

Mendeleiev, ¿un científico romántico o clásico?

A.O. Sánchez-Sandoval, E. González Vergara
y M.P. Elizalde-González*

I. Introducción

Dimitri Ivanovich Mendeleiev fue un destacado científico ruso que hizo importantes contribuciones en diferentes áreas de la Química, aún cuando es más conocido por su trabajo sobre la tabla periódica de los elementos. La obra de Mendeleiev se destaca sobre todo, por la relación de sus trabajos teóricos con la práctica, relación por la cual luchó toda su vida. Su labor investigadora estuvo dirigida a explicar la naturaleza como un todo único, a encontrar la conexión mutua de los fenómenos y poner el resultado de sus investigaciones al servicio del hombre. Un lugar muy importante en los trabajos de Mendeleiev lo ocupó la industria rusa, a favor de la cual trazó un vasto programa para el aprovechamiento de los riquísimos recursos naturales de su país. Los trabajos de Mendeleiev abarcaron diversas áreas de la ciencia, de la tecnología, de la industria, de la agricultura y del transporte (11).

II. Los albores de la vida del científico Mendeleiev

El 7 de Febrero de 1834 en la región de Tobolsk, Siberia, nació D. I. Mendeleiev, quien fue el último de los diecisiete hijos de Ivan Pavlovich Mendeleiev y María Dmitrievna Mendelieva. Su padre ejercía como profesor y era el director del Gimnasio de Tobolsk. Su abuelo



Mendeleiev durante su estancia en la Universidad de Oxford, Inglaterra.

había emigrado al Este, cuando Pedro el Grande decidió occidentalizar a Rusia (1,11).

En el mismo año del nacimiento de Mendeleiev, su padre queda ciego y su madre se ve obligada a trabajar una fábrica de vidrio que su hermano le cedió en usufructo, en la localidad de Aremzianskoe, a 20 millas de Tobolsk, para con ello sostener a su familia.

En 1847 su padre muere y al año siguiente la fábrica es destruida por el fuego, motivo por el cual regresan a Tobolsk (2,11). D.I. Mendeleiev queda al cuidado de su madre, la cual siempre luchó por dar a sus hijos instrucción superior. En 1849 Mendeleiev termina el bachillerato y en el verano del mismo año parten hacia Moscú, en cuya uni-

versidad no fue admitido, debido a su dialecto siberiano y porque según el reglamento sólo eran admitidos alumnos de distrito escolar de Moscú. Se dirigen a San Petersburgo donde es rechazado tanto por la universidad como por la Escuela de Medicina. Finalmente, su madre le aseguró un lugar en la Facultad de Matemáticas y Ciencias Naturales de la Escuela Superior Central del Magisterio de San Petersburgo, poco antes de su muerte, ocurrida el 20 de septiembre de 1850 (2,11).

Mendeleiev se especializó en física, química y matemáticas, y logró obtener el primer lugar en su clase. En este período convivió con distinguidos maestros como Alexandr Abramovich Voskresenski.

Alexandr Abramovich Voskresenski, destacado químico y pedagogo ejerció una influencia decisiva en la formación del futuro científico (1,11).

III. Las primeras investigaciones de Mendeleiev

Mendeleiev inició su vida como investigador en el campo de la química cuando todavía era estudiante de la Escuela Superior. Su primer trabajo científico ("Acerca del análisis de la Orfita y el Piroxeno de Finlandia") fue editado en 1854 por la sociedad Mineralógica. En este mismo año, Mendeleiev efectuó un importante y serio trabajo que constituyó su tesis de graduación y cuyo título fue: "Sobre el isomorfismo en relación con otras

* Maestría en Química, Departamento de Química, Instituto de Ciencias-UAP.

proporciones de la Forma cristalina y la Composición". En este trabajo, Mendeleiev estudió el fenómeno del isomorfismo utilizando muestras de minerales naturales; y obtuvo cristales homogéneos de las más diversas sustancias.

Mendeleiev observaba con interés cómo las sustancias isomorfas cristalizaban en la solución en forma de cristales mixtos de estructura homogénea. Al estudiar este fenómeno trataba de obtener una idea de las conexiones entre los átomos de las sustancias isomorfas. Al sumergir los cristales de una de las sustancias, isomorfas en una solución saturada de la segunda sustancia, se puede ver como el cristal sumergido empieza a recubrirse de nuevas capas, formadas por átomos de la sustancia isomorfa disuelta. En este fenómeno se ve claramente la afinidad en la conducta de los átomos de distintos elementos (11).

En 1855, Mendeleiev terminó brillantemente sus estudios en la Escuela Superior del Magisterio y fue premiado con la medalla de oro. Su trabajo sobre el isomorfismo fue publicado por primera vez en una revista científica rusa (*Gornyi Zhurnal*, 1855) y más tarde como un volumen separado (3,11).

Cuando Mendeleiev terminó la carrera, continuó en la Escuela Central del Magisterio; quería prepararse para el grado de maestro; pero por motivos de salud no podía quedarse en San Petersburgo, necesitaba cambiar de ambiente. En agosto de 1885 salió a Simferopol donde obtuvo un puesto de profesor, en lugar de salir a Odessa como era su deseo.

Debido a la difícil situación en Crimea —que se encontraba en estado de guerra—, no se reanudaban las clases; por lo cual en octubre de ese mismo año Mendeleiev obtuvo permiso para ir a Odessa, lugar donde existían excelentes bibliotecas y las condiciones favorables para hacer estudios superiores; obteniendo pronto una plaza de profesor en un gimnasio anexo al Liceo de Richelieu (2,3,11).

Mendeleiev trabajó intensamente preparando su tesis de Maestro sobre el tema "Acerca de los Volúmenes Específicos" y, el 9 de octubre de 1856, defiende su tesis, sobre la cual la información oficial del Ministerio de Instrucción Pública dice: "Las investigaciones personales del autor y las tesis expuestas al final han merecido la aprobación unánime, pues, ellas permiten diferenciar por los volúmenes en estado sólido, los fenómenos de sustitución de los fenómenos de combinación e indican el camino para la clasificación natural de las combinaciones químicas con base de sus volúmenes específicos".

El claustro de la Universidad otorga por unanimidad a Mendeleiev el grado de Maestro en Ciencias en Física y en Química.



Mendeleiev entre científicos participantes en la reunión de Jubileo de la Academia de Ciencias de Berlín.

En octubre de 1856, Mendeleiev defiende su trabajo "Sobre la estructura de las combinaciones silíceas", con el fin de obtener un cargo docente y el derecho de impartir cursos en la universidad. Es así como en enero de 1857, a la edad de veintitres años, fue confirmado en el cargo docente, en la cátedra de química de la Universidad de San Petersburgo (1,2,11).

Dándose cuenta de que no existían posibilidades para hacer estu-

dios científicos superiores en Rusia, Mendeleiev decide ir al extranjero, dirigiéndose a Francia donde estudió por algún tiempo bajo la dirección de Enrique Regnault (2).

En Abril de 1859 su gobierno lo envió a la Universidad de Heidelberg Alemania, para hacer estudios avanzados.

IV. El trabajo independiente de Mendeleiev

Mendeleiev aprovechó su estancia en Alemania para comprar y encargar los aparatos necesarios para su laboratorio. También hizo que se construyeran en los talleres de Alemania termómetros especiales y picnómetros según sus diseños (11).

En su laboratorio ya equipado, Mendeleiev se dedicó por completo al trabajo científico. Efectuó experimentos para estudiar los fenómenos de capilaridad, viendo acertadamente en ellos una manifestación de la fuerza de cohesión entre las moléculas. Si el líquido humedece las paredes del tubo capilar, las moléculas del líquido que ascienden y se adhieren a las paredes atraen a las moléculas vecinas, debido a las fuerzas de cohesión,

Como resultado de sus investigaciones publica tres artículos en 1860: "La capilaridad de los líquidos", "La dilatación de los líquidos" y "Las temperaturas absolutas de los líquidos". Los trabajos de Mendeleiev llevaron posteriormente a Andrews, en 1871, a enunciar el concepto de temperatura y presión crítica y a estudiar las relaciones entre capilaridad y composición química. Por esta razón la producción de gases en estado líquido, su separación y desarrollo van indisolublemente ligados al nombre de Mendeleiev (2,4,11).

Quando Mendeleiev estuvo en Alemania, conoció en Heidelberg a Robert Busen y Gustav Kirchhoff, eminentes científicos ocupados entonces con estudios espectrales. Mendeleiev tenía la intención de trabajar con Bunsen, pero esto hubiera significado renunciar a sus planes científicos, por lo que decidió trabajar independientemente, aprendiendo de ellos a manejar el análisis espectral (1,11).

Para 1863, en sus observaciones espectrales, interesó especialmente la comparación de espec-

Ueber die Beziehungen der Eigenschaften zu den Atomgewichten der Elemente. Von D. Mendelejeff — Ordnet man Elemente nach zunehmendem Atomgewichte in verticale Reihen so, dass die Horizontalreihen analoge Elemente enthalten, wieder nach zunehmendem Atomgewicht geordnet, so erhält man folgende Zusammenstellung, aus der sich einige allgemeiner Folgerungen ableiten lassen.

			Ti — 50	Zr — 90	? = 180
			V — 51	Nb — 94	Ta = 182
			Cr — 52	Mo — 96	W = 186
			Mn — 55	Rh — 104.4	Pt = 197.4
			Fe — 56	Ru — 104.4	Ir = 198
		Ni — Co — 59	Pd — 106.6	Os = 199	
		* Cu — 63.4	Ag — 108	Hg = 200	
H = 1					
	B — 9.4	Mg — 24	Zn — 65.2	Cd — 112	
	B — 11	Al — 27.4	? = 85	Ur = 116	Au = 197?
	C — 12	Si — 28	? = 70	Su = 118	
	N — 14	P — 31	Au — 75	Sb — 122	Bi = 210?
	O — 16	S — 32	Se — 79.4	Te = 128?	
	F — 19	Cl — 35.5	Br — 80	J — 127	
Li — 7 Na — 23		K — 39	Rb — 85.4	Cs — 133	Th = 204
		Ca — 40	Sr — 87.6	Ba — 137	Pb = 207
		? = 45	Ce — 92		
		? Er — 58	La — 94		
		? Yt — 60	Di — 96		
		Th — 73.8	Th — 115?		

elementos 51

tiembre del mismo año, en la reunión de la Asociación de Física de la Universidad de Petersburgo, Mendeleiev informó de la nueva ecuación de estado de los gases perfectos que había obtenido. En su trabajo, "Sobre la elasticidad de los gases", escribió la deducción de dicha ecuación, siendo publicado en 1875 (11).

VI. Mendeleiev el pedagogo

Mendeleiev inicia su labor docente en 1857 en la cátedra de química en la Universidad de San Petersburgo. Después de su estancia en Alemania, en febrero de 1861 Mendeleiev regresó a Rusia a reanudar su labor docente. Al impartir el curso de química orgánica vio la necesidad de escribir un manual que expusiera de modo claro y sistemático los conocimientos de esta materia, basados en las nuevas concepciones químicas. En su tratado de *Química Orgánica*, pone primordial atención en las leyes generales que rigen las interacciones de los átomos y además se propuso no sólo describir las combinaciones orgánicas conocidas, sino mostrar cómo las complejas eran resultado de la unión de otras más simples y cómo reaccionaban entre sí. De esta manera, trató de emplear la propiedad de los átomos de enlazarse químicamente para formar construcciones más o menos complejas (llamadas moléculas) en la comparación, descripción sistemática y en el estudio de las reacciones de los cuerpos (1,2,3,11).

Algo de gran importancia en este curso de *Química Orgánica* es que Mendeleiev rebatía, con su posición de materialista dialéctico, a los vitalistas buscadores de una "fuerza vital" a la que, según ellos, debían su origen las sustancias orgánicas. Mendeleiev enseñaba en su curso que todo fenómeno vital transcurría conforme a las leyes generales de la naturaleza y que ni un solo proceso vital era consecuencia de fuerzas especiales.

Abordando las diversas formas de combinación de los átomos para crear moléculas, Mendeleiev planteó en su libro, un nuevo problema: el de un gran número de sustancias que teniendo la misma composición química tienen propiedades diferentes.

Este fenómeno fue explicado más tarde al ser creada la teoría de la estructura química de las sustancias orgánicas por Butlerov. A propuesta de N.N. Zinin le fue otorgado a Mendeleiev —por este trabajo— el Premio Demidov de la Academia de Ciencias de Rusia.

En 1867 Mendeleiev fue electo, para suceder a A.A. Voskresenski, como maestro en la cátedra de química inorgánica en la Univer-

sidad de San Petersburgo, donde se distinguió por ser, además de un gran hombre de ciencia, un magnífico pedagogo, un excelente conferenciante y un educador solícito de la juventud estudiantil (1,3,11).

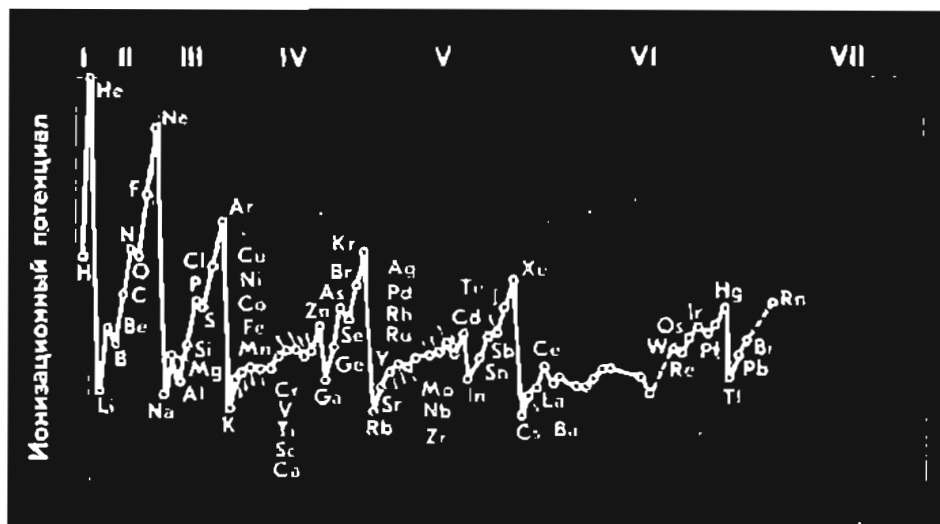
En ese mismo año D.I. Mendeleiev fue nombrado jefe del Departamento de Química, acontecimiento que dio un giro importante a su vida, a su vez inició su curso de química general.

La primera edición de su libro *Principios de Química* vio la luz en los años 1869-1871, ya para 1947 contaba con trece ediciones en la URSS y ha sido traducido a varios idiomas y en diversas ocasiones (11) (ver Tabla 1).

Tabla 1
Algunos trabajos publicados
por D.I. Mendeleiev*

1854	Acerca del análisis de la ortita y el piroxeno de Finlandia.
1855	Sobre el isomorfismo en relación con otras proporciones de la forma cristalina y la composición.
1856	Acerca de los volúmenes específicos.
1860	La capilaridad de los líquidos.
1860	La dilatación de los líquidos.
1860	Las temperaturas absolutas de los líquidos.
1861	Libro de Química Orgánica.
1862	Libro de Tecnología.
1865	En cuanto a las combinaciones del alcohol con el agua.
1867	Libro: <i>El desarrollo moderno de algunos tipos de producción química aplicado a Rusia y la Exposición Mundial de 1867.</i>
1870	Libro: <i>Principios de Química.</i>
1874	Sobre la elasticidad de los gases.
1876	Libro: <i>La industria petrolera en el estado norteamericano de Pensilvania y en el Cáucaso.</i>
1876	En cuanto a la nivelación barométrica y el empleo para ella del altímetro.
1887	Estudio de las soluciones acuosas por su peso específico.
1887	Ascensión en globo aerostático sobre Klin.
1888	La potencia que encierran las márgenes del Donetz.
1899	Libro: <i>Hacia el conocimiento de Rusia.</i>
1899	Libro: <i>La industria siderúrgica de los Urales en 1899.</i>

* Cabe aclarar que Mendeleiev se distinguió siempre por hacer informes detallados de cuanta empresa llevaba a cabo, utilizando un lenguaje claro y preciso. Las publicaciones antes mencionadas sólo son una parte de la gran producción de Mendeleiev.



Gráfica del potencial de ionización de los elementos indicando su periodicidad.

VII. La Ley Periódica, su mérito más conocido

Al iniciar su curso de química inorgánica, pensando en su plan de trabajo, empezó a preparar el manual de química para sus estudiantes, al cual dio el título de *Principios de Química*. A Mendeleiev le llamó la atención la falta de sistematización de los hechos de la química inorgánica y la falta de una base teórica firme en la química. La química era en sí, una descripción de multitud de hechos aislados.

Mendeleiev reunió todos los datos disponibles sobre los elementos cuya existencia se conocía en esa época. Cuando dió a conocer sus sorprendentes resultados, hubo gran excepticismo debido a que existían muchos espacios en su tabla, pero él que afirmó que éstos serían ocupados algún día por elementos y predijo cuáles serían sus propiedades y los pesos atómicos de esos elementos. Algunos se mofaron de su teoría; pero incitó a otros a buscar los elementos faltantes (1).

La predicción se cumplió, primero, con el descubrimiento del Galio en 1875; cuyas propiedades correspondían casi exactamente con las del "eka-aluminio. Su "eka-boro", elemento que faltaba entre el calcio y el titanio, fue descu-

bierto en 1879 en Suecia y denominado Escandio; su "eka-silicio" fue descubierto en Alemania en 1886 y llamado Germanio, y aunque Mendeleiev no predijo los gases inertes o "nobles", que aparecieron en los últimos años de su vida, entraron en su tabla con la creación de otra columna vertical (6).



Периодический закон открыт
Д.И.МЕНДЕЛЕЕВЫМ в 1869 году
"Ley Periódica descubierta por Mendeleiev en 1869".

VIII. Problemas fisicoquímicos

En 1865 Mendeleiev defendió la tesis para obtener el grado de doc-

tor en química, con el trabajo "En cuanto a la combinación de alcohol con el agua". En su trabajo, el joven científico trataba de desenmarañar el proceso de la disolución. En esa época se discutía seriamente si la disolución era una combinación química, o una simple mezcla de átomos de la sustancia y el disolvente, de manera similar a las mezclas de los gases. Mendeleiev formuló y sostuvo siempre la teoría química, a la cual llamó teoría de la "hidratación" de las disoluciones. Midiendo los volúmenes de alcohol y de agua antes de la disolución y los volúmenes obtenidos de las soluciones acuosas del alcohol, observó la contracción de los líquidos al disolverse. De aquí dedujo que la contracción se produce a consecuencia de la cooperación química del alcohol con el agua y demostró que la contracción máxima de la solución alcohol-agua se produce en el caso de proporción normal, equivalente, entre las cantidades de alcohol y de agua en la solución (11).

Estos trabajos de Mendeleiev lo llevaron posteriormente (1887) a publicar el "Estudio de las soluciones acuosas por su peso específico"; en donde resumía toda su investigación respecto a las soluciones y expresaba que "las disoluciones se rigen por las leyes habituales de la acción química". Este estudio lo llevó a una conclusión muy importante: las propiedades de las soluciones (densidad, conductividad eléctrica, etc.) experimentan cambios a saltos con un cambio paulatino general de las relaciones entre los componentes de las mismas: esto es, como resultado de las modificaciones en la concentración de la solución se operaba un brusco cambio en sus propiedades. Estableció también la ecuación que relaciona a la densidad y a la tensión superficial con la temperatura.

Las concepciones de Mendeleiev adquirieron gran importancia en la fisicoquímica de las soluciones y contribuyeron en gran parte a la

creación de la teoría moderna de las soluciones.

No obstante Mendeleiev incurrió en un error al negar la posibilidad de interpretar las transformaciones que en ella se operaban partiendo de las concepciones basadas en la naturaleza eléctrica de la interacción de los átomos, concepciones nuevas en aquella época.

En 1868, fue creada la Sociedad Físicoquímica Rusa, a iniciativa de Mendeleiev. La primera sesión se celebró en el mes de noviembre en el domicilio de Mendeleiev y bajo su presidencia.

No es sorprendente que a Mendeleiev le interesaran especialmente las soluciones; ya que durante su estudio puede observarse, dinámicamente, a un compuesto químico. Sobre la formación de soluciones y aleaciones Mendeleiev mantuvo dos tesis: 1) la formación de compuestos determinados va a través de cambios continuos y 2) la individualidad de compuestos debe ser reconocida a través de leyes generales. En relación con esto es muy interesante el análisis que realizó Mendeleiev a las ecuaciones diferenciales mediante las cuales se establecen algunas regularidades del cambio de propiedades en función de la composición. De esta manera, Mendeleiev al reconocer la indeterminación de la composición de las soluciones y las aleaciones, manifiesta su enfoque físicoquímico al problema del concepto de compuesto químico. En sus cursos sobre soluciones, enérgicamente diferenció de la tesis que solía dividir a los procesos químicos y físicos (entonces se consideraba que los procesos físicos influían sobre las partículas moleculares y que los químicos no). El consideró que el movimiento de los átomos existía aun en el equilibrio químico y que era la causa de los fenómenos químicos; que el calentamiento y la acción de un campo eléctrico, por ejemplo, aceleraban el movimiento de los átomos y conducían a una acción química (disolución de partículas).

Así el desarrollo de la teoría de soluciones, donde figura la obra de Mendeleiev puede dividirse en las siguientes etapas:

1. Años sesentas. Soluciones desde una posición atómico-molecular: no hay clara división entre compuestos determinados y no determinados y los primeros son casos particulares de los segundos, la sustancia disuelta se encuentra formando un compuesto químico con el solvente, la solución puede considerarse un compuesto químico más complejo por la simultánea formación de multitud de compuestos químicos, no actúa la ley de los equivalentes.

2. Años setentas. Punto de vista "dinámico" de las soluciones, con una posición del estudio del equilibrio químico: "Las soluciones son sistemas líquidos disociados formados por partículas de solvente, del cuerpo disuelto y de determinados compuestos inestables pero exotérmicos", según Mendeleiev.

3. Años ochentas. Aproximación a la creación de una teoría general de soluciones con base en la relación entre propiedades físicas y químicas de las soluciones, la dependencia entre composición y propiedades y el hecho de que los aspectos físico y químico de las soluciones, están íntimamente ligados. Mendeleiev apunta la analogía entre soluciones diluidas y los gases y simultáneamente se desarrolla la teoría física de las soluciones y de la de disolución electrolítica de Arrhenius. Al respecto, Mendeleiev escribió: "el regreso al electroquímico es apenas claro para los seguidores de la hipótesis de la "disociación electrolítica" y la aceptación de la descomposición de los átomos en electrones, para mí sólo complican el asunto y en nada lo aclaran". Aun así Mendeleiev dio a la teoría de la disociación electrolítica el calificativo de "hipótesis de trabajo". ¿Que parte en su crítica fue justa y qué parte estaba relacionada con su concepción subjetiva? Cabe destacar que la nueva teoría contradecía su concepción acerca de las diso-

luciones y en general de las interacciones químicas. Según Mendeleiev, los seguidores de Arrhenius cometían por lo menos dos errores: en primer lugar, describían la interacción de algunas clases de compuestos como interacciones de iones (lo cual no corresponde a la interacción en soluciones concentradas y de los mismos compuestos en soluciones de no electrolitos) y, en segundo lugar, trasladaban la concepción del proceso de disociación, hasta el estudio de la estructura de la materia. Finalmente Mendeleiev concluyó: "considerando que será necesario reconocer la existencia de la disociación y la asociación para el entendimiento de las soluciones, pienso que la concepción moderna de la disociación electrolítica frena por un lado la teoría de la disolución aunque por otro lado es útil porque genera la acumulación del material experimental que debiera incluir la futura teoría de las soluciones".

Preponderante en la trayectoria de Mendeleiev es su interés por la materia en sus tres estados de agregación. Ya en sus primeros años de actividad científica, en sus trabajos "Isomorfismo" y "Pesos específicos", remarcaba las peculiaridades de las interacciones en cada estado de agregación y se manifestaba enemigo de la extrapolación mecánica de las leyes válidas para gases, hacia los otros estados. En la química del estado sólido, Mendeleiev no realizó un trabajo abundante, pero lo atendió prácticamente de una manera constante en sus investigaciones de la química de los metales. Inmediatamente después del descubrimiento de la ley periódica, publicó artículos sobre la polimerización de partículas de carbón y la capacidad calorífica.

Al trabajo de Mendeleiev sobre soluciones está ligado también su interés sobre las aleaciones. La atención que dio a las gráficas de la dependencia de las propiedades con la composición dejó evidencia de su concepción acerca de la existencia de determinados compues-

tos en los puntos eutécticos (20). Asimismo indujo a algunos de sus discípulos a trabajar en ese campo, siguiendo muy de cerca sus trabajos.

Una evidencia más de la atracción de Mendeleiev hacia la fisicoquímica es su relación con la regla de las fases de J.W. Gibbs y los trabajos de G. Rozenboom y E. Meyerhoffer: "La regla de las fases que traduce complejos casos de la interacción química a sencillos esquemas y gráficas físicas merece completa atención, ya que facilita su estudio más completo y permite encontrar las relaciones químicas que tienen que ver con las soluciones, la disociación, las descomposiciones dobles y casos semejantes" (20).

IX. Relación de Mendeleiev con los primeros trabajos sobre radioactividad

Mendeleiev mostró gran interés por los trabajos de Henri Becquerel y los esposos Curie. En su actividad sobre la periodicidad, las peculiaridades de los últimos elementos de la tabla periódica habían despertado en él gran preocupación. En el descubrimiento de la radioactividad, remarcó la importante contribución al esclarecimiento de dos cuestiones íntimamente relacionadas entre sí: la naturaleza de un nuevo fenómeno y de nuevos elementos. En 1906 escribió: "estoy convencido de que la investigación del uranio a partir de sus fuentes naturales conducirá a nuevos descubrimientos y me atrevo a recomendar a aquellos que buscan nuevos temas de investigación, ocuparse de los compuestos uránicos".

Su primer encuentro con la radioactividad fue en 1902, en Francia, según testimonio de su libro de notas: "16/29 de Abril. Martes. A las 15:00 hrs. con Becquerel, Mr. y Mme. Curie en (Jardin de Plantes). Vi todo lo radioactivo que se pueda ver Radium-223. Muy característico, importante, pero no claro.

¿De qué proviene la descarga? ZnS brilla a partir de la solución. Transcurre la descarga." De sus meditaciones seguramente escribe a continuación: "Nosotros diferenciamos claramente 1) la sustancia y sus formas, 2) la fuerza y sus formas, 3) el alma y sus formas. Lo primero no puede ser sin lo segundo y pienso que lo tercero sin lo primero y los segundo; pero hay que conocer si hay alma en la materia y en las fuerzas?".

Así Mendeleiev inicialmente creyó: "mientras no aparezca algo más convincente", que la radioactividad (como el magnetismo) era una variedad de los fenómenos químico-mecánicos ya conocidos y se mantuvo muy cuidadoso, poniendo mayor atención al hecho de la transformación de los elementos, de la cual según Mendeleiev no existía aún (1902) suficiente confirmación experimental. Expresó Mendeleiev otra dificultad en la explicación del mecanismo de la desintegración radioactiva. Considerando a los átomos como unidades invisibles, Mendeleiev no pudo aceptar la emisión de partícula alguna a partir de ellos. Según su opinión eso era imposible y no tenía claro de dónde podía provenir la energía para arrancar partículas cargadas a átomos neutros.

Personalmente, Mendeleiev nunca experimentó en ese campo. En su laboratorio de pesas y medidas (1903-1904), su laboratorista M.V. Ivanov realizó observaciones de la capacidad de descarga del radio con el fin de establecer la influencia de las condiciones externas al proceso de descomposición radioactiva. De esto, juntos concluyeron que ni la temperatura ni la presión afectan la descomposición radioactiva (19). El cuidado experimental que imprimía Mendeleiev a su trabajo, lo condujo a adquirir para ello un "preparado garantizado" de bromuro de radio con el Profesor F. Giesel, cuando 1 miligramo se contaba en 8 marcos.

Por último, respecto a la radioactividad y también en la Teoría

de la Disociación Electrolítica de Arrhenius, el científico Mendeleiev presentó una contradicción en sus puntos de vista. Por un lado y aún antes del descubrimiento de la radioactividad desde un enfoque metodológico correcto predijo la diferencia cualitativa entre una reacción química y una reacción de transformación de elementos y apuntó en la búsqueda de una causa general que explicara la desintegración radioactiva.

X. Contribución de la obra de Mendeleiev a la tecnología

Es imposible imaginar que algún trabajo hecho por Mendeleiev no tuviera aplicación en la práctica. Mendeleiev era por naturaleza un hombre práctico que pensaba que la ciencia debería estar al servicio del pueblo y que sin el desarrollo de esta ciencia no habría avance en la industria. Desde muy joven a Mendeleiev le atrajo la química; y una de las principales razones para esto, era que estaba convencido de que se podía transformar las sustancias comunes, baratas y abundantes, en beneficio para el hombre.

En 1856, a la edad de 22 años, Mendeleiev realizó el trabajo "En cuanto a las combinaciones silíceas", donde exponía detalladamente la química de la fabricación del vidrio.

En esa época, Mendeleiev dedicó parte de su tiempo a publicar en la revista del Ministerio de Instrucción Pública, artículos en donde detallaba algunas prácticas de la industria, entre los cuales podemos mencionar: "Acerca del vidrio líquido o esmalte y las formas de su uso", "Nuevas sustancias colorantes".

Sus estudios relacionados con los líquidos y los gases, publicados en los artículos: "La dilatación de los líquidos", "La capilaridad de los líquidos", sirvieron de base para poder licuar gases, lo que hasta entonces se creía imposible para algunos gases, y para la separación de mezclas de gases por licuefacción.

En 1862 se publica el libro de *Tecnología* escrito por Mendeleiev, donde detalla las experiencias de la industria rusa. En este libro tiene gran relevancia lo referente a la elaboración de productos agrícolas.

A Mendeleiev se le considera el fundador de la agroquímica rusa. En 1865 cultivó un pequeño estado ruso con el fin de aplicar sus conocimientos científicos sobre agronomía. Consiguió organizar y llevar a cabo en tres años los experimentos para el estudio directo de la profundidad de las faenas de labranza y la acción de los abonos. Uno de los principales resultados de los experimentos de Mendeleiev fue el descubrimiento y fundamentación de la beneficiosa influencia que tiene para la fertilidad del suelo, calcificar las tierras de podzol de reacción ácida.

En 1867, como resultado de sus viajes a fábricas en Francia, Alemania y Bélgica, escribe el libro *El desarrollo moderno de algunos tipos de producción química aplicado a Rusia y la Exposición Mundial de 1867*, en el cual describe diversos tipos de producción química, en particular de la soda, indispensable para el desenvolvimiento de industrias como la textil, la del vidrio y otras; da consejos prácticos para la organización de las fábricas de productos químicos, sin eludir los cálculos que confirman la conveniencia de uno u otro proceso. También en este libro, Mendeleiev propugna la creación de una industria química nacional rusa, y hace notar las inmensas reservas naturales de materias primas que poseía su país.

A partir de su viaje a Bakú (1863), Mendeleiev se había interesado en la industria petrolera y en los problemas relativos al origen del petróleo. El sustentaba que éste se debía a la acción del agua sobre los carburos metálicos; teoría que despertó entonces gran interés. Sobre la industria petrolera, Mendeleiev tenía la idea de la elaboración química del petróleo, del cual decía ya que era una materia prima valiosa. Para la industria del

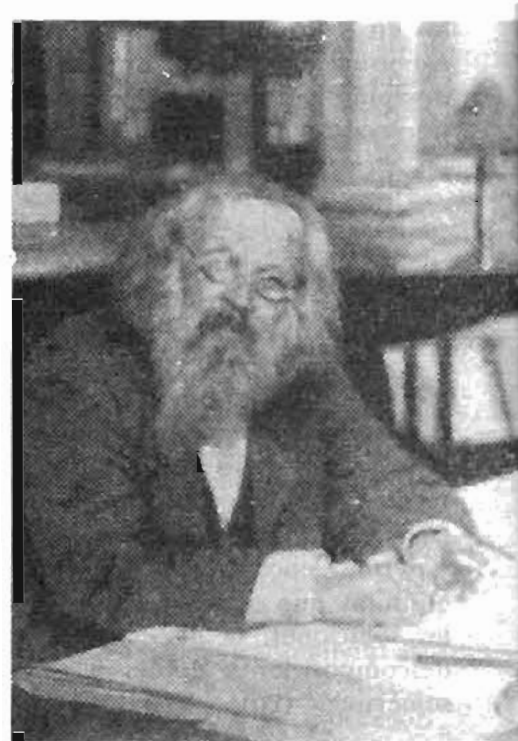
refinado del petróleo, más tarde, Mendeleiev inventó un método de destilación fraccionada, adecuada para la obtención de los vapores del petróleo de Bakú. Probó en las fábricas los nuevos métodos de destilación y los nuevos alambiques perfeccionados por él. Hizo, también, todo un plan de desarrollo de la industria petrolera, donde demostraba que la creación de una industria de refinado ramificada – cuyas empresas estuvieran situadas a lo largo de las vías fluviales y marítimas – sería muy conveniente.

XI. Mendeleiev

Los pensamientos de Mendeleiev no estuvieron limitados a la teoría y a la enseñanza en el salón de clases, él fue, por naturaleza un hombre práctico. Consciente de la necesidad de utilizar la ciencia para resolver los problemas del mundo, investigó los más diversos problemas.

Mendeleiev era una figura notable: robusto, de ojos profundos, espesa barba y largo cabello. A pesar de las condiciones de la época zarista, tuvo el valor de ser liberal y de criticar la opresión del gobierno. Apoyaba la emancipación de las mujeres, se oponía a los abusos de los nobles y defendía a los campesinos. En 1890, incluso renunció a su puesto en la Universidad de San Petersburgo, a causa del rechazo a su petición de mayor libertad para los estudiantes. Mendeleiev no fue molestado por el zar debido a su fama internacional y a su utilidad para el gobierno (11).

A partir de la época de su viaje a Bakú, Mendeleiev no dejó de interesarse en el desarrollo de la industria petrolera. Era adversario del sistema de arriendos de los terrenos petrolíferos y de los altos impuestos que se aplicaban a la industria petrolera y otras; luchaba por que se anularan dichas contribuciones y se esforzaba por demostrar al Ministerio de Finanzas que, una vez abolido el impuesto, la industria daría muchos más ingresos al Tesoro Público; y estos ingresos cu-



Mendeleiev en su cubículo de la Oficina Central de Pesas y Medidas en Rusia.

brirían con creces los que entonces se percibían en calidad de impuesto fiscal. En 1876 fue abolido un impuesto sobre el petróleo (11).

Mendeleiev tuvo numerosas ideas para hacer progresar la industria petrolera, sin embargo sus ideas progresistas no pudieron ser realizadas hasta la implantación de la economía socialista planificada.

En la vida privada de Mendeleiev habían sucedido grandes cambios; en 1862 se había casado con Feozva Nikitichna Lescheva, con la cual Mendeleiev no pudo congeniar. En 1876 conoce a Anna Ivanovna Popova, joven inteligente con grandes dotes artísticas. Cuatro años más tarde obtiene su divorcio y se casa con ella con la cual procrea dos hijos y dos hijas. A su lado Mendeleiev transformó su vida social y se interesa por el arte, mostrando gran interés por la pintura, pero su principal ocupación fue siempre su labor científica, de la cual nunca se apartó (2,11).

A la muerte de N.N. Zinin se le veía como sucesor. Eminentes

científicos propusieron a Mendeleiev para la vacante de académico, pero la fracción reaccionaria de la Academia de Ciencias no aceptó dicha propuesta.

En señal de protesta, la Universidad de Kiev y, tras ella, todas las demás universidades rusas le eligieron doctor *honoris causa*.

En aquella época, las universidades más antiguas del mundo, la de Cambridge, la de Oxford y otras le habían otorgado ya grados científicos. Academias de ciencia tan importantes como las de Londres, Roma, París, Berlín y Boston, y más de cincuenta sociedades científicas diversas de Rusia, de Europa Occidental y de América le habían elegido miembro honorario (11).

Un golpe muy duro para Mendeleiev fue el de 1890 cuando, a los treinta y tres años de trabajo, se vio obligado a abandonar la Universidad de Petersburgo, debido a la reacción de la nobleza ultrarreaccionaria ante la posición de Mendeleiev de defender el desarrollo de la ciencia y la participación de los estudiantes en la vida universitaria (11).

XII. Creación de aparatos de medición

Mendeleiev era un hombre de gran ingenio, por lo que diseñó y construyó gran cantidad de aparatos y modificó algunos ya existentes. Durante su estancia en Heidelberg en 1859 mandó construir aparatos según sus diseños, entre los cuales destacaron termómetros especiales y un picnómetro que en la actualidad lleva el nombre de picnómetro de Mendeleiev.

Los trabajos de Mendeleiev sobre los gases, están ligados a su pasión por la meteorología, área en la que inventó diversos aparatos para el estudio de las altas capas de la atmósfera. En su artículo: "En cuanto a la nivelación barométrica y el empleo para ella del altímetro", publicado en 1876, Mendeleiev describe un altímetro construido por él que consistía en un

barómetro diferencial, de extrema sensibilidad, para determinar rápidamente y con exactitud la altura sobre el nivel del mar. También hizo un proyecto de construcción de un aeróstato con góndola de cierre hermético, en la cual el piloto estaría dotado de aire comprimido y podría dirigir el globo y hacer observaciones sin riesgo.

En 1892 le fue ofrecido el puesto de administrador científico en el Depósito de Patrones de Pesas y Medidas, el cual Mendeleiev aceptó, siendo, en 1893, nombrado superintendente del mismo.

Los estudios de Mendeleiev en esta área adquirieron fama universal y, en unión con los trabajos de sus discípulos, hicieron que la metrología rusa pasara a ocupar el primer puesto en el mundo. Mendeleiev fundó, por primera vez en Rusia, diversos laboratorios especiales, entre ellos los de pesos, termométrico, fotométrico, hidrométrico, eléctrico y gasométrico. La elaboración de los principios teóricos de los métodos exactos de peso le permitieron determinar la masa de la libra con una exactitud sin precedente. En 1899 consigue la implantación, aunque no obligatoria, del sistema métrico en Rusia (11).

XIII. La figura de Mendeleiev en el período de crisis de las bases filosóficas de las ciencias naturales

Los nuevos descubrimientos en la física afectaron las bases de las ciencias naturales. Así, por ejemplo, fueron puestas a prueba la ley periódica y las concepciones de elemento: y se reconsideraron los conceptos de materia y movimiento. Unos científicos trataron de negar los hechos, otros estaban dispuestos a abandonar viejas concepciones y desarrollar nuevas; unos más, como Mendeleiev, quisieron conjugar nuevos hechos con viejas teorías y trataban de asimilar todo de una nueva manera.

Mendeleiev criticó fuertemente el "energetismo" encabezado por Ostwald mantuvo siempre su posición materialista a favor de la teoría atómica. Mendeleiev explicó la negación de la realidad de los átomos y moléculas, por parte de los energéticos, como desencadenada por un falso entendimiento de los descubrimientos en el campo de la radioactividad y la transformación de los elementos.

En la ley periódica de Mendeleiev, se fusionaron los conceptos desarrollados por la teoría atómico-molecular y los nuevos conceptos relacionados con la periodicidad de las propiedades. Su gran mérito, según se observa en sus propias reflexiones en diarios y cuadernos de notas, fue desarrollar al máximo el aparato metodológico con el que contaba la química en aquella época y el manejo de las categorías filosóficas como abstracto-concreto, general-particular, absoluto-relativo, forma-contenido, histórico-lógico, síntesis-análisis, hipótesis-teoría y de la conservación y el cambio.

Es importante hacer notar que Mendeleiev claramente vio las particularidades en el comportamiento de los tres tipos de objetos que estudia la química: el átomo, la molécula y el cristal (macromolécula) y para cada una de estas formas químicas de organización de la materia, consideró necesario observar la especificidad de la dependencia de las propiedades con la composición y la estructura. El buscó incansablemente esas dependencias o comparó las encontradas por otros (21).

XIV. Conclusiones

V. Ostwald solía clasificar a los científicos en clásicos y románticos. A los románticos los caracterizaba por un rápido proceso de actividad intelectual, mientras que a los clásicos por su lentitud. "En los románticos las reacciones son rápidas, el fenómeno de madu-

rez prematura es muy marcado. El romántico necesitaba un auditorio, una cercana comunicación con sus colaboradores, un ambiente que sea receptor de sus impulsos." Los románticos trabajan rápido y pasan de un trabajo a otro. Los clásicos como regla no suelen formar escuelas.

Ostwald consideró románticos a Davy, Liebig, Gerard, y clásicos a Meyer, Berzelius, Faraday, Helmholtz, Gibbs y externó que "mientras más destacado es el científico, más pronunciadas son las características de uno u otro tipo".

¿Puede catalogarse a Mendeleev en alguna de estas categorías? No estrictamente, pero por su intelecto se acercaría más a romántico que a un clásico. Esta respuesta está relacionada con las limitaciones de la clasificación de Ostwald, ya que el tipo de un descubrimiento y la productividad científica como promedio estadístico es un factor no definido y que varía con el desarrollo de la ciencia.

Tomando la clasificación de los científicos de G. Sellier en tres grupos: ejecutores, pensadores y trabajadores científicos, a Mendeleev se le podría colocar en la categoría de pensador del más alto rango: teórico, clasificador, analítico, sintético.

Analizando la ruta científica y la lista de sus publicaciones, se observan dos periodos de crisis en la obra de Mendeleev (Tabla 1). El primero está relacionado con los fracasos a fines de los años setentas en los trabajos de descubrimiento de elementos desconocidos y en el uso de los pesos atómicos como argumento en la búsqueda de diferentes funciones periódicas. En ese entonces Mendeleev reflexionó acerca de las cuestiones filosóficas de las ciencias naturales y de los sucesos de la vida y de la sociedad. De ese tiempo es su lucha contra el espiritismo, sus dificultades en el círculo gubernamental, en la academia de ciencias y en el VI Congreso de Científicos rusos.

A fines de los años ochentas comenzó un nuevo conflicto entre Mendeleev y el gobierno debido a sus proposiciones acerca del más racional empleo del petróleo, el carbón y de la instalación más adecuada de la industria en el territorio de Rusia.

El último periodo en la vida de Mendeleev está relacionado con el depósito de pesos y medidas. En sus últimos trece años de vida tuvo una activa participación en la vida social del país, la propaganda de logros científicos en la tecnología y en la industria, llegando a la economía y a la reforma del calendario.

Una dirección importantísima en el trabajo experimental de Mendeleev es su actividad en el campo de la metrología. Mendeleev tuvo la intención no solo de resolver problemas prácticos de la técnica de la industria rusa, sino problemas propiamente científicos. En este ámbito vivamente se plasman los talentos de Mendeleev como teórico, metodólogo, experimentador y economista.

Como experimentador tuvo logros en el desarrollo de las bases teóricas de las mediciones físicas y en el uso de instrumentos para la experimentación química y fisicoquímica. Así, por ejemplo, desarrolló dispositivos de mezclado, picnómetros y el catetómetro; y sus experimentos correspondieron al campo de la química orgánica e inorgánica y de la tecnología química.

¿En qué categoría de científico puede colocarse a D.I. Mendeleev? Por lo visto anteriormente, él fue uno de los pocos científicos enciclopedistas que ha tenido la humanidad, para los cuales las clasificaciones existentes no se ajustan. Si se considera además que Mendeleev trabajó en una época cuando, en Rusia, la ciencia comenzaba a ocupar un lugar para el estado y se preparaba una nueva revolución industrial, a nivel global, la vida científica de Mendeleev adquiere el carácter de personaje histórico para la humanidad.

Bibliografía

- 1) *Recopilación de 100 Grandes científicos*. Greene, J.F. Editorial Diana, México, 1981, 278-282 pp.
- 2) *La nueva Enciclopedia Británica*. 1985, 42, 889-900 pp.
- 3) The Mendeleev Archives and Museum of the Leningrad University, Krotkov, V.A. *Journal of Chemical Education*, 1960, 37, (12), 625-28 pp.
- 4) *Enciclopedia Ciencia Ilustrada*. Editorial Abril, 1974, 2, 329, 332 pp.
- 5) *Enciclopedia Ciencia Ilustrada*. Editorial Abril, 1974, 6, 873-74 pp.
- 6) *Materia*, Colección Científica de Time-Life, Lapp, R.F. y redactores de los libros de Time-Life, 1981, 2a. Edición, México, 35-38 pp.
- 7) *Cómo fueron descubiertos los elementos químicos*, Trifonov, D.N., Trifonov, V.D., 1984, Editorial Moscú.
- 8) "Mendeleev as a Speculator", Van Spronsen, J.W. *Journal of Chemical Education*, 1981, 58, (10), 790-91 pp.
- 9) "Mendeleev's visit to America", Leicester, H.M., *Journal of Chemical Education*, 1957, 34, (7), 331-33 pp.
- 10) *Curso de Química Física*, Guerasimov, V.A. Tomo I, Editorial Mir, Moscú, 1971.
- 11) *Vida y Obra de Dmitri Ivanovich Mendeleev*, serie Grandes Figuras de la Ciencia, Rusia, Pisarzhevski, O.N., Ediciones en Lenguas Extranjeras, Moscú, 1955.
- 12) "Mendeleev's Chemical Ether, Electrons, and the Atomic Theory", Solov'ev, R., *Journal of Chemical Education*, 1965 42, (7), 388-89 pp.
- 13) "D.I. Mendeleev's Conceptions Concerning the Structure of Complex Compounds", Solov'ev, Y.I., *Journal of Chemical Education*, 1978, 55, (8), 491-96 pp.
- 14) "D.I. Mendeleev and the English Chemists", Solov'ev, Y.I., *Journal of Chemical Education*, 1984, 61, (12), 1069-71 pp.
- 15) "Mendeleev's Other Prediction", Goldwhite, H., *Journal of Chemical Education*, 1979, 56 (1), p. 36.
- 16) "Mendeleev's Discovery of the Periodic Law", Trimble, R.F., *Journal of Chemical Education*, 1981, 58, (1), p. 28.
- 17) "The Priority Conflict between Mendeleev and Meyer", Van Spronsen, J.W., *Journal of Chemical Education*, 1969, 46, (3), 136-39 pp.
- 18) *Dmitri Ivanovich Mendeleev. Sobre la radioactividad y la complejidad de los elementos*, Makarenko, A.A., Moscú Atomizdat, 1975 (en ruso.)
- 19) *Dmitri Ivanovich Mendeleev y las ciencias fisicoquímicas*, Makarenko, A.A., Moscú, Energoizdat, 1982, p. 256.
- 20) *Dmitri Ivanovich Mendeleev y las ciencias fisicoquímicas*, Makarenko, A.A., Moscú, Energoizdat, 1982, p. 111.
- 21) *Breve historia de la química*, Asimov, I., 1989, Editorial Alianza.