

## **ALEXANDER BORODIN: MÚSICO Y CIENTÍFICO**

### **(HOMENAJE a LOS 130 AÑOS DE SU FALLECIMIENTO)**

*Enrique J. Baran*

Académico Titular de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

En un interesante artículo publicado hace poco más de diez años, y titulado “Talentos Dobles en las Ciencias y las Artes”, el profesor Wolfgang Frühwald, que fuera durante varios años (1992-1997) Presidente de la Sociedad Alemana de Investigaciones (*Deutsche Forschungsgemeinschaft*) y entre 1999 y 2007 Presidente de la Fundación “Alexander von Humboldt”, dice que los talentos están divididos de manera muy variada en la Humanidad. Y que, aparentemente, ningún individuo tiene talento para una única actividad y especialmente las mentes más creativas, como las de los artistas y científicos muchas veces se encuentran indecisos acerca de que camino seguir y, frecuentemente, tratan de explotar todos sus talentos [1].

Así, podemos mencionar el caso de Elías Canetti (1905-1994), que fuera Premio Nobel de Literatura en 1981, pero que en 1929 había recibido su Doctorado en Química en la Universidad de Viena. De igual manera, Primo Levi (1919-1987), graduado en Química en la Universidad de Turín, y que sobrevivió al Holocausto en los campos de concentración de Auschwitz, durante la II. Guerra Mundial, se transformó en uno de los más trascendentes relatores de ese Holocausto a través de una impresionante y valiosa serie de obras literarias [1]. También Wilhelm Ostwald (1853-1932), Premio Nóbel de Química en 1909 por sus trabajos sobre cinética, equilibrio químico y velocidades de reacción, poseía un gran talento artístico que iba desde la música (tenía una excelente formación musical y era un buen ejecutante de piano y violoncelo) a la pintura. Su producción artística, que fue realmente monumental, quedó plasmada en más de 4000 pinturas que todavía pueden ser admiradas en la que fue casa de la familia, en Grossbothen, cerca de Leipzig, transformada en museo a partir de 1978. Para Ostwald había una íntima relación entre la Ciencia y el Arte y decía que toda ciencia tiene su origen en algún arte y finalmente todas las artes se transforman en ciencia [2].

Por su parte, tres médicos, Arthur Schnitzler (1862-1931), Alfred Döblin (1878-1957) y Gottfried Benn (1786-1956) se hicieron famosos como dramaturgos, ensayistas, novelistas y poetas líricos y de alguna manera fueron los iniciadores del modernismo literario alemán. También hay que mencionar los conocidos casos de dos farmacéuticos, famosos por su labor literaria, como lo son los casos de Theodor Fontane (1819-1898), cuya obra novelística ha sido muchas veces comparada a la de Flaubert y Dickens y del notable poeta lírico Georg Trakl (1887-1914) [1].

También es un hecho bien conocido que Werner Heisenberg (1901-1976), premio Nobel de Física en 1932, era muy apasionado por la música y llegó a ser un muy buen pianista, y un excelente músico de cámara, capaz de ejecutar obras de gran complejidad.

Y a todos estos nombres, se agrega el de Alexander Borodin (1833-1887) quien fuera médico y químico, pero también un notable compositor, a quien homenajearemos en este artículo, al cumplirse 130 años de su desaparición.

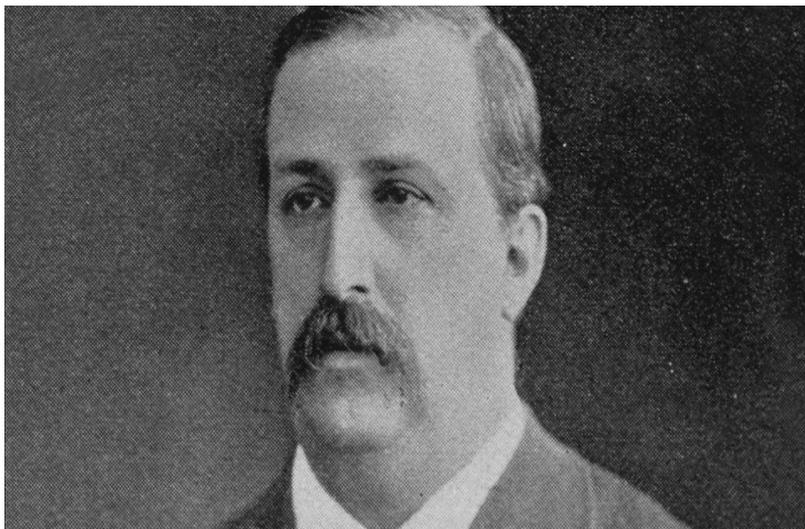
### **Alexander P. Borodin: Bosquejo biográfico**

Alexander Porfirievitch Borodin nació el 12 de noviembre de 1833 en San Petersburgo. Fue un hijo ilegítimo del príncipe georgiano Luka Gedianov y su concubina Avdodtya Konstatinova Antonova. Y, como no era nada inusual en esa época, el príncipe lo anotó como hijo de uno de sus sirvientes, Porfiry Borodin [3,4].

Aunque formalmente creció como un sirviente, fue tratado muy generosamente por su padre y tuvo una excelente educación a cargo de varios tutores en su hogar, llegando a hablar bastante fluidamente inglés, francés y alemán. Y, en 1843, poco antes de su muerte Gedianov dio la libertad a su hijo, proveyéndole a él y a su madre de suficientes recursos como para asegurar su futuro.

El joven Alexander mostró desde muy chico un fuerte interés por la ciencia y la música y a los 13 años había armado un gran laboratorio en su casa, donde realizaba toda clase de experiencias, con gran temor y espanto por parte de su madre [3].

A pesar de su origen social, fue admitido en la Facultad de Medicina de la Academia Médico-Militar de San Petersburgo en 1850, transformándose rápidamente en el mejor alumno de su clase. Se graduó *cum eximia laude*, en 1856 [3,4]. Ya desde los inicios de su carrera Borodin comenzó a interesarse fuertemente por la Química. Esto se debió fundamentalmente a que las clases de esta asignatura eran dictadas en la Academia por Nikolay Zinin (1812-1880), considerado como uno de los iniciadores de la química rusa [3,4].



Y mientras continuaba con sus estudios, comenzó a trabajar en el grupo de Zinin quien rápidamente se dio cuenta de que Borodín tenía todas las condiciones para transformarse en un químico brillante. Finalizada su carrera, fue designado en un cargo en el Hospital Militar de San Petersburgo y empezó a trabajar en su tesis de Doctorado. La misma que llevó por título “Sobre la Similitud de Acción de los Ácidos Arsénico y Fosfórico sobre el Organismo Humano”, en la que se comparaban las características químicas y toxicológicas de ambos ácidos, fue defendida exitosamente en mayo de 1858 [3,5].

Aún durante este período, el joven nunca dejó de lado la música y solía componer pequeñas piezas, melodías y canciones, cosa que en algún momento parece haberle costado reprimendas por parte de su maestro [3].

Durante su actividad hospitalaria se dio cuenta rápidamente que la práctica médica no resultaba ser una actividad satisfactoria para él, ya que debido a su muy sensible naturaleza, lo afectaba demasiado, y resolvió dedicarse enteramente a la Química.

Su maestro Zinin, que lo había transformado en su alumno predilecto, y ya veía en él a su potencial sucesor, le recomendó iniciar un viaje de estudios por algunos centros químicos importantes de Europa, para mejorar su formación y ganar la experiencia necesaria que lo habilitara a ocupar un cargo docente cuando retornara a Rusia [3-5].

Así, durante el invierno de 1859 partió hacia Alemania con la idea inicial de trabajar con Robert Bunsen (1811-1899), en la Universidad de Heidelberg. Parece ser que esa Universidad tenía en esa época un fuerte atractivo para estudiantes y post-doctorandos/rusos ya que había en Heidelberg una importante comunidad de ese origen. Entre ellos, estaba también Dimitri

Mendelejeff (1834-1907), el futuro creador de la Tabla Periódica de los Elementos, con quien Borodin trabó rápida amistad [6].

Pero al llegar a esa ciudad, finalmente decidió iniciar trabajos en el laboratorio de Emil Erlenmeyer (1825-1909), con quien también trabó casi de inmediato una fuerte amistad, que perduró luego en el tiempo. Asimismo, tuvo también la oportunidad de asistir a las clases de Bunsen, Helmholtz y Kirchhoff [3].

Siguiendo una idea de Kekule, entre el 3 y el 5 de setiembre de 1860 se realizó un Congreso Internacional de Química en Karlsruhe, el primero de su tipo en la historia de las Ciencias Químicas y que fijó las bases de todos los congresos y reuniones posteriores de este tipo [7]. A este Congreso, del que participaron más de 140 científicos, asistieron todas las grandes personalidades de la química europea y, a pesar de su juventud, Borodin fue uno de los invitados, integrando inclusive el Comité del Congreso [3,6], y asistió al mismo conjuntamente con Mendelejeff y con su maestro Zinin.

Durante la primavera de 1861 llegó a Heidelberg, una joven pianista rusa, Ekaterina Sergeevna Protopopova, que padecía de tuberculosis y que venía a Alemania a realizar un tratamiento para esa enfermedad [6]. La joven se integró rápidamente al grupo de los artistas y científicos rusos residentes en Heidelberg y participó activamente de las tertulias musicales que los mismos solían organizar. Ya al poco tiempo trabó una profunda amistad con Borodin, amistad que terminó rápidamente en su compromiso. La pareja disfrutaba conjuntamente de todas las actividades musicales de la ciudad y de sus cercanías y visitaba frecuentemente salas de concierto y ópera en Baden-Baden y Mannheim. Ese mismo año, la Academia de San Petersburgo extendió la licencia de Borodin hasta agosto de 1862.

No solo para ayudar a Ekaterina, llevándola a climas más cálidos y suaves, sino también para conocer otros centros científicos importantes, Borodin empezó de inmediato un extendido viaje que los llevaría a Francia (donde pudo visitar los laboratorios de Wurtz y Pasteur, en Paris), Bélgica, Holanda, Suiza y, finalmente, a Italia. Una vez allí, decidió quedarse un tiempo en Pisa, trabajando en los laboratorios de Sebastiano de Luca y Paolo Tassinari, donde incluso, logró terminar y publicar durante 1862 tres trabajos en *Il Nuovo Cimento* [3,6].

Terminada la licencia, Borodin y Ekaterina retornaron a San Petersburgo, donde al año siguiente se casaron y más adelante adoptaron dos hijas [3]. De inmediato retomó también su actividad docente y de investigación en la Academia de Medicina, siendo designado Profesor Asociado de Química Orgánica, hasta que en 1864 al retirarse Zinin, lo reemplazó en su cargo de Profesor Titular, logrando así la posición más elevada en su *Alma Mater* con solo 30 años de edad [3,4].

El regreso a San Petersburgo implicó también el definitivo afianzamiento de su carrera musical, a partir de sus primeros contactos con Mili Balakirev (1837-1910) quien era un artista con sólida formación musical y que inspirado por las ideas de Michael Glinka (1804-1857), considerado como el padre de la música rusa, estaba tratando de generar una nueva escuela musical rusa. A través de Balakirev, Borodin conoció a Nicolai Rimsky-Korsakov (1844-1908), César Cui (1835-1918) y Modesto Mussorgsky (1839-1881) [4,8]. En realidad todos ellos eran compositores aficionados, Rimsky-Korsakov era oficial naval, Cui Ingeniero Militar, experto en fortificaciones y Mussorgsky también era militar. Todos ellos empezaron a interactuar, se ayudaban mutuamente, empezaron a tener una formación musical básica en técnicas compositivas, armonía y orquestación. Asimismo, estudiaban y analizaban las obras de los compositores contemporáneos, utilizando las partituras pianísticas que llegaban a San Petersburgo. Empezaron a ser conocidos como el “círculo de Balakirev” y finalmente pasaron a la Historia de la Música simplemente con el nombre de “Los cinco” [4, 9].

En este nuevo círculo, Borodin bajo la continuada supervisión de Balakirev, logró finalizar una primera sinfonía (en mi bemol mayor), la que fue estrenada exitosamente bajo la dirección de Balakirev en 1869. Ante este éxito, Borodin comenzó de inmediato la composición de una segunda sinfonía, esta vez en si menor. Pero, por diversas razones, en gran medida por las actividades docentes y de investigación que Borodin debía realizar, este trabajo se fue demorando y recién quedó finalizado en 1876 y la sinfonía fue estrenada al año siguiente con moderado suceso [8].

Durante 1878 Borodin viajó nuevamente a Alemania junto a dos de sus discípulos, a los que logró incorporar a la Universidad de Jena. En esa oportunidad viajó hasta Weimar para conocer a Franz Liszt, quien ya conocía y había quedado muy impresionado con su primera sinfonía y asimismo elogió la versión pianística de la segunda, que Borodin le mostró. Más adelante, Liszt se ocupó de hacer ejecutar estas sinfonías en Alemania, transformándolas así en las primeras obras sinfónicas rusas escuchadas fuera de su país de origen [4].

Poco antes de su muerte, había comenzado a escribir una tercera sinfonía (en la menor), de la cual solo logró completar los dos primeros movimientos. La obra fue luego completada por Alexander Glazunov (1865-1936) probablemente el más brillante de los discípulos de Rimsky-Korsakov.

Entre sus obras de cámara deben mencionarse sus dos cuartetos de cuerdas, el segundo de los cuales, que contiene el conocido y bellísimo Nocturno, fue escrito en 1881 y dedicado a su esposa, probablemente en recuerdo del 20° aniversario del comienzo de su relación en Heidelberg.

Durante esa misma época compuso su hermoso poema sinfónico “En las Estepas del Asia Central”, que dedicó a Franz Liszt y que fue estrenado en

abril de 1880, bajo la batuta de Rimsky-Korsakov, y de la cual existe también una versión para piano a cuatro manos [4].

Pero la obra que mayor tiempo lo ocupó y preocupó en forma continuada fue, sin duda, su única ópera “Príncipe Igor”. La misma está basada en una epopeya rusa del siglo XII y su libreto fue inicialmente bosquejado por Vladimir Stasov un crítico musical cercano al grupo y luego rearmado y completado por el propio compositor. En ella estuvo trabajando desde 1869 y la misma quedó inconclusa a su muerte. La partitura fue terminada por Rimsky-Korsakov y Glazunov, utilizando diversos bosquejos y escritos que Borodin había dejado y la obra fue estrenada con notable éxito en San Petersburgo, durante 1890. Sin duda, el fragmento más conocido de toda la ópera son las llamadas Danzas Polovtsianas, que pertenecen al II° acto de la misma y constituyen una de las obras más populares del repertorio clásico y son interpretadas frecuentemente como una pieza independiente en conciertos.

Obviamente, la mayor parte de su tiempo Borodin la dedicó siempre a sus actividades en la Academia y el mismo solía definirse como “músico dominguero” [10] ya que sólo se dedicaba a la composición en sus ratos libres o en algún período con poca actividad académica.

Hay noticias de que sus clases parecen haber impresionado mucho a sus alumnos, por su claridad y jerarquía y por la fuerte personalidad que mostraba al desarrollarlas [3]. Asimismo, desde su regreso de Alemania, su trabajo experimental comenzó a centrarse fundamentalmente en el estudio de las reacciones de condensación de aldehídos. Estos trabajos lo llevaron posteriormente a mantener algunas acaloradas discusiones con Kekulé, quien venía trabajando en sistemas similares [3].

A partir de 1872 empezó con una nueva actividad que le insumió mucho tiempo y esfuerzo ya que inauguró un curso médico avanzado para mujeres con el modesto título de “Curso de Obstetricia”. Este fue el primer curso de su tipo en Rusia y Borodin fue su profesor de Química desde su inicio. Fue, además, incansable organizador de todas las actividades y se preocupó por conseguir y mantener la provisión de insumos así como asegurar el funcionamiento de los instrumentos necesarios para todas las tareas que se realizaban. También organizó ayudas financieras para alumnos pobres, incluyendo la organización de conciertos con fines benéficos [3].

Su última contribución científica importante, fue el desarrollo de un método analítico para la determinación de urea en orina. Este método fue rápidamente adoptado en numerosos laboratorios bioquímicos y clínicos, y siguió siendo utilizado durante muchos años [3].

El 28 de febrero de 1887 organizó un baile de disfraces en una de las aulas de la Academia y durante el mismo sufrió una descompensación, falleciendo rápidamente, aparentemente a consecuencia de un infarto cardíaco

[3]. Su amada esposa Ekaterina, que ya estaba muy enferma, solo lo sobrevivió por cinco meses. Borodin fue sepultado en el cementerio Tijvin del Monasterio Alexander Nevsky.

## Obra científica

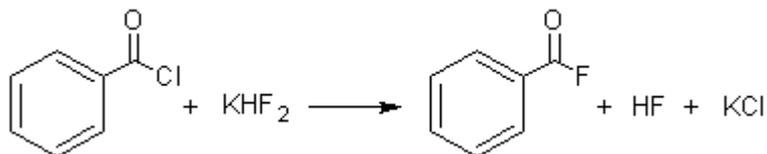
Alexander Borodin desarrolló su carrera de investigador en un período en que la Química Orgánica estaba floreciendo fuertemente en toda Europa e, incluso, su maestro Zinin también había ya realizado algunos aportes interesantes a la misma. Durante su carrera científica Borodin produjo una veintena de publicaciones relevantes, distribuidas en revistas alemanas, rusas e italianas [4]. Como ya se mencionara, su Tesis Doctoral versó sobre las analogías químicas y toxicológicas de los ácidos fosfórico y arsénico. Luego de este trabajo, y bajo la supervisión de Zinin comenzó algunos estudios sobre la amarina (trifenilimidazolina) y sobre la benzidina, temas con los que continuó durante un breve tiempo luego de su llegada a Heidelberg, aunque sin mayores resultados.

De todas formas, su estadía posdoctoral, primero en Heidelberg y luego en Pisa, fue altamente productiva y personalmente satisfactoria. En primer lugar, estudió la acción del bromo sobre carboxilatos de plata descubriendo, la interesante reacción presentada en el Esquema 1, inicialmente llamada “reacción de Borodin” [10]. Esta reacción fue redescubierta 80 años después por Heinz y Claire Hunsdiecker, ignorando el trabajo previo de Borodin [11]. Actualmente esta reacción suele llamarse “reacción de Hunsdiecker” o “reacción de Borodin-Hunsdiecker” [4].



**Esquema 1.** Acción del Br<sub>2</sub> sobre carboxilatos de plata (“reacción de Borodin”)

Al llegar a Pisa a los laboratorios de de Luca y Tassinari, descubrió fascinado el equipamiento de material de laboratorio construido en platino que había en ese lugar. Así que empezó de inmediato a realizar reacciones con HF y otros compuestos corrosivos, con los que no había podido trabajar anteriormente. Entre estos trabajos, logró hacer reaccionar cloruro de benzoilo con KHF<sub>2</sub>, logrando por primera vez el reemplazo de cloro por flúor en una molécula orgánica (Esquema 2) [4,12]. Este trabajo fue publicado en italiano [13], una lengua que Borodin había aprendido bastante bien y rápidamente durante su breve estadía y estos resultados significaron para Borodin un respetable reconocimiento de parte de la comunidad de químicos orgánicos europeos [12].



**Esquema 2.** Primer reemplazo de cloro por flúor en una molécula orgánica.

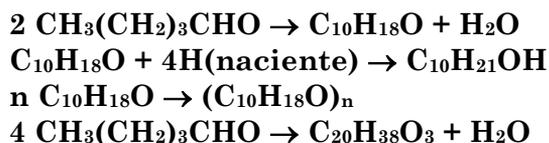
En todos estos trabajos, así como en los realizados posteriormente, quedó claro que Borodin era ante todo un excelente químico experimental, seguramente muy habilidoso e intuitivo, pero con escaso interés por los aspectos teóricos de la disciplina, mostrando muy poco interés por clarificar problemas estructurales o mecanismos de reacción [12].

Inmediatamente después de su regreso a San Petersburgo comenzó a realizar algunas experiencias con el dietilzinc,  $\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ , cuya síntesis había sido recientemente mejorada por Fredrich Beilstein (1838-1905) en Alemania. Entre otras, estudió la reacción de este organometálico con cloriodoformo encontrando que se producía una reacción muy violenta, la que se podía controlar enfriando la solución etérea del dietilzinc y agregando, gota a gota el otro reactivo [14]. La reacción queda descrita en el esquema 3:



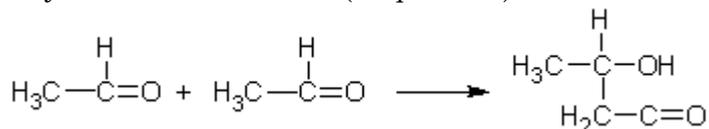
**Esquema 3.** Reacción entre dietilzinc y cloriodoformo.

Entre 1864 y 1873 Borodin se dedicó a una temática que fue, sin duda, su campo de investigación más importante, la polimerización y condensación de aldehídos [10,12,14]. Su primer trabajo en este campo fue el estudio de la reacción de valeraldehído (pentanal) con sodio metálico. En ese momento los químicos pensaban que los aldehídos, al igual que los alcoholes, forman derivados metálicos por sustitución de hidrógeno por metal. Sin embargo, este primer trabajo de Borodin demostró que: a) la reacción no forma un simple producto de sustitución de hidrógeno por sodio sino que genera una mezcla compleja de varios compuestos químicos diferentes; b) entre los productos de reacción no aparecen ni el valeraldehído, ni isómeros ni polímeros del mismo; c) el producto  $\text{C}_{10}\text{H}_{21}\text{OH}$ , obtenido en la reacción parece ser un alcohol que estaría relacionado al ácido cáprico (ácido decanoico,  $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$ ) [10,14]. Las reacciones propuestas se presentan en el Esquema 4.



**Esquema 4.** Reacción entre el valeraldehído y sodio metálico.

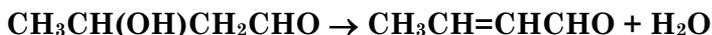
Subsiguientemente, Borodin extendió estos estudios al heptanal, obteniendo resultados similares a los anteriores [10,14]. Durante esta serie de investigaciones analizó también el comportamiento del etanal y descubrió la generación del aldol, es decir la molécula que contiene simultáneamente una función aldehído y una función alcohol (Esquema 5).



**Esquema 5.** Generación del aldol a partir de etanal.

Estos resultados fueron publicados en 1864 [4,15], cinco años antes que los primeros resultados de Kekulé sobre el mismo tema y este fue el origen de la disputa entre ambos por la prioridad del descubrimiento, disputa a la que se agregó más tarde Wurtz, que también investigaba sobre estos mismos compuestos [4,10]. Pero no quedan dudas de que la primera descripción de la generación del aldol fue realizada por Borodin [4].

Poco después mostró que el calentamiento del aldol libera agua, produciendo crotonaldehído (Esquema 6) [10].



**Esquema 6.** Generación de crotonaldehído por calentamiento de aldol.

Asimismo, encontró que el aldol puede oxidarse a ácido oxobutírico, una reacción que ayuda a explicar la formación de ácido butírico durante la fermentación de carbohidratos. También parece haber sido el primero en describir la llamada “oxidación beta” por la cual el ácido butírico genera ácido oxobutírico (Esquema 7) [10].



**Esquema 7.** Oxidación de ácido butírico a ácido oxobutírico.

Terminados estos trabajos comenzó a realizar algunos estudios con aldehídos aromáticos. Otros trabajos menores, seguramente relacionados de alguna manera con su formación médica incluyen estudios de opio y de diversos agentes desinfectantes así como trabajos analíticos con aguas y grasas y aceites [10]. Su última contribución científica importante fue el desarrollo de un método simple para la determinación cuantitativa de urea en orina [4,10,12], basada en la reacción del Esquema 8.



**Esquema 8.** Determinación de urea en orina.

Midiendo el volumen de  $\text{N}_2$  liberado en la reacción se puede determinar en forma muy precisa la cantidad de urea, aun en muy bajas concentraciones de la misma. Para este procedimiento Borodin diseñó, incluso, un pequeño aparato de laboratorio para realizar el estudio. Borodin publicó una breve nota sobre esta metodología en 1876 en el *Journal of the Russian Chemical Society*, que llamó inmediatamente la atención y fue rápidamente citado también en el *Berichte* de la Sociedad Alemana de Química [12]. Y, como ya se mencionara más arriba, este método se continuó utilizando durante años en muchos laboratorios de análisis clínicos y biológicos.

## Referencias

- [1] W. Frühwald, *Chem. unserer Zeit* **40**, 194 (2006).
- [2] H. Hansel, *Chem. unserer Zeit* **40**, 392 (2006).
- [3] A.D. White, *J. Chem. Ed.* **64**, 326 (1987).
- [4] J. Podlech, *Angew. Chem. internat. Ed.* **49**, 6490 (2010).
- [5] H.B. Friedman, *J. Chem. Ed.* **18**, 521 (1941).
- [6] O. Krätz, *Chem. unserer Zeit* **21**, 89 (1987).
- [7] C. deMilt, *J. Chem. Ed.* **28**, 421 (1951).
- [8] N.A. Rimsky-Korsakov, *Mi Vida y Mi Obra*, Ed. Anaconda, Buenos Aires, 1950.
- [9] K. Pahlen, *Historia Gráfica Universal de la Música*, Ed. Centurión, Buenos Aires, 1944.
- [10] G. Kaufman, J.D. Rae, I. Solov'ev & C. Steinberg, *Chem. Eng. News* **65**, 281 (1987).
- [11] H. Hunsdiecker & C. Hunsdiecker, *Ber. Deutsch. Chem. Ges.* **75**, 291 (1942).
- [12] M.D. Gordin, *J. Chem. Ed.* **83**, 561 (2006).
- [13] A. Borodin, *Nuovo Cimento* **15**, 305 (1862).
- [14] F.H. Getman, *J. Chem. Ed.* **8**, 1762 (1931).
- [15] A. Borodin, *J. Prakt. Chem.* **93**, 413 (1864).

*Manuscrito recibido y aceptado en noviembre de 2017.*