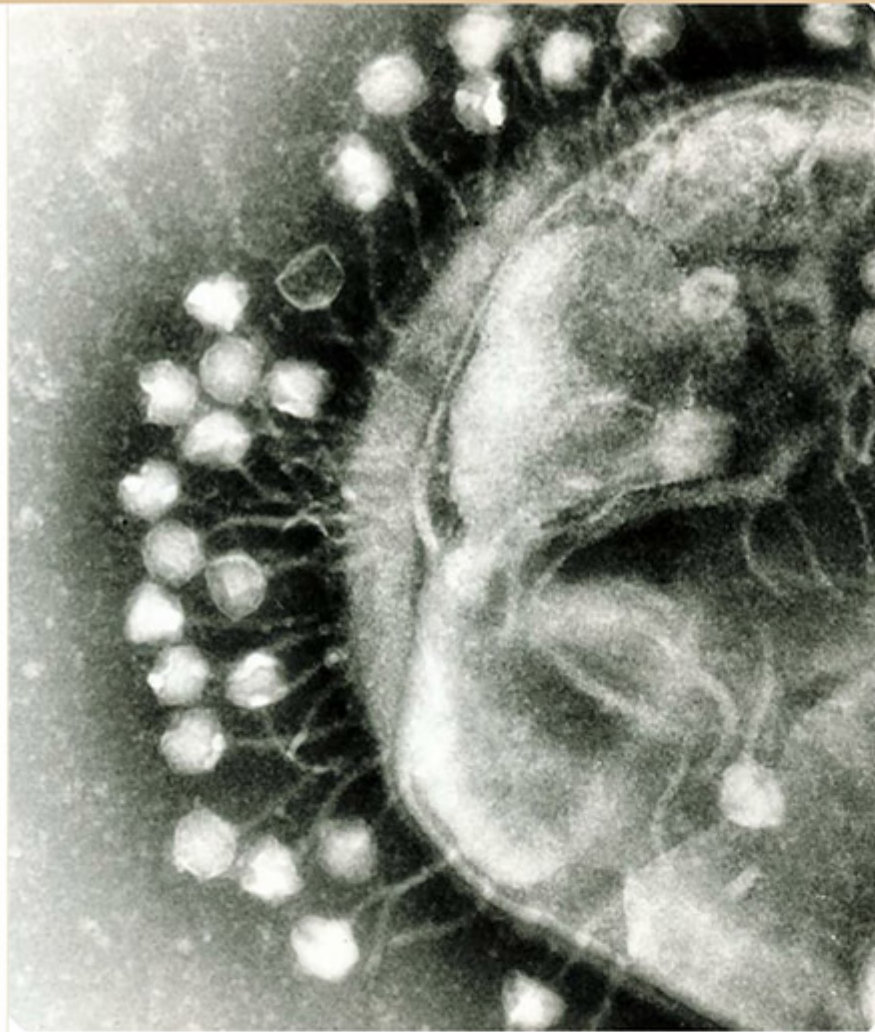


Figura 3.  
Observación  
de una bacteria  
por Alfred Hershey  
y Martha Chase  
en 1952.

Chargaff estudió las bases nitrogenadas, con ayuda de la cromatografía en papel y la espectrofotometría, y estableció que la cantidad de adenina era igual a la de timina y la cantidad de guanina a la de citosina. Sin embargo, la evidencia proporcionada por Avery y colaboradores no fue suficiente, y pasaron ocho años hasta que Alfred Hershey y Martha Chase, en 1952, confirmaron que es el ADN, y no las proteínas, la molécula encargada de transmitir la información genética.

## El secreto de la vida

Con el conocimiento del ADN como la molécula responsable de transmitir el mensaje hereditario, se inicia una gran carrera para conocer su estructura, y para definir cómo debería estar constituida para cumplir con esa función: las piezas listas para armar el rompecabezas, y veamos cómo se logró. Uno de los más probables candidatos para ganar la carrera era Linus Pauling, renombrado químico estructural del Caltech (California Institute of Technology), quien aplicó los principios de la química cuántica y la química orgánica e inorgánica al estudio de la estructura y la interacción de las moléculas. En 1934 realizó trabajos para analizar la estructura molecular de las proteínas y propuso que sus cadenas se doblaban de forma helicoidal. En febrero de 1953, Pauling propone un modelo para el ADN de tres hélices, con los grupos fosfato y azúcares dirigidos hacia el centro de la estructura, el cual era erróneo puesto que, si esto era verdad, la molécula perdía sus propiedades ácidas. Al gran químico del momento se le escapó ese detalle.

Por otro lado, la física también participa en este proceso al solucionar el siguiente problema técnico: muchas de las características de una macromolécula como el ADN se pierden al degradarla, y para determinar su estructura debe estudiarse, sin deteriorarla, en su forma intacta. La *cristalografía*

dos purinas, adenina y guanina, y dos pirimidinas, timina y citosina—. A partir de este descubrimiento, Levene propuso un modelo para la conformación del ácido nucleico: el tetranucleótido plano, el cual resultó en una estructura rígida e invariable. Estas características lo descartaron totalmente como la molécula encargada de la herencia, lo que enfocó nuevamente las investigaciones en las proteínas y no en el ácido nucleico. Fue hasta 1944 que los inmunquímicos estadounidenses Oswald Avery, Colin McLeod y Maclyn McCarty, basados en los experimentos del microbiólogo británico Frederick Griffith sobre el *principio transformante* en neumococos (1928), demostraron que era el ácido desoxirribonucleico (ADN), y no las proteínas, el que transmitía las características de una cepa a la otra, y sugirieron al ADN como la molécula encargada de transmitir el mensaje hereditario.

Asociados a los estudios sobre la función del ADN en la herencia, se continuaron paralelamente los estudios sobre su composición química. Entre 1949 y 1950 el bioquímico estadounidense Erwin

de rayos X —paso de un rayo fino de rayos X a través de un cristal de la sustancia bajo análisis, el cual interactúa con los átomos del cristal, y reemerge en un patrón complejo de rayos que son capturados en una película fotográfica— solucionó el problema. Entran en escena, entonces, el laboratorio *Cavendish* de la Universidad de Cambridge, donde se utilizaba esta técnica para el estudio de la estructura de proteínas, y el laboratorio del *King's College* de Londres, donde se estudiaba la estructura del ADN en su forma cristalina.

Para ese entonces, el físico británico Francis Crick y el biólogo estadounidense James Watson, en el laboratorio Cavendish, retomaron sus estudios sobre la estructura del ADN. Se basaron en la información obtenida en el trabajo de Chargaff, sobre la cantidad de purinas y pirimidinas, y las imágenes del espectro de difracción de rayos X obtenidas por los físicos Maurice Wilkins y Rosalind Franklin del King's College de Londres. Ya en 1951, Franklin y Wilkins tenían información que apuntaba a la estructura helicoidal de la molécula, en la que el grupo fosfato y el azúcar se disponían hacia el exterior y las bases nitrogenadas hacia el interior. Finalmente, en febrero de 1953, Watson y Crick definen cómo es la estructura del ADN al proponer una doble hélice, y no una triple cadena como lo había propuesto anteriormente Pauling, e inmediatamente van a celebrar a su taberna favorita *Eagle's Pub* el acontecimiento, y brindan por haber descubierto el “secreto de la vida”. El 25 de abril de 1953, publican en la revista *Nature* “La estructura molecular de los ácidos nucleicos”, en donde se propone un modelo de dos cadenas helicoidales opuestas, unidas por enlaces fosfodiéster. En este modelo, los grupos fosfato están en el exterior de la hélice y las bases se ubican al interior; son las bases nitrogenadas las que unen las dos cadenas apareadas complementariamente: adenina con timina y guanina con citosina; y con esta estructura se sugiere inmediatamente el mecanismo de copia del material genético. Queda, entonces, establecida cómo es la estructura molecular del ADN, y cómo estas ciencias —la química, la genética y la física— jugaron un papel definitivo para encontrarla.

## Literatura Consultada

- Brenner, S. (2006), *Mi vida en la ciencia*, Valencia, Sin Fronteras.
- Campbell-Brown, J. (1913), *A history of Chemistry: from the earliest times till the present day*, Londres, Kessinger Publishing.
- Charlesworth, B. y Charlesworth, D. (2009), Darwin and genetics, *Genetics* 183: 757-766.
- Cohen, E. (1999), *The art of genes: how organisms make themselves*, Oxford, University Press.
- Crow, E.W. y Crow, J. (2002), 100 years ago: Walter Sutton and the Chromosome, *Genetics* 160: 1-4.
- Dahm, R. (2005), Friedrich Miescher and the discovery of DNA, *Developmental Biology* 278: 274-288.
- Darwin, C. (1998) *The origin of species*, Oxford, University Press.
- Hill, R. y Needham, J. (1970), *The Chemistry of life: eight lectures on the history of biochemistry*, Londres, Cambridge University Press.
- Kotsias, B.A. (2003), The jubilee of double helix discovery, *Medicina (B. Aires)* 63(5): 447-449.
- Kunze, J. y Nippert, I. (1986), *Genetics and malformations in art*, Berlín, Grosse Verlag.
- Lorentz, C.P., Wieben, E.D., Tefferi, A., Whiteman, D.A. y Dewald, G.W. (2002), Primer on medical genomics part I: History of genetics and sequencing the human genome, *Mayo Clinic Proc* 77 (8): 773-782.
- Morrison, R.I. y Boyd, R.N. (1966), *Organic Chemistry*, Boston, Allyn and Bacon.
- Nebert, D.W., Zhang, G. y Vesell, E.S. (2008), From human genetics and genomics to pharmacogenetics and pharmacogenomics: past lessons, future directions, *Drug Metab Rev* 40(2): 187-224.
- Newman, W.R. y Principe, L.M. (1998), Alchemy vs. Chemistry: the etymological origins of a historiographic mistake, *Early Science and Medicine* 3 (1): 32-65.
- Redgrove, S.H. (1922), *Alchemy: ancient and modern*, Londres, William Rider & Son.
- Watson, J.D. y Crick, F.H.C. (1953), Molecular structure of nucleic acids, *Nature* 4356(171): 737-738.

Historia de la Química

# Viejos y nuevos compromisos de la Química: Fragmentos de una historia

GERMÁN CUBILLOS ALONSO  
EDITOR INNOVACIÓN Y CIENCIA  
[gercubillos@hotmail.com](mailto:gercubillos@hotmail.com)



## Introducción

Ya han pasado algo más de dos siglos de la presencia de la química científica en la cultura occidental. Particularmente en la segunda mitad del siglo XX y en la primera década del actual, a pesar de todas las respuestas que la Química ha ofrecido para el bienestar de la humanidad, son los efectos negativos de su presencia social los que más se han querido destacar. Es frecuente que cuando se promocionan, por ejemplo, medicamentos homeopáticos se destaque que son productos naturales, por lo tanto que hay en ellos ausencia total de productos químicos sintéticos, así como también, cuando se promocionan los productos agrícolas llamados “orgánicos”, lo que se destaca es que se obtienen mediante técnicas agrícolas que no utilizan fertilizantes ni plaguicidas químicos. Es decir, la Química y sus productos son el enemigo. Según sus críticos, la Química ha sido siempre la aliada de la guerra y la responsable de riesgos fundamentales para la subsistencia de la especie humana en este planeta como los agujeros de la capa de ozono, el calentamiento global, y, en general, la principal responsable de la contaminación ambiental.

En realidad, gran parte de las críticas provienen de una imagen de la ciencia que no corresponde con su verdadera esencia. La ciencia, en general, no produce resultados finales de un día para otro sino que es un largo proceso de generación de saberes que se corrigen con el paso del tiempo, pues las “verdades” de la ciencia son apenas verdades hipotéticas que pueden tener vigencia por un tiempo para ser revaluadas posteriormente a partir de nuevas investigaciones. La Química es una ciencia, por lo tanto lo que hoy sabemos los químicos es distinto de lo que sabían en el siglo XIX y de lo que sabrán los del siglo XXIII. La química no solamente produce nuevas sustancias y descubre nuevos procedimientos para la producción de materiales necesarios en otros sectores de la industria, sino que produce nuevos conceptos y teorías que se integran al cuerpo total de la ciencia. Para los químicos, la Química es otra cosa.

La química es sin duda la mejor herramienta con la que hoy contamos para enfrentar lo que seguramente serán algunos de los grandes problemas del siglo XXI: la escasez de alimentos, la aparición de nuevas enfermedades, el agotamiento de las fuentes de energía convencionales y el deterioro del ambiente. En esta labor, sus alianzas con la biología y la física serán indispensables (Talanquer, V., 2011).

Además, es fundamental reconocer que los resultados de la aplicación de la ciencia no dependen solo de la ciencia sino de lo que las sociedades decidan hacer con ella. Los científicos con sus actuaciones ceñidas a la ética, la lógica y la corroboración, los estados con la legislación adecuada y una política coherente, los industriales comprometiéndose con una producción limpia y la sociedad en general estableciendo un control sobre los impactos de la ciencia.

Dentro de este contexto vamos a recorrer algunos fragmentos del desarrollo de la Química, desde el siglo XVIII hasta nuestros días, destacando sus compromisos y las respuestas que han contribuido a configurar el mundo moderno y contemporáneo que conocemos.

## Siglos XVII y XVIII

En los siglos XVII y XVIII el principal compromiso de la Química fue constituirse como ciencia, establecer las primeras leyes y los primeros conceptos sobre los cuales construir el edificio. Indudablemente, el descubrimiento del oxígeno, independientemente de si se le atribuye al inglés Joseph Priestley, al sueco Carl Wilhelm Scheele o al francés Antoine Laurent Lavoisier, fue el punto crucial en ese proceso. Conceptualmente se puede afirmar que fue Lavoisier quien se lo inventó para la Química, pues al ponerlo en el centro de su sistema químico y establecer las reacciones que podía tener con metales y no

metales para obtener óxidos, ácidos, bases y sales, sentó los cimientos de una nueva ciencia. Definió además los conceptos de elementos y compuestos, formuló la ley de conservación de la masa que inauguró una química cuantitativa y dio inicio a la nomenclatura química. Esa primera sistematización que expresaba el sustrato racionalista de la época, quedó plasmada en el “Tratado elemental de Química”, publicado por Lavoisier en 1789 en París.

Además de esta tarea teórica, el compromiso de la incipiente “ciencia de las sustancias y sus transformaciones” era el de integrarse a la producción de objetos y productos útiles y a la revolución industrial que estaba en pleno desarrollo. Así, las necesidades de álcalis para la industria textil, la fabricación de jabones y la industria del vidrio, exigieron una nueva fuente de esos insumos, diferente de las cenizas de madera, por lo tanto el compromiso de la química fue su síntesis. Nicolas Leblanc en Francia, en 1787, logró la síntesis de sosa, en términos actuales carbonato de calcio, a partir de sal y ácido sulfúrico<sup>1</sup>. Pero el método Leblanc para producir la sosa requería en la primera etapa ácido sulfúrico que se obtenía en el siglo XVII por destilación a partir de sulfato ferroso; no obstante, el aumento en el consumo y la baja eficiencia en el proceso exigían otra forma de producción. Esta fue la de las cámaras de plomo ideada por John Roebuck en 1746 en Inglaterra, pero que se inició prácticamente en Francia en 1766. Estos dos procesos son los primeros grandes aportes de la Química a la industria moderna en el siglo XVIII.

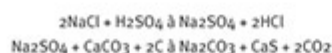
## Siglo XIX

Recién iniciado el siglo XIX, el inglés John Dalton logró darle un sentido material y concreto a la teoría atómica, que había hecho su entrada en la cultura occidental en la Grecia antigua, pero ahora, adoptando la tendencia cuantitativa de la Química iniciada por Lavoisier. Dalton establece que todos los cuerpos están constituidos por un cierto número de átomos de materia que se mantienen unidos por la fuerza de afinidad; que las partículas últimas de todos los elementos son iguales en forma, peso y todo lo demás y que las reacciones químicas no son más que la unión de partículas que estaban separadas o la separación de partículas que estaban unidas. Logró la determinación de pesos atómicos relativos para los átomos de los elementos, estableció las leyes de las combinaciones químicas y propuso símbolos y fórmulas para representar elementos y compuestos.

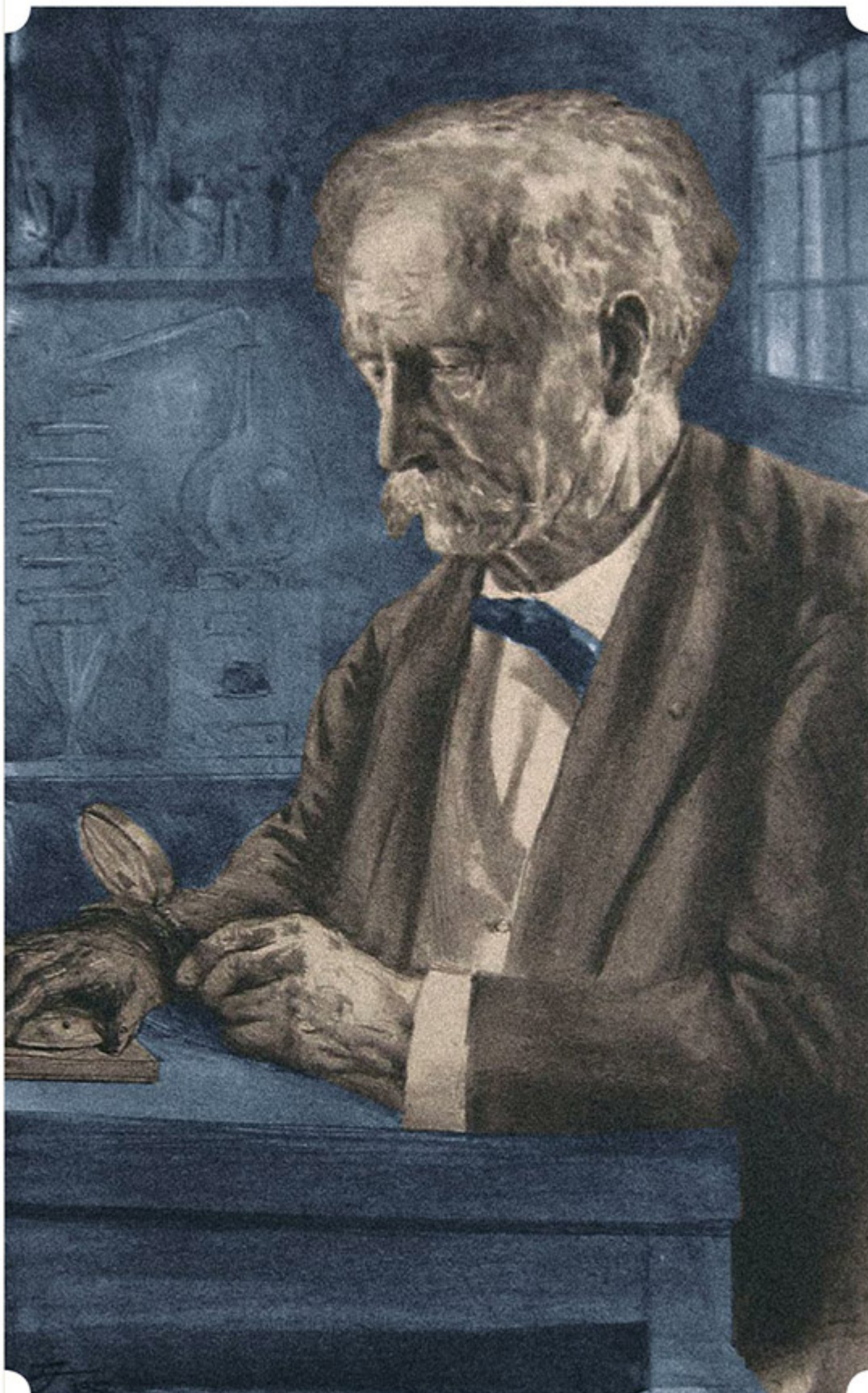
No obstante, estos desarrollos teóricos sólo servían para comenzar a entender la que se conoció como *Química inorgánica*; sin embargo, quedaba por fuera la explicación y el entendimiento de un vasto territorio constituido por todas las sustancias que pertenecían a las estructuras, fluidos y emanaciones de los seres vivos y que se suponía que solo se podían sintetizar dentro de estos organismos; se necesitaba una “fuerza vital” para producirlos. Este territorio de la *Química orgánica*, constituido por sustancias que contenían carbono, hidrógeno, algunas veces oxígeno, nitrógeno, azufre, y unos pocos elementos más, comenzó a dilucidarse cuando Wöhler, en 1828, logró la síntesis de la urea, una sustancia presente en la orina de los animales. Este evento permitió sospechar que la tal fuerza vital no era necesaria para producir los compuestos orgánicos.

Alrededor de 1860, el alemán Friedrich August Kekulé e, independientemente, el escocés Archibald Couper propusieron que el carbono se podía unir con cuatro átomos iguales o diferentes, y que se podía unir consigo mismo para formar largas cadenas de carbono lineales o ramificadas; así se inició el desarrollo del concepto de estructura en Química Orgánica. Con este nuevo concepto, la representación de las sustancias por medio de dibujos que indicaban el número y tipo de átomos y la forma como estaban unidos, es decir sus fórmulas estructurales, y el comportamiento de esas mismas sustancias en el laboratorio, abrió el camino para la impresionante aventura creativa de los químicos: la síntesis de sustancias orgánicas que no existen en la naturaleza y posteriormente también de las naturales.

1. En el lenguaje químico actual el procedimiento se representa así:



- Marcellin Berthelot, quien definió la síntesis química como la operación inversa del análisis.



Tal vez el químico más destacado en esta disciplina fue Marcellin Berthelot, quien definió la síntesis química como la operación inversa del análisis: una recomposición a partir de los elementos, y cuyo programa permitió la síntesis de etanol a partir de etileno y ácido sulfúrico; ácido fórmico a partir de monóxido de carbono e hidróxido de potasio; acetileno a partir de carbono e hidrógeno y benceno a partir de acetileno, entre otros muchos productos. No obstante, quien revolucionó la industria química con base en los nuevos saberes de la síntesis orgánica fue el británico William Henry Perkin, de quien hablaremos más adelante.

Dos aspectos teóricos desarrollados en el siglo XIX son suficientes para terminar de componer el conjunto de los principales compromisos a los que respondió la química: la teoría electroquímica del enlace químico para dar respuesta a la pregunta ¿cómo y por qué se unen los átomos de los elementos para producir la variedad de compuestos que vemos en la naturaleza? Y la ley periódica y su representación, la tabla periódica, que logró mostrar la unidad en la diversidad de los elementos químicos descubiertos.

La teoría electroquímica del enlace químico surge en gran parte de las observaciones que hizo Humphrey Davy del efecto que tenía la electricidad sobre sustancias que se conocían como elementos pero que, al aplicarle electricidad, se descomponían en sus elementos constituyentes pues en realidad eran compuestos. Estos trabajos fueron retomados por Berzelius para proponer finalmente que si la unión química se podía romper por efecto de la electricidad era porque esa unión era de naturaleza eléctrica, es decir que los átomos se unían unos con otros por efecto de fuerzas eléctricas que podían ser de carácter positivo o negativo. A partir de estos nuevos enunciados teóricos, Michael Faraday estableció las leyes fundamentales de la electroquímica, que predicen y explican los cambios que produce la electricidad sobre las sustancias químicas y la generación de electricidad mediante reacciones químicas.

En cuanto a la ley periódica y la tabla de los elementos químicos, hacia 1860 se conocían 63 elementos; no obstante, a pesar de los esfuerzos por darle un orden a ese conjunto, no se había logrado una propuesta convincente. En los siguientes diez años se hicieron varias propuestas como las de Dobereiner, Chancurois, Newlands y Mayer que culminaron con los trabajos de Mendeleiev. Este último, a partir de los pesos atómicos que ya se conocían con buena precisión y de los grupos de elementos que se comportaban químicamente de manera similar como los metales alcalinos, los alcalinotérreos o los halógenos, escribió en cartas de papel el nombre de los elementos, su peso atómico y sus propiedades químicas.

Después, fue ordenando estos elementos en orden creciente de peso atómico. Comenzó a detectar cómo los elementos que presentaban propiedades químicas parecidas, después de una secuencia ascendente de siete elementos se podían ubicar unos debajo de los otros formando un conjunto químicamente diferente de los conjuntos vecinos. Cuando la similitud resultante de este ordenamiento no lo convencía, no dudó en cambiar elementos de puesto para ubicarlos en su grupo de comportamiento similar, y en tres lugares dejó el espacio vacío y predijo que allí faltaban elementos por descubrir. Para estos elementos hipotéticos propuso el peso atómico, los compuestos que formaría y en general sus propiedades. Estos elementos efectivamente se descubrieron algunos años después. Mendeleiev enunció la ley periódica así: "las propiedades de los elementos dependen de un modo periódico de sus pesos atómicos" (Partington, J.R., 1945: 360). Un pequeño enunciado para el gran concepto que ordenaba los ladrillos del mundo físico. Aparentemente, primero fue la tabla y después la ley, aunque también se puede suponer que se fueron configurando simultáneamente.

La química estaba así continuando con su compromiso de construcción teórica que le permitiera dar cuenta del mundo de las sustancias y los materiales, el cual, a partir de los nuevos saberes químicos, se estaba convirtiendo en algo mucho más complejo. Pero en el territorio de la industria, su desarrollo y fortalecimiento, nuevos compromisos sobrevinieron para la Química. Uno de los más importantes, pues acompañaría a la Química hasta nuestros días, es el correspondiente a cómo minimizar el impacto sobre el ambiente. Un relato nos ilustra la situación:

Pronto llegamos a las gargantas de Septèmes, donde, en uno de los cantones más áridos de la árida Provenza, se han construido varias fábricas de óxido y de sosa artificial. Los vapores que se desprenden de estos laboratorios tiznan y queman todos los alrededores; uno creería estar al borde de un volcán. Pregunté al negociante por los resultados de este notable descubrimiento. “Buena pregunta, exclamó el acólito; quemar y destruir, este es el objetivo y el medio de todas vuestras innovaciones” y estallando en un cómico anatema contra toda mejora de menos de medio siglo de antigüedad, dio rienda suelta a su enfado contra la sosa artificial, las vacunas, y sobre todo en contra de la enseñanza mutua [...]. “Se ha abierto esta caja de Pandora de donde saldrán todos los males; y como si no fuera suficiente con este foco de corrupción, nos amenazan con establecer otra bajo el nombre de cátedra de química; pero los hombres religiosos están ahí; han rechazado esta proposición insidiosa, y han negado el dinero que se pedía para un uso tan perverso” (Étienne de Jouy, 1822, p. 159-160, citado por Bensaude, B., Stengers, I., 1997: 135).

Tanto en aquella época como ahora en relación con este tipo de dificultades, existe la posibilidad de retener los elementos contaminantes, transformarlos, o cambiar el proceso industrial para que no existan desechos contaminantes o por lo menos reducirlos a límites que no generen riesgos. En el proceso Leblanc, dos contaminantes eran los más problemáticos: nubes de ácido clorhídrico gaseoso, estrictamente cloruro de hidrógeno, que se producía en la primera parte del proceso al reaccionar la sal con el ácido sulfúrico, y un residuo sólido rico en azufre, por lo tanto maloliente, que duplicaba en peso a la sosa obtenida. Para el primer contaminante se utilizaron primero unas torres de desprendimiento muy altas, sin embargo no se eliminaba el problema. Posteriormente se utilizaron torres de absorción, donde agua en contracorriente absorbía el cloruro de hidrógeno y producía ácido clorhídrico que se utilizaría posteriormente para obtener productos blanqueadores para la industria textil. No obstante, el residuo sólido llamado *galligu*, era muy difícil de tratar, entonces los químicos buscaron procesos alternativos al método Leblanc.

El principal método que se pudo poner a funcionar y que se convirtió en competencia para el método Leblanc fue el denominado Solvay de los hermanos Ernest y Alfred Solvay. La base del método era una hipótesis surgida a principios del siglo XIX, según la cual:

...si se pasaba anhídrido carbónico sobre salmuera saturada con amoníaco se precipitaba bicarbonato de sodio, una sal relativamente insoluble. El bicarbonato sódico se convierte fácilmente en sosa calentándolo; al mismo tiempo se libera anhídrido carbónico y este se puede utilizar otra vez para la primera etapa del proceso (Derry, T.K., Williams T., 1997: 785).

No obstante, fueron muchos los intentos de realizarlo en la práctica durante buena parte del siglo XIX sin que se lograra el éxito, por la dificultad de manejar el amoníaco involucrado. Finalmente, el proceso que propusieron los hermanos Solvay, que incluía una torre de carbonatación que permitía un proceso continuo y nuevos hornos para la producción del anhídrido y la calcinación de bicarbonato, funcionó y fue patentado en 1861.

Por supuesto que el método Leblanc mejorado se continuó utilizando durante varias décadas; una de las mejoras más importantes fue el tratamiento del *galligu*, el subproducto contaminante más abundante, sobre el cual los químicos centraron sus esfuerzos. El primero en lograr su transformación y utilización fue Alexander Chance. Al inyectar anhídrido carbónico a través del *galligu*, se desprendía sulfuro de hidrógeno que se quemaba en unos hornos diseñados por C.F. Claus en los cuales se descomponía parcialmente por oxidación en agua y azufre que se recogía en el fondo. “En 1893 el proceso Chance-Claus se utilizaba en escala suficiente para producir 35.000 toneladas anuales de azufre, que encontraba un mercado en la fabricación de ácido sulfúrico” (Derry, T.K., Williams T., 1997: 788).

Precisamente, el otro producto fundamental en la industria desde dos siglos atrás, el ácido sulfúrico, también exigió de la química una respuesta frente a la necesidad de un ácido más concentrado



que el obtenido por el método de las cámaras de plomo. La primera propuesta en ese sentido fue de un fabricante de vinagre, el inglés Peregrine Phillips. En síntesis, su método consistía en combinar dióxido de azufre con oxígeno en presencia de platino finamente dividido como catalizador, para obtener trióxido de azufre que, al disolverlo en agua, producía ácido sulfúrico concentrado. La propuesta fue patentada en 1831; sin embargo, solo hasta 1876 se pudo poner en funcionamiento después de solucionar problemas provenientes del catalizador y de la pureza del producto de partida, el dióxido de azufre. Este método, denominado de contacto, rápidamente se impuso en Alemania, que a finales del siglo se había convertido en una potencia mundial industrial.

Otra de las respuestas fundamentales de la química a la industria europea de mediados del siglo XIX fue la producción de colorantes para la industria textil vía síntesis orgánica, los cuales hasta ese momento se habían obtenido de productos naturales. El inicio de esta nueva área está asociado a la historia muchas veces contada del químico que ya hemos mencionado, William Henry Perkin, quien, a sus 17 años, era estudiante, y ayudante en el Royal College of Chemistry de uno de los químicos más prestan-tes de la época, August Wilhelm von Hofman. Intentando lograr el propósito de su maestro de sintetizar la quinina (fundamental en el tratamiento contra la malaria), por oxidación de la alil-toluidina, encontró un producto poco agradable y nada interesante. Reemplazó entonces la toluidina por anilina pura y

de los productos precipitados de color oscuro logró obtener unos cristales púrpura que denominó, *purpura de anilina*, que teñía la seda de un malva brillante y permanente. La historia dice que después de consultar sobre su producto a un tintorero —que le respondió: “Si su descubrimiento no hace que los tejidos resulten demasiado caros, decididamente es uno de los más valiosos que han surgido en mucho tiempo” (Derry, T.K., Williams T., 1997: 793)—, patentó inmediatamente su colorante, el 26 de agosto de 1856, renunció al Royal College, montó la fábrica con su padre para producirlo en 1857 y a los 35 años ya era tan millonario como para retirarse de la industria y dedicarse a la investigación.

Después de este resonante éxito, los colorantes se pusieron de moda en los laboratorios químicos. El mismo Hofman, inicialmente muy molesto porque su pupilo se hubiera dedicado a la “química aplicada” en lugar de permanecer en la investigación química, mostró cómo a partir de *la magenta*, descubierta en 1859, se podía sintetizar una serie de colorantes violetas. Un año antes de la magenta, Peter Griess, químico alemán, había descubierto las sales de diazonio que se utilizarían para la producción de un gran número de colorantes.

Aunque el inicio de esta gran empresa de los colorantes la encontramos en Inglaterra, fue en Alemania donde dio todos sus frutos. Los alemanes fueron a Inglaterra, aprendieron de los ingleses y se devolvieron a montar la industria alemana. Pero no solo montaron la industria alemana sino también las instituciones para la formación de nuevos químicos investigadores y químicos industriales. Para terminar este episodio de los colorantes, vale la pena rescatar el siguiente recuento de Bensaude, B., y Stengers, I. (1997: 157):

El ejemplo más espectacular en este campo es la empresa Bayer. Cuando se fundó oficialmente en 1863 con el nombre de Friedrich Bayer and Co., fabricaba en Barmen algo de fuscina y algunos colorantes a base de anilina. En 1872 Bayer se traslada a Eberfeld y se lanza a la fabricación de alizarina a gran escala. Amenazada por la caída de los precios, la empresa contrata en 1884 a Carl Duisberg, un químico ya empleado en AGFA, y crea una sección de investigación en la fábrica. Una decisión capital para el futuro de la empresa pero también para el futuro de la industria química. [...] En 1900 el fundador del laboratorio entra en la junta directiva y hace que se diversifiquen los laboratorios de investigación: 114 químicos trabajan entonces en Bayer.

Después la Bayer diversificaría también sus productos; a partir de la utilización de algunos compuestos intermedios de la fabricación de colorantes obtiene productos antisépticos como la fenacetina y otros productos de tipo farmacéutico que llevan el sello de la empresa, como la muy famosa “aspirina” de Bayer.

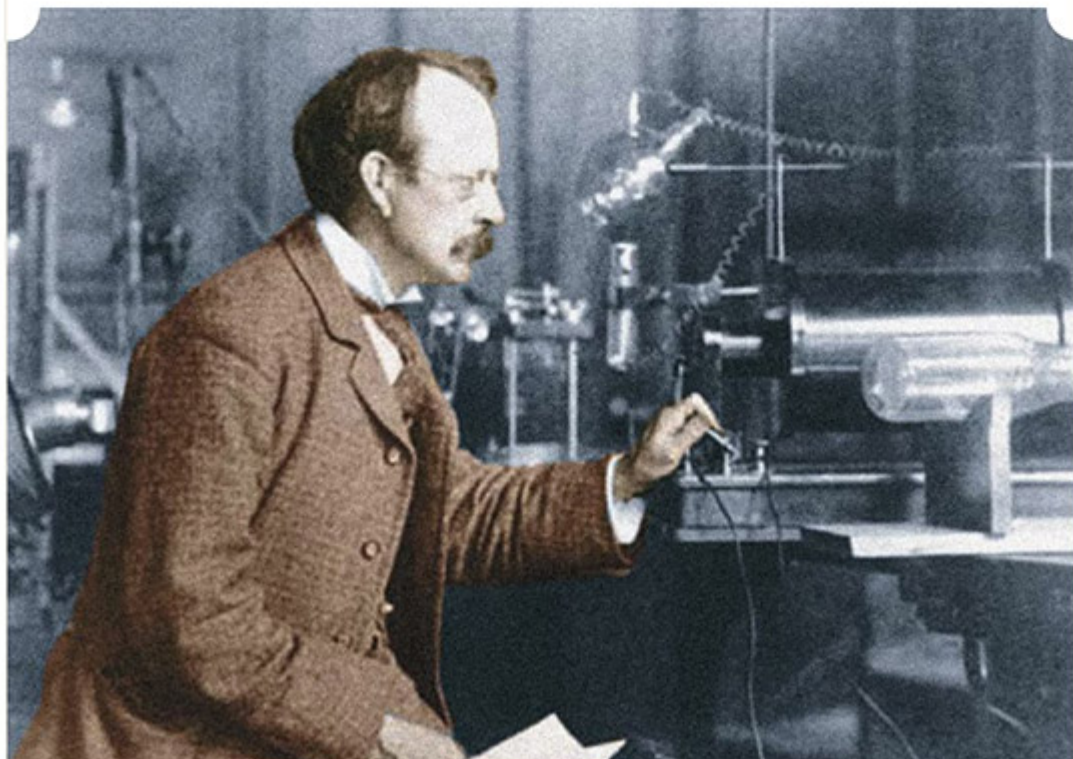
Naturalmente, la Química en sus versiones teórica y experimental tuvo otros desarrollos importantes como el surgimiento en la primera mitad del siglo XIX de una ciencia limítrofe, la Fisicoquímica, que fue el fundamento de los balances de masa y energía tanto a nivel de laboratorio como a nivel industrial. La línea electroquímica iniciada por Daby, Berzelius y Faraday permitió el entendimiento de las soluciones y sus propiedades eléctricas, así como su aplicación industrial en la obtención de metales y recubrimientos metálicos que inauguraron la fabricación de objetos de aluminio, inicialmente considerados objetos de lujo, pero que se transformarían posteriormente en los objetos más útiles y cotidianos de la cocina familiar. Hacia finales del siglo la nueva utilización del ácido sulfúrico en la obtención industrial de superfosfato, el fertilizante agrícola por excelencia, inició el camino de la química hacia la gran producción agrícola, y la utilización del éter y el cloroformo como anestésicos y del bromo y el yodo como antisépticos, estaban marcando la diversidad de ámbitos en los cuales la Química estaría presente en el siguiente siglo.

## Siglo XX

El siglo XX se inició con una profunda transformación de la concepción que los químicos tenían del mundo material, según la cual estaba constituido por átomos invisibles e indivisibles que se unían unos con otros a través de fuerzas eléctricas para producir la inmensa diversidad de sus manifestaciones. Los acontecimientos que exigieron un cambio de conceptos corresponden a los fenómenos extraños que ocurrían en los laboratorios, a finales del siglo anterior, donde algunas sustancias emitían cierta radiación, hasta entonces desconocida, sin que existiera reacción química alguna. Esta radiación tenía la propiedad de poder impresionar una placa fotográfica guardada en bolsas negras, como si hubiera sido afectada por la luz blanca o ultravioleta. Quien descubrió este fenómeno fue Antoine Henri Becquerel en 1896 cuando trabajaba con minerales de uranio, un elemento pesado descubierto el siglo anterior. Quienes continuaron las investigaciones sobre el fenómeno fueron los esposos Pierre Curie y Marie Sklodowska, conocidos como los esposos Curie. Juntos descubrieron el torio y el polonio; este último nombre se lo asignaron en honor del país de nacimiento de Madame Curie. Recibieron junto con su amigo Berkerel el premio Nobel de Física en 1903, y Marie, quien enviudó en 1906, recibiría nuevamente un premio Nobel en 1911, en este caso de Química: “en reconocimiento a sus servicios para el avance de la Química por el descubrimiento del radio y el polonio, el aislamiento del radio y el estudio de la naturaleza y compuestos de este notable elemento químico” (Nobelprize.org., 8 Aug 2011).

El golpe fundamental que estos descubrimientos le daban a la teoría atómica de los químicos estaba claro en la forma como se podía definir este fenómeno, bautizado como radiactividad: es el proceso natural por el cual los núcleos de metales pesados se descomponen emitiendo partículas subatómicas y transformándose en otros elementos menos pesados. El átomo indivisible se les desintegraba entre las manos a químicos y físicos y el antiguo paradigma de la transmutación alquímica se asomaba por las rendijas con cierta sonrisa burlona.

El otro gran descubrimiento que contribuyó al cambio de la imagen atómica del mundo que los químicos tenían, fue el realizado por J.J. Thomson: el *electrón*. A partir de los fenómenos luminosos observados por los físicos cuando utilizaban tubos de descarga, que consistían en la aparición de una radiación que parecía salir del cátodo en dirección al ánodo, y del efecto que sobre ella tenían campos eléctricos y mag-



• J.J. Thomson realizó el otro gran descubrimiento que contribuyó al cambio de la imagen atómica del mundo que los químicos tenían: el electrón.

néticos, Thomson asumió la hipótesis de que aquella radiación estaba constituida por partículas materiales cargadas con electricidad negativa y repitió cuidadosamente todos los experimentos conocidos en condiciones experimentales nuevas rigurosamente controladas. Al final llegó a la siguiente conclusión:

...Así, desde este punto de vista, tenemos en los rayos catódicos materia en un nuevo estado, un estado en el cual la subdivisión de la materia es llevada mucho más allá que en su estado gaseoso ordinario: un estado en el cual toda la materia, esto es, la materia derivada de fuentes diferentes, tales como hidrógeno, oxígeno, etc., es de una y la misma clase, siendo esta materia la sustancia de la cual se constituyen todos los elementos químicos (Thomson, J., 1897: 16).

Esta fue la primera caracterización de las partículas que más tarde se conocieron como los electrones y que, desde el primer modelo propuesto por el mismo Thomson para la posible estructura del átomo, fueron el fundamento de una serie de modelos que contribuirían a configurar en los años treinta el modelo cuántico del átomo. Se propuso la necesidad de una carga positiva para equilibrar la negativa de los electrones y dar la estabilidad eléctrica que los átomos mostraban. Posteriormente apareció la hipótesis de un núcleo atómico donde estaría concentrada la casi totalidad de la masa del átomo y los electrones girando alrededor en órbitas como analogía del sistema solar. Por este camino se llegó al primer modelo atómico que permitía integrar una gran parte de los datos experimentales acumulados por los químicos en el siglo XIX, así como los datos de los estudios espectroscópicos de los elementos químicos, la mecánica clásica y la nueva teoría de la cuantización de la energía, *el átomo de Bohr*. En este modelo los electrones se mueven en órbitas estacionarias alrededor del núcleo, de carga positiva, sin emitir energía; el salto de un electrón de una órbita a otra implica una cantidad fija, cuantizada de energía y las órbitas de los electrones están determinadas por el momento orbital del electrón.

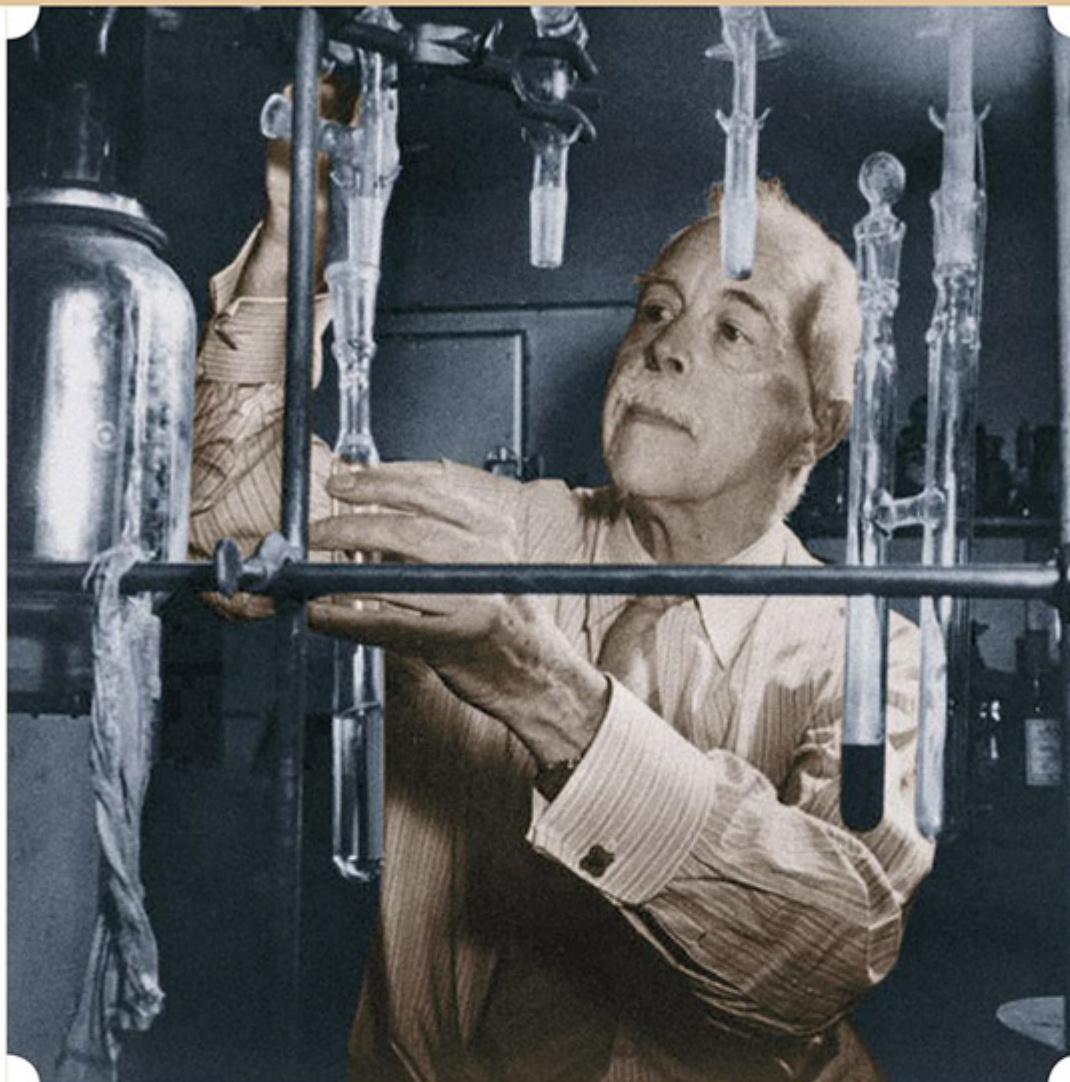
A partir de esta teoría se pudo explicar la unión química con base en pares de electrones, se le dio sustento teórico a la tabla periódica de los elementos químicos mostrando al mismo tiempo la justeza de la ley periódica de Mendeleiev. Los químicos, que no estaban en el centro de esta revolución teórica, principalmente liderada por los físicos,

...se apropiaron inmediatamente del modelo de Bohr porque proporcionaba una versión sorprendentemente intuitiva de sus resultados. El "número atómico", que refleja la posición de cada elemento en la tabla de Mendeleiev, no es otra cosa que el número de electrones del átomo correspondiente a este elemento. También es igual al número de cargas positivas que caracterizan el núcleo. Cada elemento sucesivo en la tabla tiene un electrón más que su predecesor, y el cambio periódico de valencias que se observa en la tabla refleja la sucesiva ocupación de las órbitas. La reactividad del átomo está determinada por la última órbita, ocupada de forma incompleta, excepto en el caso de los gases nobles (Bensaude, B., Stengers, I., 1997: 197).

De todas maneras, los químicos intervinieron dando respuestas que todavía las teorías de los físicos no daban. Por ejemplo, la primera explicación del enlace químico a partir de cesión, aceptación, o compartición de electrones la había dado Gilbert Newton Lewis en 1902, aunque solo se publicó en 1916 cuando propuso su modelo atómico cúbico, en el cual los átomos se representaban por cubos en los cuales los electrones se ubicaban en sus vértices y planteaba que los átomos cedían, recibían, o compartían electrones para formar los compuestos. Dentro de esta teoría del enlace formula la muy conocida regla del octeto<sup>2</sup>. A partir de la teoría, se formulará la nueva concepción del enlace químico mediante los orbitales moleculares que integran toda la concepción cuántica desarrollada hasta 1932 y que será la interpretación principal en la química del siglo XX.

La sensación que esta revolución científica dejaba en los químicos queda claramente expresada en las palabras de Harold Robinson, quien, como presidente de la Sociedad Faraday, decía en el evento "Discusión general sobre la teoría electrónica de la valencia":

2. Los átomos tienden a ganar, perder o compartir electrones hasta estar rodeados por ocho electrones de valencia (Brown, T., LeMay, E., Jr., Bursten, B.,



Hoy parece que vivimos un período de transición del conocimiento comparable a las décadas de los años cuarenta y cincuenta del siglo pasado, y dentro de dos o tres generaciones los químicos contemplarán retrospectivamente la confusión actual con los mismos sentimientos que nosotros experimentamos cuando contemplamos esa época (Robinson, H., citado por Bensaude, B., Stengers, I., 1997: 197).

Además de este momento de ruptura teórica, a la Química le sobrevino otro momento crucial en su desarrollo como ciencia básica y como profesión. En el rápido recorrido que hemos hecho por la historia de la Química, los químicos cultivaron de manera importante su compromiso con la industria, ya proponiendo los principios de solución para que ingenieros, mecánicos y artesanos los volvieran operativos o, más comúnmente, involucrándose directamente en el montaje de plantas de producción. La química daba respuestas tanto teóricas como prácticas a los desafíos de la sociedad y de la cultura.

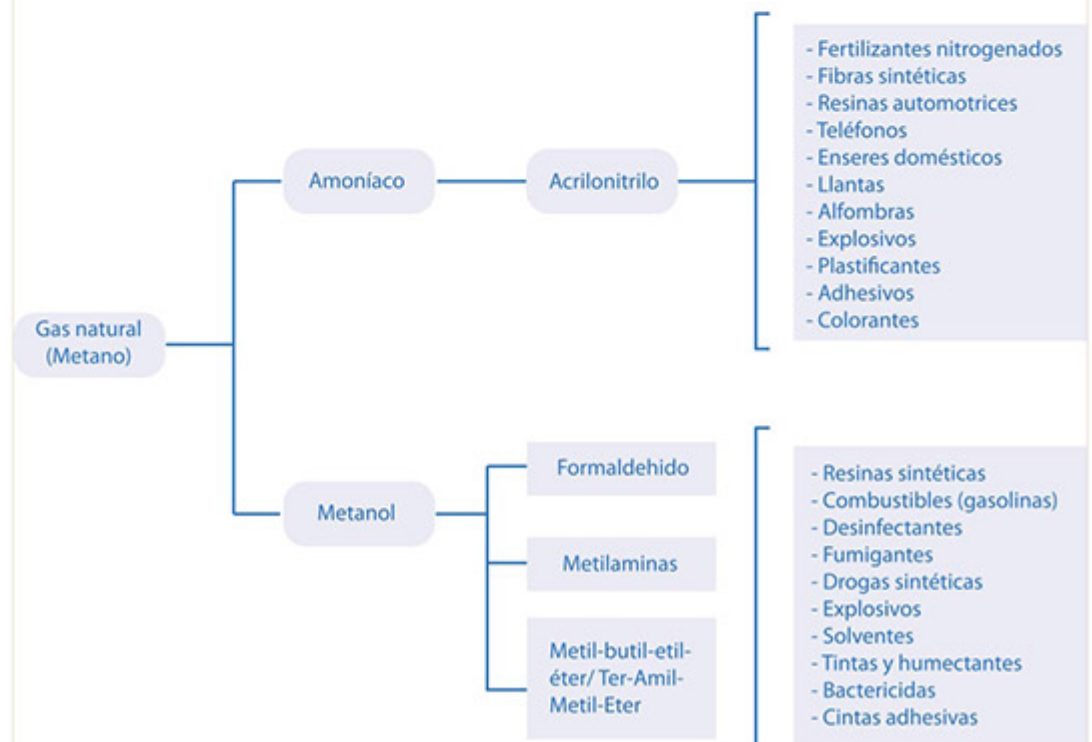
El químico —y especialmente el químico de la segunda mitad del siglo XIX— fue realmente un científico de nuevo tipo, mucho más vinculado a la industria que el físico científico de los antiguos tiempos. La tendencia a identificar la ciencia con los intereses industriales que ello llevó consigo fue uno de los principales factores que influyeron en el tono general de las discusiones científicas especialmente de las actitudes científicas radicales al final del siglo XIX (Bernal, J., 1973: 487, T1).

Pero, a finales del siglo XIX y principios del XX, una nueva profesión cuyo origen se puede ubicar en Inglaterra y su desarrollo efectivo en Estados Unidos, la Ingeniería Química, determinaría cambios de función para los químicos, pues la nueva profesión tendría el desafío de asumir el montaje de las industrias químicas, y los químicos tendrían principalmente la función de investigar y diseñar los productos y los procesos a nivel de laboratorio, realizar el control de calidad y el análisis químico a partir de las teorías químicas conocidas o de las nuevas que ellos mismos fueron generando. Esta puede ser la razón por la cual los compromisos que asumió la química en este siglo fueron principalmente en la investigación sobre: química teórica, nuevos materiales y la química de los seres vivos, correspondiente a otra ciencia limítrofe: la Bioquímica. Naturalmente se mantuvieron los anteriores campos de la química como son la química agrícola, las químicas orgánica e inorgánica y la fisicoquímica como una base teórica esencial de los procesos químicos.

A partir de esta descripción fragmentaria de los acontecimientos científicos que afectaron a la Química en los primeros treinta años del siglo, y del surgimiento de una profesión que le competía eficientemente en labores que antes fueron suyas, y con la cual existe ahora mutua colaboración, ya que juntas son Química, voy a destacar algunas de las respuestas de la Química en el siglo XX que me parecen trascendentales en la configuración de la sociedad y la cultura de este siglo.

*El petróleo.* La industria petroquímica se inicia con la obtención, a partir del petróleo y del gas natural, de materias primas para diversas cadenas productivas. Las principales materias petroquímicas básicas son: etano, metano, pentano, propano, butanos, naftas, materia prima para negro de humo y otros (incluye hexano y heptano). Estas materias tratadas con las petroquímicas no básicas: amoniaco, benceno, dicloroetano, etileno, metanol, óxido de etileno, paraxileno, propileno, tolueno, y otros, van a producir una inmensa variedad de productos de los cuales estamos rodeados. El ejemplo de los tipos de productos que se pueden obtener a partir del metano justifica que se calcule en cerca de 6.000 los productos que se obtienen actualmente en la industria petroquímica (Petroquímica, 2011).

*Agroquímicos.* Es necesario tocar el tema, pues corresponde a uno de los aportes de la química que ha permitido el incremento de la producción agrícola para responder a las necesidades crecientes de alimentos en el mundo. Los agroquímicos corresponden a los fertilizantes, insecticidas y herbicidas que se han utilizado, los primeros para aportar nutrientes a los suelos que se empobrecen con cada cosecha, y los otros para el control de plagas que pueden destruir cosechas enteras. Justamente, sobre



estos últimos es que se ha centrado una de las críticas fuertes a la Química, pues muchos de estos agroquímicos no se degradan o lo hacen muy lentamente y contaminan los suelos, las aguas de los ríos y también las aguas subterráneas y finalmente el mar. No obstante es necesario decir que estos productos fueron desarrollados por la Química con la pretensión de proteger los cultivos combatiendo las plagas. Aún más, el tan condenado DDT, prohibido actualmente en todas partes del planeta, fue descubierto en 1874 por un estudiante de química, pero sólo se introdujo masivamente cuando:

...Paul Hermann Möller lo redescubrió en 1939, mientras trabajaba en la compañía suiza J.R. Geigy, en Basilea, para la que buscaba nuevos insecticidas. Él sí se dio cuenta de la gran capacidad con la que el producto mataba todo tipo de insectos utilizando dosis muy bajas. La producción industrial comenzó inmediatamente y en los treinta años siguientes se produjeron 30 millones de toneladas de DDT. En 1948, Möller recibió el Premio Nobel de Medicina por "su descubrimiento de la alta eficiencia del DDT como un veneno de contacto contra varios artrópodos" (Sánchez, J.M., 2000: 239).

No era para menos, si las principales acciones para la erradicación de la malaria en distintas partes del mundo se realizaban a partir del uso del DDT.

En Ceilán, para citar un caso extremo pero muy ilustrativo, el mosquito palúdico ha sido exterminado con DDT y las muertes bajaron de 22 a 12 por mil durante los años comprendidos entre 1945 a 1952 (inmediatamente después de rociar con DDT los focos palúdicos, el índice de mortalidad bajó del 20 al 14 por mil en solo un año: 1946-1947). En Inglaterra y Gales se tardó setenta años para lograr el mismo descenso (Op. cit.:240).

Naturalmente, al descubrir sus aspectos nefastos sobre el medio ambiente, la Química buscó otra forma de atacar la enfermedad y la respuesta actual son las vacunas, entre ellas la vacuna producto de síntesis química a la cual ya se ha llegado y se estudia su porcentaje de efectividad.

*La Química verde.* El entusiasmo suscitado en el siglo XIX por los avances de la Química hizo pensar a sus cultores que la libertad de producir nuevos productos no tenía límite y que toda la actividad creativa y productiva necesariamente generaba mayor bienestar para la sociedad. Ese entusiasmo se proyectó al siglo XX y, armados con técnicas modernas, intentaron responder a nuevas necesidades o a nuevas metas que ellos mismos se crearon. Pero ya a finales del siglo XX fue evidente que se estaba en proceso de destruir el único planeta conocido en el cual podemos vivir, entonces fue necesario reconsiderar el papel de la Química. Esta reconsideración que los químicos hacen es lo que actualmente se denomina "Química verde". Se fundamenta en los saberes de la Química que, infortunadamente, no siempre se han tenido en cuenta en la producción industrial.

Es decir, evitar generación de residuos, maximizar la eficiencia de transformación, evitar la producción de sustancias tóxicas, utilizar siempre que sea posible materias primas renovables y obtener productos biodegradables que a su vez formen productos inocuos, lo que significa un programa de una química amable con el medio ambiente y con la sociedad.

*La "edad" de los plásticos.* Los historiadores han utilizado, para contar los acontecimientos del pasado remoto de la especie humana, el nombre de un material que se descubrió y se distribuyó ampliamente en una época y que fue determinante en el proceso de evolución cultural de las sociedades como la piedra, el hierro, el cobre o el bronce. No es exagerado decir que el siglo XX ha sido la era de los plásticos. La historia se inicia en 1907, cuando Hendrik Baekeland preparó a partir de fenol y formol un producto que se llamó baquelita. Era un producto que se endurecía por efecto del calor; en términos técnicos, era termoendurecible; era la primera resina totalmente sintética. A partir de ella se pudieron obtener por calentamiento un gran número de objetos utilizando moldes de las formas más diversas. El mecanismo químico mediante el cual se obtenía el producto no era conocido, por lo tanto, en la etapa inicial de búsqueda la obtención se realizaba mediante el método de ensayo y error. La trans-



formación en un saber científico necesitó de la comprensión del proceso de *polimerización*, la definición de los términos: macromolécula, monómero, polímero, polimerización y todo el lenguaje específico de los nuevos procesos. Estos materiales comenzaron a estar presentes en la vida cotidiana en un sinnúmero de objetos, desde los empaques de otros productos, recipientes para todo tipo de líquidos, ropa y calzado, partes de automotores, arte y arquitectura, juegos y parques de diversión, estructuras para los electrodomésticos y todo lo demás que ya sabemos. Pero ese hecho hace que se olvide que también por la posibilidad de diseñarlos con gran termoestabilidad, alta resistencia a la temperatura y a todo tipo de disolventes, baja conductividad eléctrica y térmica, se utilizan en empresas muy especiales como la de los viajes a la luna y las naves exploratorias del sistema solar. Evidentemente, no se puede desconocer que muchos de estos productos conforman uno de los focos fundamentales de contaminación ambiental, y que, además de la producción de estos materiales en su versión biodegradable, la Química en su especialización de Química Ambiental debe proponer procesos para contribuir ahora a la limpieza del planeta.

*Nuevos materiales.* Actualmente existe una actividad científico-tecnológica que se denomina “Ciencia de los materiales”. El fundamento de ella es la relación entre composición química, estructura y propiedades de los materiales, es decir se fundamenta en la Química. Su función es la creación de nuevos materiales para nuevas o viejas necesidades aún no satisfechas. Así tenemos por ejemplo la nueva *cerámica*.

Los objetos de cerámica han acompañado a la especie humana desde la prehistoria. Hasta los años cincuenta del siglo XX, el material de fabricación era la arcilla (aluminosilicatos hidratados) y se sometía al calor para darle una determinada dureza. Actualmente, en el desarrollo de los nuevos tipos de cerámica (fina, de alta resistencia, estructural avanzada) el material de partida se ha diversificado. Así, se utilizan: nitruro de silicio,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ; carburo del silicio,  $\text{SiC}$ ; zirconia,  $\text{ZrO}_2$ ; o alúmina,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; diborato de titanio,  $\text{TiB}_2$ ; nitruro de aluminio,  $\text{AlN}$ , entre otros. Estas nuevas cerámicas tienen propiedades muy diferentes de la cerámicas tradicionales, como su alta resistencia a la temperatura, a la tracción, a los solventes, a los ácidos y bases, alta biocompatibilidad, alta dureza, resistencia mecánica a altas temperaturas, y, en general, resistencia al desgaste. Por sus propiedades se pueden utilizar en motores de combustión, en relojería fina, en construcción, en escudos térmicos (como el del trasbordador), en prótesis óseas y dentales, y si se transforman en hilos se pueden utilizar en ropa para necesidades especiales como por ejemplo trajes para soportar altas temperaturas.

Dentro de esta área de los nuevos materiales están también los producidos en un área de la Química que se ha llamado “nanoquímica” y que engloba todo lo que corresponde a la nanociencia y la nanotecnología. Naturalmente, es un campo interdisciplinario y se trata de la obtención y manipulación de objetos cuyas dimensiones están entre los 1 y los 100 nanómetros ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). El objetivo principal de la Nanoquímica es la síntesis y manipulación química de nano-objetos que puedan ser aplicados en la construcción de nuevas nano-estructuras.

Entre los avances más destacados conseguidos hasta la fecha cabe mencionar la fabricación de polímeros especiales, de nano-reforzantes para materiales compuestos, de pigmentos y colorantes, de nuevos componentes para baterías y celdas de combustible y de nuevos catalizadores y sensores. Por otra parte, también son de destacar los resultados obtenidos en el campo de la industria agroalimentaria, así como en la industria cosmética y farmacéutica y en las aplicaciones biomédicas. Dentro de estas últimas cabe mencionar el diagnóstico y la terapia génica, la liberación controlada y dirigida de fármacos y la criba de compuestos de interés médico (Veciana, J., 2011).

Con lo que está dicho hasta aquí, y considerando que se trata de “fragmentos de una historia”, creo que es suficiente este acercamiento, en el Año Internacional de la Química, a algunos aspectos importantes de la fundación y desarrollo de esta ciencia que tendrá en este siglo desafíos aún mayores. El artículo “Premios Nobel en Química”, que aparece en este mismo número, ofrece, a través de los títulos de las investigaciones ganadoras, un amplio panorama de los aportes de la Química a la humanidad en los siglos XX y XXI.

## Referencias bibliográficas

- Bensaude, B., Stengers, I. (1997), *Historia de la Química*, Addison-Wesley, Madrid, España.
- Bernal, J. (1973), *Historia social de la ciencia*, T 1, Península, Barcelona, España.
- Brown, T., LeMay, E., Jr., Bursten, B., Burdge, J. (2004), *Química, la ciencia central*, Pearson, México.
- Derry, T.K., Williams T. (1997), *Historia de la tecnología*, T 2, Siglo XXI, Madrid, España.
- Nobelprize.org. (8 Aug 2011), The Nobel Prize in Chemistry 1911, [en línea], recuperado: agosto 2 de 2011, disponible en: [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1911/index.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1911/index.html)
- Partington, J.R. (1945), *Historia de la Química*, Espasa Caope, Buenos Aires, Argentina.
- Petroquímica (2011) [en línea], recuperado agosto 8 de 2011, disponible en [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/86/Petroquimica\\_final.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/86/Petroquimica_final.pdf)
- Sánchez, J.M. (2000), *El siglo de la ciencia*, Taurus, Madrid, España.
- Talanquer, V. (2011) “El pasado y el futuro de la Química”, [en línea], recuperado: agosto 1 de 2011, disponible en : <http://www.comoves.unam.mx/articulos/quimica/quimica1.html>
- Thomson, J. (1897) Cathode Rays. *Philosophical Magazine*, 44. [Facsimile from Stephen Wright, *Classical Scientific Papers*, Physics (Mills and Boon, 1964)], traducido por José Luis Villaveces.
- Veciana, J. (2011), “Nanoquímica”, [en línea], recuperado: agosto 8 de 2011, disponible en: [http://www.phantomsnet.net/Resources/files/Nanoquimica\\_alta.pdf](http://www.phantomsnet.net/Resources/files/Nanoquimica_alta.pdf)

45 años

**UNIVERSIDAD DEL NORTE**

Barranquilla - Colombia

Ubicada entre las **diez mejores universidades del país**

según indicadores de ciencia, tecnología e innovación\*



\*RANKING U-SAPIENS COLOMBIA 2011-2.

**Ciencia y tecnología para el desarrollo y la transformación social**

[www.uninorte.edu.co/investigacion](http://www.uninorte.edu.co/investigacion)

Mayores informes:

Dirección de Investigación,  
Desarrollo e Innovación

Teléfonos: (57-5) 3509420 - 3509422

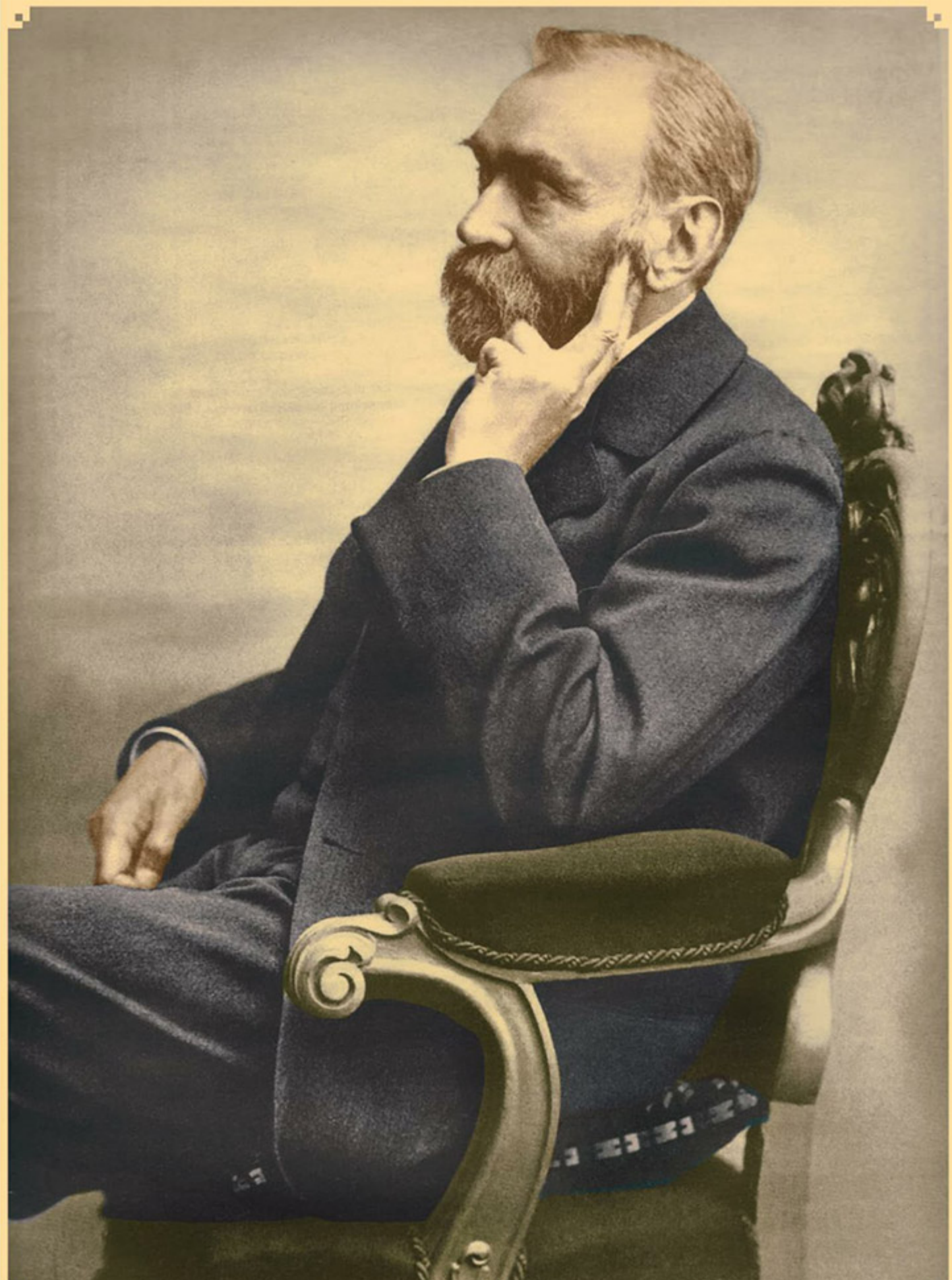
[dip@uninorte.edu.co](mailto:dip@uninorte.edu.co)


# Premios Nobel en Química

ÓSCAR OSORNO REYES

PROFESOR ASOCIADO  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA,  
FACULTAD DE CIENCIAS,  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA BOGOTÁ

[oeosornor@bt.unal.edu.co](mailto:oeosornor@bt.unal.edu.co)





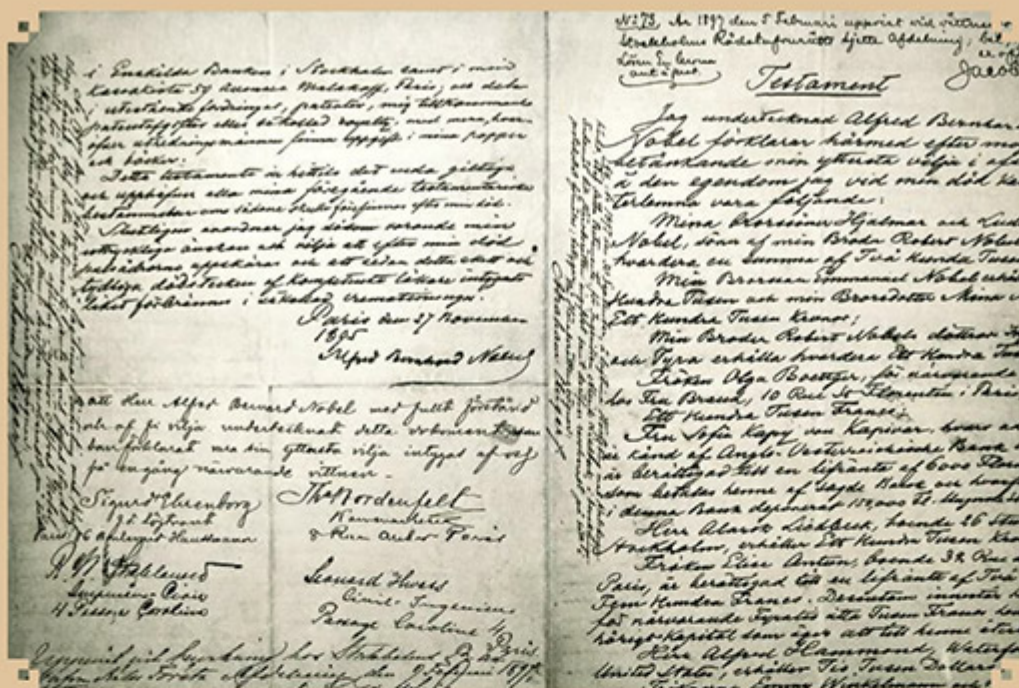
**S**in lugar a dudas, el premio Nobel de Química es la distinción más alta a nivel mundial que cualquier científico puede obtener en esta área de la ciencia. El premio fue creado por Alfred Nobel el 27 de noviembre de 1895 cuando firmó su testamento dando las pautas de cómo y por quién debería ser otorgado. A continuación transcribimos la parte del testamento relacionada con los premios:

La totalidad del resto de mis bienes debe ser manejado de la siguiente manera: el capital, el cual ha sido invertido en valores seguros por mis testamentarios, deberá constituir un fondo, cuyo interés deberá ser distribuido anualmente en forma de premios para ellos quienes, durante el año anterior, hayan conferido el mayor beneficio a la humanidad. El interés anteriormente mencionado deberá ser dividido en cinco partes iguales, los cuales deberán ser repartidos de la siguiente manera: una parte para la persona que haya hecho el descubrimiento o invento más importante en el área de física; una parte para la persona que haya hecho el descubrimiento químico más importante; una parte para la persona que haya hecho el descubrimiento más importante en el área de fisiología o medicina; una parte para la persona que, en el área de literatura, haya producido el trabajo más destacado en una dirección ideal; y una parte para la persona que haya hecho el mejor trabajo por la fraternidad entre las naciones, por la abolición o reducción de ejércitos permanentes, y por la promoción de congresos por la paz. Los premios de física y química deberán ser otorgados por la Academia Sueca de Ciencias; el de trabajo en medicina por el Instituto Carolina de Estocolmo; el de literatura por la Academia en Estocolmo; y el de los campeones de la paz por un comité de cinco personas, quienes deben ser elegidas por el Storting en Noruega (parlamento noruego). Es mi deseo expreso que en la decisión de a quién conceder los premios no se dé consideración alguna a la nacionalidad de los candidatos, en su lugar, que el más digno sea quien reciba el premio, sea escandinavo o no.

De acuerdo con Alfred Nobel, se supone que los premios deben ser otorgados por trabajos del año inmediatamente anterior, esto en realidad casi nunca ocurre y, en el caso de química, los premios se otorgan en promedio 16 años después de realizadas las publicaciones.

El premio Nobel de Química, de acuerdo con la fundación Nobel, se puede otorgar a una, dos o tres personas, quienes deben estar vivas en el momento del anuncio del premio, que es en la primera semana de octubre de cada año. Hasta el año 2010 han sido galardonadas 160 personas, 62 premios en solitario, 22 compartidos por 2 laureados, y en 18 ocasiones el premio ha sido compartido por 3 científicos. El primer premio Nobel se entregó en 1901 y se ha dejado de entregar únicamente en 8 ocasiones: 1916, 1917, 1919, 1924, 1933, 1940, 1941 y 1942, la mayoría durante la primera y segunda guerra mundial. La edad en que los nobeles han sido premiados varía desde el más joven Frédéric Joliot, quien obtuvo el premio a los 35 años y el de mayor edad, Jhon B. Fenn, quien en 1982 obtuvo el premio Nobel a la edad de 85 años. Solo 4 mujeres han obtenido el premio Nobel: en 1911, Marie Curie, quien fue la primera mujer en obtener un doctorado en Europa y quien obtuvo el premio por el descubrimiento de los elementos Radio y Polonio; en 1935, Irene Joliot Curie, hija de Marie Curie y esposa de Frédéric Joliot; en 1964, Dorothy Crowfoot Hodgkin y en 2009, Ada Yonath.

Algunos de los nobeles en Química han ganado otros premios Nobel, incluyendo a Marie Curie, quien también ganó el premio Nobel de Física en 1903; Linus Pauling, quien obtuvo el premio Nobel de Química en 1954 y el Premio Nobel de la Paz en 1962 y, finalmente, Frederick Sanger, quien es el único que ha obtenido dos veces el premio Nobel de Química, en 1958 y en 1980.



•Testamento de Alfred Nobel. Estocolmo, 1895.

## Proceso para el otorgamiento del premio Nobel

Este proceso es largo y dispendioso y lleva un poco más de un año. En septiembre del año anterior a la entrega, el comité del Nobel envía, en forma confidencial, invitaciones a cerca de 3.000 personas seleccionadas entre profesores de universidades alrededor de todo el mundo, los premios nobeles de años anteriores, y los miembros de la real academia sueca de ciencias. El 31 de enero es la fecha límite para recibir nominaciones; el comité las revisa y hace una selección preliminar de los candidatos. En la actualidad se consideran entre 250 y 350 nombres. El nombre de las personas nominadas solo se puede conocer 50 años después.

Entre marzo y mayo, el comité del Nobel, constituido por 10 científicos, envía la lista preliminar de candidatos a expertos para la valoración del trabajo de los candidatos. Entre junio y agosto, el comité elabora su informe con las recomendaciones que se han sometido a la academia. Este informe debe ser firmado por todos los miembros del comité. En septiembre, el comité del Nobel somete su reporte con la recomendación de los candidatos finales a los miembros de la academia y este informe es discutido en 2 reuniones de la sección de química de la Academia Sueca de Ciencias. A comienzos del mes de octubre, la academia selecciona los nobeles a través de una votación. La decisión es final y sin apelaciones y el nombre del nobel se anuncia públicamente.

En el mes de diciembre, en ceremonia especial, los nobeles reciben su premio, que consiste de una medalla, un diploma y la suma de 10 millones de coronas suecas, que equivalen a cerca de 2.800 millones de pesos colombianos.

## El premio Nobel de Química es el desarrollo de la química moderna

Definir límites entre la química y otras ciencias, hoy en día, no tiene sentido, y esto se ve reflejado en muchos de los premios Nobel que han sido otorgados a biólogos, físicos y médicos. De la misma manera, definir fronteras entre diferentes áreas de la química es prácticamente imposible. El premio

AÑO	GALARDONADO(S)	TRABAJO
1901	Jacobus Henricus Van't Hoff	Descubrimiento de las leyes de la dinámica química y la presión osmótica
1902	Emil Herman Fischer	Trabajo en azúcares y síntesis de purinas
1903	Svante August Arrhenius	Teoría de la disociación electrolítica
1907	Eduard Buchner	Descubrimiento de la fermentación con células libres
1909	Frederich Oswald	Catálisis y condiciones de equilibrio
1911	Marie Curie	Descubrimiento de los elementos Radio y Polonio
1913	Alfred Werner	Unión de átomos en moléculas abiertas a nuevos campos
1918	Fritz Haber	Síntesis del amoníaco a partir de sus elementos
1920	Walther Hermann Nernts	En reconocimiento a su trabajo en termodinámica
1923	Fritz Fragl	Inención del microanálisis de sustancias orgánicas
1932	Irving Langmuir	Descubrimientos e investigaciones en química de superficies
1935	Frédéric e Irène Joliot-Curie	Síntesis de nuevos elementos radioactivos
1936	Peter Debye	Momentos dipolares y difracción de rayos X
1938	Richard Kuhn	Trabajo en carotenoides y vitaminas
1939	Leopold Stephen Ruzicka	Investigaciones en terpenos
1944	Otto Hahn	Descubrimiento de la fisión de los núcleos pesados
1946	John Howard Northrop, Wndell Meredith Stanley y James Summer	Por sus trabajos en la preparación de enzimas, proteínas víricas y el hecho de que las proteínas pudieran ser cristalizadas
1947	Sir Robert Robinson	Investigación en productos vegetales, especialmente alcaloides
1950	Kurt Alder y Otto Diels	Descubrimiento y desarrollo de la síntesis de dienos
1951	Glenn Theodore Seaborg	Descubrimientos de elementos transuránidos (9 elementos)
1952	Jhon Martin y Richard Synge	Inención y desarrollo de la cromatografía de partición
1954	Linus Karl Pauling	Por su trabajo en el enlace químico y la estructura molecular

1958	Frederick Sanger	Estructura de proteínas, en especial la insulina
1960	Fran Libby	Uso de carbono 14 para determinación de edades geológicas
1961	Melvin Calvin	Fotosíntesis
1963	Giulio Natta y Karl Ziegler	Polímeros y catálisis
1964	Dorothy Hopkins	Estructura de la vitamina B12
1965	Robert Woodward	Síntesis orgánica
1968	Lars Onsager	Descubrimiento de relaciones recíprocas en procesos termodinámicos
1969	Sir Derek Barton y Odd Hassel	Concepto de la conformación y sus aplicaciones en química
1971	Gerhard Herzberg	Estructura electrónica y geometría molecular
1975	Sir Jhon Cornforth y Vladimir Prelog	Estereoquímica de reacciones enzimáticas y de moléculas orgánicas
1977	Ilya Prigogine	Teoría de la termodinámica no lineal
1981	Fenichi Fukui y Roald Hoffman	Teorías concernientes al curso de las reacciones químicas
1984	Robert Merrifield	Síntesis de cadenas peptídicas
1987	Donald Cramp, Jean-Marie Lehn y Charles Pedersen	Química supramolecular
1990	Elias Corey	Teoría y metodología de la síntesis orgánica
1991	Richard Ernst	Espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) de alta resolución
1994	George Olah	Química de carbocationes
1995	Paul Crutzen, Mario Molina y Frank Rowland	Descubrimiento de cómo los gases químicos reducen la capa de ozono
1998	John Pople	Cálculos computacionales de química cuántica
1999	Ahmed Zewail	Femtoquímica
2006	Roger D. Korbey	Estudios de las bases moleculares de transcripción en eucariotas
2007	Gerhard Ertl	Procesos químicos en sólidos (catálisis)
2008	Osamu Shimomura, Martin Chalfie, Roger Y. Tsien	Descubrimiento y desarrollo de la proteína fluorescente verde
2009	Venkatraman Ramakrishnan, Thomas A. Steitz, Ada E. Yonath	Estudios de estructura y función del ribosoma
2010	Richard F. Heck, Ei-ichi Negishi, Akira Suzuki	Acoplamiento cruzado con paladio en síntesis orgánica

- Diploma recibido en 1918 por Fritz Haber, Premio Nobel de Química.



Nobel ha sido otorgado a investigadores en todas las áreas, desde la química teórica hasta la química aplicada, pasando por la química orgánica, inorgánica, bioquímica, etc. Muchos de los nobeles ya los encontramos desde hace un buen tiempo en los libros de texto en que estudiamos y en los que enseñamos. A riesgo de cometer muchas injusticias, en la tabla central de las páginas 88 y 89 menciono en orden cronológico los que, a mi juicio, son algunos de los galardonados y trabajos más relevantes.

Después de este sucinto resumen, podemos decir que los premios Nobel son otorgados a personas brillantes que trabajan muy duro durante mucho tiempo y, finalmente, que corren con algo de suerte. Tuve la fortuna de conocer personalmente dos premios nobel que visitaron nuestra universidad en el año de 2008: los profesores Roald Hoffman y Richard Ernst. Los dos se distinguían por ser personas extremadamente sencillas y que transmitían mensajes optimistas y humanos, además de sus mensajes en los campos en los que trabajan.

Para aquellos a quienes pueda interesar una información más amplia sobre este tema, que no es más que una radiografía de la Química como ciencia en los últimos 110 años, además de la bibliografía citada recomiendo las "Nobel Lectures in Chemistry", en las cuales no solamente se encuentran los discursos de los nobeles, sino también una corta biografía y algunos aspectos relacionados con la trayectoria y los esfuerzos que se requieren para llegar a la cima.

## Bibliografía

Hargittai, I., 2002, *The road to Stockholm: Nobel prizes, science and scientists*, Oxford: Oxford University Press.

Nobelprize.org - All about the Nobel Prize Awarded Achievements, 2011, The Nobel Prize in Chemistry, En *Nobelprize.org*, 19 Aug, [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/)

Shalev, B., 2002, *100 Years of Nobel Prizes. The Americas group*. Los Angeles, California.

## Bibliografía recomendada

Nobel Lectures in Chemistry 1901 - 1921

Nobel Lectures in Chemistry 1922 - 1941

Nobel Lectures in Chemistry 1942 - 1962

Nobel Lectures in Chemistry 1963 - 1970

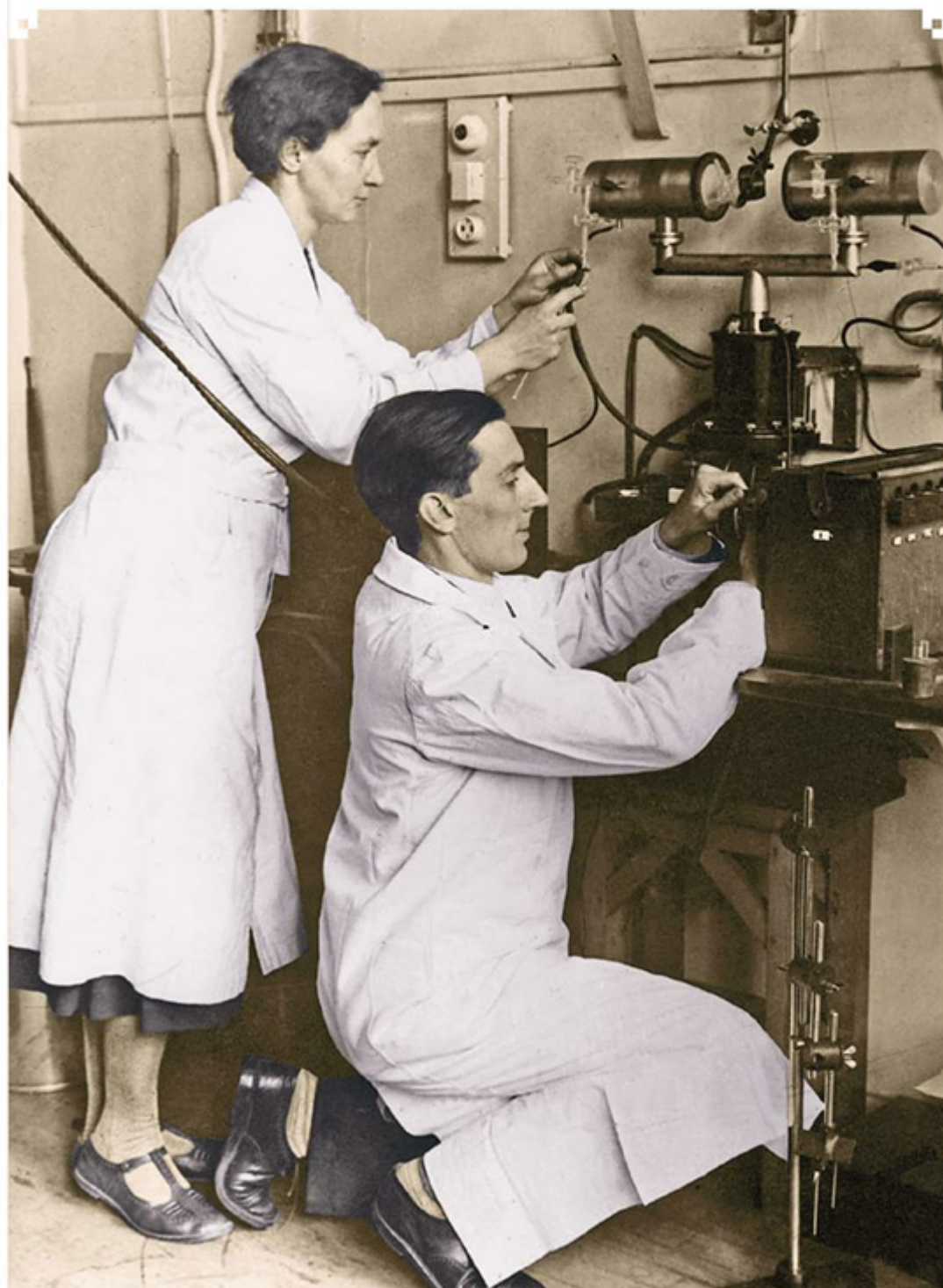
Nobel Lectures in Chemistry 1971 - 1980, edited by Sture Forsén (University of Lund, Sweden)

Nobel Lectures in Chemistry 1981 - 1990, edited by Bo G Malmström (Chalmers University of Technology & Göteborg University, Sweden)

Nobel Lectures in Chemistry 1991 - 1995, edited by Bo G Malmström (Göteborg University)

Nobel Lectures in Chemistry 1996 - 2000, edited by Ingmar Grenthe (Royal Institute of Technology, Stockholm)

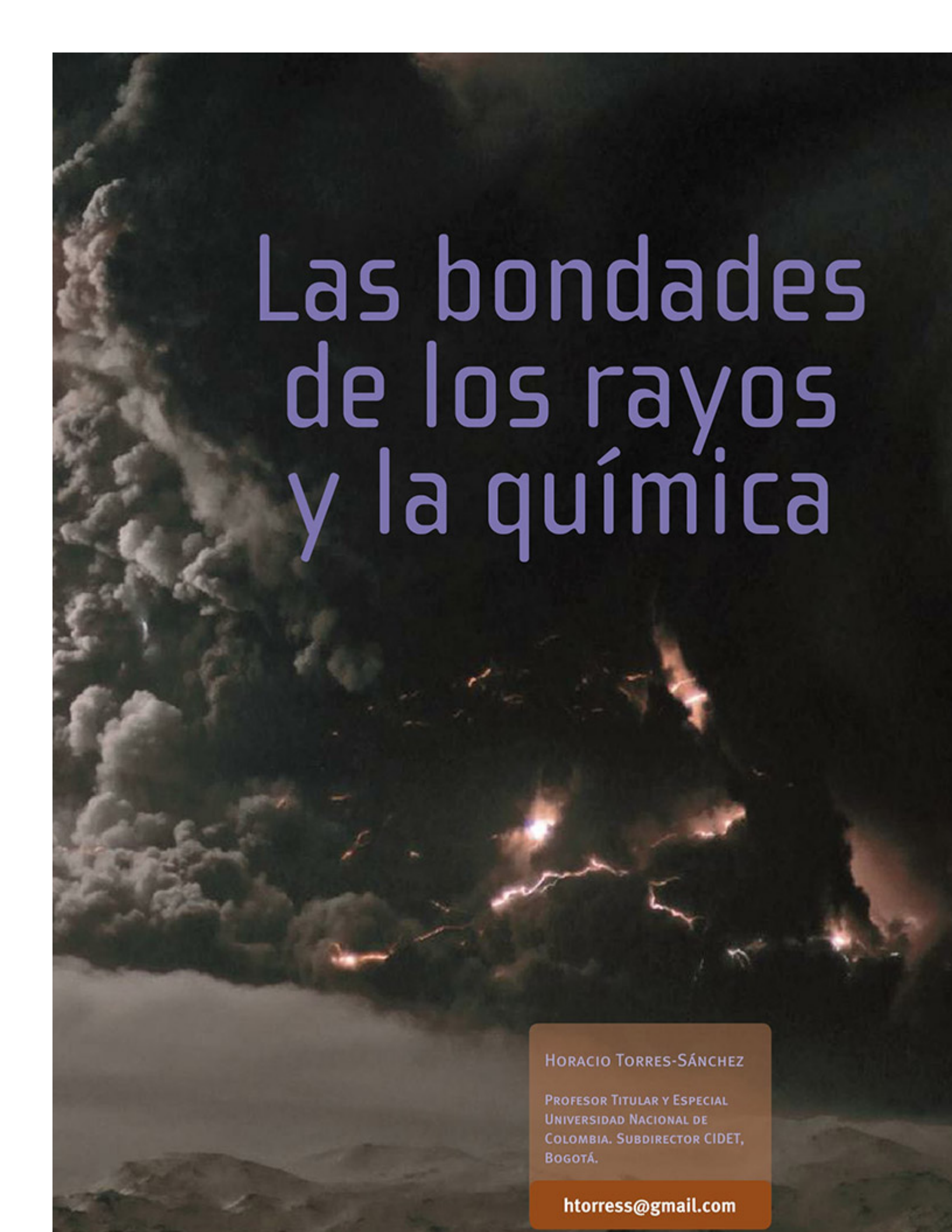
Nobel Lectures in Chemistry 2001 - 2005, edited by Per Ahlberg (Göteborg University, Sweden)



- Irene Joliot Curie, hija de Marie Curie y su esposo Frédéric Joliot.

Química y rayos





# Las bondades de los rayos y la química

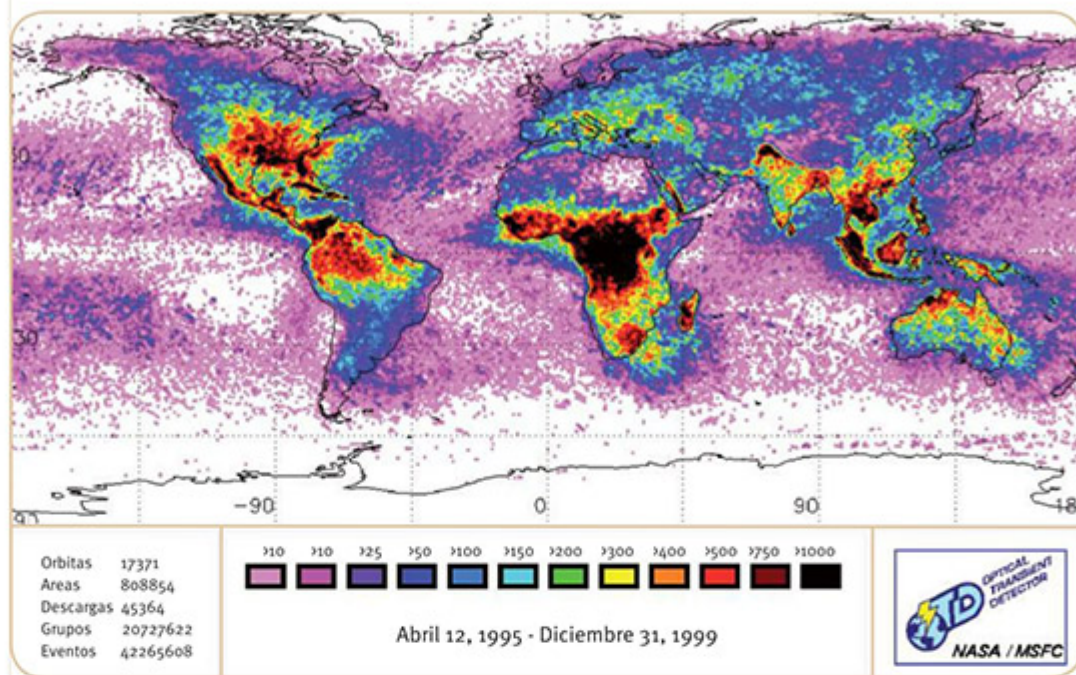
HORACIO TORRES-SÁNCHEZ

PROFESOR TITULAR Y ESPECIAL  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA. SUBDIRECTOR CIDET,  
BOGOTÁ.

[htorress@gmail.com](mailto:htorress@gmail.com)

Figura 1.

Distribución de rayos alrededor del mundo entre 1995-1999.



Fuente: Tomado de <http://thunder.msfc.nasa.gov/>

## Introducción

Generalmente se tiene la idea prefijada que las descargas eléctricas atmosféricas o rayos, son un fenómeno atmosférico negativo relacionado con muerte y destrucción. Si bien es un fenómeno natural que puede experimentar temor, los rayos, cuando fijan el nitrógeno al impactar en el suelo, son un verdadero banquete para las plantas, que se refleja rápidamente en un vigor y crecimiento extraordinarios y son fundamentales para la protección humana de los peligrosos rayos ultravioleta al producir ozono en las capas superiores de la atmósfera.

Desarrollaremos en este artículo estos dos temas: la fijación de nitrógeno y la capa de ozono, en relación con la interacción entre los fenómenos químicos y los rayos, para mostrar científicamente las grandes bondades de la descarga eléctrica atmosférica, la cual en Colombia, como se ha comprobado en las investigaciones llevadas a cabo durante las últimas tres décadas, está en la zona de mayor actividad eléctrica atmosférica del mundo (Torres, 2010 y 2002). Por tanto, Colombia es un país privilegiado con las bondades de los rayos. La figura 1 presenta la distribución de rayos a nivel mundial entre los años 1995 y 1999 según datos satelitales de la Nasa.

## El ciclo del nitrógeno

El ciclo del nitrógeno es cada uno de los procesos biológicos y abióticos (que no forma parte o no es producto de los seres vivos) en que se basa el suministro de este elemento a los seres vivos.

El primer paso en el ciclo es la fijación (reducción) del nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) a formas distintas susceptibles de incorporarse a la composición del suelo o de los seres vivos, como el ion amonio ( $NH_4^+$ ) o los iones nitrito ( $NO_2^-$ ) o nitrato ( $NO_3^-$ ). Aunque el amonio puede ser usado por la mayoría de los organismos vivos, las bacterias del suelo derivan la energía de la oxidación de dicho compuesto a nitrito y finalmente a nitrato.

El nitrógeno en forma de  $N_2$ , se encuentra formando parte de la atmósfera, integrando un 78% de la misma. Es un elemento bastante inerte, no reacciona fácilmente con otros compuestos, así que antes de ser aprovechado por la mayoría de los seres vivos, debe pasar por un proceso de fijación.

Este proceso de fijación de nitrógeno está definido como su combinación con oxígeno o hidrógeno. La combinación es llevada a cabo por varias vías distintas. La fijación natural puede ocurrir por procesos químicos espontáneos, como la oxidación que se produce por la acción de las descargas eléctricas atmosféricas o rayos, que forma óxidos de nitrógeno a partir del nitrógeno atmosférico.

Los profesores V. Rakov y V. Cooray (2009) de la Universidad de Florida y de la Universidad de Uppsala, respectivamente, realizaron experimentos en laboratorio y en Camp Blanding, el centro para la investigación sobre los rayos de la Universidad de Florida (45 km al noreste de Gainesville), provocando rayos disparando cohetes en nubes de tormenta.

Después de que el rayo impactó, bombearon varias veces el aire fuera de la cámara y lo analizaron, midiendo la cantidad precisa de óxido de nitrógeno producido por el rayo dentro de la cámara.

En la troposfera, el óxido de nitrógeno contribuye a regular la cantidad de ozono presente, que a esa altura actúa como un gas de efecto invernadero que calienta el planeta. A mayor altura, en la estratosfera, el ozono forma una capa protectora contra la radiación dañina del sol.

Si bien no es sorprendente que los ingenieros descubrieran el óxido de nitrógeno, sus resultados muestran de manera importante las ideas convencionales que se tenían asumidas sobre el tema. Los expertos en ciencias de la atmósfera han creído durante mucho tiempo que los rayos producían la mayor parte del óxido de nitrógeno durante la fase en la que pasan desde el terreno que han impactado hasta una nube.

Los resultados de Rakov y Cooray muestran que las descargas eléctricas atmosféricas nube-nube son tan eficientes como las descargas nube-tierra en la generación de  $\text{NO}_x$ . En la estimación de la producción mundial de  $\text{NO}_x$  por rayos, el parámetro que más influye es la longitud del canal de descarga dentro de la nube. Para la longitud total de canales dentro de la nube de una descarga típica nube-tierra de alrededor de 45 km, se estima que la producción mundial anual de  $\text{NO}_x$  es de aproximadamente 4Tg.

## Los rayos y los alimentos

La mayoría de los seres vivos recibimos el nitrógeno a través de nuestros alimentos y la base de la cadena alimenticia son las plantas. Estos organismos toman el nitrógeno de la atmósfera durante las lluvias, cuando hay presencia de rayos. La alta energía que desprenden los rayos provoca que el nitrógeno se separe y se una al oxígeno, lo que forma nitratos, arrastrados en las gotas de lluvia y asimilados rápidamente por las raíces.

Con un poco de observación se reconoce que si una planta se riega con agua de llave, su vigor es diferente que cuando recibe el agua de lluvia, época en que las plantas crecen con mayor lozanía. La razón es que el agua de lluvia contiene nitrógeno y más aún conforme los rayos sucedan.

## Los duendes rojos, los chorros azules y los elfos verdes

Actualmente un área nueva de estudio se está abriendo en laboratorios de Física de Plasma de Bajas Temperaturas en diferentes países del mundo y consiste en el estudio de la generación de radicales y compuestos generados en descargas eléctricas en la atmósfera superior, que tienen un probado efecto en el balance global del ozono en las capas superiores de la atmósfera (Y Wang y Logan, 1998).

Un conjunto particular de estos compuestos, el de los óxidos de nitrógeno (denominados con la etiqueta genérica  $\text{NO}_x$ ) tienen su génesis en eventos atmosféricos que ocurren entre los 10 y 90 kilómetros de altura respecto a la superficie terrestre (Peterson, Bailey, Hallett y Beasley, 2009). Estos eventos, conocidos genéricamente como “Eventos Luminiscentes Transitorios” —TLEs (*Transient Luminous Events*, por su siglas en inglés)— han sido descubiertos hace relativamente pocos años y son relámpagos coloridos que se producen por encima de las tormentas. Se les han dado nombres simpáticos, como “duendes rojos” (*red sprites*), “chorros azules” (*blue jets*) y “elfos verdes” (*green elves*), que se refieren a sus diferentes formas. Se descargan desde la parte superior de las nubes de tormenta

al mismo tiempo que se producen descargas de rayos dentro de las nubes. Los “duendes rojos” se producen a media altitud en la atmósfera y su forma recuerda el tallo de una planta de zanahoria. Los chorros azules son pulsos de luz con extremos acampanados, como la boca de una trompeta. Los “elfos verdes” son formas aplanadas como de medusa o ameba casi invisibles que se extienden sobre la parte alta de la atmósfera. El impacto de estos eventos y su capacidad de generar compuestos NOx es un campo abierto y activo de investigación en la actualidad (Pasko, 2007).

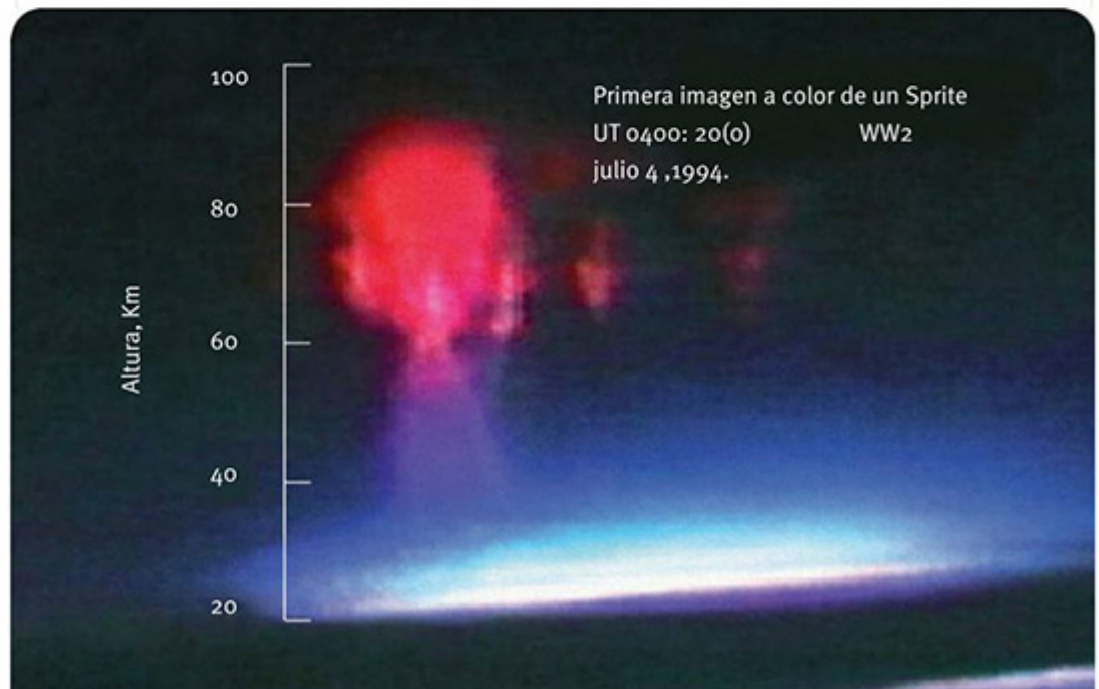
En la década de 1920, el físico escocés C.T.R. Wilson predijo que las descargas eléctricas atmosféricas pueden ocurrir en la atmósfera por encima de las tormentas eléctricas de gran tamaño (Williams, 2001). En las décadas siguientes, las descargas eléctricas de gran altitud fueron reportadas por los pilotos de avión y por meteorólogos hasta la primera evidencia visual directa que se documentó el 6 de julio de 1989 por los científicos de la Universidad de Minnesota. Varios años después, la observación de estos eventos fueron nombrados “sprites” por los investigadores de la Universidad de Alaska para evitar explicaciones de propiedades físicas que, hasta ese momento, aún se desconocían. Los términos duendes rojos (*red sprites*) y chorros azules (*blue jets*) ganaron popularidad por un clip de vídeo que se distribuyó después de una campaña de investigación para estudiarlos (Eastview605, 2008).

Los *sprites* son grandes descargas eléctricas atmosféricas que se producen por encima de una nube de tormenta, o cumulonimbus, dando lugar a una gama muy variada de formas visuales. Son provocados por las descargas de los rayos de polaridad positiva entre las nubes de tormenta y la tierra (Bocippio, D.J., et al., 1995). Al fenómeno parece se le dio este nombre haciendo relación con el duende travieso (*air spirit*) Puck en “El sueño de una noche de verano” de William Shakespeare. Por lo general son de color naranja rojizo o azul verdoso. También puede ir precedido por un halo rojizo (Allan, 2005). A menudo se producen en ramificaciones, entre 80 y 140 kilómetros sobre la superficie de la Tierra. Los *sprites* fueron fotografiados por primera vez el 6 de julio de 1989 por científicos de la Universidad de Minnesota y desde entonces han sido testigos de decenas de miles de veces (Lyons, W.A.; Schmidt, M.D., 2003). Los *sprites* han sido responsables de accidentes inexplicables que involucran operaciones aéreas de gran altitud sobre las tormentas (STRATOCAT).

Los “*blue jets*” o chorros azules difieren de los *sprites* en que aquellos se proyectan desde la parte superior de la nube cumulonimbus por encima de una tormenta, por lo general en forma de un cono estrecho, a los niveles más bajos de la ionosfera entre 40 a 50 km por encima de la tierra.

Figura 2.

Red Sprite  
y blue jets.



Además, mientras los “red sprites” o duendes rojos tienden a ser asociados con impactos de rayos significativos, los “blue jets” no parecen estar directamente provocados por un rayo —ellos, sin embargo, parecen estar relacionados con la fuerte actividad de lluvia en las tormentas (STRATOCAT)—. También son más brillantes que los sprites y, como lo implica su nombre, son de color azul. El color se cree es debido a una serie de líneas de emisión azul y cercano al ultravioleta, a partir del nitrógeno molecular neutro y ionizado. Los primeros “blue jets” fueron grabados el 21 de octubre de 1989, en un vídeo de blanco y negro de una tormenta en el horizonte tomadas desde un Transbordador Espacial a su paso por Australia.

Los “blue jets” se presentan con menos frecuencia que los “sprites”. En el año 2007, cerca de un centenar de imágenes se han obtenido. La mayoría de estas imágenes, que incluyen las imágenes de color, están asociadas con una sola tormenta eléctrica estudiada por los investigadores de la Universidad de Alaska. Estas fueron tomadas en una serie de 1.994 vuelos de aviones para estudiar los “sprites”.

Los estudios de estos fenómenos requieren del desarrollo de nuevas técnicas de detección de trazas moleculares, al nivel de partes por mil-millones en muestras atmosféricas. En este sentido, la cuantificación y estudio espectroscópico de estos compuestos en descargas de la atmósfera superior presenta un importante reto desde el punto de vista experimental.

Entre las propiedades que se busca investigar están la medición de los coeficientes de ionización y captura de las moléculas, sus distribuciones de energía, la densidad de carga y sus características espectrales, entre otras. Esta experiencia proporciona un campo fértil para llevar a cabo estudios de la génesis de compuestos  $\text{NO}_x$ , y esto es porque, en las condiciones adecuadas, estas descargas, y en particular las de tipo corona son comparables a aquellas que ocurren en la atmósfera superior (Pasko, 2003).

La figura 3 presenta las secuencias de cuadros de video tomadas en una campaña de la Universidad de Alaska en el año 1996. Muestra una serie de “duendes” aparecidos en sucesión que parecen “danzar” desde la izquierda hacia la derecha. La secuencia dura unos 200 milisegundos. Unos pocos minutos después aparece otro conjunto de duendes, danzando en dirección opuesta. La tormenta que produjo estos fenómenos está detrás del horizonte.

Obsérvese que los cuadros que aparecen aquí no están separados por un tiempo constante. La línea de trazos que se ve fue agregada por medios electrónicos para marcar la ubicación de la ranura del espectrógrafo. Se estima en alrededor de 85-90 km de altitud la parte superior de estos fenómenos.

Figura 3  
Duendes.

Fuente: University of Alaska, imágenes obtenidas en 1996.

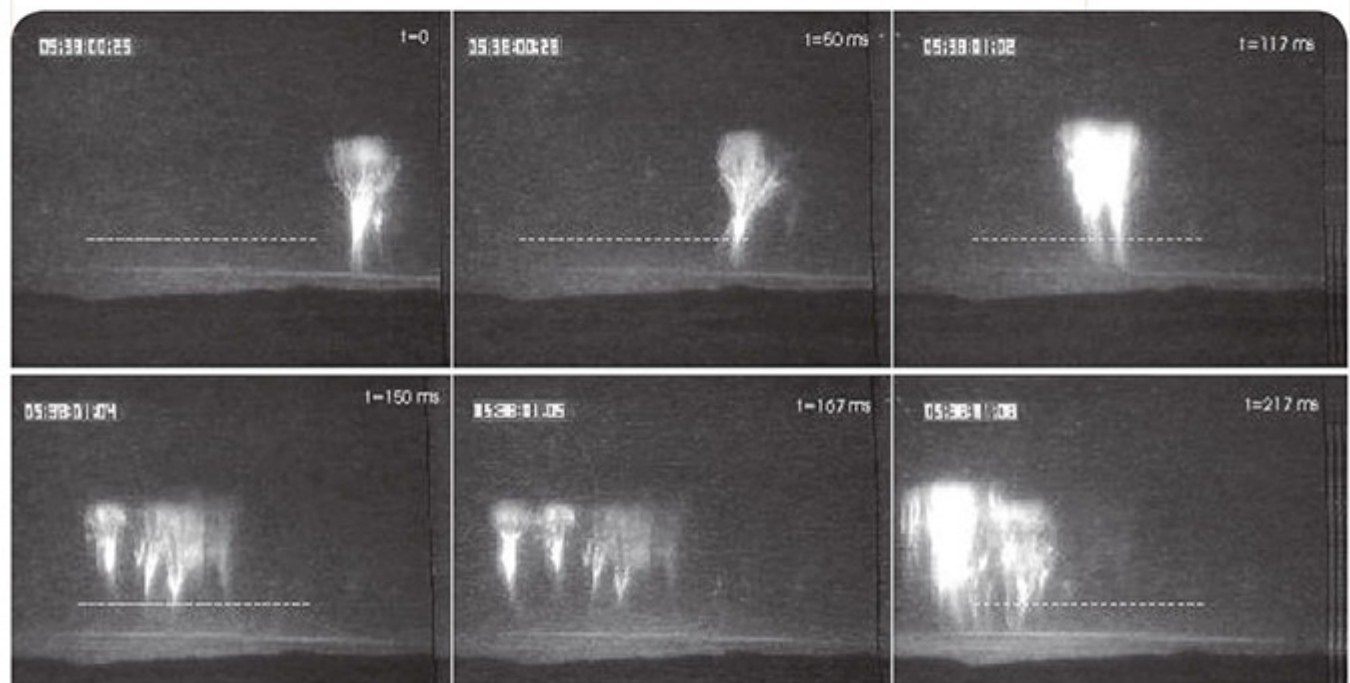
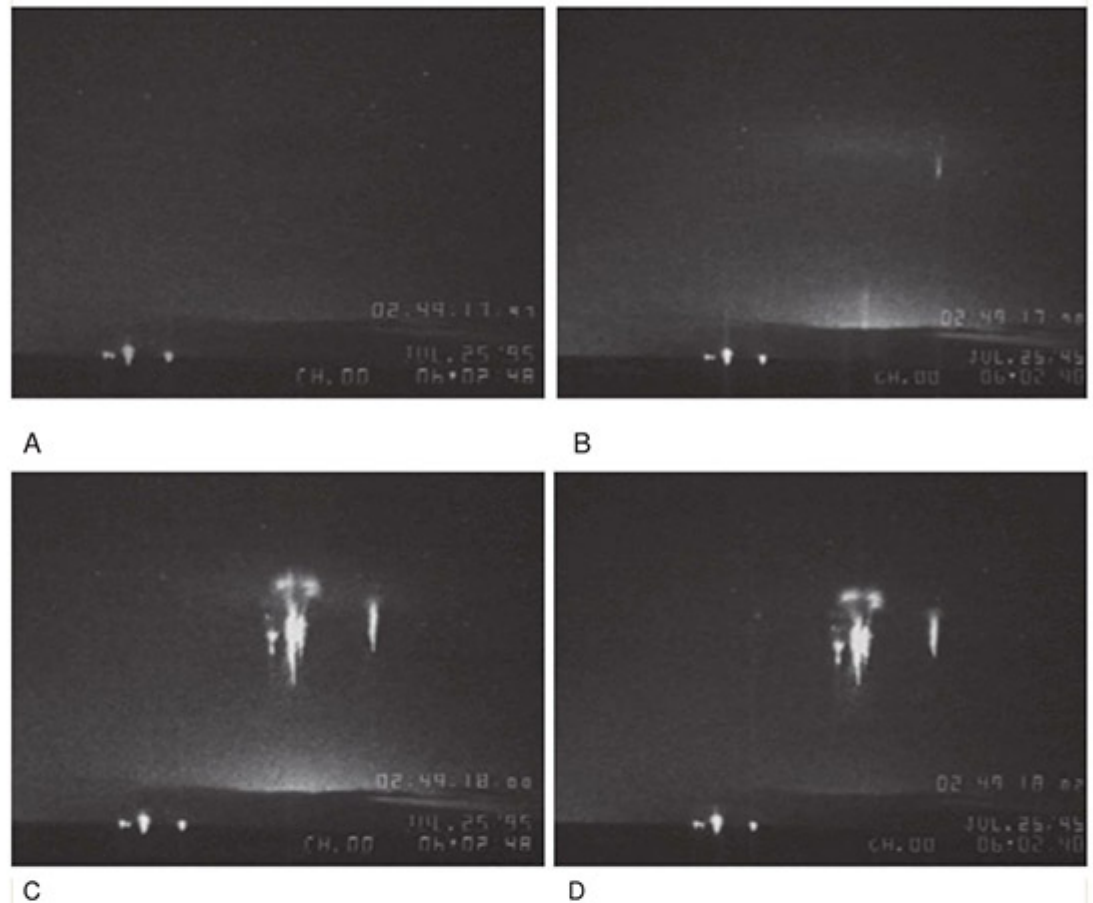


Figura 4.  
Elfos.



Fuente: University of Alaska, imágenes obtenidas en 1996.

Los “elfos”<sup>1</sup>, como los duendes, son manifestaciones a gran altitud de los campos eléctricos creados por rayos convencionales excepcionalmente intensos. Se muestran como capas brillantes en forma de torta o galleta. Los elfos pueden aparecer junto con los duendes pero se forman primero y duran menos tiempo. La secuencia de imágenes de video de la figura 4 muestra el tiempo relativo: justo antes de que se produzca un rayo, el cielo se ve oscuro y uniforme (A). El relámpago ilumina la cumbre de las nubes y de inmediato surge el brillo aplanado de los elfos en la parte alta de la mesósfera (B). Los duendes surgen en medio de esta parte de la atmósfera, agregando su radiación a la fantasmal capa de luminosidad (C). Finalmente, sólo quedan los duendes (D).

## Los rayos y la capa de ozono

El Ozono es una molécula compuesta únicamente por Oxígeno pero, a diferencia del que respiramos ( $O_2$ ), en el ozono se encuentran unidos 3 átomos formando  $O_3$ ; tiene color azul, un olor muy intenso e incluso es perjudicial para la salud. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha calculado que por cada 10 millones de moléculas de aire, cerca de 2 millones son de  $O_2$  (que necesitamos para respirar) y tan sólo 3 moléculas corresponden al  $O_3$ .

La atmósfera está dividida en varias capas. Desde los 10 km hasta aproximadamente 50 km se encuentra la estratosfera. Allí, entre los 15 y los 30 km, es donde se encuentra lo que se conoce como capa de ozono. Se llama así a una gran cantidad de moléculas de ozono que se acumulan en la atmósfera y juntas actúan como una especie de escudo para algunos rayos solares.

El sol emite rayos ultravioletas (UV) que se suelen dividir en tres grupos: UV-A, UV-B y UV-C. El ozono permite el paso de los UV-A e impide el de los UV-C, pero lo más importante es que limita la entrada de gran parte de los rayos UV-B, que son perjudiciales para la vida.

<sup>1</sup> Si bien los elfos tienen sus raíces nórdicas, también pueden ser comparados con las hadas y otros seres de la cultura celta.

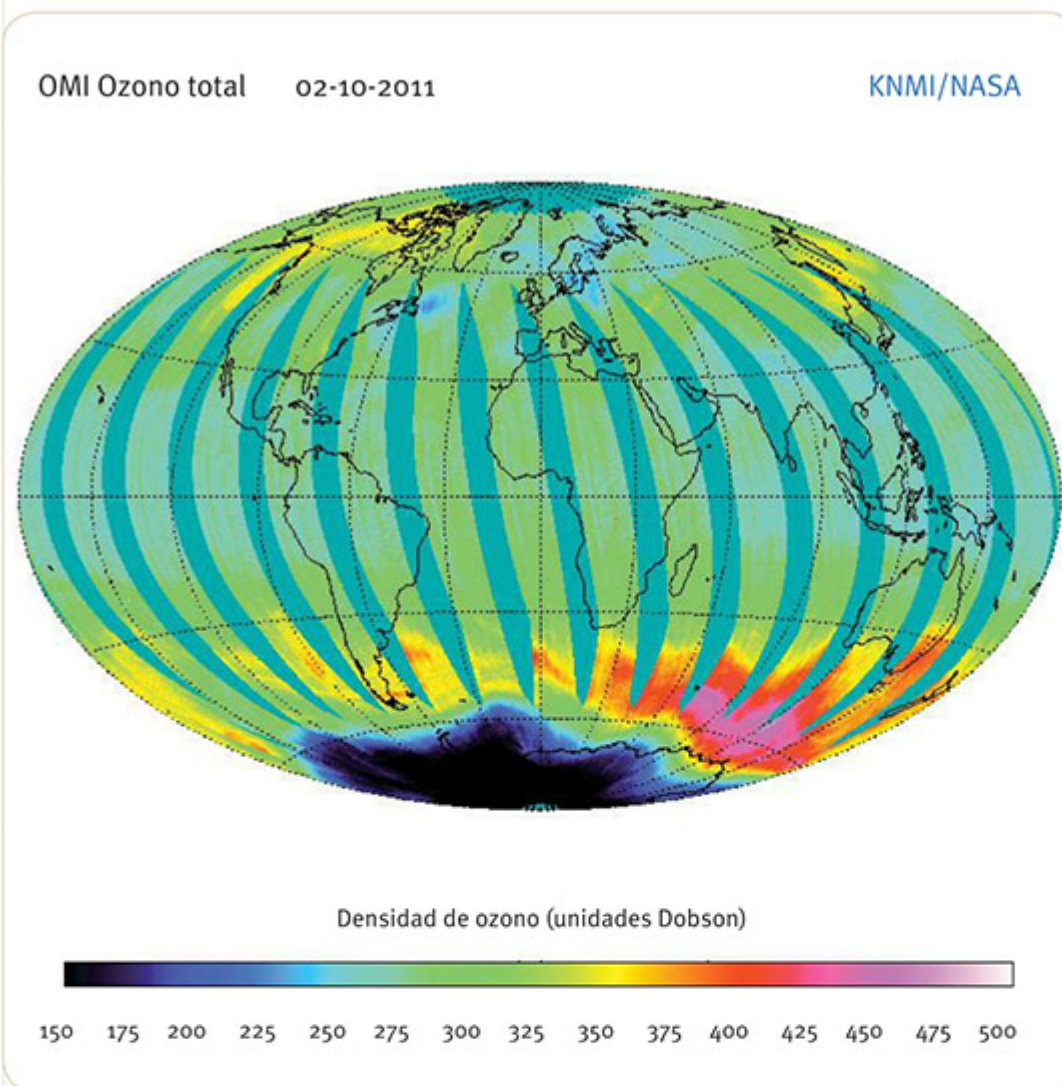


Figura 5.

Mapa global de la capa de ozono para el 19 de agosto de 2011.

El Oxígeno en forma de  $O_2$  asciende en la estratosfera, pero, cuando se encuentra con los rayos UV, éstos separan la molécula. Cuando tres átomos de Oxígeno que andan sueltos se encuentran, se unen para formar Ozono. El  $O_3$  está continuamente construyéndose y destruyéndose y esto es perfectamente normal. Los niveles de ozono suben y bajan pero siempre dentro de un rango normal.

El adelgazamiento de la capa de ozono puede tener consecuencias graves para la vida en la tierra. Los rayos ultravioleta (UV) pueden destruir el ADN, moléculas que se necesitan para la reproducción de los seres vivos. Los rayos ultravioleta alteran los procesos fisiológicos y de desarrollo e indirectamente modifican su forma, distribución de los nutrientes y etapas de crecimiento, lo cual es perjudicial para su supervivencia.

De acuerdo con estudios sobre la capa de ozono (Gómez, 2000), el ozono troposférico en mayor porcentaje es formado por reacciones químicas a partir de los óxidos de nitrógeno producidos por las descargas eléctricas y en menor porcentaje por los automóviles y la biomasa quemada.

Mediante globos estratosféricos, cohetes y similares pueden obtener la información sobre la capa de ozono, que luego se analiza y se compara con datos procedentes de satélites de órbita polar dotados de sensores especiales. De esta manera se puede obtener una visión sinóptica general de la Tierra cada día. Por ejemplo, gráficamente (Temis) puede observarse el mapa de la capa de ozono de la figura 5 para el día 19 de agosto de 2011.

Para interpretar los colores, está la leyenda que aparece debajo del mapamundi. Allí se encuentran los valores correspondientes en unidades Dobson. El rojo significa un valor elevado, mientras que el verde indica un valor bajo. Los valores muy bajos y peligrosos aparecen en azul y negro.

## Bibliografía

- Allan, S.D., 2005, BLAM-O!! Power from Lightning. En *Pure Energy Systems News*, Retrieved September 24, 2007 [http://pesn.com/2005/07/10/9600120\\_Livingstone\\_Lightning/](http://pesn.com/2005/07/10/9600120_Livingstone_Lightning/)
- Boccippio, D.J., Williams, E.R., Heckman, S.J., Lyons, W.A., Baker, I.T., Boldi, R., 1995 (August), Sprites, ELF Transients, and Positive Ground Strokes, En *Science* 269 (5227):1088-1091. Bibcode 1995Sci...269.1088B. DOI:10.1126/science.269.5227.1088. PMID 17755531.
- Eastview605, 2008, Red Sprites & Blue Jets - the video, Subido por Eastview605 el 20/08/2008, The original 1994 video clip from which the terms "Red Sprites" and "Blue Jets" are derived, En *You Tube*, <http://www.youtube.com/watch?v=1xVThAffPoE>
- Gómez, R.E., 2000, Formación de ozono por descargas eléctricas atmosféricas, En *Meteorología colombiana* ISSN: 0 ed: v.1 fasc. p.71-74.
- Lyons, W.A.; Schmidt, M.D., 2003, The Discovery of Red Sprites as an Opportunity for Informal Science Education, *American Meteorological Society*, P1.39, Retrieved on 2009-02-18.
- Pasko, V.P., 2007, 2003 Red sprite discharges in the atmosphere at high altitude: the molecular physics and the similarity with laboratory discharges, En *Plasma Sources Sci.Technol.* 16 S13-S29.
- Peterson, H., Bailey, M., Hallett, J., Beasley, W., 2009, NOx production in laboratory discharges simulating blue jets and red sprite, En *Journal of Geophysical Research* 114, A00E07.
- Rakov, V., Cooray, V., 2009, On the NOx production by laboratory electrical discharges and lightning, En *Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics* vol. 71, 17-18:1877-1889.
- STRATOCAT - Stratospheric balloons history and present. "Full report on the uncontrolled free fall of a stratospheric balloon payload provoked by a Sprite", <http://stratocat.com.ar/fichas-e/1989/PAL-19890605.htm>
- Torres, H., 2002, *El rayo: mito, ciencia y tecnología*, ISBN: 958-70-1213-5, Bogotá, Unibiblos.
- Torres, H., 2010, *Protección contra rayos*. Segunda edición. ISBN 978-958-9383-79-7, Bogotá, Editorial ICONTEC, Universidad Nacional de Colombia.
- Williams, E., 2001, Sprites, Elves, and Glow Discharge Tubes, En *physicstoday* [revista electrónica], disponible en [http://scitation.aip.org/journals/doc/PHTOAD-ft/vol\\_54/iss\\_11/41\\_1.shtml](http://scitation.aip.org/journals/doc/PHTOAD-ft/vol_54/iss_11/41_1.shtml)
- Y Wang, J.A., Logan, D. J., 1998, Global simulation of tropospheric O<sub>3</sub>-NO<sub>x</sub>hydrocarbon chemistry 2. Model evaluation and global ozone budget, En *Journal of Geophysical Research* vol. 103, Issue D9:10727.





# Fútbol

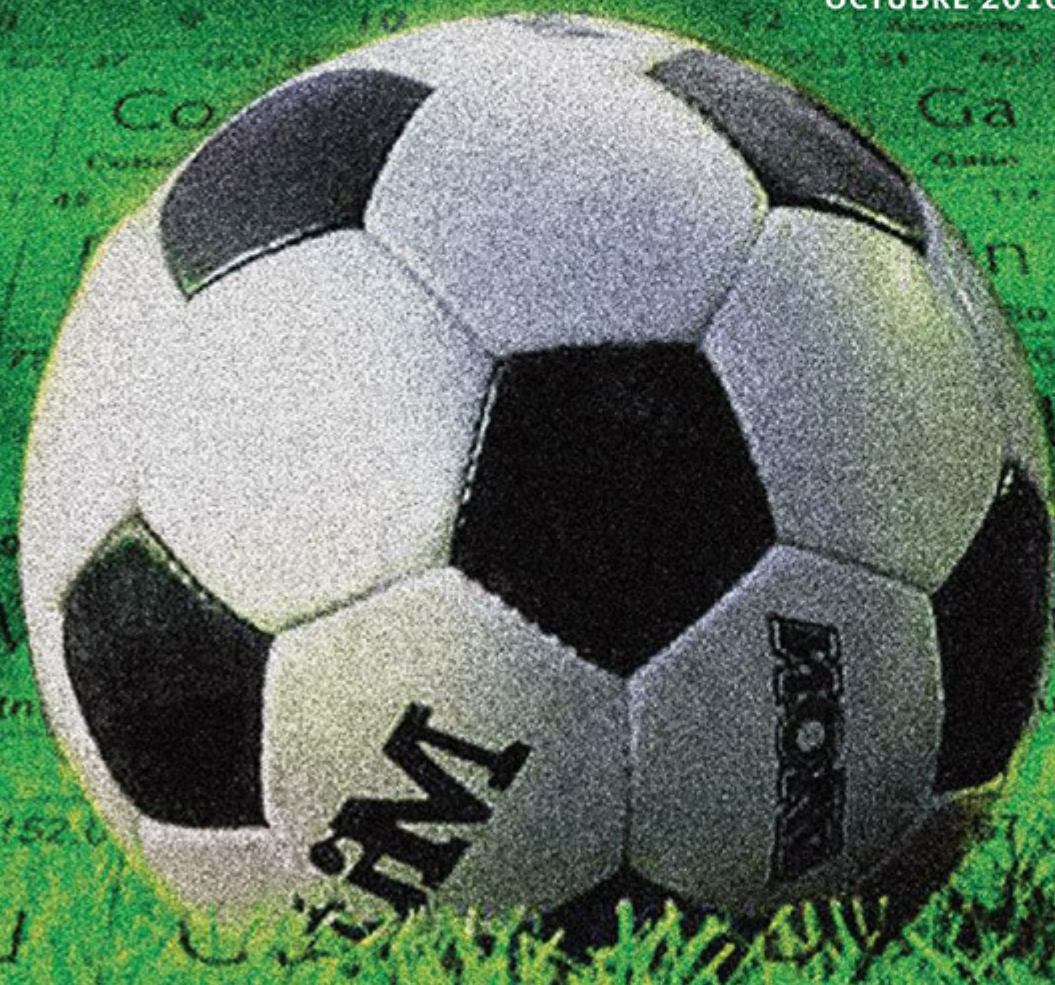
DAGOBERTO CÁCERES ROJAS

QUÍMICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. DOCTOR EN QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE PARÍS. PROFESOR HONORARIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. COFUNDADOR DE LOS CONGRESOS COLOMBIANOS DE QUÍMICA, DE LAS OLIMPIADAS COLOMBIANAS Y DE LAS OLIMPIADAS IBEROAMERICANAS DE QUÍMICA.

[dagoyceci@yahoo.com](mailto:dagoyceci@yahoo.com)

# y tabla periódica

NARRACIÓN CEDIDA  
POR DAGOBERTO CÁCERES ROJAS  
PARA INNOVACIÓN Y CIENCIA,  
DE SU LIBRO DAGOAVENTURAS,  
OCTUBRE 2010, BOGOTÁ, COLOMBIA.



**L**a oportunidad es propicia para contar una hermosa historia vivida en una escuela en el Caribe colombiano, cuando en una de las visitas programadas dentro del programa *RED: Fortalecimiento de la capacidad científica en educación básica y media*, en el hermoso pueblo de Galapa, encontré, vi y viví la tabla periódica más grande y hermosa.

Allí, con un calor de treinta y tres grados a la sombra, mientras dictaba una charla sobre los elementos químicos, pregunté a mi auditorio de décimo grado si conocían la tabla periódica. La respuesta, como cosa rara en la costa y en un solo grito producido por cuarenta voces, fue —¡Sí!

Mi reacción fue inmediata, buscar afanosamente la tabla periódica en el salón, en ninguna de las paredes se encontraba, no recordaba haberla visto en el laboratorio; entonces, ¿por qué esa respuesta tan enfática y contundente? Pensé que la profesora Rita les había dicho: —*No se les olvide contestar duro y fuerte cuando les pregunten, y recuerden decir “sí, seño”.*

Me dirigí a uno de los estudiantes, quien se encontraba en la tercera fila del salón, tenía la imagen de líder; ese miércoles, día de gimnasia, portaba la camiseta del Junior. —*¿Cómo te llamas?*

—*John —me contestó—. Mi segunda pregunta, a quemarropa, fue —Cuéntame, John, sobre la tabla periódica lo que quieras.*

Empezó por decirme que él formaba parte del equipo de fútbol del colegio y, como era de los buenos, era titular de la selección del Atlántico. Sus compañeros al unísono aplaudieron como confirmando la respuesta. Esperé que culminara su narración, y más aún siendo yo amante del fútbol, y admirador del buen fútbol, quería saber la relación entre elementos químicos y fútbol.

—*Oiga, profe, ¿por qué no salimos al patio?, y le comento sobre la tabla periódica.*

La curiosidad se apoderó de mí y, sin pensarlo dos veces, salí. Detrás de mí y de la “seño Rita” salieron en tropel todos los estudiantes como si estuviéramos dejando atrás las barras bravas en un clásico Millos Santafé. Nos dirigimos, entre comentarios y murmullos, al patio central.

En una gran pared se encontraba una tabla periódica de por lo menos 9 por 2,10 metros. Cuadros de 50 por 30 centímetros, en 18 columnas y 7 filas, una obra multicolor, como les gusta a los habitantes de la costa. La historia de su realización me fue contada a varias voces, por los alumnos, con aclaraciones de la profesora de Química.

Hace algunos años, la Seño Rita les puso como tarea —después ella me contó que más como castigo— a uno de los cursos de décimo, realizar una tabla periódica, dizque con el único propósito de mantenerlos juiciosos. Se escogió la gran pared blanca que daba al campo de fútbol y que era el límite con las canchas de volibol. Se repartieron las tareas y lentamente empezaron la labor; la profe Rita, como sargento o gerente dirigía el trabajo. Día a día la tabla periódica iba cogiendo vida, en hermosos colores aparecían letras y números, se llenaban uno a uno los cuadros, bajo la mirada curiosa de los niños de maternal y de los futuros bachilleres. Los últimos retoques mostraron una obra de arte y un “yo lo hice” cada vez que alguien preguntaba.

Hoy día esos pintores —y a decir de la profesora y de algunos alumnos que en ese entonces empezaban a conocer las letras o a dar patadas al balón— son artesanos, docentes, profesionales del

fútbol, profesionales y un par de ellos químicos, quienes después de tantos años siguen amando la tabla periódica.

Unos días después de terminar esta obra de arte, el profesor de Educación Física, Freddy, actualmente entrenador de fútbol del colegio, vio retratado en el mural un arco de fútbol, hasta reglamentario, para colmo de males, o para futuros bienes. En el entrenamiento de ese día colocó en el centro de la tabla periódica al portero titular del colegio, pintó el punto penal a doce meticulosos pasos; llamó a Carlos, uno de los mejores delanteros y le dio la orden: *—Pégale a la F.*

Y así lo hizo Carlos, como ahora lo hace John, *—Y ahora a la H* —fue su segunda orden—; en ese cuadro quedó la huella del balón. Feliz, el profe empezó a llamar uno a uno a sus alumnos, formaran o no parte del equipo de fútbol. Y así uno a uno patearon sus respectivos penales. Iban René dirigió el balón a la I y al Li, en ambos acertó, Willinton al Fr y al At, verdaderos goles que el negro Perea hubiera cantado a todo pulmón, anotando: “tiro rastreado y rozando el palo”; el Pony apuntó a los metales nobles, primero al Au y luego al Ag ambos tiros tapados. Todos y cada uno de los futuros profesionales del balón fueron escogiendo sus letras. Freddy, el profe de Educación Física, no perdía detalle e iba anotando efectividad en cada una de las letras.

Como siempre, un no amante del fútbol fue corriendo a contarle a la profe Rita, quien de un solo brinco abandonó sus quehaceres académicos y corrió a ver por qué le iban a tumbar su obra maestra. Al llegar al patio central notó una cola ordenada y unos rostros de felicidad de no menos de veinte alumnos, los seleccionados por Freddy, que atentamente fijaban su vista en la tabla periódica y cada uno le comentaba a su compañero de cola a qué letra, o letras, le iba a dar, y no fueron pocas las apuestas que se realizaron, ni pocos los balones que terminaron en los campos de volibol.

Era la primera vez que la profesora Rita veía tantos admiradores de la tabla periódica. No le importó ver el primer impacto, y la huella del balón húmedo, en ese ordenamiento de los elementos químicos. Era el turno del capitán del equipo, el número cinco del equipo, un magnífico repartidor de balones —y quien no era ningún amante de la química y si se sabía dos nombres no se sabía tres—. Freddy le dio la orden: *—¡Pibe, al Cl!*

El tiro se dirigió al Al; el arquero, sin mucho esfuerzo, atrapó el balón.

*—¡Te dije que al Cl y le tiraste al Al!* —le comentó Freddy—.

La profe Rita, que llevaba unos cuantos minutos sin saber qué decir ni qué hacer, intervino inmediatamente y, acercándose al profe de Educación Física, le comentó:

*—No es el Cl, sino el CLORO, y si bien es cierto que su tiro iba dirigido al Al, no era el Al sino el ALUMINIO.*

Desde ese día él, Freddy, se aprendió uno a uno los nombres de cada uno de los elementos y, lógico, sus símbolos. Lo mismo hicieron sus alumnos. Los estudiantes de décimo grado se enamoraron de ese “arco de fútbol lleno de colores” con el cual aprendieron no solo a patear penales sino a darle gran felicidad a la Señora Rita, quien, sin saberlo, encontró la mejor manera de enseñar el Ordenamiento de los Elementos Químicos. Así, el Pibe, Iban René, Carlos y sus compañeros aprendieron a amar y conocer la TABLA PERIÓDICA; como hoy lo hacen John, Lucho, Gambeta y los jugadores de fútbol del colegio, desde los de la maternal hasta los futuros bachilleres.



## Zoológico de Cali

Para el placer de los visitantes, en el Zoológico de Cali habitan mamíferos, aves, peces y plantas, en un entorno natural que respeta sus ambientes.

FOTOGRAFÍAS DE CARMEN HELENA CARVAJAL LÓPEZ

● Flamencos rosados: existen cuatro especies en América y dos en el viejo mundo. Habitantes de lagunas con abundante lodo.



● Tigre de Bengala: el mayor de todos los felinos del mundo. Habita en sabanas con hierbas altas, bosques tropicales y templados.





● Suricata: habitante de las sabanas africanas.



## Reseña

### El big bang: aproximación al universo y a la sociedad, diálogo sobre el origen del mundo.

TORRES A., S. (2011). BOGOTÁ, EDITORIAL SIGLO DEL HOMBRE.

Por Germán Puerta Restrepo

La teoría del *Big Bang* es uno de las piedras angulares de la cosmología moderna, basada en sólidos experimentos y claras evidencias observacionales. Es extremadamente exitosa relacionando las propiedades observables de nuestro universo con las leyes físicas, y como un todo es la más completa explicación que tenemos sobre el origen y evolución del Universo. Sin embargo, desde su inicio, la teoría del *Big Bang* estuvo bajo ataque tanto por connotados científicos como por el público general, los primeros defendiendo teorías rivales que costaron mucho tiempo y esfuerzo, y los segundos, incluyendo periodistas, confundidos en medio de una comunicación oscura e imprecisa sobre este nuevo Universo. ¿Tiene esto que ver con la carencia de conocimientos básicos de disciplinas conexas, como matemáticas y física? O es más bien por los planteamientos contradictorios postulados por los medios de comunicación y por los mismos científicos. O hay aspectos más sorprendentes asociados a egos y envidias de profesionales navegando en los confines del cosmos pero que no pueden aceptar la crítica de un colega.

El libro de Sergio Torres Arzayús, *El big bang: aproximación al universo y a la sociedad, diálogo sobre el origen del mundo*, trata de todos estos asuntos. Por un lado nos aclara las equivocaciones más generalizadas acerca de la teoría del *Big Bang*, teoría que no está limitada a un área de la ciencia sino que se basa en el aporte de numerosas disciplinas científicas y desarrollos tecnológicos. Y que además continúa bajo el fuego de la experimentación en la dirección de responder el gran enigma: origen, evolución y destino del Universo, enigma que tal vez jamás podamos conocer completamente.

La comunicación de las ideas científicas al público es en sí una ciencia, y Sergio Torres lo hace en forma muy especial. Acude a una fascinante disciplina, sin la cual es humanamen-

# pagosonline

El pago seguro en internet

Vende fácilmente por internet con toda tranquilidad, usando la más avanzada tecnología en detección contra el fraude electrónico.

Contáctanos ya en:  
[www.pagosonline.com](http://www.pagosonline.com)

P B X (+1) 756 31 26



Recibimos tus pagos por medio de:

