



## **LA INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA Y TECNOLOGÍA DE SILICIO: ENCUENTRO Y CONVIVENCIA CON UN ELEMENTO QUÍMICO**

Jorge A. Cervantes Jáuregui, Departamento de Química, división de Ciencias Naturales y Exactas, campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato. Guanajuato, Gto., 36050. jauregi@ugto.mx

Este ensayo, tienen que ver con circunstancias personales y grupales que dieron origen a la investigación de lo que hoy es el cuerpo académico de química y tecnología de silicio del departamento de química de la División de Ciencias Naturales y Exactas. Son parte de mis vivencias personales de lo que fue y ha sido la convivencia académica con un elemento químico a lo largo de casi 40 años de trabajo académico en la Universidad de Guanajuato de la que conviene narrar algunos pormenores. Hay desde luego la vivencia de muchos amigos y colegas respecto a este tema. Espero que algún día también se escriban. Son parte de la vida y trayecto académico individual, pero sin lo colectivo, la vida universitaria no tendría razón de ser.

The present essay describes personal experiences during close to 40 years of academic relation with a chemical element, silicon. Several aspects will be described with certain detail in order to show that academic life in the university research activities and university life are mostly the summary of collective efforts, the reason precisely of the university life.

Durante el año de 1978, nos encontrábamos realizando los estudios de maestría en química inorgánica. Para esos años, existían dos opciones para el desarrollo de los estudiantes: la docencia y la investigación. En cualquiera de los casos, era necesario realizar un proyecto para lograr el grado. En la opción docente, era obvio que el punto central se centraba en problemas de enseñanza-aprendizaje en temas relacionados con la docencia en la química inorgánica. Originalmente, solo existía tal opción u orientación. El posgrado nació en el año 1973, con el objetivo muy claro de formar docentes en química inorgánica. Sus egresados fueron a nutria a muchas Instituciones de educación superior del país.

Nuestro grupo, que constituyó la generación 1977-78, estaba formada por Zeida Kio Imamura Romo, Lauro Edmundo Hernández Sánchez, Gabriel Solana Espinoza y yo.

Realmente este pequeño grupo se integró muy bien. Zeida y Edmundo optaron por la opción didáctica, Gabriel y yo por la investigación.

Llegó el momento de elegir un tema de tesis y por tanto asesores. Me interesó hablar con los Doctores José Manuel Ruvalcaba y Héctor Juárez. Uno de sus proyectos, con clara influencia de la escuela rusa donde habían estudiado su doctorado, contaba entre otros temas con desarrollos en la química del silicio y el germanio. En lo particular me interesó uno en el que el objetivo final era la obtención de soportes cromatográficos basados en óxido de silicio. El proyecto tenía varias vertientes pues se proponía que el óxido de silicio se obtuviera vía la hidrólisis de tetracloruro de silicio, que a su vez se prepararía halogenando los residuos de las compañías mineras locales, mas conocidos como jales. En estos residuos, el componente principal es el óxido de silicio. La reacción de halogenación de silicio, aleaciones de silicio y otras fuentes tales como el óxido de silicio, es una reacción conocida. Sin embargo, se consideró que tan solo su adaptación a recursos regionales podría ser un buen tema que derivara luego en la aplicación en la obtención de los soportes.



El proyecto me convenció. Hubo entonces que iniciar la actividad en el laboratorio y también en el campo. Efectuar muestreos de varios depósitos de jales, realizar su análisis químico y sugerir algunos tratamientos preliminares. En otras manos, se habían hecho intentos de halogenar aleaciones de ferrosilicio sin éxito. El principal problema era la infraestructura. El entonces laboratorio de la maestría en química inorgánica, empleado para realizar prácticas para los alumnos de posgrado, tenía poco equipo para poder realizar investigación. Contaba con mesas de laboratorio que se habían traído del antiguo edificio ubicado en el centro de la ciudad a las nuevas instalaciones de la Facultad en Noria Alta. Había una pequeña campana de extracción. Realmente durante los primeros meses del trabajo, la etapa final de los cursos de maestría, nos absorbía casi todo el tiempo. Al concluir el año de 1978, solicité una ampliación de beca al Conacyt para dedicarme exclusivamente al desarrollo de la tesis durante los siguientes seis meses del año 1979. Las presiones por salir a buscar trabajo se empezaron a dejar sentir, pero convencí a la familia (me acababa de casar en 1977 y ya tenía un hijo de meses), que era necesario concluir los estudios de posgrado hasta la finalización de la tesis. En esa etapa final del año, hubo también una situación que vino a modificar algunos de los planes originales del proyecto. Los asesores decidieron cambiar de unidad académica (de la Facultad hacia el CIQI), que a su vez buscaba fortalecerse para también ofrecer un posgrado. Resultó extraño lo que sucedió y en buena medida esto propició un distanciamiento con los asesores. Me quedé pues al garete. Puedo decir sin embargo, que eso me sirvió pues ya con la extensión de beca, el compromiso fue aún mayor. Con el apoyo con el que siempre he contado de Toño Guerrero, hubo algunas ideas para montar el sistema de halogenación. Se necesitaba una mufla que al menos alcanzara los 1,200°C. Lo primero que se nos ocurrió fue conseguir refractario y mandar hacer una puerta de mufla perforada en la que pudiéramos meter un tubo de cuarzo y luego pasar el cloro. En cuanto al cloro, anteriormente se había intentado hacerlo con un generador a partir de reacción química. Toño pudo gestionar que me compraran un tanque de cloro de 68 kg. El tanque medía como 1.80 m. En el Instituto de Química de la UNAM, nos prestaron una válvula apropiada para conectarla al tanque y poder regular el flujo de salida. Cada que se abría el tanque, era rogar que no se fugara.

Hicimos algunas reacciones así. Pronto nos dimos cuenta que había que ser muy cuidadosos con la humedad del gas. Se montaron trampas de ácido sulfúrico. El sistema tenía muchísimos problemas. Afortunadamente, Mundo Hernández, que para entonces ya impartía algunos cursos en la Facultad, y me apoyaba en lo que podía, curioseando en el almacén, se dio cuenta que había un horno horizontal que indagando, se enteró que se usaba para algunos análisis de materia orgánica. Se encontraba abandonado. Alcanzaba hasta los 1,500°C y tenía inclusive un tubo de un material cerámico sumamente resistente a la temperatura. Solicitamos el equipo y en una carretilla lo bajamos al laboratorio. Estaba realmente pesado. Una vez ubicado dentro de la campana, lo mejor fue que funcionaba perfectamente. Ahora el problema era adaptar las conexiones y ahí hubo que volver a improvisar. A la salida del horno, en donde salían los productos gaseosos, hubo que adaptar una junta esmerilada unida con cinta de teflón para unirla al condensador. Vamos pues a las pruebas. Me fui a probar directamente los jales. Como ya mencioné, hube de muestrear varias presas o depósitos de jales, cerca y lejos de la ciudad. En una ocasión, fuimos hasta el histórico poblado minero de La Luz, camino al cerro del Cubilete. Por referencias, había ahí unos jales cuya apariencia indicaba que seguramente contenían mucho cuarzo. Su color era blanco si no como la nieve, si muy blancos. Me acompañaron un grupo de amigos y luego de llegar al sitio tras larga caminata, procedimos al muestreo. Quise que se aplicara el curso de estadística que no hacía mucho nos había dictado el



Doctor Augusto Ciurlitza, que venía del IPN a impartirnos cursos intensivos de diversas materias. Elegí pues el método de las parejas ordenadas. Fijamos la referencia en el cerro de Jales y cada quién con su bolsa se iba a localizar el punto de muestreo. Mínimo quince puntos. Trajimos cargando de vuelta alrededor de veinte kilos de jales. Al llegar a Guanajuato me dijeron los amigos, ni creas que eso te va a salir gratis. Mínimo pues una carne asada con cervezas a cuenta de la beca.

Pero llegó la sorpresa. Los famosos jales una vez que se analizaron y reanalizaron, no daban más allá que un 60% de óxido de silicio, menos incluso que cualquiera de los otros muestreados previamente. Al consultar la mineralogía de la zona minera, hay proliferación de matriz calcárea. La apariencia blanca pues, es pues debida al alto contenido de carbonatos.

La realización de las pruebas de halogenación, reportaron resultados poco halagadores. Depósitos de productos sólidos que empezamos a sospechar eran productos de hidrólisis. Volvimos a extremas cuidados con el secado del material y los gases. Para darnos ánimos, decidimos buscar los trozos de aleación ferrosilicio que por ahí se habrían quedado en algún cajón. Dicha aleación era y fue producida durante muchos años en México por la Compañía Minera Autlán. Usamos unos cuantos gramos y la reacción procedió con éxito. Para entonces, había regresado de Inglaterra Jacobo Gómez Lara, que al haber sido uno de los fundadores del posgrado, volvió a darle seguimiento a varios aspectos académicos. Le simpatizó la idea del proyecto y sobre todo por las condiciones realmente raquílicas como se estaba realizando y de inmediato ofreció su ayuda. Me confesó su poco conocimiento del tema pero de igual manera me puso en comunicación con el Dr. Juan Manuel Fernández para que también me ayudara. Queríamos verificar si el producto obtenido era el correcto. Lo visité en el Instituto de Química de la UNAM. Llevaba yo una muestra lo más sellada posible y que con gran temor traslade al DF por autobús. El tetracloruro de silicio fue utilizado en la primera guerra mundial para hacer cortinas de humo tóxico al exponerlo a la humedad del ambiente. La muestra llegó sana y salva. Juan Manuel me esperaba y de inmediato fuimos a la biblioteca a buscar algunas pruebas específicas para el compuesto. Encontramos una que se prestaba pues tenían los reactivos a la mano. Una reacción específica con ferrocianuro de potasio. La reacción procedió como lo indicaba el reporte. Habían pasado ya casi cinco meses. Solo quedaba un mes de beca. Juan Manuel aceptó firmarme una carta para que yo pudiera pedir otra extensión de seis meses de beca. La respuesta aprobatoria fue realmente rápida. Entonces con los datos que se tenían y el conocimiento un poco mayor de las limitaciones del sistema, se consideró que me enfocara a la obtención del tetracloruro de silicio de los jales, las aleaciones y otros minerales regionales. Se seleccionaron entonces arena de cuarzo y caolines. Casi dos meses después, ya en el mes de julio, se obtuvo el primer “charco” perceptible de jal de los jales ubicados cerca de la mina de Rayas. De igual manera del Monte de San Nicolás, inclusive de La Luz. Los caolines funcionaron bien y de hecho dieron la pauta para entender que en los jales al detectarse una temperatura de halogenación casi 200 °C menos que la reportada para el cuarzo, sugería un efecto catalítico seguramente inducido por algún componente de los jales. Faltaban las pruebas finales. Juan me visitó y me indicó que era necesario hacer otras pruebas de identificación. Se sugirió que dado que el tetracloruro de silicio sufre una reacción de hidrólisis cuyo producto final es sílica (luego de la deshidratación del gel que se forma), entonces contrastar por IR contra un espectro de sílica gel cromatográfica (cosas de la vida, ese era el objetivo inicial). Los resultados fueron positivos. Ya había material para escribir la tesis. En esos meses, recibí la respuesta a una solicitud que había hecho para participar en el programa amistad, el primer programa de intercambio de la Universidad de Guanajuato



con el entonces Southern Oregon State Collage en Ashland, Oregon. Me aceptaban para realizar tal estancia. Lo analizamos en familia (mi hijo iba a cumplir un año) y pensé que era una buena oportunidad pues inclusive podría trabajar mucho en la biblioteca para concluir la revisión bibliográfica y con ello la escritura de la tesis. Un poco arriesgada la cosa pues mi esposa hubo de pedir permiso para dejar su trabajo por unos meses. Me puse a impartir algunas clases en los cursos de verano de la Normal Superior para conseguir fondos para el pasaje. El dinero que teníamos ahorrado lo invertimos en el fondo que debíamos de depositar para el programa de intercambio. De septiembre a los primeros días de diciembre estuvimos en Ashland. En esos meses, terminé la escritura de la tesis. Se las mandé a Jacobo y a Juan. Ellos la regresaron a Guanajuato y mi Padre en su máquina de escribir hizo todas las correcciones y además me corrigió mucho del estilo. Mi Madre me ayudó en el papeleo de forma tal que llegando a Guanajuato el 7 de diciembre, casi todo estaba listo. Finalmente, el examen se realizó el día 12 de diciembre. Mis sinodales fueron el Juan Manuel Fernández, Jacobo Gómez Lara y David Guerra Carrillo.

En marzo de 1980 regresé a Guanajuato al concluir la estancia en Ashland. Había hecho unos exámenes en el Instituto de Investigaciones Eléctricas para posible ingreso. Entrevistas también en el Instituto Tecnológico de Celaya y existían posibilidades de impartir algunas clases en la Universidad Iberoamericana en León. Desde luego que me había presentado en la Facultad de Química por si había alguna posibilidad de ingresar. Casi a mediados del mes de mayo, recibí una llamada de Guadalupe Gómez, que en ese entonces era secretaria general de la Facultad de Química. Me requirió con urgencia ya que Toño Guerrero dejaría temporalmente su plaza para irse a Urbana, Illinois a realizar estudios doctorales con el Dr. John C. Bailar. El 15 de mayo fue mi fecha oficial de ingreso. Otra vez Toño apareció de manera clave en mi vida académica. Además de su ayuda, para fines prácticos, me heredó su plaza, su oficina, su escritorio grande, su engrapadora que a la fecha conservo, una buena caja de grapas que apenas el año pasado se me terminaron, y me prestó varios libros de cuántica y sus notas de clase pues había que entrarle entre otras a impartir esa materia.

El director de la Facultad de Química, David Guerra Carrillo, desde un inició me habló claro y me dijo que deseaba que la investigación se impulsara en el posgrado y como consecuencia en la Facultad. Que yo había desarrollado mi tesis en la Facultad, cosa que casi no se hacía y que sugería que continuara con proyectos en la línea de silicio, suponiendo desde luego que yo seguiría esa línea. Inclusive, me indicó que para que fuera posible que eso se realizara, habría que actualizar el laboratorio, pero que también, mi carga académica sería relativamente baja con relación a la de otros profesores. Impartiría la clase de química general, la de química inorgánica descriptiva, la de química cuántica (en lo que regresaba Toño), un curso en el propedéutico de la maestría y en su momento la clase de química cuántica en el programa trimestral de la maestría. Tendría tiempo pues para hacer investigación. En ese mismo año de 1980, a los pocos meses de mi ingreso a la Facultad, exactamente el 24 de agosto, un domingo, murió de manera trágica en un accidente carretero David Guerra, siendo aún director. Contaba con solo 35 años, pero con una carrera universitaria ya muy reconocida. David Guerra pues, fue quién impulso desde la administración en un primer momento, la investigación en este tema de la química de silicio. Administraciones que le siguieron, afortunadamente, no fueron la excepción.

Juan Manuel Fernández había pasado unos meses sabáticos en la Facultad, y con el apoyo de Toño, se había iniciado el trabajo de construcción de una campana de extracción. Meses después fue posible concluirla. Iniciando 1981, comenzamos a trabajar



nuevamente en las reacciones de haogenación y también en estudios sobre los jales a mayor detalle. En el mes de abril de 1981, poco antes de que naciera mi segundo hijo, la Dra. Lena Ruíz vino a Guanajuato e invitó con Ella al Dr. Keith H. Pannell de la Universidad de Texas en El Paso. Keith a final de cuentas, tenía formación doctoral en química organometálica de silicio. Keith impartió un par de seminarios y participó con el auditorio, en un pequeño simposio en el que varios ex -alumnos de la maestría presentábamos nuestros proyectos de tesis. Al final, platiqué con Keith que me hizo muchas sugerencias y además me invitó a visitarlo a UTEP en el fin de año. En los meses que siguieron, luego de breve plática, Alberto Aguilera se interesó en el incipiente proyecto pues la idea sería que alguna vez se pudiera pensar en un esquema ingenieril. Mundo Hernández también. Mundo y yo siempre compartimos cubículo, por lo que manteníamos estrecha comunicación en todo lo que hacíamos. A partir de un proyecto con una empresa de fabricación de pinturas, Mundo inició en el grupo la línea de investigación en alcóxidos de silicio, que tuvo sus etapas iniciales en la síntesis de TEOS. A partir estas investigaciones realizadas, se gestó la línea relacionada con síntesis y aplicaciones de alcóxidos de silicio, que derivaría en la obtención de algunos de estos compuestos tanto a nivel laboratorio y planta piloto, y que desde hace algún tiempo son la base de distintos proyectos ya realizados y otros vigentes que tienen que ver con su uso en formulaciones aplicables a la conservación de materiales arquitectónicos de construcción de edificios históricos de nuestra región así como una extensión hacia materiales arqueológicos. En los 90's, este proyecto tomó gran impulso al iniciarse colaboraciones con la Facultad de Arquitectura y algunos organismos gubernamentales y una asociación civil. A finales de 1981, estuve con Keith Pannell en UTEP. De ahí surgió una línea de trabajo que con el tiempo se fue consolidando y que tiene que ver con la hidrosililación catalítica, reacción de adición de enlaces silicio-hidrógeno a diversos grupos orgánicos insaturados con grandes aplicaciones en síntesis y materiales. Desde luego la relación académica con Keith, ha sido fundamental para nuestro desarrollo. En 1984, me incorporé al programa de doctorado en la UAM-Iztapalapa. Mi asesor interno fue en Doctor Antonio Campero y el externo Keith. La parte fundamental de la experimentación de la tesis la efectué en el laboratorio de Keith, en la Universidad de Texas en El Paso. El enfoque fue química organometálica de silicio.

En 1982 se incorporaron al laboratorio los dos primeros tesistas, Plácido López y Patricia Basulto. Plácido a trabajar con las halogenaciones y Patricia con la caracterización analítica de los jales. A finales de ese año, recibimos nuestro primer proyecto con financiamiento. Un proyecto para desarrollar el programa de química de silicio que apoyó la Sub-Secretaría de Investigación Científica de la SEP con un monto de \$1,700.00. En 1986 y 1987, llegaron al grupo el Ingeniero Francisco Javier Luna y Jaime Romero. Con ellos y coordinados con Alberto, se dio gran impulso a la línea de procesos de obtención de compuestos primarios de silicio y de ahí al establecimiento de una línea de investigación relacionada con fuentes naturales de óxido de silicio (el tema de los jales se incorporó aquí) y otras fuentes alternas. De ahí surgieron dos proyectos importantes para construir sistemas piloto de producción de clorosilanos y un sistema de obtención de silicio policristalino. Como parte de este tema, se investigaron las cuatro principales reacciones industriales de obtención de derivados primarios de silicio (tetraclorosilano, triclorosilano, diclorodimetilsilano y TEOS). Poco tiempo antes, José Luis Mata había ingresado a la Facultad y al incipiente grupo ocupando la plaza de Víctor Barrera Buccio para colaborar en aspectos analíticos. En los años 90's y luego de concluir su doctorado en la UAM-Iztapalapa, José Antonio Villegas se unió para abrir la línea de polímeros inorgánicos, con enfoque a estudios fisicoquímicos en polisilanos y polisiloxanos. A



finales de esa década y también habiendo finalizado su doctorado y en los albores de la formación de los cuerpos académicos, se integró José Alfredo Gutiérrez Fuentes, quién abrió la línea de investigación en compuestos hipervalentes de silicio y uso de fuentes de óxido de silicio en la síntesis de alcóxidos neutros. Casi en este mismo tiempo, Fernando de Jesús Amézquita con su amplia experiencia en la química analítica. Luego de realizar su doctorado en España, Eulalia Ramírez Oliva, que había tenido ya participación en varios proyectos del grupo, se reincorporó al ya formado cuerpo académico. Con ella y con los antecedentes de investigación en hidrosililación y química organometálica, surgió esa línea. A partir investigaciones iniciales realizadas por Edmundo Hernández, se gestó la línea relacionada con síntesis y aplicaciones de alcóxidos de silicio, que derivaría en la obtención de algunos de estos compuestos tanto a nivel laboratorio y planta piloto, y que desde hace algún tiempo son la base de distintos proyectos ya realizados y otros vigentes que tienen que ver con su uso en formulaciones aplicables a la conservación de materiales arquitectónicos de construcción de edificios históricos de nuestra región así como una extensión hacia materiales arqueológicos.

Esos son pues, algunos incidentes que dieron lugar al actual cuerpo académico de química y tecnología de silicio, que tiene sus antecedentes en el grupo de investigación del mismo nombre y más atrás en el llamado programa de investigación en química de silicio y minerales. En estos años, casi 40, el grupo ha formado a poco más de cien estudiantes en los distintos niveles licenciatura, maestría y doctorado. Actualmente, sus integrantes son Alberto Florentino Aguilera Alvarado, José Antonio Villegas Gasca, Eulalia Ramírez Oliva, Fernando de Jesús Amézquita, J. Merced Martínez Rosales, Gilberto Álvarez Guzmán, José Antonio Guerra Contreras y Jorge Cervantes. Varios de los integrantes fundadores y otros colegas que luego se adscribieron ya se han jubilado.

En conjunto, la productividad es de poco más de 100 publicaciones, con gran número de presentaciones en congresos nacionales e internacionales. Varios de sus integrantes son miembros del SNI y cuentan con perfil Prodep. Se cuentan con varias colaboraciones con instituciones nacionales y extranjeras. El grupo ha organizado en distintos momentos tres congresos sobre química de silicio en el País, destacando desde luego, en el año 2002, la organización del XIII Internacional Symposium on Organosilicon Chemistry, el evento a nivel internacional más importante en nuestro campo. La sede desde luego fue Guanajuato.

El cuerpo académico cuenta con el grado de consolidación, de acuerdo a las evaluaciones de la SEP y las cinco líneas de investigación que cultiva son las siguientes:

1. Procesos directos de obtención de compuestos primarios de silicio a partir de silicio y silicatos naturales
2. Síntesis y estudios de propiedades fisicoquímicas y aplicaciones de polímeros inorgánicos de silicio.
3. Síntesis y aplicación de compuestos de silicio en problemas de conservación arquitectónica
4. Química Organometálica de Silicio y otros elementos del grupo 14
5. Nanomateriales en base a silicio.

De alguna manera pues, se narra en estas breves notas, el camino que desde el origen de una idea de un proyecto de tesis de maestría, y que fue concluida con muchas limitaciones pero impulsada por los ideales, derivó por diversas circunstancias, en la creación de un grupo de investigación en el que confluyeron los ideales, el entusiasmo y la amistad de sus integrantes, y que sin falsas modestias, en buena medida ha venido a ser uno de los antecedentes de la reiniciación de la investigación en lo que fue la histórica Facultad de



Química de la Universidad de Guanajuato a inicios de los años 80's. Las actividades de este grupo, ahora cuerpo académico, casi coincidieron con la fundación en la Facultad del Instituto de Investigaciones en Biología Experimental. Hoy vemos que la investigación en la actual División de Ciencias Naturales y Exactas se concentra en un número muy importante de cuerpos académicos de las áreas de biología, ingeniería, farmacia y química, astronomía y matemáticas, los que cada día se esmeran por alcanzar niveles de excelencia.