

Energética electroquímica en el Departamento de Química del CINVESTAV

Omar Solorza Feria

Departamento de Química del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, Col. San Pedro Zacatenco, C.P. 07360 México, D.F. osolorza@cinvestav.mx

Resumen. La síntesis y caracterización de materiales con actividad catalítica para celdas de combustible en Cinvestav, inicia de un programa de colaboración México-Francia en 1976. Se trabajó durante algunos años con la fotoelectroquímica de semiconductores para generar energía eléctrica e hidrógeno de la fotoelectrólisis del agua. En este trabajo se describen los avances en la electrocatálisis y sus aplicaciones en prototipos con celdas de combustible. Se mencionan los logros alcanzados en el grupo y algunos reconocimientos a los estudiantes involucrados.

Introducción

La energética electroquímica se establece como tema de investigación a partir de un programa de colaboración México-Francia en el año 1976, con la participación del doctor Roger Conan (1976-1977) y el doctor Gerard Poillerat (1977-1984), investigadores de la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo, Francia. De este grupo de investigación se formaron algunos estudiantes que realizaron su tesis doctoral en la universidad francesa y otros nos formamos en la Unidad Zacatenco del CINVESTAV.

Ingresé al Departamento de Química de esta Institución en la primera semana de septiembre de 1977, después de concluir mis estudios de licenciatura en ingeniería química y haber realizado una estancia en el Complejo Petroquímico de Cosoleacaque, Veracruz (PEMEX-CPC). En el Departamento de Química de esta Institución realicé mi servicio social, mi tesis de licenciatura, de maestría y de doctorado, todos bajo la dirección del doctor Gerard Poillerat. Durante el desarrollo de mi tesis doctoral, fui contratado al igual que los estudiantes Norberto Farfán, Rosa Santillán, Fernando Santiesteban y Teresa Mancilla. Como instructores, nuestra actividad consistía en apoyar a los grupos de visitantes, conducirlos a cada laboratorio para que se les explicara lo que hacían los diferentes grupos de investigación del Programa de Maestría y Doctorado. Recuerdo que los estudiantes en los años setenta estuvimos expuestos a que los profesores en su mayoría extranjeros, nos abandonaran debido a los problemas económicos por los que atravesaba el país. Tal fue la situación de un grupo de estudiantes en fisicoquímica que un viernes en la tarde fueron informados por el doctor Witold Brostow que había sido contratado en una Universidad de los Estados Unidos y a partir del lunes siguiente los asesoraría por correspondencia.

La contratación como instructor me permitió impartir los cursos propedéuticos al posgrado e incorporarme pos-

teriormente a una estancia posdoctoral, como profesor del Departamento de Química. Durante esos años tuve la oportunidad de involucrarme en las actividades de la biblioteca de química, fui coordinador administrativo durante siete años y jefe del Departamento de Química por ese mismo tiempo.

Las líneas de investigación que he desarrollado son la electroquímica de los semiconductores para la generación de corriente eléctrica y la producción de hidrógeno sobre películas delgadas semiconductoras electrodepositadas. Posteriormente decidí involucrarme en la síntesis y caracterización de materiales electrocatalíticos para celdas de combustible. En esa dirección hemos desarrollado nuevos materiales y prototipos con celdas de combustible de baja potencia acoplados a televisión portátil, computadora portátil y en auto de juguete con control remoto.

Una participación muy importante de mi grupo de investigación ha sido la difusión de la tecnología de hidrógeno y de celdas de combustible. En el año 2007 asesoramos a un grupo de estudiantes del Plantel 6 de la Preparatoria en Coyoacan, D.F., en la elaboración de un prototipo integrado por un módulo fotovoltaico, un electrolizador, una celda de combustible y un pequeño motor eléctrico. El objetivo de este proyecto fue el de mostrar la transformación de la energía luminosa en energía química a través del hidrógeno como portador energético y hacer reaccionar el hidrógeno con el oxígeno del aire en una celda de combustible, donde además de producir energía eléctrica y calor se obtiene agua como producto de la reacción electroquímica. Este proyecto fue premiado con el primer lugar en Expociencias metropolitanas 2007 y segundo lugar en la 15th International Environmental Project Olympiad (15th INEPO), celebrada en 2007 en Estambul, Turquía. Estudiantes de nuestro grupo de investigación han sido también ganadores de diferentes premios con sus proyectos relacionados con la síntesis de nuevos materiales y prototipos de baja potencia, utilizando celdas de combustible diseñados y construidos en nuestras instalaciones y establecidos en el protocolo de sus proyectos de tesis.

Formación académica

Soy de origen zapoteco; nací en Unión Hidalgo, Ranchugubiña, Oaxaca, en la región del istmo de Tehuantepec el 17 de abril de 1954. A muy temprana edad, además de aprender la lengua zapoteca, las costumbres y tradiciones, quedé huérfano de padre. Realicé mi educación primaria en el internado Gral. Ignacio Mejía y la continuación de mi educación bási-

ca en la secundaria número 14 en misma ciudad de Oaxaca. Posteriormente ingresé al Tecnológico de Oaxaca donde realicé mis estudios de vocacional. Durante mi estancia en la Antigua Antequera formé parte del grupo folklórico de aquella institución, realizando presentaciones en la Guelaguetza, en la Casa de las Artesanías y en el hotel Monte Albán. Mi estancia en la ciudad de Oaxaca me permitió visitar y conocer diferentes zonas arqueológicas entre ellas Mitla y Monte Albán. Aprendí de joven que el mejor aperitivo es el mezcal y se debe acompañar de chapulines fritos o con salsa de chile como botana. El proceso de destilación de los néctares del agave sigue siendo familiar y tradicional. Mi primera experiencia en un laboratorio de química la tuve en tercer año de secundaria y mantengo una cicatriz en mi muñeca izquierda de una quemadura por tubo de vidrio a causa de un compañero de mesa de trabajo. Mi motivación por estudiar Ingeniería Química surgió por un paisano de Ranchugubiña con buenos hábitos de estudio y distinguido en nuestra comunidad por estar estudiando en ese entonces la carrera de Ingeniería Química en el Politécnico. Ingresé a la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas del Instituto Politécnico Nacional, ESQIE-IPN, egresando como Ingeniero Químico Industrial en la generación 1972-1976. Pertencí a la penúltima generación de egresados que tomamos cursos anuales en el edificio 3. La ESQIE me dio como reconocimiento el Premio "Hilario Ariza Dávila" en el 2006, por ser considerado egresado distinguido.

Después de concluir mis estudios de ingeniería química realice una estancia de seis meses en el Complejo Petroquímico de Cosoleacaque, Veracruz, pero debido a situaciones vinculadas con el ambiente de trabajo y por considerar pocas las perspectivas de desarrollo profesional, decidí volver al Distrito Federal. En los primeros días de septiembre de 1977 solicité información sobre el posgrado en química en la misma ESQIE y en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, CIEA en ese entonces. Decidí quedarme en el CIEA porque me dieron la oportunidad de realizar mi servicio social, que se extendió a mi tesis de licenciatura y a las de maestría y doctorado. A partir de marzo de 1978 formé parte de los estudiantes de posgrado, siendo Mario Siordia y yo estudiantes del área de fisicoquímica del mismo semestre. Si uno de los dos faltaba a clases, ésta no se impartía porque se requería el cincuenta por ciento más uno. Tuve la oportunidad de asistir a diferentes cursos de electroquímica en la Facultad de Química de la UNAM, impartidos por profesores franceses como Jacques Bessieres y Bernard Trémillon, y del destacado profesor argentino Alejandro Arvía. En estos cursos tuve la oportunidad de conocer a otros estudiantes entre ellos a Carlos Mauricio Castro y a Alberto Rojas. Como estudiantes participamos Mauricio y yo en reuniones académicas para la formación de la Sociedad Mexicana de Electroquímica, siendo el doctor Héctor Sierra del IIE, los doctores Miguel Saloma y Joan Genescá de la UNAM y los doctores Gerard Poillerat y doctor Yunny Meas del CINVESTAV, los más comprometidos para la formación de esta sociedad. En 1978 se registra la Sociedad Mexicana de Electroquímica, de la cual formé parte

como Vocal Estudiante. Con el transcurso de los años llegué a ser Presidente de la misma.

Antes de concluir mis estudios de doctorado realicé una estancia de cuatro meses en la Universidad Louis Pasteur en Estrasburgo, Francia, en el laboratorio de Physique des Solides et Electrochimie. En los años 70, uno de los temas de vanguardia era la fotoelectroquímica, debido a los trabajos reportados por Fujishima y Honda sobre la fotoelectrólisis del agua. Mis tesis de licenciatura, maestría y doctorado estuvieron enfocadas a la fotoelectroquímica de los semiconductores y la conversión de energía luminosa a eléctrica. Debido a los problemas de inestabilidad en medio acuoso de los materiales semiconductores con banda prohibida menor que 2 eV, decidí ya no continuar en esa dirección. Realicé una estancia posdoctoral en la Universidad de Paris VI, trabajando con los doctores H. Cachet y G. Morin en la fotoelectroquímica de materiales electrodepositados. En la estancia de un año en el Instituto Hahn-Meitner en Berlín, trabajando con el doctor Alonso Vante, en el grupo del profesor Helmut Tributsch inicié trabajos sobre electrocatálisis con calcogenuros metálicos y bimetálicos que pudieran ser candidatos a ser utilizados como cátodos en celdas de combustible. Es a partir de 2001 que inicié con esa línea de investigación en México y que mantengo hasta la fecha.

Electrocatalisis y celdas de combustible

La línea de investigación que inicié en el Departamento de Química del CINVESTAV ha estado vinculada a la síntesis y caracterización física de materiales nanoestructurados para ser utilizados en celdas de combustible con membrana polimérica. La inquietud surgió por aprovechar las nuevas fuentes de energía para electrolizar el agua y producir hidrógeno. Durante el desarrollo de mi tesis de maestría, surgió como una moda de la electroquímica continuar con los trabajos reportados sobre la foto-electrólisis del agua en 1972, proyecto en que me involucré para intentar foto-electrolizar el agua con el material semiconductor p-CdTe. Los resultados obtenidos no fueron nada prometedores debido a la foto-corrosión e inestabilidad que este material presenta en medio acuoso. Mis trabajos en fotoelectroquímica para la electrólisis del agua continuaron con materiales de p-CuInSe₂ electrodepositados sobre diferentes sustratos conductores, pero por la misma inestabilidad del material y la difícil cuantificación del hidrógeno producido, decidí cambiar de ruta y dedicarme a la electrocatálisis de la reacción de reducción de oxígeno en medio ácido.

La electrocatálisis ha sido considerada como uno de los tópicos electroquímicos de gran interés, especialmente porque se encuentra ligada al desarrollo de nuevos materiales para dispositivos en la conversión de energía. Los cátodos con transferencia de carga multielectrónica son de los más demandados debido a su uso como electrodos en los diferentes tipos de celdas de combustible y en baterías de metal-aire. Como cátodos, la reacción de reducción de oxígeno es la reacción de mayor importancia en una celda de combustible, por presentar

una cinética lenta que conduce a un alto sobrepotencial para esa reacción, asociado con el hecho que el enlace O-O del oxígeno requiere de una alta energía para ser disociado, lo que lo hace por lo menos tres órdenes de magnitud más lenta que la reacción de oxidación de hidrógeno. Por lo tanto, uno de los retos en la ciencia de los materiales es sintetizar y producir en forma masiva materiales con alto desempeño para la reacción catódica en una celda de combustible. En esa dirección los electrocatalizadores comúnmente empleados son a base de platino nanoparticulado, aleaciones nanométricas de platino o metales nobles con metales de transición, además de diversos materiales organometálicos. Los estudios que hemos realizado en mi grupo de investigación se han enfocado a sintetizar materiales para reducir el alto sobrepotencial para la reacción mencionada y vencer la inherente cinética lenta la cual resulta determinante en el proceso global de una celda de combustible. En esa dirección nos dedicamos a la preparación de materiales catalizadores de tamaño nanométrico soportados y no soportados, a partir de la descarbonilación de cúmulos metálicos; a la reducción de iones metálicos con NaBH_4 , y más recientemente la síntesis asistida con sonoquímica. La caracterización física y electroquímica ha sido el soporte de nuestros trabajos de investigación en donde la metodología de síntesis seguida nos ha permitido formar materiales con elevada actividad catalítica. De los estudios cinéticos determinamos las constantes de velocidad de reacción de los intermediarios involucrados para finalmente establecer una reacción electroquímica global. Los materiales con buen desempeño y estabilidad química han sido utilizados para la preparación de los ensambles membrana-electrodo, que es el corazón de una celda de combustible.

Las celdas de combustible con membrana polimérica han sido una de las aplicaciones de los materiales electrocatalíticos y se ha mantenido como tema de investigación en nuestro grupo de trabajo.

Desarrollo de prototipos

Con el fin de dar a conocer el aprovechamiento de las energías renovables iniciamos trabajos de integración de un prototipo solar-hidrógeno-celda de combustible. Colegas del Departamento de Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV nos obsequiaron módulos fotovoltaicos pequeños de silicio policristalino y silicio amorfo. En nuestro grupo de energética electroquímica diseñamos, construimos y caracterizamos un electrolizador con un ensamble membrana-electrodo conteniendo óxido de rutenio e iridio como ánodo y platino como cátodo, ambos adheridos en una membrana Nafion 117 de conducción protónica. La celda de combustible fue construida con un ensamble membrana-electrodo conteniendo platino como catalizadores y membrana Nafion 117 como medio de conducción protónica. La integración de este sistema nos permitió energizar un motor eléctrico de 5 watts y este prototipo ha sido la base para mostrar a la sociedad la difusión del aprovechamiento de las energías renovables y la utilización de una energía limpia, amigable con el medio ambiente. Con

la experiencia adquirida asesoramos a los estudiantes Rafael González, Jonathan Fonseca y Pablo Zúñiga de la Preparatoria Coyoacán, quienes con el proyecto: "Diseño y fabricación de una celda de combustible y electrolizador tipo PEM", obtuvieron el primer lugar en Expociencias metropolitanas 2007 y segundo lugar en 15th International Environmental Project Olympiad (15th INEPO), celebrada en Estambul, Turquía, en el mismo año.

Con mi estudiante de doctorado Karina Suárez Alcántara, el grupo de energética electroquímica participó en diferentes eventos nacionales, siendo ganadora del primer lugar en el área I: Ciencias Exactas categoría "AAA" del Certamen Nacional Juvenil de Ciencia y Tecnología 2006 con el proyecto: "Síntesis, caracterización y utilización del electrocatalizador $\text{Ru}_x\text{Cr}_y\text{Se}_z$ como cátodo en una celda de combustible PEM". Evento organizado por el Instituto Mexicano de la Juventud y el Instituto de la Juventud Veracruzana. En el año 2007, la estudiante de doctorado Karina Suárez Alcántara, obtuvo el primer lugar en Certamen Nacional Juvenil de Ciencia y Tecnología, en el área de Medio Ambiente, con el proyecto: "Diseño y construcción de un go-kart híbrido celda de combustible H_2/O_2 , batería recargable". Este prototipo fue exhibido en la plaza Santo Domingo, en el evento Ciencia en las Calles, organizado por el Instituto de Ciencia y Tecnología del D.F. Debido a su trabajo de investigación en electrocatalisis y celdas de combustible, Karina Suárez Alcántara fue merecedora de otros reconocimientos como el ser considerado su trabajo de tesis, como la mejor tesis de doctorado en electroquímica, otorgado por la Sociedad Mexicana de Electroquímica (2008); la mejor tesis de doctorado a nivel nacional en Ciencias Químicas de 2008, otorgado por la Sociedad Química de México y el premio Arturo Rosenblueth a mejor tesis de doctorado en Ciencias Exactas otorgado por el CINVESTAV.



Foto 1. Grupo de energética electroquímica del Cinvestav en el año de 1980. Parados de izquierda a derecha Gerard Poillerat, Yunny Meas, Emiliano Guzmán, Patricia García, Cecilia Montero, Elsa Arce y Carlos Contreras. Enfrente Omar Solorza, Joel Ruiz y Ulises Morales.



Foto 2. Prototipo Go-kart híbrido con hidrógeno/oxígeno del aire y celdas de combustible, diseñado y construido por la estudiante de doctorado Karina Suárez Alcántara en 2007, para difundir el uso de la electrocatálisis en la energética electroquímica.



Foto 3. Tecnología del hidrógeno y celdas de combustible en una bicicleta monoplaza, *Nayaa*, construida por el grupo de energética electroquímica del Cinvestav y avalado por Mario Molina, premio Nobel de Química 1995.

Nuevos diseños de celdas de combustible y sus aplicaciones han sido descritos anteriormente en dispositivos de baja potencia. Un nuevo prototipo de transporte monoplaza con celdas de combustible hidrógeno/oxígeno fue desarrollado recientemente y lleva por nombre *Nayaa*, que en zapoteco quiere decir limpio. Este prototipo es una bicicleta monoplaza el cual funciona con una celda de combustible de 100 watts para energizar los equipos electrónicos y una celda de 150 watts para proporcionar la energía eléctrica y la potencia para un motor de 100 watts. Este monoplaza es único, fue diseñado y construido en nuestras instalaciones con una estructura de aluminio, funcionando con hidrógeno de alta pureza obtenido de la electrólisis del agua y almacenado a la presión de 4 atmósferas en 4 recipientes de plástico, para un volumen total de 12 litros. La autonomía del *Nayaa* es de 15 min aprox., funcionando a una velocidad promedio de 13 km/h. Este monoplaza ha sido ya manejado por

diferentes personalidades entre los que se encuentran el Dr. Eusebio Juaristi, presidente actual de la Sociedad Química de México y el doctor Mario Molina, premio Nobel de Química 1995.

Nuestro grupo de investigación en energética electroquímica es multidisciplinario en la que participan químicos e ingenieros de diferentes disciplinas. Buscamos la forma de construir nuestros prototipos partiendo de la síntesis y caracterización de materiales nanoestructurados, estables y con actividad catalítica. Durante más de 15 años hemos trabajado en la electrocatálisis para la reducción de oxígeno con nuevos materiales que pudieran ser considerados como candidatos a ser usados en prototipos con celdas de combustible. Mayores detalles de lo que hemos escrito sobre la tecnología del hidrógeno y celdas de combustible se pueden encontrar consultando la página de la Red Latinoamericana de Química: <http://www.relaq.mx/RLQ/tutoriales.html>