

Galvanizando el aprendizaje de la electroquímica en tiempos corrosivos

Inés Castro Sayago, José Luis Aguilar Charfen, José Pablo Abdel Musik Rodríguez, Jimena Turnbull Agraz y Maite Regina Herrera Loya Herrera

Abstract

El distanciamiento social debido al virus SARS CoV-2 reta profundamente el trabajo educacional. Este escrito describe la exitosa adaptación a estas circunstancias con base en las experiencias y aprendizajes obtenidos por los alumnos en el curso Electroquímica y Corrosión impartido en la Universidad Iberoamericana para semestres avanzados de Ingeniería Química por el Dr. Jorge Ibáñez, quien a partir de la elaboración de un temario relevante y un kit experimental, acompañó a los alumnos a vivir la electroquímica de manera memorable tanto de forma teórica como práctica - con experimentos basados en los principios de la microescala-. Indudablemente este curso deja experiencias realmente enriquecedoras y motivantes que impactan positivamente en la formación de los alumnos.

Tiempos corrosivos para el aprendizaje... y el tratamiento adecuado

Sin duda alguna, la pandemia por el virus SARS-CoV-2 puso en jaque de un día a otro a todos los sistemas sociales y económicos a un nivel generalizado sin precedentes. Los retos sociales y económicos derivados del imperioso aislamiento para evitar contagios y tragedias no tardaron más de unas cuantas semanas en surgir después del anuncio de este nuevo virus. Al inicio, la incertidumbre reinaba en todos los ámbitos productivos de México mientras en las noticias se escuchaba como el Coronavirus iba poco a poco ganando terreno.

Llegó el fin de semana largo del 16 de marzo, que la mayoría de los alumnos utilizamos para ponernos al corriente con tareas, reportes de laboratorio y otros pendientes nunca ausentes en la vida universitaria. Quedaron experimentos inconclusos, revisiones de exámenes pendientes y tareas engrapadas y listas para entregarse a nuestro regreso... jamás imaginamos que el regreso sería hasta un año después [y contando]. Sin duda mientras que los economistas intentaban comprender los impactos que tendría la suspensión de todas las actividades productivas, los docentes se veían martirizados por la pregunta que nada tiene de banal ¿y ahora qué sigue? Parecería que todo se detuvo pero la responsabilidad entre docentes de formar profesionales capaces y competentes en un país que tanto lo necesita jamás se detendría.

¿Cómo migrar en tiempo real de un modelo educativo presencial, apoyado por una infraestructura robusta como es el campus, a un modelo que depende de tu cámara y de aquella cajita que hoy vale nuestra vida entera, el modem de internet? Preguntas tan sencillas como ¿Cómo se evaluará para asegurar que el alumnado está aprendiendo y no aprovechando las artimañas de la tecnología?

¿Cómo contestar preguntas o mostrar el pizarrón? Y por supuesto, entre el profesorado de carreras donde el componente práctico es esencial como las ingenierías o las ciencias duras surgía una pregunta particularmente retadora ¿se puede realmente incentivar el aprendizaje experimental desde casa?

Al inicio algunos optaron por simulaciones o evaluaciones a prácticas experimentales de alumnos de cursos anteriores... pero conforme el horizonte de la pandemia se volvía menos claro, estas estrategias comenzaron a quedar cortas.

El por qué resulta tan complicado impartir docencia en un contexto así de corrosivo es claro, los retos de la experiencia práctica por la falta de equipo e implicaciones en la seguridad de los alumnos son notorios, pero tampoco cabe duda que los momentos de crisis promueven la creatividad y la resiliencia. El curso de procesos electroquímicos y corrosión impartido para el alumnado de ingeniería química de la Universidad Iberoamericana es muestra palpable de dicho ingenio, demostrando cómo, con el correcto tratamiento el aprendizaje no se detiene, sino continua, y se preserva y puede convertirse en una experiencia memorable.

La impartición de este curso sin duda en pandemia o no tiene importantes retos al ser una ciencia tan amplia e integradora de materias fundamentales de la ingeniería aunado a su gran relevancia actual en el auge de la química y la ingeniería verde. Sin lugar a dudas, pensar en una clase teórica con dos horas de duración repleta de demostraciones de la ecuación de Nernst-Planck o de diagramas de Pourbaix y voltamperometrías cíclicas era impensable –al menos si dentro de los objetivos estuviera mantener la atención de más de la mitad del grupo. ¿La solución? Hacer una clase sumamente dinámica y diversa donde se alternara democráticamente la cátedra teórica–centrada en temas donde se incluyeron diferentes tipos de celdas, termodinámica de las reacciones electroquímicas, corrosión, recubrimientos, curvas de polarización, aplicaciones en baterías y energías renovables, o electroquímica ambiental– con experimentación tanto guiada como autodidacta. El kit por el cual debemos un enorme agradecimiento al Dr. Jorge Ibáñez Cornejo, autor intelectual de este inolvidable curso, fue, tal como los electrones en una reacción redox, lo que permitió que todo esto fuera posible.

La resiliencia en los modelos educativos durante tiempos de crisis

Los modelos educativos se han visto fuertemente retados durante los últimos meses de pandemia, mostrando grandes dificultades en transmitir conocimientos. En particular, los procedimientos experimentales han sufrido por la falta de equipo en casa, y dificultad de guiar a los alumnos. No cabe duda que una enorme parte del funcionamiento del modelo educativo actual es basado en la asistencia y la presencia del estudiante en un campus, en todos los niveles, y que la forma en que se piensan las clases, desde el tiempo dedicado para resolver ejercicios escritos o de convivencia entre alumnos, o la resolución de dudas y los aprendizajes prácticos tienen una naturaleza muy distinta in situ y a distancia; las dificultades aparecen por montones. Sin embargo, las dificultades promueven la creatividad y en el curso de procesos electroquímicos y corrosión, se mostró claramente el cómo una pandemia global no puede detener a la educación de alumnos universitarios.

Además de las herramientas de reuniones virtuales, se entregó un paquete con varios materiales de bajo costo y gran variedad, del cual se hablará más a fondo en la sección de experimentación. Las sesiones teóricas incluían secciones de discusión para que los alumnos interactuaran, y la clase buscaba también involucrar a los alumnos a que fueran quienes propusieran experimentos, temas y demás, promoviendo el interés y la naturaleza dinámica; dos de las elusivas características de los cursos presenciales, que pueden resultar difíciles de emular en línea.

Electroquímica para ingenieros químicos ¿Qué temas abordar?

Como se mencionó anteriormente impartir un curso de electroquímica y corrosión tiene sus retos por sí mismo. La elección de los temas y las prácticas experimentales puede definir el éxito de la misma, sobre todo en un curso que demanda actualidad y relevancia. La introducción de esta área de la ciencia que pueden llegar a ser factores determinantes en la sustentabilidad de los procesos de transformación de la industria química. En un curso de esta índole, con una duración de 17 semanas sería sumamente ambicioso pensar en abordar una fracción del mar de conocimiento, de desarrollo e investigación en electroquímica. Pero, como en cualquier otro curso, el objetivo debe ser proveer al alumnado del conocimiento suficiente como para despertar su curiosidad y las herramientas para comprender la investigación a la que nos lleve dicho interés. Con la electroquímica, no es difícil despertarlo, sobre todo si se aborda el temario centrado en las aplicaciones prácticas del conocimiento. Existe además un reto importante, atribuible a los años de educación preparatoria y a las mismas químicas introductorias de licenciatura: permitir que el alumnado, al pensar en electroquímica, imagine más que una celda de Daniell o una batería y más bien, vea en ella una nueva alternativa para el diseño de procesos y una ciencia presente en gran parte de nuestra vida cotidiana.

Con esto en mente, el temario fue abordado sin excepción alguna: se habló de la electrólisis del agua para la creación de celdas de hidrógeno para la generación de energía, de síntesis sumamente relevantes como la del nylon o la evolución del proceso industrial de producción del cloro gaseoso o incluso sobre una alternativa

de nitraciones ¡sin usar ácido nítrico! Se habló también sobre electrorecuperación de metales que sin duda es una alternativa para la cantidad de desechos electrónicos que no podemos ignorar, o bajo la misma línea medioambiental, sobre la conversión electroquímica de CO_2 para la producción de alcoholes. No faltaron los ejemplos sobre las ventajas de los recubrimientos por métodos electroquímicos para la protección de materiales o como alternativa para la generación de camas catalíticas. Se habló incluso de aquello que inundó las noticias al inicio de la pandemia: el dióxido de cloro, su producción y cómo puede explicarse esta polémica. Se hizo un importante énfasis en las ventajas de la electroquímica como método de producción industrial por las altas selectividades y nobles condiciones de reacción que permiten, y las posibilidades de automatización que presenta trabajar con corrientes eléctricas.

Con esta diversidad de temas el curso sin duda alguna es uno de los más integradores de la carrera, poniendo a prueba nuestra comprensión y memoria en materias que van desde la química general, inorgánica, orgánica y analítica, la física y la eléctrica, la termodinámica, el equilibrio químico, los fenómenos de transporte e indudablemente las habilidades experimentales adquiridas en los laboratorios de química, física e ingeniería.

Experimentando en casa ¿Cómo llevar la teoría a la práctica?

La teoría de la electroquímica, aunque sumamente interesante, puede ser complicada, ya que se utilizan materiales que en clases anteriores habíamos utilizado rara vez, como son los metales de transición. Dada la situación de los alumnos y el profesor nos enfrentamos a un reto. ¿Cómo llevar estos conocimientos aprendidos en un encierro a algo práctico? Teníamos muchas limitaciones, la más grande era la obtención de materiales ya que no disponíamos de instalaciones adecuadas, solo una mesa, una bata, guantes, goggles y un maravilloso kit que fue enviado por nuestro profesor, el cual constituía de material eléctrico, vidriería y laboratorio, material para electrodos, para transferencia de volumen, soluciones y reactivos. Entonces, se tuvo que encontrar un modelo que cumpliera con todos estos requerimientos: seguro, fácil obtención y enfocado en la electroquímica. De esa manera llegamos a nuestros *Experimentos Caseros De Electroquímica*. Para varios de los alumnos, fue muy emotivo tener nuestros primeros equipos de laboratorio que fueran propios, y no que le pertenecieran a la universidad: fue un primer paso de agencia y de que un profesor creyó en nuestra capacidad de seguir adelante con nuestro propio conocimiento.

Materiales del kit (en general) +80 artículos:

- *Instrumentos de medición*
- *Fuentes de poder*
- *Materiales de electrónica*
- *Equipo esencial de seguridad*
- *Materiales para electrodos*
- *Vidriería*
- *Dispositivos para transferencia de líquidos y gases*
- *Soluciones clave en goteros*
- *Pequeñas cantidades de reactivos sólidos no tóxicos ni peligrosos.*

Durante el curso se realizaron un total 25 experimentos, diseñados por Jorge Ibañez y con asterisco (*) los diseñados por estudiantes enlistados a continuación:

a) Mediciones y circuitos eléctricos

1. Medición de resistencias y su código
2. Principios y características de los LEDs
3. Manejo de las fuentes de poder (pila 9V y convertidor)
4. Medición de voltaje y corriente de circuitos en serie y en paralelo
5. Detección química y electroquímica de la polaridad de una fuente

b) Generación y almacenamiento de energía

6. Pila de Mg, Zn, Cu con limones en serie y en paralelo encendiendo un LED.
7. Simulación con COMSOL
8. Celda de combustible de H_2 y O_2 .
9. Triple estequiometría con una batería de Li.
10. Batería de plomo a partir de alambre eutéctico para soldar.
11. Batería de Mg y producción doble de PbO_2 , un excelente oxidante, para encender un LED. Simula el funcionamiento de una batería de coche en un vaso de 10 mL.

c) Electrólisis y electrosíntesis

12. Escritura electroquímica con cambios de pH (cúrcuma, extracto de jamaica), y cambios redox (yoduro de potasio/papel de Aluminio y moneda)*
13. Electrólisis del agua en una copa coctelera y medición de los gases producidos.



Figura 1. Configuración experimental para hidrólisis de agua en experimento casero.

14. Electrólisis solar de H_2O con LEDs, asistida por un campo magnético.*

15. Plateado de un metal con bismuto a partir de Pepto Bismol.*

16. Estañado a partir de alambre eutéctico para soldar.*

17. Electrosíntesis orgánica: preparación del yodoformo.

d) Electroquímica ambiental

19. Aprovechamiento de energía solar mediante una fotocelda casera.

20. Electrocoagulación de un colorante vegetal para la remoción de contaminantes.

e) Corrosión

21. Corrosión lenta y acelerada con ácido peroxiacético y NaCl*

22. Diagrama de Pourbaix del Cu: transiciones horizontales (pH) y verticales (E).

23. Electrorrefinación de metales: Formación de un fractal.



Figura 2. Fractales de cobre formados en un papel bañado en $CuSO_4$.

24. Grabado electroquímico de metales. Dibujo sobre aluminio y con óxido de cobre.*

25. Cobrizado: generación de $Cu(II)$ a partir de ácido peroxiacético*

Promoviendo la creatividad: diseños experimentales realizados por el alumnado

Durante el curso de Electroquímica y Corrosión realizamos un proyecto que consistió en diseñar un experimento de electroquímica en grupos de 2 a 3 alumnos. Esto implicó mucha investigación, puesto que se tenía que encontrar reacciones que se pudieran llevar a cabo con los materiales y reactivos del kit o que se encontraran fácilmente en el hogar. Debido a esto, el desarrollo de estos experimentos requirió de mucha creatividad. Posterior a la investigación, se hicieron muchas pruebas y observaciones para determinar los mejores métodos para llevar a cabo la reacción elegida, y las cantidades más adecuadas para realizar la reacción a microescala.

Después de la etapa de planeación, investigación y experimentación, cada equipo elaboró un trabajo y una presentación de diapositivas sobre la reacción que se escogió. Ambos se entregaron al profesor y el experimento se presentó y se realizó con el resto del grupo, después de haber explicado la teoría detrás y los pasos a seguir. Para promover el pensamiento en grupo y la interacción, las discusiones se hicieron verbales con todo el grupo. Sin duda la experimentación cambió totalmente la experiencia de aprendizaje en línea ya que permitió tener un entendimiento cabal de los conceptos teóricos; el pensamiento creativo fue una herramienta clave y realmente fue motivante y gratificante obtener resultados exitosos. Estas investigaciones sin duda impulsan y ayudan a que los alumnos tengan presente el potencial tan grande que existe en cada uno.

Lecciones

Sin duda, la crisis es una oportunidad y el Dr. Jorge Ibañez Cornejo supo aprovecharla de manera ejemplar, dando el tratamiento adecuado al aprendizaje práctico y teórico de la electroquímica y la corrosión. Así como galvaniza una pieza para que esta dure más, el conocimiento y competencias edificadas durante el curso, sin duda, se perpetuarán en nuestra memoria estudiantes e ingenieros químicos pero sobre todo como personas. Agradecemos enormemente al Dr. Jorge Ibañez Cornejo por este gran esfuerzo, por permitirnos, con su confianza en nuestras capacidades y el entusiasmo que se contagia, creer en nuestro potencial como futuros profesionistas y por introducirnos al mundo académico y de la investigación -pues nada se limitó a las fronteras del curso- permitiéndonos buscar la publicación de los experimentos diseñados.

Las redes sociales y las conversaciones familiares o entre amigos están repletas de “lecciones” que nos ha dejado la pandemia, pero poco se abordan las importantes enseñanzas que trajo para los modelos educativos. Por ello, a manera de cierre, a continuación, las tres lecciones que nos deja el aprendizaje *galvanizado* de la electroquímica en tiempos *corrosivos*:

1) Así como puede reducir el sobrepotencial necesario para una reacción catódica utilizando el electrodo correcto, se puede reducir el esfuerzo adicional que en ocasiones podría resultar antipedagógico necesario para el aprendizaje del alumnado utilizando los medios de transferencia correctos. Y ¿cómo decidir cuál es mejor y da mejores rendimientos eficientizando la energía? ¡Experimentando! Esto hace una llamado a los docentes a no temer a la creatividad en la impartición de sus cursos. En ocasiones, no se buscan cambiar las dinámicas pues se teme que ello vaya en sacrificio de parte del temario; sin embargo, muchos se sorprenderían al ver que el efecto puede ser contrario. Por ejemplo, esta creatividad no requiere de gran laboratorio, un kit con 60 materiales, ni inversiones enormes de tiempo, sino a veces podría depender solamente de una simple pregunta: ¿qué es lo que como docente te apasiona del curso y cómo te gustaría que te lo transmitieran?

2) La electroquímica viene a enseñarnos que, aquellos procesos de transformación que creíamos “optimizados” ó “verdes” aún tienen mucha área de mejora, reduciendo la energía necesaria para el calentamiento, los solventes,

los productos secundarios o incluso, acoplar procesos para obtener el producto deseado y sin necesidad de invertir más en energía o infraestructura. Como en la electroquímica, en el aprendizaje no debemos limitarnos al *producto deseado* que es “adquirir conceptos y competencias sobre la materia” sino encontrar las estrategias que maximicen la ganancia de la experiencia educativa así como se hizo en este curso.

3) Aprendamos de la corrosión. Heusler, Landolt y Trasatti (1989) definen este proceso como: “Una reacción interfacial irreversible de un material con su ambiente que resulta en el consumo del material o su disolución en uno de los componentes de su ambiente”. En contextos históricos como este, no es difícil que el ambiente amenace con degradar el entusiasmo tanto de docentes como alumnado. Dejar que esto suceda puede tener costos altísimos e irreversibles –como el 4% que le cuesta de su PIB la corrosión a Estados Unidos– para la competencia y el desarrollo académico. No hacer nada al respecto sería muy similar a no buscar ninguna estrategia de protección contra la corrosión. Una excelente forma de protegerlo, es asegurarse de la relevancia y actualidad de los temas abordados, que no quedan en la superficie, sino pueden interiorizarse, así evitando su “disolución” en este ambiente tan retador.

4) Por último, esta lección va en el sentido contrario, contestando a la pregunta ¿qué le enseñó la pandemia a la ciencia? En ocasiones, a pesar de que existe el conocimiento probado para la innovación para una química e industria más verdes, son pocos los que se atreven a dar el primer paso. Si no hubiese sido por la pandemia, hubiéramos rehuido al aprendizaje remoto toda la vida, a pesar de que ya existieran herramientas de colaboración a distancia, que de haberse usado antes, hubieran hecho una transición más orgánica. Es frustrante pensar que la electroquímica ambiental también ya existe como una de las soluciones para la crisis climática y medioambiental pero su aprovechamiento es lento y forzado, ¿cuándo nos daremos cuenta que la crisis ambiental ya existe – así como cuando comenzó la dispersión del COVID 19– y que si no nos preparamos con mejoras e innovaciones paulatinas en los procesos industriales de producción habrá un momento en que será imperante el cambio? ¿Por qué esperar a que nos “agarre en curva” la crisis medioambiental y energética? Evitarlo es nuestra responsabilidad como futuros ingenieros químicos.

Referencias

1) Heusler, K. ; Landolt, D.& Tasatti. Electrochemical Corrosion nomenclature. *Pure & Applied chemistry* **1989**, *61*, 19-22
<https://doi.org/10.1351/pac198961010019>