

DISCURSO DEL DR. BENJAMÍN SCHARIFKER EN SU INCORPORACIÓN COMO INDIVIDUO DE NÚMERO DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS FÍSICAS, MATEMÁTICAS Y NATURALES

Señor Presidente y demás miembros de la
Junta Directiva de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales
Señores Presidentes de las demás Academias
Señores Académicos
Invitados especiales
Señoras y señores

Es un gran honor poder estar aquí junto a ustedes en este hermoso salón en la oportunidad de incorporarme formalmente como individuo de número de esta Corporación. Poder acompañar a los insignes científicos que la integran y han formado parte de ella desde su fundación es una distinción que agradezco profundamente y al mismo tiempo una responsabilidad que espero tener la capacidad de corresponder.

Me referiré en primer lugar a quienes han ocupado el Sillón XIV de esta Academia. Su primer titular fue el Ingeniero Ernesto León, designado en 1933 Individuo de Número de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, de la cual fue Tesorero, Bibliotecario y Presidente. Ernesto León se destacó en varios campos de la ingeniería y sobre todo por su ejecutoria en varias importantes obras hidráulicas y sanitarias. Presidió la comisión oficial que recomendó la creación del Instituto Nacional de Obras Sanitarias en 1943, cuya implantación significó una contribución fundamental al progreso de la salud de la población venezolana durante varias décadas subsiguientes. Fue profesor en las universidades Central de Venezuela y de Los Andes y autor de varios trabajos científicos y técnicos significativos, entre los que destacan los métodos que diseñó para el cálculo de instalaciones sanitarias, que alcanzaron gran acep-

tación debido a su utilidad y simplicidad. Falleció en mayo de 1958 siendo Presidente de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales.

Tras el Ingeniero León, correspondió al Dr. Víctor Sardi Socorro ocupar el Sillón XIV de la Academia. El Dr. Sardi fue un destacado ingeniero hidráulico que a lo largo de su dilatada y productiva carrera realizó importantes contribuciones al desarrollo de Venezuela. Nacido en Caracas en 1911, obtuvo el título de Doctor en Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad Central de Venezuela en 1936. Siendo aun estudiante trabajó en la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, bajo la jefatura del insigne maestro el ingeniero Ernesto León, donde colaboró en importantes proyectos de acueductos en Caracas y Maracaibo. Después de graduado prestó servicios durante varios años en el Ministerio de Fomento y regresó luego al Ministerio de Obras Públicas donde llegó a ocupar la posición de Director de Edificios e Instalaciones Industriales. En 1947 se trasladó a Argentina donde siguió cursos de especialización en Hidráulica e Hidráulica Fluvial en la Universidad de La Plata. A su regreso en 1949 fue nombrado profesor de Resistencia de Materiales en la Universidad Central de Venezuela y se involucró además con los proyectos de las nota-

bles obras de renovación urbana del centro de Caracas ocurridas a mediados del Siglo XX. Luego fue director de varias empresas desde las cuales desarrolló importantes proyectos de ingeniería hidráulica y estructural, entre los cuales se destacan los embalses de Camatagua y El Guamo, las estructuras del Círculo Militar y los Bloques del 23 de Enero, así como la canalización de varios ríos y quebradas. Instaló en su empresa el Laboratorio Sardimar, desde donde avanzó sus investigaciones sobre hidráulica e hidráulica fluvial. A partir de 1959 dirigió diversas investigaciones en la cátedra de Hidráulica de la Universidad Católica Andrés Bello, donde inició en 1962 los cursos de Hidráulica Fluvial. Entre 1975 y 1999 dictó cursos de Hidráulica Fluvial y materias conexas en la Universidad Central de Venezuela. Publicó varios libros y numerosos artículos en revistas de nuestro país, en 1960 recibió el Premio de la Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela. En su libro "El método de Cross de la distribución de los momentos", publicado en 1962, ofreció una exposición completa, clara y didáctica de ese método para el cálculo de estructuras.

El Dr. Sardi Socorro fue elegido Miembro Correspondiente Nacional de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales en 1960 y se incorporó como Individuo de Número el 19 de julio de 1963, luego de haber presentado el trabajo titulado "Contribución al estudio de las frecuencias de crecientes máximas en los ríos del norte de Venezuela", en el que analizó las crecientes de 43 ríos para los que se disponía de registros de 10 o más años y diseñó métodos para estimar con bastante aproximación las crecientes máximas para períodos de 25 o 50 años, de gran utilidad para el estudio de obras de ingeniería en esos ríos. El Dr. Víctor Sardi Socorro se desempeñó como presidente de esta Corporación entre 1987 y 1989; ese último año fue electo Miembro Correspondiente de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la República Argentina, y en 1990 fue elegido Presidente de la Federación Latinoamericana de Academias de Ciencias. En una de sus últimas

contribuciones, escrita en el año 2000 bajo el título "Inundaciones del Litoral Central de Venezuela – Escala de magnitudes", analizó los principales daños de las inundaciones producidas por eventos hidrometeorológicos. Como no bastaba para su comparación apreciar la cantidad de lluvia caída o su intensidad, presentó en ese trabajo una clasificación, de tipo subjetiva, de los diferentes grados de magnitud de los respectivos eventos, basada en la estimación de los daños causados, habida cuenta de la intensidad del fenómeno hidrometeorológico, del número, tamaño y naturaleza de estos daños, y de la estimación del tiempo necesario para la reparación de los mismos hasta reponer el escenario original. Aplicó esta metodología a trece inundaciones de que hay noticia en la zona del Litoral Central de Venezuela, dos a fines del Siglo XVIII y once en el Siglo XX, y estableció de esta forma para este tipo de sucesos una escala equivalente a la de Mercalli en sismología. El Dr. Sardi falleció en Caracas el 19 de noviembre de 2001.

El estudio de la electroquímica comenzó luego que Luigi Galvani reportara, en 1791, que podía inducir movimiento en músculos tocándolos con metales. Sujetando patas de ranas con pinzas de hierro y poniéndolas luego en contacto con piezas hechas de otros metales, Galvani observó que la intensidad de la respuesta muscular dependía de la naturaleza del metal. Poco después, en 1796, Alessandro Volta demostró la generación de electricidad con placas de plata y cinc intercaladas con papel absorbente impregnado con solución salina. Esa fue la primera batería primaria para la producción de electricidad. Hoy la serie galvánica clasifica las reacciones electroquímicas de acuerdo a sus fuerzas electromotrices o potenciales, expresados en voltios. En 1839 Michael Faraday formuló las leyes de la estequiometría electroquímica, las cuales resultan de la aplicación de la ley de las proporciones definidas que rigen los cambios químicos y las leyes de conservación de la materia y la energía.

Las leyes de Faraday establecieron que la carga eléctrica de un mol de electrones, 96485 coulombios, es una cantidad fundamental, conocida como un faraday de electricidad. Josiah Willard Gibbs definió en 1875 las relaciones entre las afinidades químicas de los reactivos de una celda y el voltaje al cual opera, y luego en 1889 Walther Hermann Nernst formuló la relación entre esta afinidad y el potencial de la celda electroquímica. La relación de Nernst resultó tan exitosa para la descripción de la situación de equilibrio, que durante la primera mitad del Siglo XX se prestó muy poca atención a la descripción de procesos fuera del equilibrio y a las reacciones electroquímicas que no fueran totalmente reversibles; la electroquímica se concentró durante esos años primordialmente en el estudio de las propiedades y reacciones de los iones en solución. Durante la segunda mitad del Siglo XX la atención se desplazó hacia las interfases electrificadas, con énfasis en el estudio de la transferencia de cargas entre fases. Impulsada por la búsqueda de soluciones a problemas tan importantes como la estabilidad de metales en ambientes húmedos, la producción de sustancias o su extracción y separación de mezclas y soluciones, el desarrollo de nuevos materiales, el suministro de potencia eléctrica para vehículos y dispositivos, o la conversión eficiente y limpia de energía en celdas de combustibles, la electroquímica se ha desarrollado como un campo interdisciplinario, constituyendo la base de una industria que produce cientos de miles de millones de dólares al año. Los trabajos de Volmer, Grahame, Frumkin, Bockris, Parsons, Trasatti, Fleischmann, y muchos otros durante el Siglo XX, convirtieron a la estructura de las interfases y la velocidad de los procesos que ocurren en ellas, influidas por el potencial eléctrico, en el centro de atención de la electroquímica actual.

El estudio de la electroquímica interfacial surge en Venezuela a principios de la década de mil novecientos setenta en la Universidad de Los Andes y en la para ese entonces recién fundada Universidad Simón Bolívar. En esta última fue

Eugenio García Pastoriza quien inició los estudios en esta área en el Departamento de Química. Interesado en el desarrollo de recubrimientos para la protección de metales contra la corrosión, comenzó a investigar la cinética de la reacción de reducción de oxígeno, la cual ocurre simultáneamente con la oxidación del metal durante el proceso de corrosión. Pronto este interés se extendió hacia otras reacciones de transferencia electrónica y para principios de los ochenta el grupo de electroquímica iniciado por García Pastoriza contaba ya con cuatro profesores adscritos al Departamento de Química, cada uno de ellos supervisando la labor de dos o tres alumnos, en investigaciones sobre los mecanismos de la electrocatálisis, la conversión electroquímica de energía y la formación de adsorbatos y depósitos sobre la superficie de los electrodos. Fue ésta la línea de trabajo de la que me ocupé inicialmente, desarrollando métodos para el estudio de la formación electroquímica de fases y aplicándolos a una variedad de sistemas, incluyendo la electrodeposición de metales, semiconductores y materiales orgánicos. Esta es una línea de investigación fundamental que hemos mantenido activa en el laboratorio a lo largo de los años, razón por la cual la elegimos como tema para nuestro trabajo de incorporación como individuo de número a esta Academia, titulado "Estudios sobre la formación electroquímica de fases".

El conocimiento detallado de los mecanismos de formación de fases en sistemas electroquímicos tiene interés práctico para aplicaciones tales como galvanoplastia, electrocatálisis, electro-metalurgia, microelectrónica y, más recientemente, para la producción de nanoestructuras y materiales dispersos, destinados por ejemplo al diseño y fabricación de sensores y sistemas electrocatalíticos altamente específicos. Las condiciones experimentales bajo las cuales se llevan a cabo los procesos de electrodeposición tienen efectos importantes sobre la morfología y propiedades de los depósitos obtenidos; éstas incluyen la composición y estado cristalino de la superficie que sirve de sustrato para la electrodeposición, la

temperatura, la naturaleza y concentración de las especies electroactivas, la composición del baño electrolítico, la densidad de corriente y el potencial eléctrico. La necesidad de desarrollar fuentes de energía eficientes y de bajo impacto ambiental ha incentivado el estudio de las propiedades catalíticas de micro y nano agregados metálicos, dispersos bien sea sobre superficies bidimensionales de metales u otros tipos de materiales conductores, o en estructuras tridimensionales, tales como matrices porosas, membranas poliméricas o polímeros conductores. A este campo hemos contribuido con estudios experimentales, con desarrollos en la descripción teórica de la cinética de formación de partículas y su crecimiento controlado por difusión, así como con modelos para explicar la distribución espacial de las partículas electrodepositadas sobre la superficie.

Los equilibrios químicos se caracterizan por mínimos de la energía libre de Gibbs y los cambios de fase contribuyen a la minimización de esta energía. Un vapor pasa a líquido a una determinada temperatura, por ejemplo, cuando la energía de las moléculas en el sistema condensado es menor que la energía de esas mismas moléculas en fase gaseosa. Pero la formación de una fase a partir de otra genera una superficie en el límite de separación entre ambas, y dado que la energía superficial es necesariamente positiva, entonces la formación de una fase implica un aumento inicial de la energía, mientras el germen de la fase nueva alcanza un tamaño lo suficientemente grande como para garantizar su estabilidad. La contribución de la superficie a la energía total puede llegar a ser tan grande como para impedir por completo la formación de la fase nueva. Sistemas en este estado están en un equilibrio meta-estable y pueden subsistir en esa condición por largos períodos de tiempo. Los vapores sobresaturados o los líquidos sobreenfriados, por ejemplo, se hallan en equilibrio meta-estable y algunos de ellos, como los vidrios, se mantienen fuera del equilibrio, en ese estado líquido de viscosidad suprema, indefinidamente. El nacimiento de una fase requiere por lo tanto

atravesar amplias regiones de meta-estabilidad y franquear barreras energéticas que pueden ser muy elevadas. Cabe entonces preguntarse cómo surgen los gérmenes que garantizan la eventual estabilidad de la fase en formación. La teoría de nucleación surge en búsqueda de respuestas para esta pregunta; su postulado fundamental es que la formación de estos gérmenes estables ocurre como producto de fluctuaciones térmicas y que el nacimiento de una fase está marcado por eventos muy poco frecuentes en los que participan en forma casi concertada varias moléculas. Dadas las condiciones que impulsan la transformación de fases y una vez atravesada la barrera de la meta-estabilidad, los núcleos de la fase nueva crecen en forma irreversible, viabilizando la transformación y garantizando la estabilidad de la fase. La velocidad de la transformación depende entonces de la frecuencia de aparición de los núcleos, vale decir, de la velocidad de nucleación, y de la velocidad a la que crecen estos núcleos. Los procesos de formación de fases ocurren frecuentemente como consecuencia de transformaciones químicas y si los cambios son producto de procesos electroquímicos es necesario considerar entonces la velocidad de la transferencia de carga. En muchos casos de reacciones electroquímicas de formación de fases los pasos de transformaciones químicas y transferencia de carga son rápidos, por lo que las velocidades de crecimiento de los núcleos maduros quedan limitadas por el transporte de iones electrodepositantes desde el seno de la fase madre hacia los centros de crecimiento de la fase nueva.

Describir la cinética de la formación electroquímica de fases con crecimiento de núcleos controlado por difusión involucra establecer por un lado la velocidad de nucleación y por el otro la velocidad de crecimiento de los núcleos. Esta es una tarea relativamente fácil cuando el número de núcleos y su tamaño son lo suficientemente reducidos como para que su crecimiento ocurra en forma mutuamente independiente, pero la descripción general requiere considerar estas interacciones. Inicialmente los núcleos nacen

aleatoriamente sobre la superficie del electrodo y crecen en forma mutuamente independiente a una velocidad controlada por la difusión (hemi) esférica a los núcleos aislados. Pero después de algún tiempo los campos difusionales alrededor de cada núcleo interactúan, hasta que eventualmente el crecimiento del depósito queda controlado por la difusión lineal desde el seno de la solución hacia la superficie plana del electrodo. Este es un problema de muchos cuerpos que presenta algunas dificultades. A diferencia de otros tratamientos del problema por medio de aproximaciones de campo medio o cálculos mecánico estadísticos, en nuestra consideración teórica aplicamos conceptos de estadística espacial para tomar cuenta del solapamiento de los campos difusionales tridimensionales, proyectándolos sobre el plano del electrodo en la forma de zonas de difusión circulares. Pudimos así desarrollar una teoría para describir la corriente eléctrica transitoria resultante del cambio de potencial que induce la transformación, lo cual permite determinar, a partir de datos experimentales, las velocidades de nucleación y la densidad numérica de los sitios en la superficie donde ocurre la transformación. Estos conceptos han sido aplicados en la Universidad Simón Bolívar y en otros laboratorios al estudio de numerosos procesos de formación electroquímica de fases, incluyendo la electrodeposición de metales y otros materiales conductores y semiconductores, así como productos orgánicos, sobre una variedad de sustratos. La variación de las velocidades de nucleación con el potencial eléctrico provee información sobre la dinámica y la energética de los procesos moleculares que conducen a la formación de los núcleos críticos. De estas ideas también surgen descripciones de las estructuras espaciales formadas durante los procesos de electrodeposición, de interés para aplicaciones en electrocatálisis o microelectrónica.

Hemos adelantado también otras líneas de trabajo. Una de ellas tiene que ver con ultramicroelectrodos, tema dentro del cual nos ha interesado describir el transporte de materia a arreglos de microdiscos y aplicar los micro-

electrodos al estudio de reacciones electrónicas de interés para la conversión de energía en celdas de combustible. Un tema al que hemos dedicado esfuerzos en el laboratorio de electroquímica de la Universidad Simón Bolívar es al de los polímeros conductores. Estos son materiales que presentan conductividad electrónica y que han venido desarrollándose rápidamente durante el último cuarto de siglo. Una de las características más interesantes de estos materiales es que sus propiedades eléctricas y ópticas dependen del estado de oxidación, el cual es fácilmente controlable con el potencial, por lo que los polímeros conductores despiertan interés para diversas aplicaciones tecnológicas. A este campo hemos contribuido con estudios dirigidos hacia la elucidación del mecanismo de formación y crecimiento de películas finas de estos materiales, así como con estudios de la energética y mecanismos de generación de portadores de carga. Este fue el tema de nuestro trabajo de ingreso como miembro correspondiente a esta Corporación, "Estudios sobre la obtención de películas finas de polipirrol y su transición aislante-conductor", presentado en 1999.

El desarrollo industrial y urbano se ha venido nutriendo de la explotación intensiva de los recursos naturales demandando cantidades crecientes de energía, con severas consecuencias ambientales entre las que se encuentra el calentamiento de la Tierra debido a la acumulación de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera. La forma habitual de liberar la energía contenida en un combustible es la de quemarlo para producir calor y CO_2 , el calor provoca un cambio de temperatura que sirve para producir trabajo; los motores de combustión interna convierten de esta forma calor en trabajo con eficiencias que por lo general son menores al 30%. Una forma más eficiente de obtener la energía es generando directamente corriente eléctrica en celdas de combustible mediante reacciones electroquímicas, con eficiencias prácticas usualmente superiores al 50%. Realizando la conversión sin ignición se evita, además, que el nitrógeno del aire intervenga en el proceso, por lo que las celdas de

combustible no producen los óxidos de nitrógeno que son parte importante de la contaminación atmosférica urbana. A la conversión electroquímica de energía hemos dedicado esfuerzos durante varios períodos, primero encauzados hacia procesos interfaciales y reducción de oxígeno en celdas de ácido fosfórico donde el combustible es hidrógeno, una tecnología ya relativamente madura, luego a la oxidación del metano y otros compuestos de un carbono y más adelante a celdas de combustible de estado sólido para la conversión directa de hidrocarburos. La motivación principal de estas investigaciones es, como ya dijimos, el menor impacto ambiental de las celdas de combustible en comparación con los métodos convencionales de conversión de energía, y nuevas líneas de investigación relacionadas con el tema ambiental han surgido recientemente en el laboratorio de electroquímica de la Universidad Simón Bolívar, muy hábilmente dirigidas por los doctores Jorge Mostany y Carlos Borrás, orientadas hacia la extracción de contaminantes de combustibles fósiles por electrólisis en sistemas microheterogéneos y la purificación de aguas por mineralización electroquímica de los compuestos orgánicos contenidos en ellas.

Nuestra labor cuenta con apoyos muy importantes. En primer lugar el de la familia, que en todo momento ha sido fundamental. Mis padres me ofrecieron sólidos principios y valores morales que han servido de orientación en las diversas tareas que hemos acometido. De mi madre obtuve además nociones muy precisas acerca del orden y la disciplina, y mi padre supo mostrarme cómo el buen uso de la razón y el conocimiento siempre llevan a construir soluciones y resolver situaciones. De la familia he recibido un legado de buenos ejemplos y modelos a seguir.

Muchos y muy buenos han sido mis maestros y no podré nombrarlos a todos. No puedo dejar de mencionar al Dr. Juan Lecuna, quien guió mi trabajo de grado en la Universidad Simón Bolívar,

ni a Sir Graham Hills, quien tuteló mis estudios doctorales en la Universidad de Southampton; ambos me expusieron con argumentos elegantes y profundos las intrincaciones y potencialidades de la fisicoquímica. Me beneficié también de estancias postdoctorales primero en el laboratorio de Laurence Peter, actualmente en la Universidad de Bath, con quien adquirí conocimientos sobre semiconductores y habilidades en técnicas experimentales avanzadas, y más tarde en el Hydrogen Research Center de la Universidad de Texas A&M, donde tuve la oportunidad de trabajar con John Bockris, uno de los protagonistas más notables de la electroquímica moderna, exponente y promotor de una amplia perspectiva de esta disciplina y de su papel para el desarrollo sostenible en el Siglo XXI.

Con la Universidad Simón Bolívar estoy particularmente en deuda. Las aptitudes y el compromiso de quienes conforman su comunidad universitaria la han convertido en una de las principales casas de estudio del país. Manteniéndose fiel a sus principios rectores, nos ha brindado las más amplias oportunidades para adquirir conocimientos y adelantar estudios. En su seno hemos podido integrarnos en un grupo de investigación dentro del cual hemos crecido junto a colegas y estudiantes. Más de medio centenar de personas han formado parte del grupo de electroquímica en los últimos treinta años y si bien me gustaría enumerar sus contribuciones, hacerlo aquí resultaría muy tedioso. Básteme con referirme tan sólo a los profesores que lo han integrado. Además de Eugenio García Pastoriza, formaron parte del grupo los doctores José Mozota y Paul Freund. Ambos contribuyeron a su conformación pero por diversas razones debieron abandonarlo prematuramente. Jorge Mostany ingresó al grupo primero como estudiante y más adelante como profesor después de obtener su doctorado; su labor ha sido en todo momento fundamental, actualmente es Jefe del Departamento de Química de la USB y sus contribuciones científicas están ampliamente reseñadas en la literatura. Más recientemente, proviniendo de la mayor de las antillas y entrando

ya en el Siglo XXI, llegó el Dr. Carlos Borrás quien dirige en este momento una muy vigorosa línea de investigación dentro del grupo. Mención muy especial merece el Licenciado Michele Milo, quien como gerente ha sostenido el funcionamiento del laboratorio casi desde sus inicios, sorteando todo tipo de dificultades para administrar los recursos, mantener los equipos y proveer los insumos requeridos por los proyectos en el momento apropiado. Muchos de quienes como alumnos iniciaron o completaron su formación en el grupo eligieron dedicar sus carreras a la electroquímica y la siguen cultivando en diversas instituciones de Venezuela y otras regiones, incluyendo Norteamérica, el Caribe y Europa. Dentro de la Universidad hemos colaborado con estudiantes de varias carreras y colegas de química y otros departamentos, incluyendo electrónica, física, materiales, procesos y sistemas. Hemos disfrutado también de frecuentes y fruc-

tíferas colaboraciones con colegas en las universidades Central de Venezuela y Los Andes, así como en la Universidad Autónoma Metropolitana de México. Agradezco también el apoyo del desaparecido Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas y de Intevep, y más recientemente de Fonacit, por el financiamiento de buena parte de nuestras investigaciones.

Quisiera por último referirme a la comprensión y apoyo incondicional de Ana María, que es fuente perenne de sostén, estabilidad y sosiego. También a la alegría, optimismo e inspiración de Julieta, Diego y Alex, que son nuestro orgullo y dan sentido y plenitud a nuestra vida.

Señores académicos, les estoy muy agradecido por su confianza al haberme elegido Individuo de Número de esta Corporación.