



Boletín de la Sociedad Química de México

Volumen 13
Número 3
Año 2019
septiembre-diciembre

SOCIEDAD QUÍMICA DE MÉXICO, A.C.
"La química nos une"

UNESCO
United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

2019
IYPT
International Year of the Periodic Table of Chemical Elements

JORNADA ACADÉMICA

QUÍMICA

SIN FRONTERAS

En celebración del Año Internacional del la Tabla Periódica de los Elementos Químicos.

CONACYT
Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnología



Boletín de la Sociedad Química de México (Bol. Soc. Quim. Mex.)

EDITORES

Dra. Verónica García Montalvo
Dr. Jorge Guillermo Ibáñez Cornejo
Dr. Alberto Rojas Hernández

COMITÉ EDITORIAL

Dra. Catalina Pérez Berumen
Dr. Miguel Ángel Méndez Rojas
Dr. Miguel Ángel Muñoz Hernández

ASISTENCIA EDITORIAL

Estefanie Luz Ramírez Cruz
boletin.sqm@gmail.com

MAQUETACIÓN

Estefanie Luz Ramírez Cruz
Sociedad Química de México, A.C.

IMPRESIÓN

Formas e Imágenes
Av. Universidad 1953, edif. 2, loc. E
Col. Copilco el Bajo, Alc. Coyoacán
Ciudad de México, 04340
formaseimagenes@gmail.com



EN PORTADA: Imagen oficial de las Jornadas Académicas "Química sin Fronteras" en celebración del Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos.

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS

El Boletín de la Sociedad Química de México, año 13, número 3, septiembre-diciembre de 2019, es una publicación cuatrimestral, septiembre-diciembre de 2019, editada por la Sociedad Química de México, A.C., Barranca del Muerto 26, Col. Crédito del Constructor, Alc. Benito Juárez, 03940, Ciudad de México, Tel. 55 56 62-68 37. <http://bsqm.org.mx/>, boletin.sqm@gmail.com. Editores responsables Jorge Ibáñez, Verónica García, Alberto Rojas/ Impreso: Certificado de Reserva: 04-2016-021511381800-106, ISSN 1870-1809 ambos otorgados por el Instituto de Nacional de Derechos de Autor. Certificado de Licitud de Contenido: en trámite. Registro postal de impresos depositados por sus editores o agentes otorgados por SEPOMEX: IM09-0312. Impreso por: Formas e Imágenes. Se terminó de imprimir en diciembre de 2019 con un tiraje de 600 ejemplares./ Electrónico: Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2017-063013203100-203, ISSN-e: 2594-1038, ambos otorgados por Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este número Estefanie Ramírez y Lizbeth Méndez, Sociedad Química de México A.C. Fecha de última modificación: 5 de diciembre de 2019.

EDITORIAL

El Año Internacional de la Tabla Periódica (AITP) ha sido especialmente fructífero para la Sociedad Química de México en actividades académicas y de difusión científica. Contando con el apoyo del CONACYT, se han organizado seis Jornadas Académicas realizadas en espacios universitarios de diferentes ciudades del país.

En este segundo número especial del *Boletín de la Sociedad Química de México* presentamos las contribuciones de las Dras. Fabiola Monroy Guzmán, Lena Ruiz Azuara, Luz María Torres Rodríguez y Violeta Mugica Álvarez a razón de su participación en las Jornadas Académicas de la Universidad Autónoma del Estado de México, en el Museo de la Universidad Autónoma de Baja California en Mexicali, y en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, respectivamente.

Además, la Dra Verónica García, Editora del *BSQM*, presenta la entrevista al Dr. Víctor Duarte Alaniz, ganador del concurso de obras de arte para el AITP, organizado por la IUPAC y, la última parte de la Historia de la Tabla Periódica que nos ha presentado a lo largo de cuatro números el Dr. José Adrián Peña Hueso.

Asimismo, se publican los resultados del proceso electoral llevado a cabo este año para la elección de los comités ejecutivos Nacional y de la Sección Valle de México, mismas que entrarán en vigor en 2022. Agradecemos a nuestros socios que participaron como candidatos y, a quienes no resultaron electos en esta ocasión, los invitamos a seguir participando en las diferentes actividades de la Sociedad Química de México, pues su respaldo es imprescindible para alcanzar el éxito en nuestras tareas.

El Comité Editorial de la Sociedad Química de México hace una mención especial al trabajo de la Dra. Verónica García Montalvo como Editora del *Boletín de la Sociedad Química de México* quien, desde 2016, junto con la Dra. Margarita Viniegra, encabezaron la renovación del *BSQM*, con el objetivo de transformarlo en una publicación abierta y plural, en donde nuestros socios y amigos pudieran compartir sus artículos de divulgación y práctica profesional, además de incluir nuevos espacios como la sección "Para estudiantes..." que nos ha permitido abarcar al público más joven y la sección "Noticias" en donde se da parte de las actividades que lleva a cabo la Sociedad Química de México.

La Dra. Verónica ha considerado que el AITP le permitirá cerrar con broche de oro su participación como editora. Agradecemos su empeño y profesionalismo y le deseamos éxito en los proyectos futuros. Continúan a cargo del *BSQM*, como co-editores el Dr. Alberto Rojas Hernández de la UAM Iztapalapa y el Dr. Jorge Ibáñez Cornejo de la Universidad Iberoamericana, quienes han apoyado en las labores editoriales desde mayo de 2018.

CONTENIDO



NOTICIAS

- Numeralia de las Jornadas Académicas "Química sin Fronteras"
para celebrar el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos 4

QUÍMICA Y DESARROLLO

- Elementos Superpesados
Fabiola Monroy-Guzmán 7

- La Tabla Periódica de los elementos de la vida
Lena Ruiz Azuara 12

- Tabla periódica y electroquímica
Luz María Torres Rodríguez 15

- Ozono Atmosférico: Héroe y villano ambiental
Violeta Mugica Álvarez 19

- Historia de la Tabla Periódica de los Elementos
Parte IV
José Adrian Peña Hueso 22

ENTREVISTA

- Concurso de obras de arte para el Año internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos: Dr. Víctor Duarte Alaniz, ganador del primer lugar
Verónica García Montalvo 27

- RESULTADOS DEL PROCESO ELECTORAL DE LA SOCIEDAD
QUÍMICA DE MÉXICO A.C. 2022-2023 30

Numeralia de las Jornadas Académicas "Química sin Fronteras" para celebrar el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos



Presídium Jornada Académica en la Universidad Autónoma del Estado de México: Dra. María del Jesús Rosales Hoz, Dr. Erick Cuevas Yáñez, Dr. Alberto Vela Amieva.

La Sociedad Química de México, A.C. ha organizado una serie de Jornadas Académicas para conmemorar la declaración del 2019 como Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos, por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

Las Jornadas Académicas son eventos que reúnen a la comunidad interesada en la Química para presentar avances en tareas de investigación o educación. Permiten el intercambio de ideas y fomentan la colaboración entre distintos grupos de investigación para así conseguir un mayor desarrollo en temas diversos. La conexión entre distintas líneas de investigación puede enriquecer de manera notable un proyecto de investigación y es otro aspecto que se busca fomentar en estas Jornadas.

La celebración del Año Internacional de la Tabla Periódica ha ofrecido la oportunidad de impulsar un programa de divulgación de la ciencia, en la que, sin duda, la Tabla Periódica es un elemento relevante, ya que permite articular en torno suyo otras áreas del conocimiento.

La divulgación que se genera en las diferentes áreas del conocimiento en el mundo es fundamental para el avance de la ciencia en general. Por ello, pensar en una Química sin Fronteras, subraya el deseo de la Sociedad Química de México de que los investigadores mexicanos tengan oportunidad de dar a conocer los avances de sus proyectos de investigación entre la comunidad internacional.

Aunado a ello y gracias al apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), cada una de las ponencias fue transmitida en tiempo real por medio de la plataforma de Facebook. Las conferencias permanecen disponibles en la página: <https://es-la.facebook.com/SociedadQuimicadeMexico.Org.Mx/>

Asimismo, este apoyo nos permitió contar con la participación de la Sección Estudiantil de la Sociedad Química de México de la UAM Iztapalapa en las Jornadas del Museo Universum, de la Universidad Autónoma del Estado de México y de la Universidad La Salle quienes, además de actuar como voluntarios, pudieron presentarse como agrupación estudiantil subrayando la importancia del trabajo en equipo e impulsando a los estudiantes de otras universidades a ser parte de los proyectos que promueven su desarrollo profesional.

En números totales, las Jornadas Académicas se llevaron a cabo en cinco ciudades del país. Se contó con la participación de 25 ponentes de 18 institutos o facultades de 12 universidades nacionales y dos universidades extranjeras. La asistencia presencial total fue de 1,316 personas, la asistencia virtual de 30,867 y la reproducción de videos posteriores a su publicación fue de 9,302 vistas. Se han publicado dos números especiales del *Boletín de la Sociedad Química de México* con las conferencias de varios de los ponentes a manera de artículos de divulgación.



Jornada Académica en la Universidad La Salle, Ciudad de México: QFB. Ana Belén Ogando Justo, M. en C. Marco Antonio Loza Mejía, Dra. María del Jesús Rosales Hoz, Dr. Tomás Eduardo Chávez Miyauchi, Dr. Gabriel Cuevas González Bravo, Mtra. Betsabé Morales Luna, Dr. Ignacio González Martínez.

Jornadas Académicas de la Sociedad Química de México 2019

Sede y fecha	Ponentes	Conferencia	Asistentes	Personas conectadas en vivo	Vistas al 4 de noviembre	Lugares en donde se reproduce el video
26 de febrero de 2019 en Teatro del Museo Universum, Ciudad de México	Dr. Plinio Jesús Sosa Fernández Facultad de Química, UNAM	La magia de la Tabla Periódica	297	2630	960	CDMX, Veracruz, Edo. de México, Jalisco, Chihuahua, Nuevo León, Guanajuato, Quintana Roo, Tlaxcala, Yucatán, Michoacán Hidalgo, Sonora, Guerrero y Puebla en México. Pichincha en Ecuador, Texas y Georgia en EE. UU., Cusco y Lima en Perú, Valencia en España.
	Dra. Liliana Quintanar Vera Departamento de Química, CINVESTAV	Metales y enfermedades degenerativas ¡No dejes que tu cuerpo saque el cobre!		704	207	
	Dr. José Luis Córdova Frunz Departamento de Química, UAM Iztapalapa	Evolución de la Tabla Periódica		1229	413	
	Dr. José Guadalupe López Cortés Instituto de Química, UNAM	Metales en Medicina		2219	741	
	Dr. Enrico Ramírez Ruiz Universidad de California, Campus Santa Cruz e Instituto Niels Bohr, Universidad de Copenhague	El origen de los elementos en el Universo		966	322	
26 de marzo de 2019 Instituto de Investigaciones Culturales y Museo de la UABC en Mexicali, Baja California	Dra. Emma Margarita Pereyra Talamantes Instituto de Astronomía de la UNAM	El origen cósmico de los elementos Químicos	93	906	219	CDMX, Edo. de México, Nuevo León, Chihuahua Morelos, Guerrero, Baja California, Puebla, Nuevo León, Querétaro, Morelos y Guanajuato en México. Lima en Perú, Misiones en Argentina y Tennessee y Arizona en EE. UU.
	Dr. Benjamín Valdez Salas Instituto de Ingeniería de la UABC	Los elementos químicos en la ciencia y en la tecnología de materiales		1347	405	
	Dr. Ernesto Alonso Valdéz Salas Centro Médico Ixchel e Instituto de Ingeniería de la UABC	Elementos químicos: Del origen de la Tierra a la Nanomedicina		1058	297	
	Dra. Lena Ruiz Azuara Facultad de Química de la UNAM	La Tabla Periódica de los elementos de la vida				
29 de abril de 2019 Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí	Dra. Violeta Mugica Álvarez Departamento de Ciencias Básicas de la UAM Azcapotzalco	O ₃ , héroe o villano ambiental	248	1068	280	CDMX, San Luis Potosí, Puebla, Veracruz, Chihuahua, Hidalgo, Jalisco, Guanajuato, Nuevo León, Edo. de México, Tabasco, Michoacán Morelos y Guerrero en México. Chimborazo en Ecuador, Lima en Perú, Quindío en Bolivia y Boyacá en Colombia.
	Dra. Luz María Torres Rodríguez Facultad de Ciencias Químicas de la UASLP	Tabla Periódica y electroquímica		961	313	
	Dr. Luis Chacón García Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	Tabla Periódica y el carbono		707	183	
	M.C. María del Carmen Ojeda Escamilla Instituto de Metalurgia de la UASLP	Identificación y cuantificación de los elementos metálicos... y no metálicos... en la minería		484	110	

Jornadas Académicas de la Sociedad Química de México 2019

Sede y fecha	Ponentes	Conferencia	Asistentes	Personas conectadas en vivo	Vistas al 4 de noviembre	Lugares en donde se reproduce el video
28 de mayo de 2019 en la Biblioteca Universitaria en la Universidad Autónoma de Nuevo León	Dra. María del Jesús Rosales Hoz Departamento de Química del CINVESTAV	La Tabla Periódica: un mapa del tesoro	174	889	201	CDMX, Nuevo León, Jalisco, Veracruz, Sinaloa, Edo. de México, Puebla, Morelos Coahuila, Hidalgo, Baja California, San Luis Potosí, México, Baja California, Oaxaca, Nayarit, Chihuahua y Tabasco en México. Aquitaine en Francia
	Dr. Rodrigo Alonso Chan Navarro Facultad de Ciencias Químicas de la UANL	Química de coordinación de elementos de la Tabla Periódica: propiedades ópticas y sus aplicaciones		667	162	
	Dr. Alberto Vela Amieva Departamento de Química del CINVESTAV	Qué tan periódica es la tabla Periódica		3081	997	
	Dra. María Aracely Hernández Ramírez Facultad de Ciencias Químicas de la UANL	Jóvenes científicos y científicas en descubrimientos relevantes de la Química		699	155	
12 de agosto de 2019 Auditorio Dr. Gustavo Baz Prada de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma del Estado de México	Dra. Fabiola Monroy Guzmán Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares	Elementos superpesados	194	2366	735	Edo. de México, CDMX, Guanajuato, Oaxaca, Tabasco, Nuevo León, Baja California Sur, Puebla, Michoacán y Jalisco, Chihuahua, Tlaxcala, Querétaro Hidalgo, Nayarit en México. Aquitaine en Francia, Cataluña en España, Santa Cruz en Bolivia, California en EE. UU., Saitama en Japón, Cauca en Colombia y Reino Unido.
	Dr. Vojtech Jancik Centro Conjunto de Investigación de Química Sustentable UAEM-UNAM	Conversión del dióxido de carbono a metano utilizando membranas catalíticas		1516	345	
	Dr. Alberto Vela Amieva Departamento de Química del CINVESTAV	Relatividad y Tabla Periódica		1905	609	
	Dr. Víctor Varela Guerrero Facultad de Química de la UAEM	Silicatos moleculares. Una lucha contra la tendencia a la concatenación		2556	778	
21 de noviembre de 2019 Auditorio Adrián Gilbert de la Universidad La Salle de la Ciudad de México	Dr. Tomás Eduardo Chávez Facultad de Ciencias Químicas, Universidad La Salle	Complejos supramoleculares base Boro para reducción de la viscosidad de crudos pesados y extra-pesados mexicanos	310	1054	247	Veracruz, CDMX, Edo. de México, Coahuila, Puebla, Hidalgo, Oaxaca, Chihuahua y Nayarit, Puebla, Tamaulipas, Chihuahua, Querétaro, Michoacán, San Luis Potosí y Jalisco en México. La Libertad y Lima en Perú. Buenos Aires en Argentina y Wisconsin en EE. UU.
	Dr. Carlos Antonio Rius Alonso Facultad de Química, UNAM	Un viaje desde el origen de la materia a la Tabla Periódica		1491	394	
	Dr. Juan Rodrigo Salazar Facultad de Ciencias Químicas, Universidad La Salle	Los químicos también clasificamos las cosas: De la Tabla Periódica de los elementos a la organización actual de los productos naturales		593	95	
	Dr. Gabriel Eduardo Cuevas González-Bravo Instituto de Química, UNAM	La Tabla Periódica y México		737	134	

RESUMEN

Los elementos superpesados o “transactínidos” son elementos sintéticos con $Z > 104$, situados en el séptimo periodo de la tabla periódica. Son producidos mediante reacciones de fusión de dos átomos más ligeros, con ayuda de aceleradores de partículas. Poseen vidas medias típicamente de fracciones de segundos y su tasa de producción es de unos cuantos átomos.

Palabras claves: transactínidos, elementos superpesados, fusión.

ABSTRACT

Super heavy elements or "transactinides" are synthetic elements with $Z > 104$, located in the seventh period of the periodic table. They are produced by fusion reactions of two lighter atoms, with the help of particle accelerators. They have half-lives of seconds and their production rate is only a few atoms.

Keywords: transactinides, super heavy elements, fusion.

Los elementos superpesados son aquellos pertenecientes al séptimo periodo de la tabla periódica, cuyos números atómicos comprenden entre el rutherfordio (${}_{104}\text{Rf}$) y el oganesón (${}_{118}\text{Og}$), siendo este último el elemento más pesado de la tabla periódica actual. A los elementos superpesados también se les conoce como “transactínidos” porque se encuentran después de los actínidos en la tabla periódica.

Los elementos superpesados no existen en la naturaleza, y no parecen ser sintetizados durante la nucleosíntesis que ocurre en las estrellas. Son elementos sintéticos, que han sido creados por el ser humano.

¿Cómo se producen los elementos superpesados?

Los elementos superpesados son sintéticos y se producen básicamente por la fusión de dos átomos más ligeros, de cuya suma resulta el número atómico que se quiere sintetizar. Sin embargo, existen limitaciones que impiden que el proceso de fusión de dos núcleos iniciales se produzca fácilmente:

- 1) La cantidad de protones y neutrones de los dos núcleos iniciales debe ser compatible para que el producto formado sea el más estable posible.
- 2) Es necesario disparar el átomo-proyectil (es el más ligero) lo suficientemente rápido sobre el blanco (el átomo más pesado), para que su velocidad pueda superar la fuerza de repulsión eléctrica de los dos núcleos, dado que los protones están cargados positivamente y se repelen entre sí (repulsión de Coulomb).

En átomos pequeños, esta repulsión se compensa con otras fuerzas (i.e., la interacción entre los nucleones o la fuerza nuclear), pero cuando la cantidad de protones supera los 104 en un átomo, la repulsión de Coulomb toma el control. Por ello, una vez que el proyectil está lo suficientemente cerca del blanco, la repulsión debe invertirse y la fuerte interacción nuclear superar la repulsión eléctrica, de forma que al chocar los dos núcleos (imaginemos que se trata de dos gotas), las superficies nucleares se toquen entre sí y formen “una sola gota” de material nuclear, es decir el núcleo superpesado (ver Figura 1). Así, los átomos de los elementos superpesados se forjan por fusión nuclear. Para ello se utilizan aceleradores de partículas de alta energía o ciclotrones, que confieran la energía suficiente al proyectil para permitir su fusión con el blanco y así formar el átomo pesado; sin embargo, si la energía de bombardeo del proyectil es muy alta, los átomos formados por fusión se fisionan (Figura 1). El problema de la fusión de núcleos pesados radica, por tanto, en la gran cantidad de protones en ambos núcleos. Esto crea un campo eléctrico que los repele intensamente.

Experimentalmente se han seguido dos vías para sintetizar a los elementos superpesados:

- 1) La “fusión fría” en donde se utilizan proyectiles de elementos estables como el ${}^{50}\text{Ti}$, ${}^{54}\text{Cr}$, ${}^{58}\text{Fe}$, ${}^{59}\text{Co}$ o ${}^{70}\text{Zn}$, sobre blancos estables

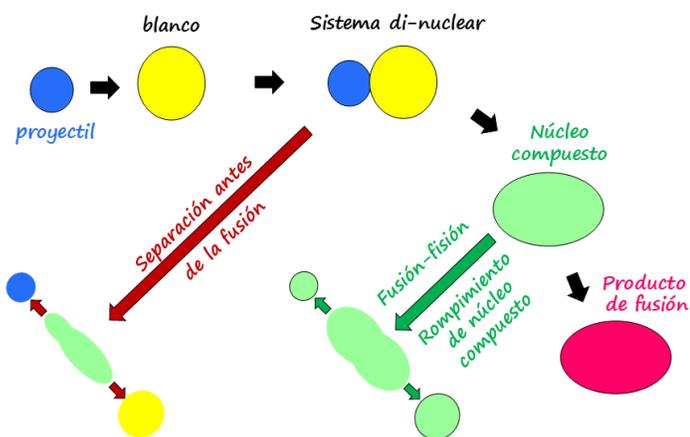


Figura 1. Proceso de síntesis de elementos superpesados.

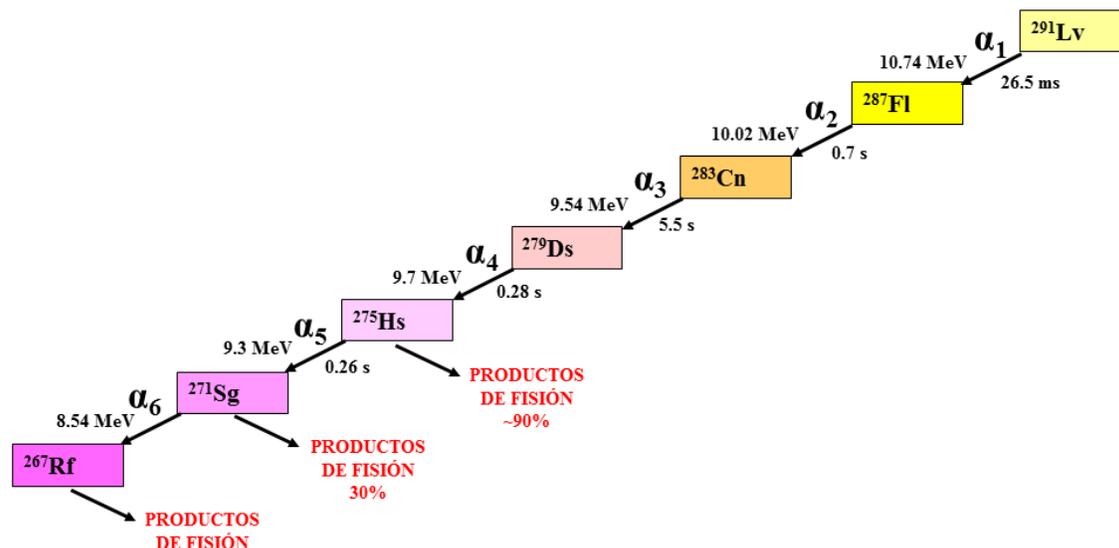


Figura 2. Decaimiento radioactivo del Lv-291.

como el ^{208}Pb o el ^{209}Bi , formándose un nuevo núcleo cuyo número atómico (Z) es igual a la suma del proyectil y el blanco ($Z = Z_P + Z_B$) (ver Tabla 1). La energía del proyectil es elegida para que el núcleo compuesto formado esté “frío”, es decir, contenga energías de excitación bajas y emita un mínimo de partículas. Este tipo de reacciones han sido empleadas para producir elementos con $Z = 107$ a 113 (Ver Tabla 1).

2) La “fusión caliente” utiliza proyectiles de ^{48}Ca y blancos radioactivos transuránicos como el ^{244}Pu , ^{243}Am , ^{248}Cm , ^{249}Bk o ^{249}Cf . En este caso el núcleo compuesto (superpesado) tiene energías de excitación entre 30 y 36 MeV y se desexcita evaporando (emitiendo) neutrones y radiación gamma. De esta manera se han producido isótopos ricos en neutrones con $Z = 104$ - 106 , 112 - 116 y $Z = 118$.

¿Cuánto se produce del elemento superpesado?

Solo una muy pequeña fracción de los átomos proyectados pueden fusionarse con los átomos del blanco. Esto se debe a que la probabilidad de que ocurra la fusión de estos núcleos es muy baja, del orden de 10^{-3} a 10^{-11} mbarns, parámetro conocido como sección eficaz (σ), que mide la probabilidad de interacción entre los proyectiles y el blanco. Por ello, la formación de estos elementos es un evento extremadamente raro (menos de un caso en un millón), pues la mayoría de las veces los átomos “rebotan” uno sobre el otro sin que sus núcleos se fusionen. Por tanto, las tasas de su producción son muy bajas, del orden de sólo algunos átomos, aun cuando los experimentos duren del orden de 1000 horas. Para ilustrar este hecho, señalemos que para encontrar un puñado de átomos de nihonio (^{113}Nh) mediante la fusión de bismuto (^{209}Bi) y zinc (^{70}Zn), se han requerido 10 años de trabajo el Centro Nishina para Ciencias Basadas en Aceleradores (RIKEN), en Japón.

¿Cuánto viven los elementos superpesados?

Estos núcleos superpesados tienen una vida tan breve que desaparecen casi inmediatamente. Debido a que son tan pesados, la fuerza de cohesión de los nucleones no es suficiente para sobrepasar la fuerza de repulsión de los protones y, en consecuencia, el núcleo arroja nucleones hasta que se vuelve lo

suficientemente estable. Por ello una vez creados, se desintegran espontáneamente en cuestión de milisegundos o microsegundos. Los elementos superpesados se desintegran básicamente por la emisión de partículas alfa (^4He) o por fisión espontánea, en donde el núcleo se divide espontáneamente en dos núcleos más ligeros. La fisión espontánea es un modo de descomposición del núcleo que ocurre principalmente en elementos pesados ($Z > 94$), y cuya probabilidad aumenta con el incremento de Z .

¿Cómo sabemos que hemos sintetizado un nuevo elemento?

Dado que los elementos superpesados son muy inestables y se desintegran casi instantáneamente, su detección se realiza analizando las huellas que dejan tras de sí. Es decir, se estudian sus “esquemas” de desintegración para identificarlos, dado que los átomos radiactivos al desintegrarse expulsan partículas (beta, alfa), radiaciones electromagnéticas (rayos gamma o X), o neutrones (ver Figura 2); o bien, al escindirse (fragmentarse o fisionarse) en elementos más ligeros, estos pueden ser detectados mediante técnicas de retroceso (medida de las masas por tiempos de vuelo) o directamente en espectrómetros de masas que permiten separar los núcleos formados en función de su relación masa/carga. En el caso de las técnicas por retroceso, los núcleos separados se implantan en un detector de Si de bandas y se correlaciona temporalmente al ion implantado con las sucesivas partículas alfas emitidas en esa misma zona del detector. A partir de las energías de las partículas alfa detectadas se puede identificar al nuevo núcleo.

¿Efectos relativistas en los elementos superpesados?

La tabla periódica da a los átomos de un mismo grupo propiedades químicas similares. En este sentido, el teneso ($Z = 117$) lógicamente debería tener la misma reactividad química que el flúor o el yodo. Sin embargo, la elevada carga de los núcleos pesados conlleva a efectos de tipo relativistas que aumentan con el número atómico, hacia los electrones de los orbitales atómicos, caracterizados por una gran probabilidad de presencia a nivel nuclear. Estos efectos son particularmente importantes para los orbitales de simetría esférica (tipo s). Los electrones de estos orbitales, al contacto con núcleos muy cargados, son acelerados

a diversas velocidades próximas a una fracción significativa de la velocidad de la luz. De acuerdo a la teoría de la relatividad general, la masa del electrón aumenta con la velocidad, y esto se traduce en una contracción del orbital acompañada de un aumento de la energía de enlace. La modificación de energías de enlace y de los radios de los orbitales electrónicos de los átomos, pueden introducir variaciones significativas de las propiedades químicas de los elementos pesados. Estas modificaciones pueden permitir la estabilización de grados de oxidación diferentes a los extrapolados a partir de la pertenencia a una columna de la tabla periódica, así como variaciones sensibles de los radios iónicos. Para comprobar experimentalmente estas alteraciones, los científicos se enfrentan con diversos inconvenientes: no es posible producir actualmente los elementos superpesados, ni en el futuro cercano, en cantidades ponderables, debido a los muy bajos rendimientos de su producción (e.g., un sólo átomo por minuto para Rf o uno por día para Fl), las muy cortas vidas medias que poseen estos elementos (p. ej., ~ 1 min para Rf a ~ 1 s para Fl), la dificultad de detectar los pocos átomos producidos, y la limitación del número de experimentos químicos realizables. Por ello, se requieren sistemas especiales que se encuentren cercanos al lugar de producción (acelerador) y el montaje de métodos de separación aplicados a la escala de indicadores, es decir, de átomos, como la cromatografía de intercambio de iones o la termocromatografía, que permiten realizar experimentos rápidos, eficientes, y repetitivos de un átomo a la vez para probar y probar su comportamiento.

¿Quiénes han descubierto los elementos superpesados?

Los laboratorios que han producido y descubierto los elementos superpesados son básicamente cuatro: el Instituto Central de Investigación Nuclear (JINR) en Dubna, Rusia; el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (LBNL) en California en los Estados Unidos; el Centro de Investigación para Iones Pesados (GSI) cerca de Darmstadt en Alemania; y el Centro Nishina para Ciencias Basadas en Aceleradores (RIKEN), en Tokio, Japón (ver Tabla 1).

El JINR y el LBNL produjeron paralelamente los elementos 104 al 106 (Rf, Db y Sg), el GSI sintetizó los elementos 107 al 112 (Bh, Hs, Mt, Ds, Rg y Cn), el RIKEN el elemento 113 (Nh) y los elementos 114 al 118 (Fl, Mc, Lv, Ts y Og) fueron sintetizados conjuntamente por los laboratorios JINR y LBNL, con ayuda de otras instituciones estadounidenses como el Laboratorio Nacional Oak Ridge (ORNL), la Universidad de Vanderbilt, y el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore (LLNL).

¿Quién certifica que un elemento superpesado ha sido sintetizado?

Los responsables de aprobar o rechazar el descubrimiento de un nuevo elemento son dos organismos: la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) y la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP), apoyadas por un grupo de expertos conocidos con el nombre de Joint Working Party (JWP) presidido por Paul Karol, químico nuclear de la Universidad Carnegie-Mellon, en Pittsburgh, Pensilvania. Ambos organismos evalúan, de manera independiente, los resultados de los exámenes realizados por la JWP, y mediante pares de ambos organismos, dan su dictamen. La IUPAC también define el nombre de los nuevos elementos, previo consenso con los descubridores y la comunidad científica.

¿Para qué sirven los elementos superpesados?

El estudio de los elementos superpesados es importante tanto desde una perspectiva fundamental como tecnológica, pues nos permite explorar y aprender sobre la estructura de los átomos, las fuerzas nucleares, y las características de los electrones (sus orbitales) en un contexto de fuerte repulsión de Coulomb. A partir de estos conocimientos, es posible mejorar los modelos de núcleos atómicos con implicaciones en ámbitos tan variados como la medicina nuclear, o nuestra comprensión de la formación de los elementos del universo. También nos permite verificar nuestros conocimientos sobre los efectos relativistas atómicos, de gran importancia para las propiedades químicas de los elementos pesados, y nos ayuda, de manera más general, a comprender mejor las interacciones complejas e irreversibles de los sistemas cuánticos. Así pues, el estudio de los elementos superpesados es un desafío científico, cuyos alcances y límites son difíciles aún de conocer.

¿Cuántos elementos químicos pueden existir?

Desgraciadamente no tenemos una respuesta definitiva a esta pregunta. Hasta ahora, el elemento más pesado que ha sido producido es el oganesón ($Z = 118$). Sin embargo, la carrera ahora se perfila hacia el descubrimiento de los elementos 119 y 120, ya que modelos teóricos han predicho que más allá de 120 protones, existe una "isla de estabilidad", un área donde núcleos superpesados, ricos en neutrones, podrían existir con vidas medias largas (hasta varios millones de años), gracias a una particular configuración de protones y neutrones, predicha por varios modelos teóricos. El modelo de capas nucleares, desarrollado por María Goeppert-Mayer y Hans Daniel Jensen, en donde los protones y neutrones ocupan capas que pueden contener un número máximo de protones y neutrones, establece que la máxima estabilidad de una capa se presenta cuando se completa totalmente. Por ello, el número de protones o de neutrones que ocupan estas capas son calificados como "número mágicos" tanto para protones como neutrones. Estos números son: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 114, y 126 sólo para protones, y 184 sólo para neutrones. Cuando el número de protones y neutrones poseen ambos números mágicos se habla de un núcleo doblemente mágico. La teoría sugiere por ejemplo que un núcleo compuesto de 114 protones y 184 neutrones sería doblemente mágico; sin embargo, hasta ahora, aunque se han producido isótopos con (o cerca de) $Z = 114$ protones, ninguno ha llegado a contener 184 neutrones. Por su parte, los modelos no relativistas favorecen la isla de estabilidad de elementos superpesados alrededor de $Z = 124$ o 126 y $N = 184$; y los modelos relativistas favorecen una zona de estabilidad más extendida, centrada alrededor de $Z = 120$ y $N = 172$. Sin embargo, actualmente, los isótopos de los nuevos elementos que se han descubierto están en la "orilla" de este islote, ya que todavía no podemos llegar al centro y sólo la producción de estos núcleos nos dirá dónde se localiza la isla y por tanto qué modelo describe mejor los núcleos superpesados.

La teoría moderna de la estructura electrónica relativista sugiere que la tabla periódica termina alrededor del elemento 173. Allí, la energía de enlace del electrón $1s$ (1.022 MeV) alcanza el doble del valor de la masa del electrón (que es equivalente a 0.511 MeV) de modo que un par puede crear espontáneamente un anti-electrón (positrón) y un electrón, y romper el sistema atómico.

Elemento	Símbolo	Reacción(es) de Producción	Sintetizado por primera vez en	Año	Origen del nombre (en honor a)
Rutherfordio	$_{104}^{\text{Rf}}$	$^{249}\text{Cf}(^{12}\text{C},4n)^{257}\text{Rf}$ $^{249}\text{Cf}(^{13}\text{C},3n)^{259}\text{Rf}$	JINR	1969	Ernest Rutherford, físico británico quien identificó los tres componentes principales de la radiación: alfa, beta y gamma, y formuló una teoría de la estructura atómica.
Dubnio	$_{105}^{\text{Db}}$	$^{249}\text{Cf}(^{15}\text{N},4n)^{260}\text{Db}$	LBNL	1970	Dubna, región de Rusia donde se localiza el JINR, lugar de síntesis del Db.
Seaborgio	$_{106}^{\text{Sg}}$	$^{249}\text{Cf}(^{18}\text{O},4n)^{263}\text{Sg}$	JINR, LBNL	1974	Glenn Theodore Seaborg, químico nuclear estadounidense quien descubrió y sintetizó varios elementos transuránicos.
Bohrio	$_{107}^{\text{Bh}}$	$^{209}\text{Bi}(^{54}\text{Cr},n)^{262}\text{Bh}$	JINR, LBNL	1981	Niels Bohr, físico danés, por sus trabajos sobre la estructura atómica y la radiación.
Hasio	$_{108}^{\text{Hs}}$	$^{208}\text{Pb}(^{58}\text{Fe},n)^{265}\text{Hs}$	GSI	1984	Hesse, estado alemán en el que se encuentra el laboratorio GSI, donde este elemento fue sintetizado por vez primera.
Meitnerio	$_{109}^{\text{Mt}}$	$^{209}\text{Bi}(^{58}\text{Fe},n)^{266}\text{Mt}$	GSI	1982	Lise Meitner, física sueca-austríaca, quien descubrió la fisión nuclear con O. Hahn.
Darmastatio	$_{110}^{\text{Ds}}$	$^{209}\text{Bi}(^{59}\text{Co},n)^{267}\text{Ds}$	GSI	1991	Darmstadt, ciudad alemana sede del GSI, donde fue descubierto el Ds.
Roentgenio	$_{111}^{\text{Rg}}$	$^{209}\text{Bi}(^{64}\text{Ni},n)^{272}\text{Rg}$	GSI	1994	Wilhelm Conrad Roentgen, físico alemán, descubridor de los rayos X.
Copernicio	$_{112}^{\text{Cn}}$	$^{208}\text{Pb}(^{70}\text{Zn},n)^{277}\text{Cn}$	GSI	1996	Nicolás Copérnico, astrónomo y canónigo polaco que formuló la teoría heliocéntrica del sistema solar.
Nihonio	$_{113}^{\text{Nh}}$	$^{209}\text{Bi}(^{70}\text{Zn},n)^{278}\text{Nh}$	GSI	2004	Nihon, es en japonés uno de los nombres de Japón, lugar donde se descubrió el Nh.
Flerovio	$_{114}^{\text{Fl}}$	$^{244}\text{Pu}(^{48}\text{Ca},n)^{295}\text{Fl}$	RIKEN	2000	Georgii Nikolayevich Flerov, físico nuclear ruso; bajo su dirección se sintetizaron el No, Lr, Rf, Db, Sg y Bh y fue fundador del JINR en Rusia.
Moscovio	$_{115}^{\text{Mc}}$	$^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca},n)^{290}\text{Mc}$	JINR-LBNL	2004	Moscú, región donde se localiza el JINR, lugar del descubrimiento del Mc.
Livermorio	$_{116}^{\text{Lv}}$	$^{248}\text{Cm}(^{48}\text{Ca},3n)^{293}\text{Lv}$	JINR-LBNL	2005	Laboratorio Nacional Lawrence Livermore, institución hermana del LBNL donde fueron descubiertos varios elementos superpesados.
Teneso	$_{117}^{\text{Ts}}$	$^{249}\text{Bk}(^{48}\text{Ca},3n)^{294}\text{Tn}$	JINR-LBNL	2010	Tennessee, estado norteamericano donde se encuentra Oak Ridge National Laboratory, que proporcionó el blanco de Bk necesario para la producción del Ts.
Oganesón	$_{118}^{\text{Og}}$	$^{249}\text{Cf}(^{48}\text{Ca},n)^{296}\text{Og}$	JINR-LBNL	2006	Yuri Ts. Oganessian, físico ruso, quien ha jugado un papel esencial en el descubrimiento de los elementos más pesados de la tabla periódica.

Tabla 1. Nombres y símbolos, aprobados por la IUPAC de los 15 elementos superpesados descubiertos hasta 2018, así como el año de su descubrimiento, las reacciones nucleares llevadas a cabo para su producción, y el origen de sus nombres.

Sin embargo, los datos experimentales existentes y los modelos teóricos no permiten que se realicen predicciones confiables sobre las probabilidades de fusión para los isótopos de elementos más allá del 118, o sobre sus propiedades nucleares (como su modo de desintegración, vida media, masa y barrera de fisión). Por lo tanto, se necesitan más estudios sobre los isótopos superpesados conocidos para permitir el desarrollo de modelos más confiables, que a su vez guiarán la síntesis de estos elementos en experimentos de un año de duración con aceleradores potentes.

La producción de elementos con $Z > 119$ presenta varios problemas técnicos si se sigue el método convencional de producción de los elementos superpesados menores a 118, en donde iones de ^{48}Ca son irradiados sobre núcleos de transuránicos más pesados que el berkelio. Por un lado, el uso de proyectiles más pesados que el ^{48}Ca , que posean un exceso de neutrones, no son núcleos doblemente mágicos, lo que significa que las probabilidades de fusión para la formación del núcleo compuesto disminuyen drásticamente. Esto implica el desarrollo de nuevos aceleradores, capaces de manejar proyectiles más pesados y que también puedan acelerar simultáneamente un mayor número de iones, así como blancos resistentes al calor liberado por la alta corriente, métodos más rápidos y eficientes de separación de iones producidos y productos parásitos, y detectores más sensibles.

Perspectivas

Actualmente se están construyendo nuevos aceleradores y desarrollando nuevos dispositivos experimentales en varios laboratorios, con el objetivo de alcanzar las condiciones experimentales que impone la síntesis de elementos con $Z > 118$. En el JINR se está construyendo un complejo acelerador llamado "SHE-Factory" (SHE acrónimo de Super Heavy Elements), donde se está desarrollando un nuevo ciclotrón (DC-280 cyclotron) así como blancos, dispositivos de separación y detectores adecuados para las nuevas condiciones de síntesis de los elementos superpesados. En el RIKEN, el acelerador lineal de iones pesados se está actualizando con una fuente de iones de resonancia de ciclotrón de electrones superconductores de 28 GHz, un resonador superconductor de cuarto de onda y un nuevo separador gaseoso de iones de retroceso. Otras construcciones en proceso son el Espectrómetro Super Separator (S3) en SPIRAL2 (Système de Production d'Ions Radioactifs en Ligne, fase II) en GANIL (Grand Accélérateur National d'Ions Lourds), Francia y un acelerador lineal de onda continua superconductor en GSI.

Se están realizando también arduos intentos para crear los elementos 119 y 120, sin éxito hasta el momento. El laboratorio RIKEN trató de sintetizar el elemento 119 a partir de la reacción nuclear: $^{248}\text{Cm} + ^{51}\text{V}$, en tanto que el grupo de GSI a través de $^{249}\text{Bk} + ^{50}\text{Ti}$. En JINR se intentó la síntesis del elemento 120 a través de las reacciones $^{244}\text{Pu} + ^{58}\text{Fe}$ y en GSI mediante las reacciones: $^{238}\text{U} + ^{64}\text{Ni}$, $^{248}\text{Cm} + ^{54}\text{Cr}$, y $^{249}\text{Cf} + ^{50}\text{Ti}$.

REFERENCIAS

1. Scerri, E. Restrepo, G., Ed. *Mendeleev to Oganesson: A Multidisciplinary Perspective on the Periodic Table*; Oxford University Press: USA, 2018.
2. Hofmann, S. *On Beyond Uranium: Journey to the End of the Periodic Table*. Taylor & Francis: London, U.K., 2002.
3. Düllmann, C. E.; Block, M. La course aux éléments superlourds. *Pour la Science* **2019**, 296, 29-36.
4. Ishkhanov, B. S.; Tretyakova, T. Yu. The way to superheavy elements. *Moscow University Physics Bulletin* **2017**, 72, 203–223.
5. Jacquet, D.; Morjean, M. La stabilité des éléments super-lourds sondée par des mesures de temps de fission. *Images de la Physique* **2009**, 42-48. <http://hal.in2p3.fr/in2p3-00495364>
6. Oganessian, Y. T.; Utyonkov, V. K. Super-heavy element research. *Rep. Prog. Phys.* **2015**, 78, 036301.
7. Oganessian, Y. T. Synthesis and decay properties of superheavy elements. *Pure Appl. Chem.* **2006**, 78, 889-904.
8. Morita, K. SHE research at RIKEN/GARIS. *Nucl. Phys. A.* **2015**, 944, 30-61.
9. Münzenberg, G. From bohrium to copernicium and beyond SHE research at SHIP. *Nucl. Phys. A.* **2015**, 944, 5-29.
10. Oganessian, Y. T.; Utyonkov, V. K. Superheavy nuclei from ^{48}Ca -induced reactions. *Nucl. Phys. A.* **2015**, 944, 62-98.
11. Hoffman, D. C.; Lee, D. M.; Pershina, V. Transactinide elements and future elements. In: *The Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements*. Vol. 3. Morss, L. R.; Edelstein, N. M.; Fuger, J., Eds.; Springer: Berlin, Germany, Reprinted 2008; pp. 1652-1752.
12. Haba, H. A new period in superheavy-element hunting. *Nature Chem.* **2019**, 11, 10–13.

La Tabla Periódica de los elementos de la vida

Lena Ruiz Azuara*

Los elementos que constituyen a los seres vivos, indistintamente del reino o especie, son los mismos. Este hecho se explica con base en el origen de los elementos y la teoría evolutiva del origen de la vida.

La teoría que soporta el origen de los elementos, del hidrógeno al hierro, es la fusión nuclear de átomos de hidrógeno para obtener el helio y así sucesivamente hasta el hierro. Los elementos más abundantes fueron entonces los más ligeros. Las condiciones de formación de los planetas y en particular de la Tierra cambiaron, para lo cual los elementos más reactivos interaccionaron entre sí y formaron compuestos estables; el ambiente cambió, la atmósfera fue más rica en oxígeno, y los compuestos solubles en agua se disolvieron.

Las moléculas sencillas como: hidrógeno H_2 , agua H_2O , monóxido de carbono CO , sulfuro de hidrógeno H_2S , amoníaco NH_3 , metano CH_4 , dióxido de carbono CO_2 , formaldehído H_2CO , ácido cianhídrico HCN , entre otras moléculas, por síntesis abiótica dieron lugar a aminoácidos proteínicos y no proteínicos, en condiciones de descargas eléctricas, radiación ultravioleta, luz solar intensa, ondas de choque, rayos beta, etc. En el caso de péptidos y dipéptidos, para su formación se requirió de CH_4 , NH_3 ,

H_2O , y aminoácidos en condiciones de alta temperatura, radiación ultravioleta, descargas eléctricas espontáneas. A partir de CH_4 , NH_3 , H_2O , HCN , HC_2CN , KCN , CN^- ; además de *para* nucleótidos ribosa, adenina, desoxirribosa y fosfatos, se dió lugar a base púricas (adenina y guanina), pirimídicas (timina, citosina y uracilo) y nucleótidos en condiciones de calor y descargas eléctricas. Bajo las mismas condiciones se formaron los polinucleótidos a partir de nucleótidos, ácido uridílico y fosfatos. Los aldehydos y azúcares (glucosa, ribosa, desoxirribosa) requirieron de HCN , NH_3 , H_2O y H_2CO en condiciones de calor, radiación UV, rayos gamma y beta. Con glucosa, fructosa, ribosa y ácido fosfórico, se obtuvieron los polisacáridos bajo calor. Finalmente, las porfirinas se formaron bajo condiciones de radiación UV y descargas eléctricas a partir de pirroles, benzaldehído, H_2CO , CH_4 , NH_3 , y H_2O .

Alexander Oparin (18 4-1980) en 1923 propone la formación de coacervados en su libro *El origen de la vida sobre la tierra* [1], como los primeros organismos vivos en la parte acuosa del planeta Tierra. John Desmond Bernal (1901-1971) propuso en 1929 que las arcillas deben haber sido el material de soporte donde se adsorbieron las sustancias para formar los primeros aminoácidos.

De las propuestas de síntesis de biomoléculas se puede deducir que los elementos mayoritarios en los seres vivos son C, H, N, O, P, S, y X, donde X = halógenos y se les conoce como no-metales o elementos representativos. Por las abundancias relativas en seres vivos también se consideran mayoritarios el Na, K, Ca, y Mg. Sin embargo, estos no son los únicos elementos metálicos que se han descubierto como parte fundamental para las funciones fisiológicas de los organismos vivos. En los siglos XIX y XX se determinó la existencia de estos elementos en seres vivos y no fue sino hasta mediados del siglo XX que con técnicas analíticas más precisas se pudieron determinar cantidades mucho más pequeñas de otros elementos como el Co, Cu, Zn, V, Ni y Mo en seres vivos (Ver Figura 2).

Los elementos que forman parte de los seres vivos fueron los de mayor abundancia relativa en la Tierra y su abundancia en sistemas vivos varía dependiendo de la función que cumplen. La abundancia relativa entre elementos en el Universo, el agua de océanos, la corteza terrestre y el cuerpo humano varían de manera importante. Así, los cinco elementos más abundantes en el Universo son: H, He, O, N, y C; en la corteza terrestre: O, Si, Al, Fe, y Ca; en el agua: H, O, Cl, Na, y Mg; y en el ser humano: H, O, C, N, y Ca [3].

Origen de las primeras biomoléculas

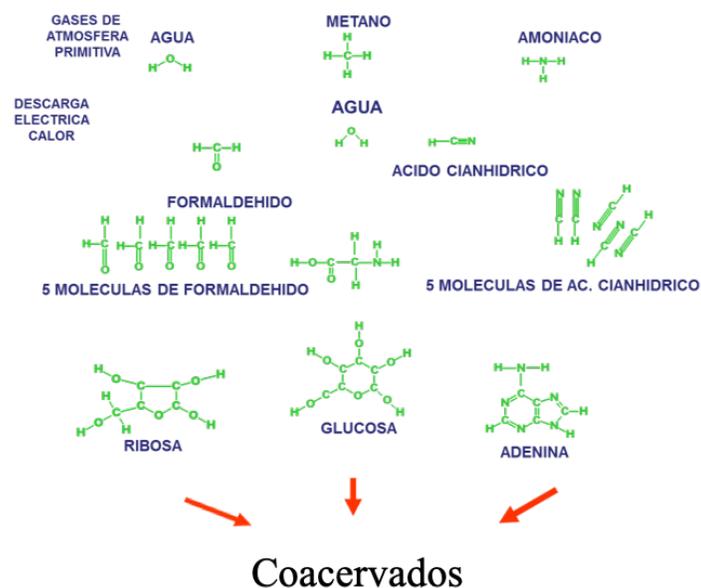


Figura 1. Origen de las primeras moléculas y biomoléculas

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México
*lenar701@gmail.com

Tabla periódica y electroquímica

Luz María Torres Rodríguez*

Para conmemorar el 150 aniversario de la tabla periódica, la UNESCO declaró el año 2019 como el año internacional de la tabla periódica. Esta conmemoración ha ayudado a reflexionar sobre cómo la tabla periódica ha permitido entender conceptos de química, física y biología y ha impulsado nuevos descubrimientos en estas ramas de la ciencia. Es en este sentido que, a continuación, se analizan algunos conceptos de electroquímica relacionados con la tabla periódica.

La electroquímica es la parte de la química que estudia la relación entre las transformaciones químicas y el paso de corriente eléctrica. Dichas transformaciones tienen lugar en la interfaz electroquímica que es el área de contacto entre un conductor electrónico/conductor iónico. Los conductores eléctricos son aquellos materiales que permiten el desplazamiento de partículas cargadas; cuando éstas son electrones se denominan *conductores electrónicos* y cuando la partícula cargada es un ion se les llama *conductores iónicos*. Las reacciones electroquímicas son aquellas que involucran transferencia de electrones y tienen lugar en la interfaz electroquímica; debido a que involucran dos fases, son reacciones heterogéneas [1]. En consecuencia, un dispositivo electroquímico involucra la asociación de un conductor electrónico (típicamente un metal, una aleación metálica o un semiconductor) y un conductor iónico (p. ej. un electrolito disuelto en agua o solvente orgánico, una sal fundida, un líquido iónico).

La tabla periódica proporciona información sobre los dos componentes de la interfaz electroquímica. En lo que se refiere al conductor electrónico, por lo general se usa un metal y estos elementos están bien identificados en la tabla periódica. Por otra parte, el conductor iónico más común es un electrolito disuelto en agua. El signo y carga de los iones derivados de los diferentes elementos químicos es predecible a partir de la tabla periódica.

Metales

En la tabla periódica existe una línea divisoria diagonal en zigzag que separa los elementos metálicos de los no metálicos. Exceptuando el hidrógeno, los metales se encuentran a la izquierda de la demarcación, mientras que a la derecha se encuentran los no metales. Los elementos localizados en la zona limítrofe se denominan metaloides, ya que se comportan como metales, pero no lo son. La separación entre metales y no metales se estableció con base en las propiedades físicas y químicas de los elementos. En efecto, las características físicas que distinguen a los metales son su alta densidad, que son brillantes, maleables, dúctiles, elásticos, conductores térmicos y conductores eléctricos. En cuanto a sus propiedades químicas se ha observado que los metales en su forma iónica normalmente forman cationes y reaccionan con los ácidos. Sin embargo, algunos elementos presentan propiedades físicas

y químicas que no se ajustan a la clasificación que se les asignó de acuerdo con su posición en la tabla periódica. Por ejemplo, el sodio y el potasio se encuentran en la zona de los metales, pero tienen muy baja densidad, lo que generó polémica de si se pueden o no clasificar como metales. A fin de clasificar sin ambigüedad los elementos de la tabla periódica en metales y no metales, P. P. Edwards y M. K. Sienko [2] propusieron en 1983 asignar el carácter metálico de los elementos empleando el criterio de Godhammer-Herzfeld [3], el cual se basa en las propiedades atómicas de los elementos y no en propiedades macroscópicas.

De acuerdo con este criterio los metales deben ser conductores electrónicos tridimensionales, es decir, deben permitir el movimiento de los electrones de valencia. De acuerdo con los principios de la mecánica clásica, se considera que los electrones de valencia oscilan alrededor del núcleo. Por ello se considera que la frecuencia característica de los electrones de valencia de un átomo libre (ν_0) es una medida de la fuerza con la que se mantienen fijos al átomo. Cuando los elementos se encuentran en fase condensada, los átomos se encuentran próximos entre sí, por lo que la reconfiguración de las cargas de los átomos vecinos genera un campo eléctrico adicional. De esta forma la frecuencia característica de los electrones de valencia de los átomos en fase condensada (ν) será menor que ν_0 . La relación entre ambos parámetros está dada por:

$$\nu = \nu_0 (1 - Rd / M)^{1/2} \quad (1)$$

donde R es la refracción molar en fase vapor, d la densidad y M la masa molar en fase condensada del elemento. En consecuencia, el volumen molar (V) corresponde a M/d y la expresión se puede cambiar a:

$$\nu = \nu_0 (1 - R / V)^{1/2} \quad (2)$$

En esta expresión se observa que cuando $R = V$, la razón R/V es uno, el valor de la diferencia en la ecuación (2) es cero, y la frecuencia es nula. Si el valor de la frecuencia es cero, implica que no existe una fuerza que mantenga unidos a los electrones de valencia, por lo que los electrones de valencia se desprenden de su átomo conduciendo la electricidad. La salida del electrón del átomo es un fenómeno que va a contracorriente de lo esperado; de ahí que a este fenómeno se le denomina *cataclismo de polarización* (*polarization catastrophe*). De modo que el criterio establece que un elemento es metálico si $R/V \geq 1$ y no metálico cuando $R/V < 1$. La relación R/V también se puede obtener de la expresión de Lorentz-Lorentz y Clausius-Mossotti:

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí
*luzmaria@uaslp.mx

$$\frac{(n^2 - 1)}{(n^2 + 2)} = \frac{(\epsilon_{op} - 1)}{(\epsilon_{op} + 2)} = R/V \quad (3)$$

En esta expresión n es el índice de refracción y ϵ_{op} es la constante dieléctrica. A partir de la ecuación se puede deducir que es imposible que el numerador y el denominador sean iguales, salvo que n y $\epsilon_{op} \rightarrow \infty$. Cuando n y ϵ_{op} tienen valores muy elevados, la polarizabilidad debe ser muy alta, lo que permite que los electrones de valencia no permanezcan fijos al átomo y se lleve a cabo el cataclismo de polarización.

La refracción molar puede ser estimada de:

$$R = \frac{4}{3} \pi \alpha N_A \quad (4)$$

donde α es la polarizabilidad y N_A es el número de Avogadro. La polarizabilidad es la medida de la facilidad con la que se distorsiona la nube electrónica por efecto de un campo eléctrico externo como la presencia de un ion o un dipolo. Esta medida se puede calcular a partir de $\alpha = p/E$, donde p es el momento dipolar y E el campo eléctrico que genera. La polarizabilidad es aproximadamente la raíz cúbica del radio atómico (r), por lo que $\alpha = r^3$; de esta forma de la ecuación 4 se deduce que la refractividad molar no es más que el volumen ocupado por un mol de átomos [4], por lo que sus unidades son $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$. Esto indica que la relación $R/V = 1$ cuando el volumen de un mol de fase condensada sea igual al volumen de un mol de átomos sin distancias que los

separen. Linus Pauling explicó que la efectividad del criterio se debe a que cuando $R \leq V$ los orbitales de los átomos se traslapan formando un enlace covalente donde los electrones de valencia se encuentran en resonancia. De esta forma, el criterio indica que un elemento no conductor puede ser transformado a conductor electrónico disminuyendo su volumen molar, como es el caso del hidrógeno que sometido a presiones de 1.4 Mbar y altas temperaturas se comporta como un fluido conductor. A su vez, y de acuerdo con este criterio, se entiende que el mercurio sea conductor debido a su alta densidad [5].

Considerando valores de R calculados o determinados experimentalmente, se aplicó este criterio a distintos elementos de la tabla periódica [2, 4, 5]. Los datos obtenidos se agrupan en la Figura 1, en la que se puede observar que los elementos de los grupos IA al IIB presentan un valor de $R/V > 1$. Estos elementos son los que se encuentran en la zona de metales de acuerdo con la línea diagonal en zigzag, incluidos el Na y el K que se ajustan al criterio sin ninguna ambigüedad. Por otra parte los elementos de los grupos VIIA y 0 tienen un valor de $R/V < 1$, por lo que pertenecen a los no metales, coincidiendo con la línea divisoria de la tabla periódica. Algunos elementos de los grupos IIIA, IVA, VA y VIA presentaron un valor de R/V muy cercano a uno, entre los que se encuentran el Ge, B, As, Sb, Te, Sn, Po que son los elementos que se comportan como metaloides. Por consiguiente, el criterio predice el comportamiento metálico de manera correcta a partir de propiedades atómicas de los elementos.

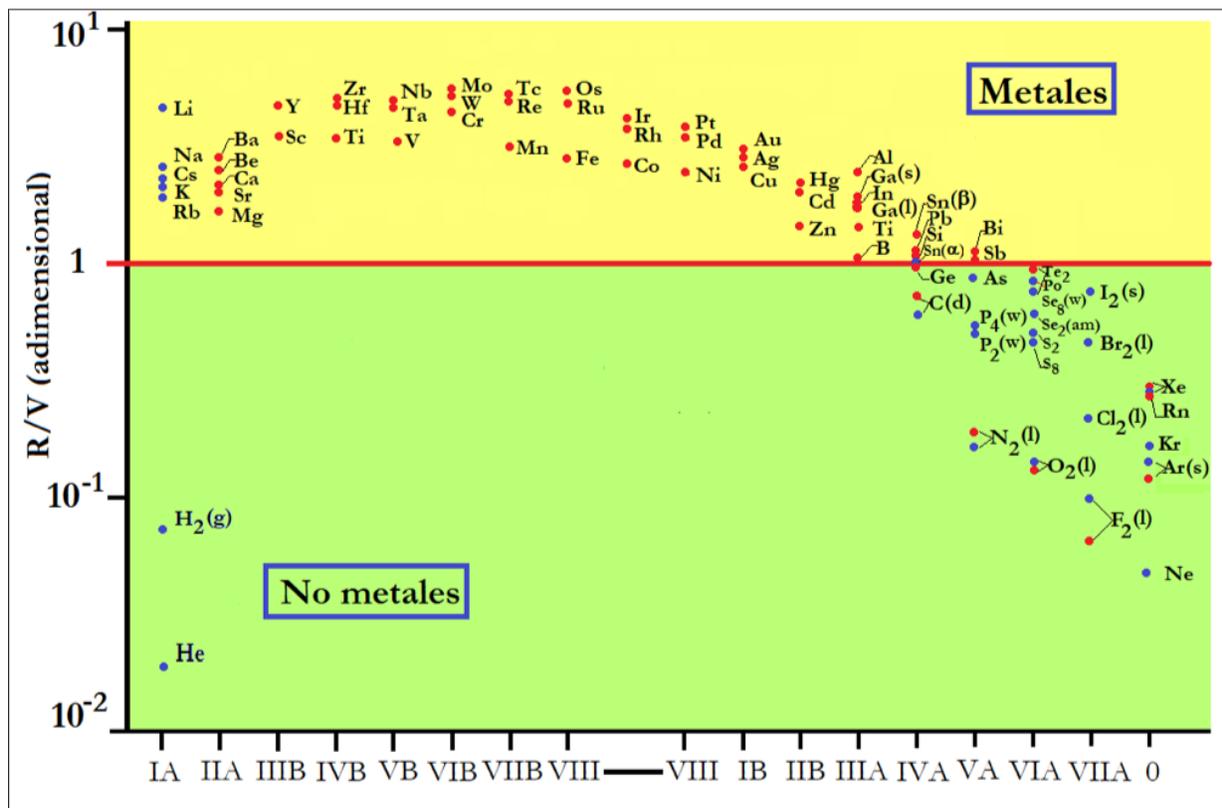


Figura 1. Relación R/V de algunos elementos de la tabla periódica. R es la refractividad molar y V el volumen molar. Los círculos azules indican que los datos fueron determinados a partir de valores experimentales de R y V , mientras que los círculos rojos fueron obtenidos de valores de R calculados y V experimentales. Adaptación del gráfico del trabajo de Edwards & Sienko [2].

Conductores iónicos: Electrolitos

Como se mencionó antes, la interfaz electroquímica tiene dos componentes: el conductor electrónico y el conductor iónico. De este último nos puede dar información la tabla periódica.

Una manera de preparar un conductor iónico es disolviendo a un compuesto iónico en un solvente (generalmente el agua). Un ion es un átomo o grupo de átomos que presenta una carga neta. En efecto, un átomo puede perder o ganar electrones los cuales tienen carga negativa. Cuando el átomo neutro pierde electrones se carga positivamente formando un catión, mientras que cuando el átomo gana electrones, adquiere una carga negativa y se denomina anión.

La electronegatividad (x) de un átomo es la propiedad que determina si éste formará un catión o un anión. Esta magnitud es una medida de la tendencia que tienen los átomos a atraer electrones de enlace en una molécula. Aunque este es un concepto definido para el estado gaseoso, es también útil aquí pues los elementos que tienen una electronegatividad muy alta no pueden ceder electrones, y por lo tanto, a partir de ellos únicamente se pueden formar aniones. En contraste, los elementos que tienen una muy baja electronegatividad cederán fácilmente electrones, a partir de los cuales se obtienen cationes.

Dado que los elementos se encuentran distribuidos en la tabla periódica de acuerdo con sus características atómicas, y de éstas dependen sus propiedades físicas y químicas, la electronegatividad de los elementos sigue una tendencia dentro de la tabla periódica. Los elementos incrementan su electronegatividad de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba, además de relacionarse con el tamaño del átomo, pues para átomos de un mismo grupo, entre menor sea el radio atómico mayor es la electronegatividad. Esto se debe a que los electrones de valencia están más cercanos al núcleo y en consecuencia se enlazan con mayor fuerza al átomo. De esta forma, los cationes se forman a partir de los elementos menos electronegativos o más electropositivos. Por dicho motivo se puede establecer que los elementos metálicos, que se encuentran en la parte izquierda de la línea en zig-zag que separa a los metales de los no metales, siempre darán lugar a la formación de un catión. Caso contrario a los elementos no metálicos, que se localizan a la derecha de la línea divisoria y dan lugar a la formación de un anión.

Los compuestos iónicos se forman típicamente de la combinación de los elementos de los grupos IA y IIA (poco electronegativos) con los del grupo VIIA (los elementos más electronegativos), como por ejemplo el NaCl. Cuando un compuesto iónico se disuelve en un solvente como el agua, las interacciones entre el anión y el catión son reemplazadas por las interacciones entre el solvente y el ion, dando lugar así a los iones móviles que permiten el paso de la corriente eléctrica.

Potencial estándar

Para definir un potencial estándar (E°), hay que recordar que el potencial representa la energía requerida para mover una especie cargada desde un punto en el infinito hasta un punto de interés. En el caso de las reacciones electroquímicas, el potencial se puede considerar como la energía requerida para mover un electrón desde el electrodo hacia una especie química presente en un conductor iónico o viceversa. Este valor depende de varios factores como la estructura de la especie, su concentración, la

presión y la temperatura, por lo que este potencial se define como estándar cuando la concentración de la especie es 1 mol L^{-1} y la presión un bar, en una solución que contenga 1 mol L^{-1} de iones H^+ (es decir, $\text{pH} = 0$).

Si se considera un metal en contacto con una solución iónica que contiene una especie química (ver Figura 2) cuando no se aplica un campo eléctrico, la energía de los electrones en el metal es la misma que la de las especies químicas en la solución iónica, y el valor de potencial en condiciones estándar será E° . Cuando se aplica un potencial más negativo que el E° , la energía de los electrones en el metal se incrementará, y si la estructura de la especie química tiene niveles energéticos menores a los del metal, los electrones pasarán del metal a la especie química produciéndose la reducción de esta última. En contraste, si el potencial aplicado es positivo con respecto al E° , los niveles energéticos de la especie química serán mayores y los electrones pasarán de la especie química a la solución, produciéndose su oxidación. Por ello el potencial estándar se puede considerar como la energía crítica para que ocurra una reacción: a potenciales superiores a ese valor ocurre una oxidación, y a valores menores una reducción.

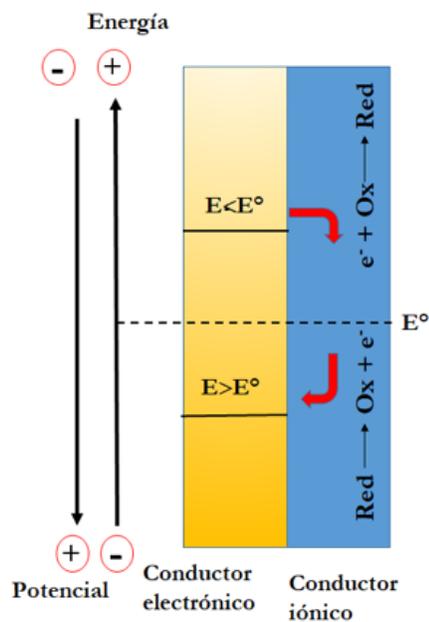


Figura 2. Representación esquemática de la interfaz conductor electrónico/conductor iónico, cuando se aplican potenciales mayores y menores a E° .

De esta forma el potencial estándar depende de la capacidad que tiene cada especie de ceder o recibir electrones, es decir de su electronegatividad. Diferentes trabajos han mostrado que hay una relación directa entre E° y la electronegatividad [6], como se muestra en la Figura 3a para los grupos IA y VIIA. Como la x presenta una tendencia en la tabla periódica y es proporcional al E° , el valor del E° de un elemento depende de su posición en la tabla periódica [7]. Al igual que otras propiedades de los elementos, el E° evoluciona periódicamente con el número atómico, como se muestra en la Figura 3b.

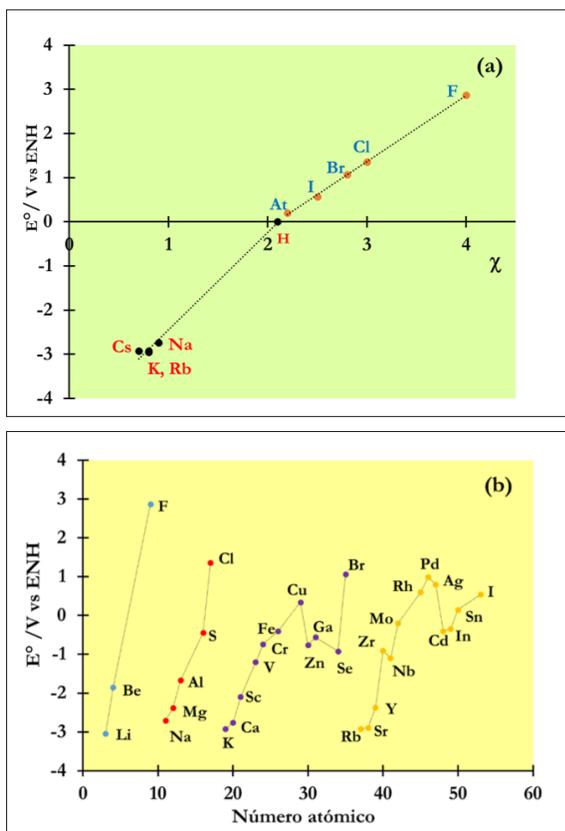


Figura 3. (a) Relación entre E° y electronegatividad de los elementos del grupo IA y VIIA. Datos tomados del trabajo de Martynov [7]. (b) Variación del E° con el número atómico.

Una de las aplicaciones para E° es predecir la espontaneidad de una reacción química. Se considera que cuando dos especies se ponen en contacto, la de potencial estándar más alto se va a reducir espontáneamente. Dado que la especie con el par redox más alto es más electronegativa, atraerá a los electrones de enlace del compuesto con el E° más pequeño. Los compuestos con los E° más altos son los del grupo VIIA que se caracterizan por ser fuertes oxidantes.

Referencias

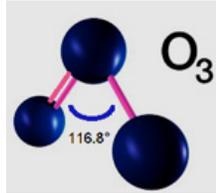
1. Le Gorrec, B. *Thermodynamique et cinétique électrochimique expérimentale*. Université de Grenoble, 2005.
2. Edwards, P. P.; Sienko, M. J. *Chem. Educ.* **1983**, *60*, 691-696.
3. Herzfeld, K. F. *Phys. Rev.* **1927**, *29*, 701-705.
4. Hense, F.; Slocombe, D. R.; Edwards, P. P. *Phil. Trans. R. Soc. A* **2014**, *373*, 0477.
5. Rao, C. N. R.; Edwards, P. P. *Proc. Indian Acad. Sci.* **1986**, *96*, 473-498.
6. Martynov, I. V. *Russ. J. Inorg. Chem.* **2008**, *53*, 579-582.
7. Deasy, C. L. *J. Chem. Educ.* **1941**, *18*, 514.

OZONO ATMOSFÉRICO: Héroe y villano ambiental

Violeta Mugica Álvarez*

ORIGEN DEL OZONO

El oxígeno es un elemento químico gaseoso, con número atómico 8 y con un peso atómico de 15.9994 g/mol. Es el elemento más abundante del planeta tierra. El símbolo del oxígeno es O y existe en forma combinada en distintas capas atmosféricas tanto en forma de molécula diatómica O₂, como en su forma triatómica O₃ (conocida como ozono). Aunque el planeta tiene alrededor de 4,600 millones de años, el ozono aparece en la Tierra hace apenas 40 millones de años, después de que aparece el oxígeno. La atmósfera primigenia se componía principalmente de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y nitrógeno (N₂) y la hipótesis es que hace 3,000 millones de años el O₂ se comenzó a liberar involucrando la fotosíntesis de cianobacterias ancestrales, con la participación catalítica del manganeso, incrementando la concentración de oxígeno en la atmósfera, la cual pasó de un carácter reductor a uno oxidante en varios millones de años de acumulación de O₂. En la estratósfera, que es la capa de la atmósfera que se encuentra entre los 15 y 50 km sobre el nivel del mar, la radiación solar comenzó a disociar las moléculas de O₂ y se formó el O₃. Aunque la acumulación del O₃ fue muy pequeña en comparación de la cantidad de O₂, permitió la evolución de varias formas de vida en la tierra al filtrar la radiación ultravioleta (UV), protegiendo las células y sus moléculas de ADN. El O₃ es un gas de color ligeramente azulado con un olor característico que puede detectarse en la tropósfera (0-15 km de altitud), cuando hay tormentas eléctricas que promueven la formación de O₃ al disociarse las moléculas de O₂.



OZONO ESTRATOSFÉRICO

La capa de ozono

En la estratósfera se lleva a cabo el ciclo de formación y destrucción del O₃, descrito por Chapman en 1930. La radiación UV se clasifica en UVc (< 240 nm), radiación UVb (240-315 nm) y radiación UVa (> 315 nm). La radiación UVc < 240 nm -que es la de mayor energía-, disocia la molécula de O₂ en dos átomos de O que a su vez reaccionan con O₂ para producir ozono. La energía liberada por esta reacción provoca que la temperatura se incremente en la estratósfera. Si M es una molécula de O₂ o N₂ que capta el excedente de energía, en la secuencia siguiente

Formación del ozono estratosférico



Destrucción del ozono estratosférico

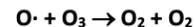
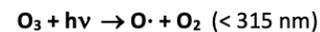


Figura. 1. Ciclo Chapman de formación y destrucción del ozono estratosférico.

se muestra el O₃ formado, el cual se disocia con radiaciones < 315 nm en O₂ y un átomo de O produciendo O₃; sin embargo, esta reacción es ineficiente y la mayoría de las moléculas de O₃ continúan absorbiendo la radiación solar más energética (200 a 320 nm), protegiendo a la Tierra de la radiación UVc y UVb. La exposición a radiación UVa puede evitarse con filtros solares comunes (Figura 1).

La mayor parte del O₃ se produce en la zona de los trópicos y emigra hacia los polos donde hay una mayor concentración. El O₃ en la estratósfera tiene una concentración entre 300 y 500 unidades Dobson¹, protegiendo a la biósfera de la llegada de los rayos UVc y la mayoría de los UVb, al absorber dichas radiaciones de la forma mencionada. Se le denomina “capa de ozono”, aunque en realidad no lo es puesto que las moléculas se encuentran dispersas en la capa estratosférica de 15-50 km de altitud, encontrándose la máxima concentración alrededor de los 22 km de altitud; si se compactaran las moléculas de ozono en condiciones de temperatura y presión de la superficie terrestre, se obtendría en promedio una capa de solo tres mm de espesor.

Disminución de la capa de ozono

En 1985 mediciones satelitales mostraron una gran disminución de la concentración de ozono en el Polo Sur a la que se le denominó “agujero de la capa de ozono”. El seguimiento de este fenómeno mostró con preocupación que la principal consecuencia sería la disminución del filtrado de la radiación UV provocando tanto un incremento en la temperatura y derretimiento de glaciares en los

¹:1 Dobson = 1 molécula por cada 10⁹ moléculas.

polos, como daño a los cultivos y a los seres vivos, entre otros, por el aumento de cáncer de piel, daños oculares y daño al sistema inmunológico de la población. La causa de la disminución de la capa de ozono había sido postulada desde 1974 por varios científicos. Por una parte, Paul Crutzen en 1970 había demostrado que los NOx (producidos por microorganismos o emitidos por aviones que volaban a grandes altitudes) reaccionaban catalíticamente con el O₃ rompiendo su equilibrio en la estratósfera. Por otra parte, los científicos Mario Molina y Frank Rowland habían demostrado que los clorofluorocarbonos (CFC) podían llegar intactos a la estratósfera donde rompían las moléculas de O₃ estratosférico con mayor rapidez de lo que este se generaba, y que si los CFC seguían siendo utilizados, la capa de O₃ disminuiría con el tiempo por lo que solicitaron la prohibición del uso de CFC. Los CFC sintetizados en los años 40 se utilizaron como refrigerantes, espumantes y propelentes de aerosoles, y presentaban un tiempo de vida media en la tropósfera de hasta 100 años debido a su poca reactividad; sin embargo, cuando llegaban a la estratósfera la radiación solar de alta energía UVa era capaz de disociarlos liberando los átomos de cloro de su molécula los cuales son capaces de destruir las moléculas de ozono estratosférico en una reacción en cadena que permite que cada molécula de CFC destruya cientos de moléculas de ozono de acuerdo a las reacciones siguientes (Figura 2); además, este suceso es más intenso en los polos donde las nubes de hielo formadas a baja temperatura aceleran la destrucción del O₃.

La catástrofe evitada

Con los postulados de Molina, Rowland y Crutzen, no hubo duda de la causa de la disminución de la capa de ozono, no solo en el Polo Sur sino en todo el planeta. Su visión y rigurosidad experimental permitieron que se tomaran acciones casi de forma inmediata para reducir la emisión de clorofluorocarbonos de forma tal

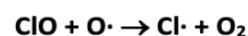
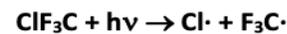
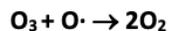
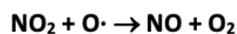
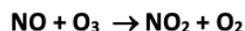


Figura 2. a) Destrucción de la capa de O₃ por óxidos de nitrógeno.

b) Destrucción de la capa de O₃ por clorofluorocarbonos.

que en 1989 se firmó el Protocolo de Montreal, complementado posteriormente en Londres y Copenhague, que entre sus fuertes medidas incluyó detener para 1995 la producción total de CFC en países industrializados y promover la producción de sustitutos de CFC, entre otras. Las más grandes disminuciones de la capa de ozono se registraron entre 1980 y 1995 y posteriormente se comenzaron a observar pequeñas recuperaciones del ozono troposférico. A la fecha la NASA reporta una lenta recuperación de la capa de O₃. Sin embargo, debido a la alta vida media de los CFC, estos compuestos liberados entre 1940 y el año 2000 permanecen en gran parte en la atmósfera y seguirán destruyendo miles de moléculas de O₃ cada año; se estima que será hasta mediados del siglo XXI cuando se recuperen los niveles de O₃ de los años 70. Afortunadamente, la mayor parte de los radicales ClO permanecen en un reservorio que se genera al reaccionar con el NO₂ que llega a la estratósfera formando ClONO₂, aunque en ciertas condiciones pueden ser liberados. De no haberse contado con las investigaciones de los científicos mencionados, la respuesta habría sido más lenta y quizá tardía. En 2016, la NASA hizo una simulación en la que se expone que, de no haberse tomado las

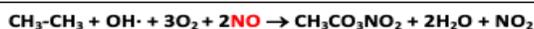
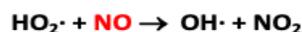
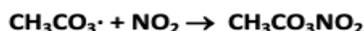
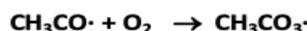
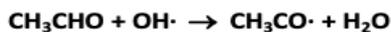
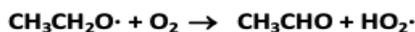
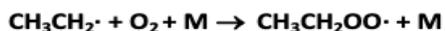


Figura 3. a) Ciclo de formación y destrucción del ozono troposférico.

b) Intervención de las reacciones fotoquímicas de los COVs en el ciclo de ozono troposférico

medidas adecuadas, para el 2040 la radiación UV hubiera alcanzado un índice 15 en latitudes medias, lo que sería catastrófico pues el índice de 10 es una radiación extrema que causa quemaduras en 10 minutos; para el año 2065 las dos terceras partes del O_3 se hubieran perdido teniendo concentraciones de CI de 55.2 ppb en lugar de los 2.3 ppb proyectados con las medidas tomadas, además de niveles de radiación nunca imaginados. Por su gran aportación a la humanidad, Molina, Rowland y Crutzen, recibieron el Premio Nobel de Química en el año 1995.

Ozono troposférico y contaminación fotoquímica

Como se expuso en la pasada sección, el O_3 permite la existencia de los seres vivos al absorber la radiación UV de alta energía; sin embargo, en la tropósfera el O_3 es un contaminante que forma parte del smog fotoquímico causando daños a la salud y al medio ambiente. El O_3 es un contaminante criterio secundario, es decir, ninguna fuente lo emite, sino que se forma en la atmósfera baja a partir de precursores. El O_3 tiene un potencial de oxidación mayor que el del oxígeno por lo que daña tanto a la vegetación, como a los materiales; asimismo, diversos estudios han demostrado que causa daños al sistema respiratorio y al sistema cardiovascular. Los compuestos que promueven la formación y acumulación del O_3 son los óxidos de nitrógeno (NO_x : $NO + NO_2$) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs) (Figura 3). Este ciclo es fotoquímico ya que la molécula de NO_2 es disociada por la radiación solar originando un átomo de oxígeno que a su vez reacciona con una molécula de O_2 formando el O_3 . Es posible observar que el ciclo de formación y destrucción del ozono en la tropósfera es muy distinto al que se lleva a cabo en la estratósfera. Cuando la atmósfera está contaminada con COVs, estos participan en una serie de reacciones fotoquímicas iniciadas por la disociación del agua que produce radicales OH que disocian las moléculas de COVs en nuevos radicales que pueden reaccionar con el NO, ocasionando que el O_3 no pueda destruirse por lo que se acumula en la tropósfera, mientras haya luz solar que propicie su formación. La Figura 3 muestra como ejemplo una serie de reacciones fotoquímicas para el etano que como resultado propician la acumulación del O_3 ; entre más alta sea la reactividad atmosférica del COV involucrado, mayor será la acumulación del ozono.

Conclusiones

Los ciclos químicos de formación y destrucción del O_3 son completamente distintos en la estratósfera que en la tropósfera y producen efectos muy diferentes.

La presencia del O_3 no solo es benéfica en la estratósfera, sino indispensable para que la radiación solar de alta energía no dañe el material genético y celular de los seres vivos.

La presencia del O_3 en la tropósfera es nociva puesto que provoca daños en la flora y la fauna, y promueve una oxidación más intensa en los materiales.

Bibliografía

1. Crutzen, P.J. The influence of nitrogen oxides on the atmospheric ozone content. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* **1970**, *96*, 320-325.
2. Chapman, S. On ozone and atomic oxygen in the upper atmosphere. *Phil. Mag.* **1930**, *10*, 369.
3. Johnson, J.; Webb, S.; Thomas, K.; Ono, S.; Kirschvink, J.; Fischer, W. Manganese-oxidizing photosynthesis before the rise of cyanobacteria. *PNAS.* **2013**, *110*, 11238-11243.
4. Johnston, H. S. Reduction of stratospheric ozone by nitrogen oxide catalysts from supersonic transport exhaust. *Science* **1971**, *173*, 517-522.
5. Molina, M. J.; Rowland, F. S. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: Chlorine atom catalyzed destruction of ozone. *Nature* **1974**, *249*, 810.
6. Puigcerver-Zanón, M. Acerca del agujero de ozono en la estratosfera Antártica, *Real Territoris. I* **1998**, 239-252.
7. Schindler, T.; Newman, P.; Jefferson, B. What Would have Happened to the Ozone Layer if Chlorofluorocarbons (CFCs) had not been Regulated? NASA simulation [Online]. **2015**. <http://svs.gsfc.nasa.gov/4272>. Visitado el 11 de noviembre de 2019.
8. Wayne, R. P. Chemistry of the atmospheres. Oxford University Press: New York, 2000.

Высшая окислительная способность	Группа I R'O	Группа II R'O или RO	Группа III R'O'	Группа IV R'O' или RO'	Группа V R'O'	Группа VI R'O' или RO'	Группа VII R'O'	Группа VIII (переземные) R'O' или RO'	I=1 HX
Первая 1-я	H=1 Li=7	Be=9, BeCl ₂ , BeO, Be ₂ AsPO ₄	B=11 B ₂ O ₃ , B ₂ H ₆ , B ₂ N ₃	C=12 CH ₄ , CO ₂ , SiH ₄ , SiO ₂ , CO, CO ₂	N=14 NH ₃ , N ₂ O, NO, NO ₂ , N ₂ O ₅	O=16 O ₂ , H ₂ O, H ₂ O ₂ , O ₃	F=19 F ₂ , HF, SF ₆ , CaF ₂ , KHF ₂	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63	
Первая 2-я	Na=23, K=39	Mg=24, Ca=40	Al=27, Ti=48	Si=28, V=51	P=31, Cr=52	S=32, Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63		
Первая 3-я	Rb=85, Cs=133	Sr=87, Ba=137	Zr=90, Ce=140	Nb=94, Sb=122	Mo=96, Te=125	Br=80, I=127	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108		
Первая 4-я				Ta=182, W=184			Os=193, Ir=195, Pt=197, Au=197		
Первая 5-я									
Первая 6-я									
Первая 7-я									
Первая 8-я									
Первая 9-я									
Первая 10-я									

Figura 19. Tabla Periódica de Mendeleev de 1871.

Todos los elementos conocidos estaban finalmente ordenados apropiadamente, pero Mendeleev sentía que los químicos de la época no alcanzaban a entender el alcance de su tabla periódica: no era tan sólo un arreglo bonito de elementos, era una herramienta fundamental para entender toda la química. No todos estaban convencidos, así que en 1871 Mendeleev publicó un extenso artículo, en alemán, en el que describía la utilidad de su descubrimiento. Primero ponía en claro que la ubicación del elemento en una familia indicaba el tipo de compuestos simples que iba a formar, especialmente compuestos binarios. Los químicos podrían simplificar sus análisis sabiendo qué compuestos se iban a formar y podían sistematizar la química; además podían tener una mejor idea de los pesos atómicos de los elementos poco conocidos sabiendo su ubicación en la tabla. Lo más importante de todo era que la tabla periódica podía usarse para predecir las propiedades de elementos que aún no habían sido descubiertos; y para no alargarse mucho, describía con lujo de detalles las propiedades de tres elementos desconocidos: eka-boro, eka-aluminio y eka-silicio. El eka-boro, "Eb", tendrá peso atómico de aproximadamente 44, formará un óxido Eb₂O, cuyas propiedades serán intermedias entre CaO y TiO₂, sus sales serán EbX₃, el sulfato Eb₂(SO₄)₃ será menos soluble que Al₂(SO₄)₃, el carbonato será insoluble en agua, sus sales serán incoloras, el punto de ebullición de EbCl₃ será mayor que el de AlCl₃ y la densidad de EbCl₃ será 2. El eka-boro sólo reaccionará con el agua a alta temperatura, la densidad del Eb₂O₃ será 3.5 y la densidad de Eb será 3.0 o un poco mayor. En cuanto a los análogos de aluminio y silicio, Mendeleev los llama eka-aluminio, "Ea" y eka-silicio, "Es". Mendeleev también da una larga lista de propiedades de los elementos y sus compuestos, como densidades, puntos de fusión, colores, propiedades ácido-base, solubilidades e incluso sugiere la manera en la que serán descubiertos, todo con base en su tabla periódica.

Para la mayoría de los químicos todo esto eran puras palabras sin sustento, nadie había podido predecir la existencia de un elemento, mucho menos dar tantos detalles de sus propiedades como si pudiera adivinar el futuro. Mendeleev sabía que tan sólo tenía que esperar. Y no pasó mucho tiempo. En 1874 la Academia

de Ciencias de París recibió una carta de Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran (1838-1912) anunciando el descubrimiento de un nuevo metal, llamado galio, cuyas propiedades eran casi las del eka-aluminio descrito por Mendeleev. La densidad predicha por Mendeleev era 5.9 y la encontrada por Lecoq era 4.7; sin embargo, cuando Mendeleev se enteró, le escribió una carta a Lecoq para decirle que su nuevo elemento estaba impuro y tenía que repetir sus experimentos. Lecoq repitió los experimentos ¡y resultó que Mendeleev tenía razón! La densidad del galio efectivamente era 5.9. Cinco años más pasaron y en marzo de 1879, el químico sueco Lars Fredrik Nilson (1840-1899) reportó el descubrimiento de un nuevo metal, que llamó escandio; su compatriota Per Teodor Cleve (1840-1905) repasó todas sus propiedades y reconoció que era el eka-boro predicho por Mendeleev 8 años atrás. Finalmente, en 1887, el eka-silicio fue descubierto en Alemania por Clemens Alexander Winkler (1838-1904), quien lo llamó germanio. Las propiedades del germanio eran precisamente las calculadas por Mendeleev; ahora nadie podía dudar de la tabla periódica y fue completamente aceptada. Todos los elementos estaban apropiadamente acomodados, excepto por unos cuantos que se rehusaban a ajustar por completo: los metales de las tierras raras, los cuales eran muy parecidos y no encajaban muy bien en los grupos de la tabla.

La aceptación de la ley periódica fue muy buena, lo cual no desanimó a Meyer y siguió trabajando en su tabla. La última tabla de Meyer es más sencilla de interpretar, pero también tiene errores que indican que su autor no tenía la idea correcta en cuanto al ordenamiento de los elementos pues al intentar acomodar las tierras raras predice que habrá dos elementos entre el itrio y el zirconio (figura 20).

Los Nuevos Descubrimientos Hacen Tambalearse la Tabla Periódica.

Los años pasaron sin mayores novedades; la tabla periódica se mantuvo fuerte, hasta que John William Strutt, tercer Barón de Rayleigh, mejor conocido como Lord Rayleigh (1842-1919) junto a Sir William Ramsay (1852-1916) descubrieron un nuevo

elemento... para el cual no había espacio en la tabla de Mendeleev. Cuando Rayleigh midió la densidad del nitrógeno proveniente del aire en 1892, notó que si eliminaba el oxígeno con cobre, el nitrógeno era 0.1% más pesado que si removía el oxígeno con amoníaco, el cual libera nitrógeno. Ramsay y Rayleigh se dieron a la tarea de separar la impureza que causaba esta diferencia y en 1895 descubrieron un nuevo elemento gaseoso, el menos reactivo hasta el momento y lo llamaron argón. Al principio Mendeleev se negó a aceptar su existencia, argumentando que sería un alótropo de nitrógeno, pero Ramsay demostró una y otra vez que su sustancia era un nuevo elemento. Por si fuera poco, Ramsay y Morris William Travers (1872- 1961) encontraron en 1898 que el argón no estaba puro y las impurezas resultaron ser nuevos elementos, que llamaron *xenón*, *neón* y *kriptón*. Ahora no había manera de negarlo; la tabla periódica se tambaleaba. Había cuatro nuevos elementos que no habían sido predichos y para los cuales no había sitio en la tabla. Sin embargo, Ramsay encontró una manera de resolverlo: sugirió la creación del grupo 0 especialmente para esos gases. No sólo encajaban a la perfección en la tabla periódica, sino que la completaban y se veía más sólida que nunca. Todo estaba perfecto, excepto por los metales de las tierras raras, que se amontonaban en una casilla (figura 21).

La tabla periódica había pasado todas las pruebas y al inicio del siglo XX se mostraba como una de las bases más firmes de la química, pero, fue entonces que la radiactividad llegó a complicar la situación. Los químicos comenzaron a descubrir muchos

nuevos elementos radiactivos; de hecho, descubrieron demasiados elementos (unos 30 nuevos elementos) con pesos atómicos diferentes que deberían de ubicarse entre el plomo y el uranio, donde sólo faltaban unos pocos huecos por llenar. Aparentemente Mendeleev se había equivocado y su sistema periódico tenía el número de espacios incorrecto. En 1913 Frederick Soddy (1877-1956) demostró que los elementos aislados no eran diferentes por tener diferente peso, pues eran químicamente idénticos y afirmó que no era posible saber si el peso de un elemento se debía a un promedio de átomos de diferentes pesos. Soddy llamó isótopos a esos átomos que tienen pesos diferentes pero son químicamente iguales. Esta idea era realmente perturbadora, pues ley periódica decía que las propiedades dependían del peso atómico ¿Cómo era posible que dos átomos de diferente peso fueran de un mismo elemento? Sin entenderlo por completo, los químicos tuvieron que aceptar que los isótopos eran reales y nuevamente la tabla periódica se sobreponía. Ese mismo año, Joseph John Thomson (1856-1940) obtuvo evidencia de que el neón consistía en dos tipos de átomos de pesos diferentes y en 1919 Francis William Aston (1877-1945) desarrolló el espectrógrafo de masas, con el que descubrió que casi todos los elementos consisten en más de un tipo de átomo.

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
Li 7,01	?Be 9,3	B 11,0	C 11,97	N 14,01	O 15,96	F 19,1	
Na 22,99	Mg 23,94	Al 27,3	Si 28	P 30,96	S 31,98	Cl 35,37	
K 39,04	Ca 39,90	?Sc 45	Ti 48	V 51,2	Cr 52,4	Mn 54,8	
Cu 63,3	Zn 64,9	Ga 69,9	? 72	As 74,9	Se 78,9	Br 79,75	
Rb 85,2	Sr 87,2	?Y 88	X 88,5	X 89	Zr 90	Nb 94	
Ag 107,66	Cd 111,6	In 113,4	Sn 117,8	Sb 122	Te 126,3	J 126,53	
Cs 132,0	Ba 136,8	La 139	Di 140	Ce 141	? 142	? 143	
? 150	?Ng 150?	? 158?	? 160	? 162	? 164	? 165	
? 172	? 173	Yb 174	X 176	X 177	? 180	Ta 182	
Au 196,2	Hg 199,8	Tl 203,6	Pb 206,4	Bi 210	? 212	? 213	
? 222	? 227	X 229	X 231	X 232	?Th 233,9	? 238	

Figura 20. Tabla periódica de Meyer de 1880.

THE PERIODIC ARRANGEMENT OF THE ELEMENTS

PERIODS	GROUP 0		GROUP I		GROUP II		GROUP III		GROUP IV		GROUP V		GROUP VI		GROUP VII		GROUP VIII	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
1	He = 3.99		Li = 6.94		Na = 23		Mg = 24.32		Al = 27.1		Si = 28.3		P = 31.04		S = 32.06		Cl = 35.46	
2																		
3	A = 39.88		K = 39.1		Ca = 40.07		Sc = 44.1		Ti = 48.1		V = 51		Cr = 52		Mn = 54.93		Fe = 55.84	
4					Cu = 63.57		Zn = 65.37		Ga = 69.7		Ge = 72.5		As = 74.96		Se = 79.2		Br = 79.92	
5	Kr = 82.92		Rb = 85.45		Sr = 87.63		Y = 89		Zr = 90.6		Nb = 92.9		Mo = 96				Ru = 101.7	
6					Ag = 107.88		Cd = 112.4		In = 114.8		Sn = 118.7		Sb = 120.2		Te = 127.5		I = 126.92	
7	X = 130.2		Cs = 132.81		Ba = 137.37		La = La* 138.0 - 175.0		Ce = 140.25		Ta = 181.5		W = 184				Os = 190.9	
8					Au = 197.2		Hg = 200.6		Tl = 204		Pb = 207.2		Bi = 208				Rh = 102.9	
9					Ni = 222.4				Ra = 226		Th = 232.4		U = 238.2				Pt = 195.2	
	Formula of oxide		R ₂ O		RO		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₅		RO ₃		R ₂ O ₇		R ₂ O ₄	

* This includes a number of elements whose atomic weights lie between 140 and 173, but which have not been accurately studied, and so their proper arrangement is uncertain. They do not fit into the table in its present form.

Figura 21. Tabla periódica de inicios del siglo XX, con los gases nobles en el grupo 0.

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

I H	II				III				IV				V				VI				VII				VIII																												
	Valency 0				1				2				3				4				5				6				7																								
2 He	3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Au	49 Hg	50 Tl	51 Pb	52 Bi	53 Po	54 At	55 Rn
56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr						

Figura 22. Tabla periódica de 1924, donde se muestran los números atómicos y las tierras raras.

La tabla periódica había superado todas las pruebas, excepto la cuestión del origen del orden de los elementos y los incómodos elementos de las tierras raras. En cuanto al orden, nadie cuestionaba que era el correcto, a pesar de que había tres pares de elementos en los que el pesado iba primero: Ar-K, Co-Ni y Te-I. Mendeleev estuvo convencido toda la vida que se demostraría que los pesos atómicos estaban equivocados, cosa que no sucedió. En 1897 J. J. Thomson descubrió el electrón y en 1911 Ernest Rutherford (1871-1937) describió al átomo como un pequeñísimo núcleo positivo alrededor del cual giraban los electrones. Demócrito hubiera estado complacido, no sólo existían los átomos y el vacío, sino que los átomos son en su mayoría espacio vacío. Al inicio Rutherford sugirió que los núcleos atómicos debían ser múltiplos de la partícula α , o sea núcleos de helio y por lo tanto la carga nuclear sería la mitad del peso atómico, pero en 1913 Antonius Johannes van den Broek (1870-1926) notó que esto no podía ser cierto y en realidad la carga del núcleo era igual al número que le correspondía en la tabla periódica de Mendeleev. Era una idea trascendental, que recibió comprobación experimental un mes después, cuando Henry Gwyn Jeffreys Moseley (1887-1915) estudió las emisiones de rayos X de los elementos conocidos y calculó la carga nuclear. ¡Ahora todo tenía orden y sentido! La carga nuclear o número atómico es lo que determina el orden y las propiedades de los elementos.

Todo estaba perfecto excepto por los obtusos metales de las tierras raras (figura 22), llamados tierras porque al inicio sólo se conocían en forma de óxido y que para entonces ya se sabía que no eran raras. La mayoría de los químicos preferían omitirlas de sus tablas periódicas.

La Tabla Periódica Actual

Fue hasta el advenimiento de la física cuántica que los químicos pudieron entender el origen de las propiedades químicas y explicar por qué los metales de la serie que empieza con el lantano son tan parecidos que deberían ir todos en el grupo 3. En las décadas de los veinte y los treinta se comprendió que son los electrones los que determinan las propiedades químicas, se entendió el llenado de los electrones en los diferentes niveles en el átomo y el origen de la periodicidad, principalmente gracias al trabajo de Niels Henrik David Bohr (1885-1962) y Linus Carl Pauling (1901-1994).

Finalmente parecía que la tabla periódica estaba completamente entendida, en 1940 faltaban dos elementos por descubrir para terminarla por completo. Sin embargo, Edwin Mattison McMillan (1907-1991) y Philip Hauge Abelson (1913-2004) sintetizaron el primer elemento transuránico y el uranio dejó de ser el último de

Tabla Periódica de los Elementos

Tabla Periódica de los Elementos

Grupos: 1 (IA), 2 (IIA), 3 (IIIB), 4 (IVB), 5 (VB), 6 (VIB), 7 (VIIB), 8 (VIII), 9 (VIII), 10 (VIII), 11 (IB), 12 (IIB), 13 (IIIA), 14 (IIIA), 15 (VA), 16 (VIA), 17 (VIIA), 18 (VIIIA)

Elemento destacado: Radium (Ra)

- Número Atómico: 88
- Símbolo: Ra
- Nombre: Radio
- Configuración Electrónica: $(Rn)7s^2$
- Electronegatividad: 0.9
- Masa Atómica: 226.03
- Radioactividad: Sí
- Estado: Sólido
- Forma: Líquido
- Categorías: Gaseoso, Síntético

Legenda de Categorías:

- Gases Nobles
- Halógenos
- Metales
- No Metales
- Metaloides
- Actínidos
- Lantánidos
- Bloque p
- Alcatrines
- Alcatrines

Logotipo de la Sociedad Química de México (SQM):

SOCIEDAD QUÍMICA DE MÉXICO, A.C.
Sociedad Química de México
www.sqm.org.mx

Figura 23. Tabla periódica actual.

los elementos. Posteriormente, Glenn Theodore Seaborg (1912-1999) y su equipo, se dedicaron a crear los elementos siguientes y lograron la síntesis de 10 elementos transuránicos. Seaborg sugirió que los nuevos elementos formaban una serie análoga a las tierras raras, empezando con el actinio. Ya con todos los actínidos presentes se volvió más cómodo presentar la tabla periódica en su forma mediana, que usamos la mayoría en el mundo (figura 23). En Rusia, Ucrania y regiones vecinas se sigue usando la forma corta que prefería Mendeleev.

Actualmente el avance de la física nuclear ha permitido la síntesis de todos los elementos hasta el 118, sin embargo, no sabemos cuál será el final de la tabla periódica. A medida que se incrementa el número atómico se vuelve cada vez más difícil sintetizar los elementos y sus vidas medias son cada vez más cortas. Por el momento, los investigadores siguen esforzándose, tal vez en unos años podamos ver anunciado el primer elemento del octavo periodo.

Fuentes de consulta

Strathern, P.; *Mendeleev's Dream*; Thomas Dunne Books: New York, 2001, ISBN 0-312-26204-3.

Scerri, E. R.; *The Periodic Table: Its Story and Its Significance*; Oxford University Press: New York, 2007, ISBN-13 978-0-19-530573-9.

Jensen, W. B., Ed.; *Mendeleev on the Periodic law: Selected Writings, 1869-1905*; Dover Publications: New York, 2005, ISBN 0-486-

44571-2.

Morris, R.; *The Last Sorcerers*; Joseph Henry Press: Washington, DC, 2003, ISBN 0-309-08905-0.

White, K.; *Mendeleev and the Periodic Table*; The Rosen Publishing Group: New York, 2005, ISBN 1-4042-0310-9.

Leicester, H. M.; *The Historical Background of Chemistry*; Dover Publications: New York, 1956, ISBN 0-486-61053-5.

Cobb, C.; Goldwhite, H. *Creations of Fire*; Plenum Press: New York, 1995, ISBN 0-306-45087-9.

Hudson, J.; *The History of Chemistry*; Chapman and Hall: New York, 1992, ISBN 0-412-03651-7

Fontani, M.; Costa, M.; Orna, M. V.; *The Lost Elements*; Oxford University Press: New York, 2015, ISBN 978-0-19-938334-4.

La colección más grande de tablas periódicas a través de la historia puede ser visitada en

https://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php (visitado el 14/octubre/2018)

Algunos artículos trascendentales en la historia de la tabla periódica pueden ser consultados en

<http://web.lemoyne.edu/~giunta/EA/index.html> (visitado el 14/octubre/2018)

<http://web.lemoyne.edu/~giunta/papers2.html#periodic> (visitado el 14/octubre/2018)

Concurso de obras de arte para el Año internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos: Dr. Víctor Duarte Alaniz, ganador del primer lugar

Verónica García Montalvo*



Dr. Víctor Duarte Alaniz y su diseño de la tabla periódica: Ciclos en el espacio, en el tiempo... y en la Química.

El Dr. Víctor Duarte Alaniz, ganador del primer lugar del “Concurso de obras de arte- Año internacional de la Tabla Periódica” (International Year of the Periodic Table - Artwork Competition, <https://bit.ly/2CCM606>), estudió la carrera de ingeniería química en el Tecnológico de Toluca para posteriormente ingresar al programa de maestría y doctorado en el Instituto de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) bajo la asesoría del Dr. Gabriel Cuevas, trabajando básicamente en el área de Química Teórica. Actualmente se dedica al trabajo editorial en el área de ilustración científica apoyando a otros especialistas principalmente en la creación de imágenes para ilustrar libros y artículos. Comenzó a trabajar en publicidad gráfica incluso antes de graduarse, y una de sus metas es poder conjuntar la parte de las ciencias duras (Física, Química y Matemáticas) con la parte artística-gráfica.

La IUPAC (“International Union of Pure and Applied Chemistry”, en español Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) y la revista *Chemistry - A European Journal* (Química-Una revista europea) de la Editorial Wiley, organizaron un concurso de obras de arte relacionado con el Año Internacional de la Tabla Periódica (IYPT), abierto para autores, lectores e investigadores de todas las edades que participaran con una foto, un collage o un dibujo (incluso a mano). La convocatoria inició el 17 de enero con plazo hasta el 1° de junio de 2019. Los tres ganadores fueron anunciados en la conferencia IUPAC 2019 en París, a principios de julio. El comité de selección estuvo formado por tres miembros

Instituto de Química, Universidad Nacional Autónoma de México
* vgm@unam.mx

de la junta: los profesores Valentine Ananikov de la Academia de Ciencias de Rusia; Jean-François Nierengarten del CNRS y; Angela Casini de la Universidad de Cardiff, así como por el equipo editorial de la revista. Los artículos sobre los ganadores y sus obras de arte se publicaron en “Chemistry - A European Journal”, el portal ChemistryViews, y también se difundieron ampliamente en las redes sociales:

https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/15213765/homepage/iypt_artwork_competition

<https://www.facebook.com/ChemistryAEuropeanJournal/photos/pcb.1178096145647936/1178095145648036/?type=3&theater>

1. Primero que nada “felicidades por tu premio” y para empezar nos gustaría que nos hablaras del concurso en el que participaste ¿cómo te enteraste del mismo?, ¿cómo fue que te decidiste a participar?

A pesar de que la convocatoria se publicó desde enero, no fue sino hasta como por el 10 o 13 de mayo que el Dr. Fernando Cortés Guzmán, secretario académico del Instituto de Química de la UNAM, me sugirió participar. Comencé con una idea que fui comentando con otros colegas y como quería involucrar muchos datos alrededor de cada elemento, pues hice un programa que jala la información de archivos de datos y los convierte en dibujo dentro del entorno del software que yo uso para hacer dibujos en 3D. Una vez que me decidí a empezar, inició la ansiedad por ver qué saldría, como quedaría. Aunque ya tenía poco tiempo para terminar, tuve que acelerar el trabajo, y creo que se nota en algunos elementos en el trabajo final que fueron hechos con prisa.

2. ¿Quieres decir que no pudiste ser más fino y detallista en tu propuesta?

Pues sí, tenía en mente algunas otras cosas que no pude terminar de desarrollar por el tiempo. Una de esas ideas estaba inspirada en la zona arqueológica de Monte Albán, en Oaxaca. Quería ubicar a la tabla en una explanada hasta arriba de un cerro como la zona arqueológica; algo de esta idea se quedó en la propuesta, pero no pude desarrollarla completamente. Yo tenía hasta el 1° de junio para entregar mi diseño, pero sinceramente tuve alrededor de quince días solamente y no pude terminar. De hecho, lo hice dos días después de la fecha límite. Envíe lo que tenía, el video y la ilustración, pidiendo admitieran mi trabajo al concurso aun cuando había rebasado la fecha límite. Entre el 5 y el 9 de junio me contestaron, vía correo electrónico, que sí había sido aceptado en el concurso y me deseaban suerte. También comentaban algunos detalles sobre la decisión final y la entrega de los premios en París el 10 de julio, pero la verdad, me parecía un poco irreal salir ganador.

3. ¿Y cuándo recibes la noticia de que has ganado?

El 3 de julio me llega el aviso de que era uno de los tres ganadores. Estaba feliz y traté de ver la manera de asistir, pues como dije, no estaba esperando el resultado. Al final no fue posible que asistiera, porque el tiempo ya estaba encima, se venían las vacaciones y no conseguí medios para ir. Aunque sí me insistieron mucho, sobre todo de la editorial Wiley, que junto con la IUPAC fueron los organizadores, pues ellos publicaron la convocatoria en la segunda revista emblema de la editorial (“Chemistry - A European Journal”), después del “Angewandte Chemie”. En realidad, yo descubrí que fui primer lugar hasta después del evento, cuando comienzan a salir fotos en el Facebook de la revista y publican los resultados.

4. ¿Quieres hacernos una descripción breve de tu representación de la Tabla Periódica? Que por cierto titulaste “CICLOS EN EL ESPACIO, EN EL TIEMPO... Y EN LA QUÍMICA.”

Sabemos que hay una breve explicación que todos podemos ver y leer, incluso tienes un video, pero háblanos de esta representación helicoidal que haces de la Tabla Periódica ¿Podrías ayudarnos a entender la escala de tiempo en tu prototipo helicoidal?

Cuando estaba trabajando en la propuesta, una compañera me envió un twitter con toda la historia de diseños que se han hecho de diferentes arreglos alrededor de la Tabla Periódica y la visualización de la periodicidad. Ya había pensado en algo que fuera cíclico, básicamente por la relación entre cíclico y periódico, inspirado en el movimiento ondulatorio de la Física. Por eso me llamaron la atención algunas formulaciones de tabla periódica circular, espiral, y helicoidal, pero todas eran en dos dimensiones.

Partiendo de esto, lo que tenía a nivel de representación tridimensional era una helicoidal; la hélice exterior está formada por cuatro segmentos sucesivos que representan los bloques en que se acomodan los elementos químicos en la Tabla Periódica (s de color rosa, p de color morado, d de color verde y f en café). Y con la helicoidal interna quise asociar cuándo fueron descubiertos los elementos a lo largo del tiempo; coincidió que los ciclos podía arreglarlos con los siete periodos de la tabla, cada periodo es una vuelta de la helicoidal. Así que traté de empatar la helicoidal del tiempo con la de los elementos usando las dos helicoidales del mismo tamaño, nada más que de distinto diámetro. Cada elemento tiene una etiqueta de color amarillo, café o verde que señala la secuencia en que se descubrieron; por ejemplo, los elementos en la gama de amarillos corresponden a los elementos que se descubrieron desde la antigüedad hasta antes del año 1500, como el hierro.

El segundo segmento es de color café y representa un periodo de 300 años; el último, que es verde, llega hasta nuestros días. Esta flecha del tiempo gira en sentido inverso de las manecillas del reloj y emerge como de una fuente, tipo pozo u hoyo negro, que está representada por unos pétalos abiertos de los que sale un árbol. Mi idea era que representara la relación entre la información que contiene la tabla periódica con las diferentes ramas de la ciencia y la naturaleza, pensando en una especie figurativa del origen. También me inspiré en la doble hélice del ADN y su quiralidad; con la representación 3D puedo mostrar que gira como el ADN, y también lo asocié a la multiplicación vectorial que gira en el mismo sentido.

5. ¿Perseguías otro objetivo, además de la posibilidad de ganar el premio? ¿Crees que esta propuesta pudiera aportar algo más al uso cotidiano de la Tabla Periódica, tal y como la usamos?

Bueno, yo sí la he visualicé como una tabla en tercera dimensión hecha de madera, por ejemplo, u otro material. En determinado momento pensé que sería interesante poder platicar de la periodicidad química, sobre todo con aquellos que empiezan a conocer la química en secundaria, con el modelo en 3D para que vieran como al ir girando el dispositivo los elementos que coinciden en una línea, que se conoce como generatriz, tienen propiedades similares y que vieran como varían estas propiedades, porque cada elemento cuenta con información relevante. Por ejemplo, hay una esfera con tamaño proporcional al tamaño atómico de cada elemento, que además tiene un color que está entre rojo y azul y que representa su electronegatividad en la escala de Pauling. También está insertado un alfiler color azul claro cuyo tamaño es proporcional a la primera energía de ionización. Bueno todo esto, además de la identificación de cada elemento con su símbolo y número atómico.

Pero en general, dentro de la propuesta artística que yo he venido manejando con este tipo de ilustraciones, es establecer una especie de puente entre la gente que no tiene ningún conocimiento, o uno muy limitado, con la ciencia más compleja, una especie de puente gráfico. Que la ilustración sea atractiva visualmente y me permita, o permita a la gente que realizó la investigación representada con la ilustración, explicar sus resultados como un primer paso antes de involucrar ecuaciones, por ejemplo. En general creo que he tenido éxito facilitando algunas explicaciones con las ilustraciones que he realizado, y este caso no es una excepción. He tratado de que esta ilustración, o el modelo 3D, pudieran facilitar la explicación de propiedades periódicas y su variación, y que al mismo tiempo pudiera asociar a los elementos con el periodo en que fueron descubiertos para que sirviera como punto de partida para explicar cómo sucedió históricamente hablando.

6. Además de la flecha de tiempo y la idea que tratabas de expresar con ella hay muchos otros elementos en tu ilustración, ¿Qué tratabas de representar con ellos?

Sí, por ejemplo, la mesa es un guiño al inglés “Table” (mesa) y a la idea de que podrías jugar un juego de mesa con la tabla periódica usando bloques móviles para diferentes conjuntos de elementos. También tenemos la presencia de un observador privilegiado de la Tabla que está reflexionando en un entorno tranquilo y de ojos que apuntan hacia donde hay que mirar, es decir que llaman la atención del observador, ya que dos apuntan hacia la Tabla, otro hacía el árbol y un tercero que apunta hacia un monumento en relieve de Dimitri Mendeléiev, creador de la Tabla Periódica. Todo está ubicado en una terraza o mirador que representa el acceso a una vista privilegiada de todo un paisaje integrado. Y el paisaje en general, es un terreno erosionado, que hubiera querido trabajar un poco más, pero no tuve más tiempo.

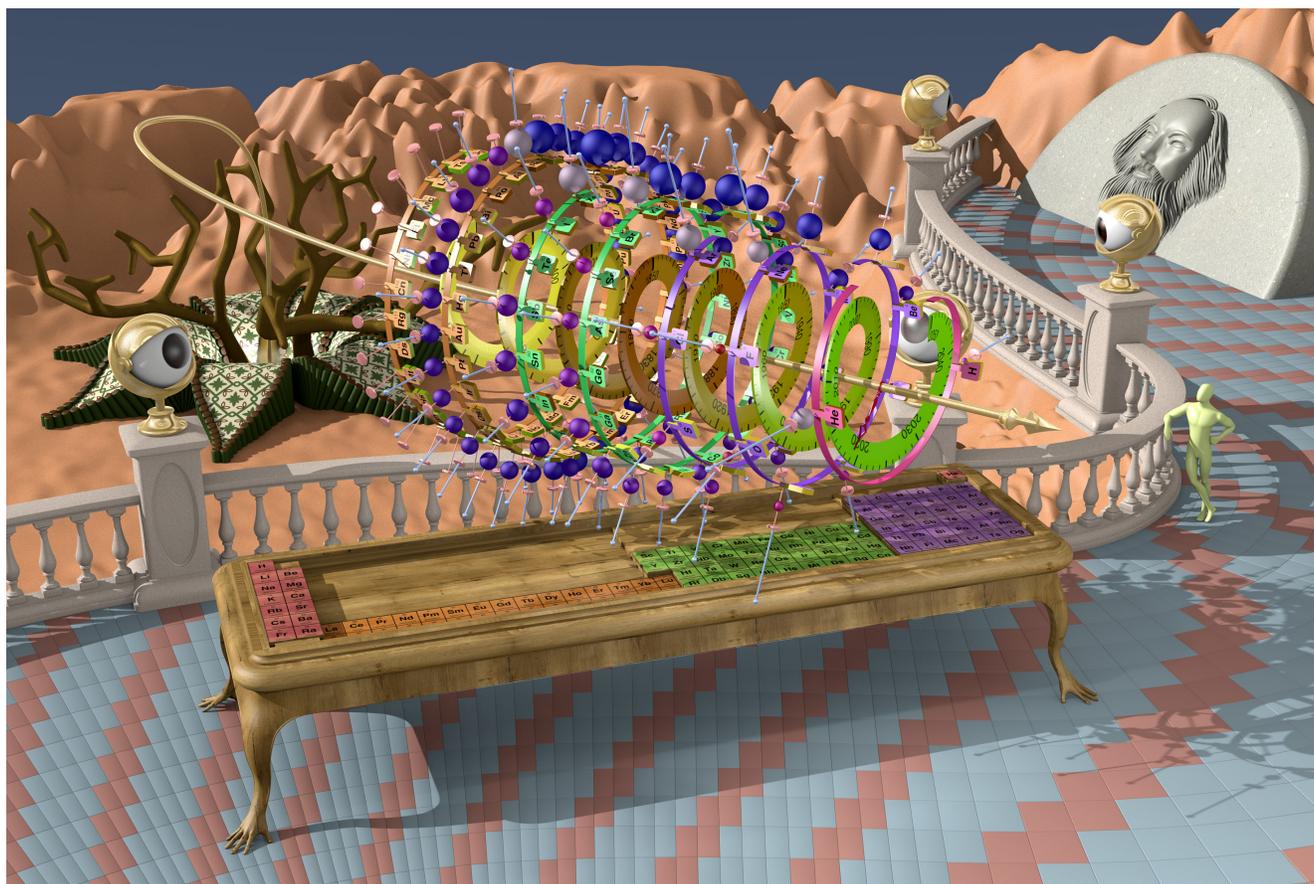
7. ¿Consideras que tu propuesta es una buena representación de la unión ciencia-arte?

Bueno a lo largo de mi trabajo en ilustración científica me he dado cuenta de que está muy restringida a un tipo de ilustración y sobre algunas áreas en específico (paleontología, botánica, medicina), pero

por otro lado hay corrientes críticas que apoyan obras orientadas a la creación artística de ciencia ficción, por ejemplo. Entre estos dos puntos creo que hay una gama de posibilidades que todavía no se han explorado, o no lo suficiente. A mí me gustaría ver una verdadera fusión que conservara toda la precisión conceptual que requiere la ciencia con la parte subjetiva de cómo puede uno imaginar determinado concepto, que sería la parte subjetiva, la parte artística. Lograr una verdadera “disolución” de ambas, donde no se distinguieran fronteras entre una y otra. Esto resulta difícil porque generalmente el artista no se involucra mucho con la ciencia y el científico no lo hace con el arte. Creo que cada vez hay más propuestas integrales de ambos aspectos y me gustaría que la mía se acercara cada vez más a este punto; espero haber logrado algo así con esta representación de la Tabla Periódica.

8. Como profesional de la química, ¿cuál crees que sea la importancia de la Tabla Periódica en el estudio y desarrollo de la Química?

Su importancia es fundamental; es una colección de información relevante para las ciencias naturales ya que tarde que temprano nos topamos con los elementos químicos, por ejemplo, como constituyentes de los seres vivos o de los nutrientes que requieren. Es decir, que son punto de partida esencial hacia la complejidad en biología, o cualquier otra ciencia. En el caso de la química, pues los elementos son la esencia misma de la estructura y la reactividad, y la tabla es mucho más que un instrumento de trabajo.



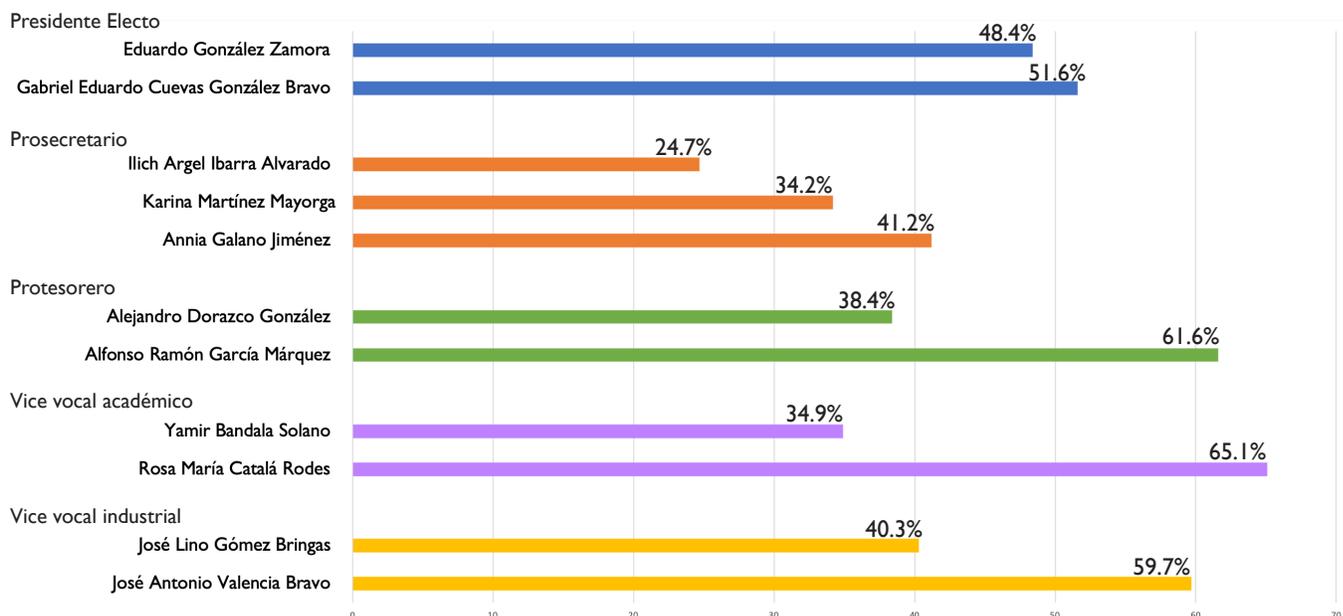
Ciclos en el espacio, en el tiempo... y en la Química.

RESULTADOS DEL PROCESO ELECTORAL DE LA SOCIEDAD QUÍMICA DE MÉXICO A.C. 2022-2023

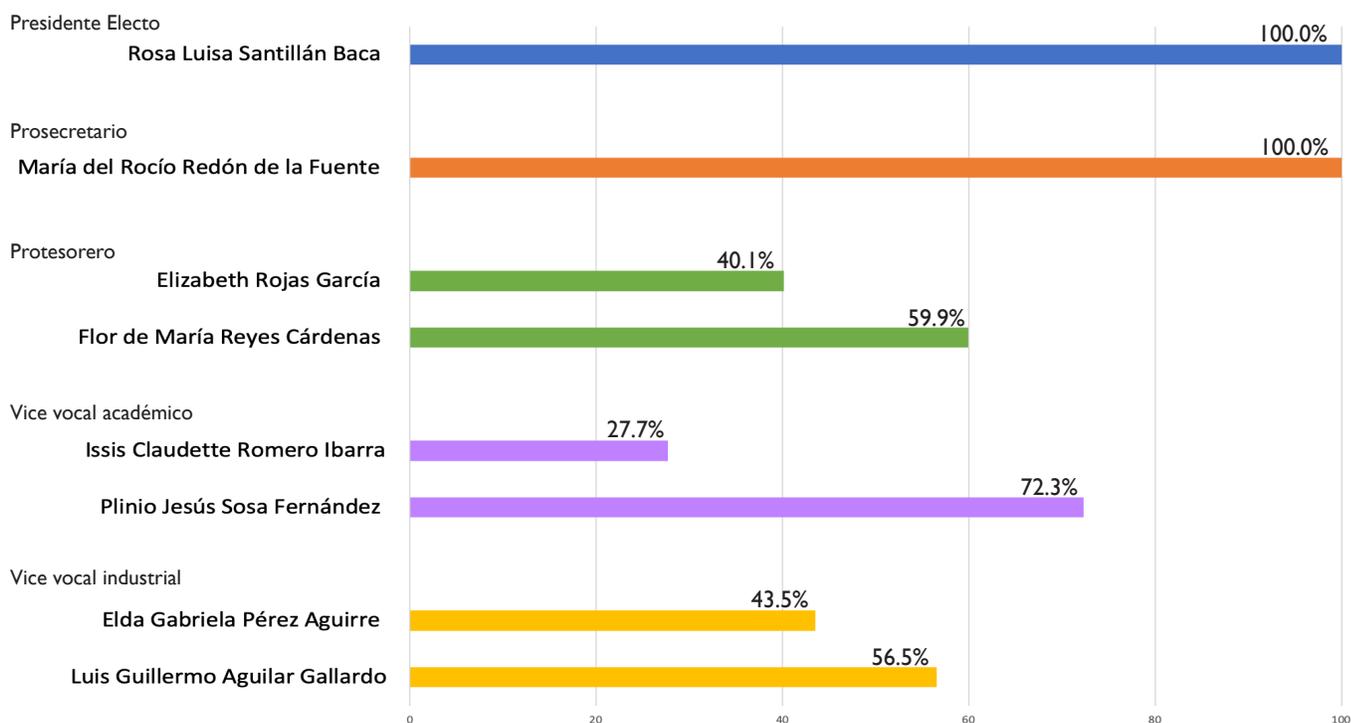
Con fundamento en el Título Quinto, Artículo 7.3 de los Estatutos Sociales y en el Título Séptimo, Artículos del 53° al 59° del Reglamento General vigentes, la Sociedad Química de México, A.C., llevó a cabo el proceso electoral de las mesas directivas del Comité Ejecutivo Nacional y el Comité Ejecutivo de la Sección Valle de México de la SQM.

La publicación de la Convocatoria se realizó el 11 de febrero pasado, estando a cargo de la Comisión Electoral de la SQM. Llevadas a cabo la selección de candidatos y la campaña electoral, se realizó la votación electrónica del 1° de julio al 30 de agosto de 2019 teniendo la participación del 82% de los electores en la votación del Comité Ejecutivo Nacional 2022-2023 (246 de 300) y del 77.7% de los electores pertenecientes a la Sección Valle de México (160 de 206). Los resultados de la Elección se presentan a continuación.

COMITÉ EJECUTIVO NACIONAL



COMITÉ EJECUTIVO SECCIÓN VALLE DE MÉXICO



MESAS ELECTAS

Comité Ejecutivo Nacional



Presidente Electo: **Dr. Gabriel Eduardo Cuevas González Bravo**. Instituto de Química, UNAM. Investigador titular C. Realiza investigación experimental y teórica sobre la naturaleza de los efectos estereoelectrónicos y de las interacciones débiles para establecer su importancia en la conformación, la reactividad y el reconocimiento molecular.



Prosecretaria: **Dra. Annia Galano Jiménez**. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Sus líneas de investigación son: Química Atmosférica, Cinética Computacional, Nanotubos de Carbono, Estrés Oxidativo y Capacidad Antioxidante.



Prosecretario: **Dr. Alfonso Ramón García Márquez**. Facultad de Química, UNAM. Sus áreas de investigación son: Materiales porosos, Nanoquímica y nanotecnología, Componentes de celdas de combustible, Procesado y formado de Materiales y Almacenamiento y aprovechamiento de gases a efecto de invernadero.



Vice vocal académica: **M. en C. Rosa María Catalá Rodes**. Colegio Madrid, A.C. Los temas con los que trabaja hoy en día son la organización curricular vertical en los centros de enseñanza, la formación docente y la importancia de la evaluación en los procesos educativos.



Vice vocal industrial: **I.Q.I. José Antonio Valencia Bravo**. Equipar, S.A. de C.V. Ha participado en la industria en el área de control de calidad e investigación y desarrollo.

Comité Ejecutivo de la Sección Valle de México



Presidente Electa: **Dra. Rosa Luisa Santillán Baca**. CINVESTAV, Departamento de Química. Sus áreas de interés son: Diseño, síntesis y aplicación de dendrímeros que puedan ser utilizados como biomateriales y en máquinas moleculares. Química de oxaziridinas, catálisis asimétrica. Reactividad de heterociclos esteroidales, síntesis de análogos de brasinoesteroides, compuestos anticancerígenos derivados de esteroides.



Prosecretaria: **Dra. María del Rocío Redón de la Fuente**. ICAT- UNAM. Sus áreas de investigación principales son: diseño y obtención de sistemas catalíticos de macrocristales y nanosistemas homogéneos, la recuperación de los mismos por métodos de nanofiltración, con aplicación en el tratamiento de contaminantes atmosféricos y en la obtención de compuestos base en el desarrollo de especies químicas de interés farmacológico.



Prosecretaria: **Dra. Flor de María Reyes Cárdenas**. Facultad de Química, UNAM. Se ha dedicado a la educación y divulgación de la ciencia desde el año 1992 en contextos informales y posteriormente, desde 1998, en la educación formal en ciencias y en matemáticas.



Vice vocal académico: **Dr. Plinio Jesús Sosa Fernández**. Facultad de Química- UNAM. Ha dado cátedra desde 1981 en 185 cursos semestrales o anuales de 30 diferentes asignaturas en los niveles de Bachillerato, Licenciatura y Posgrado, así como impartido 50 cursos para formación y actualización de profesores. Actualmente es Consejero Universitario de la UNAM.



Vice vocal industrial: **I.Q. Luis Guillermo Aguilar Gallardo**. Flame Spray S. A. Cuenta con una amplia experiencia en el sector industrial. Colabora con distintas empresas como Suizer Metco, Praxair Surfaces Tech y Flame Spray.

