



Mismo comienzo, distintos finales: nuevos protocolos de activación de catalizadores a medida mejoran la fiabilidad en la generación de hidrógeno verde

Un equipo de investigadores internacionales revela la importancia de diseñar protocolos de activación a medida para prevenir la degradación de los catalizadores en la electrolisis del agua. Su enfoque, que monitorea la evolución del material en tiempo real, permite obtener catalizadores con mayor durabilidad, estabilidad y reproducibilidad en comparación con los logros mediante protocolos tradicionales.

March 03, 2025

Las tecnologías de descarbonización se implementan cada vez más para combatir el cambio climático. Muchas de estas tecnologías implican reacciones electroquímicas para generar

combustibles y productos químicos limpios utilizando electricidad renovable (por ejemplo, hidrógeno verde). Sin embargo, estas reacciones suelen ser ineficientes por sí solas y requieren un [electrocatalizador](#) para acelerarlas.

El diseño predictivo de catalizadores activos se ve desafiado por su transformación química y estructural durante la reacción, lo que también agrava su degradación y limita su estabilidad. Este efecto es especialmente notable en la reacción de evolución del oxígeno (REO) dentro de la [electrólisis](#) del agua, que es la mitad de la reacción total necesaria para producir hidrógeno verde.

Por lo general, el material inicial no está completamente optimizado para la catálisis; se dice que está en una forma de **precatizador**. Para mejorar su capacidad de impulsar la reacción electroquímica, se necesita un proceso de activación. "Podemos pensar en los precatizadores como talentos ocultos y en los protocolos de activación como los programas de entrenamiento que los convierten en campeones. El protocolo de activación adecuado los hará destacar; el incorrecto puede desperdiciar su potencial", explica el Dr. Lu Xia, investigador del ICFO y ex-investigador de Jülich, quien estudia cómo explotar la electroquímica para aplicaciones de almacenamiento de energía. Convencionalmente, pero los procesos de activación han sido pasados por alto y se aplican de manera estandar, si considerar de qué material está hecho el precatizador inicial

Ahora, un esfuerzo conjunto entre el [Forschungszentrum Jülich](#) (dirigido por el Dr. Meital Shviro, ahora en NREL), la [Universidad de Bayreuth](#) y los investigadores del [ICFO](#), el **Dr. Lu Xia**, el **Dr. Kaiwen Wang**, el **Dr. Tengyu Chen**, el **Dr. Kaiqi Zhao**, **Ranit Ram**, la **Dra. Barbara Polessio** y el **Dr. Anku Guha**, liderados por el **Prof. Dr. F. Pelayo García de Arquer**, ha demostrado que el papel de los protocolos de activación personalizados es, de hecho, fundamental. **El equipo ha propuesto un protocolo de activación que ofrece control sobre el deterioro en tiempo real y ha demostrado que este mejora la fiabilidad, actividad y estabilidad** de aquellos catalizadores empleados en las REO de la electrólisis del agua.

Significativamente, el proceso se implementa **en condiciones industrialmente relevantes**. Por otro lado, han demostrado que protocolos de activación inadecuados conducen a una degradación irreversible del catalizador, lo que complica el control y la reproducibilidad. En el estudio, publicado en *Nature Materials*, han colaborado muchas otras instituciones internacionales, a saber, la Universidad de Chongqing, la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología, la Universidad Tecnológica de Beijing, la Universidad Oceanica de Zhejiang, la ETH Zürich, la Freie Universität Berlin, la Universidad Tsinghua y la Universidad de Ciencia Tecnología Electrónica de China

La colaboración multidisciplinaria en el equipo fue clave para el éxito del estudio. Por ejemplo, Forschungszentrum Jülich se centró en el diseño y caracterización de catalizadores, la Universidad de Chongqing fue responsable de las simulaciones teóricas para predecir el comportamiento de activación, y el ICFO desempeñó un papel central al proponer y liderar

r las estrategias de programación de los precatalizadores, así como la monitorización experimental de cómo los catalizadores cambiaban durante los protocolos de activación. "Esta sinergia multidisciplinaria permitió una comprensión profunda del comportamiento del precatalizador, impulsando el desarrollo de una estrategia personalizada para lograr una electrolisis de alto rendimiento", comparte el Dr. Xia, primer coautor del estudio.

Un protocolo de activación apropiado conduce a catalizadores de mayor rendimiento

Al final, las observaciones validaron los modelos teóricos, que habían predicho con precisión la evolución del precatalizador durante la operación. En comparación con las técnicas tradicionales, **la combinación de teoría y experimentación logra un mayor control sobre el proceso de oxidación, una disolución mínima del catalizador y una estabilidad a largo plazo del material.**

En concreto, los investigadores pusieron en práctica su método con materiales prometedores para catalizar la REO en un electrolizador de agua funcionando en entornos industriales relevantes. Después de cientos de horas de actividad, observaron una mejora triple en la duración del catalizador antes de disolverse completamente cuando utilizaron su protocolo de activación en lugar del estándar.

"Los dos enfoques son fundamentalmente diferentes, lo que explica por qué los resultados difieren", explica la Dra. Xia. "La activación convencional, como la voltametría cíclica, induce cambios en la superficie de manera no controlada, lo que degrada los catalizadores y perjudica su estabilidad. En nuestro caso, aprovechamos una plataforma de precatalizadores, guiada por modelos teóricos y conocimientos adquiridos durante la propia operación, para controlar con precisión la activación, minimizando la disolución y garantizando un rendimiento fiable", añade el investigador.

En conjunto, este enfoque reduce la brecha entre la comprensión teórica y la aplicación práctica, lo que permite el desarrollo de catalizadores altamente confiables para la electrolisis del agua. Además, el estudio destaca la importancia de los protocolos de activación a la hora de garantizar una activación, estabilidad y reproducibilidad óptimas. El siguiente paso natural sería aplicar el protocolo a otras reacciones electroquímicas e investigar cómo les afecta. Otra dirección de investigación sería perfeccionar el protocolo para tener en cuenta áreas de material más grandes, fenómenos de transporte y otras sutilezas que rodean la electrolisis del agua. Esto permitiría ampliar la estrategia a electrolizadores de mayor escala, trayendo el objetivo final de la comercialización de dispositivos un paso más cerca.

Referencia:

Xia, L., Gomes, B.F., Jiang, W. et al. Operando-informed precatalyst programming towards reliable high-current-density electrolysis. Nat. Mater. (2025).

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41563-025-02128-7>

Agradecimientos:

L.X and M.S acknowledge the access to the infrastructure at the Ernst Ruska-Centre, Forschungszentrum Jülich. L.X and B.F.G. thank DESY (Hamburg, Germany), a member of the Helmholtz Association, for the provision of experimental facilities. Parts of this research were carried out at PETRA III and we would like to thank Wolfgang A. Caliebe for assistance in using the P64 beamline. Beamtime was allocated for proposal I-20221247. B.F.G. and C.R acknowledge Federal Ministry of Education and Research (BMBF) under the funding code Live XAS (Grant 05K22WC1), HighHy (Grant 03SF0689B), L. G. and X. Z. acknowledge the Fundamental Research Funds for the Central Universities (2024IAIS-QN002), and the National Natural Science Foundation of China (52471196 and 12347101). L.X. and F.P.G.A. thank CEX2019-000910-S [MCIN/AEI/10.13039/501100011033], Fundacio Cellex, Fundacio Mir-Puig, and Generalitat de Catalunya through CERCA, and the La Caixa Foundation [100010434, E.U. Horizon 2020 Marie Skłodowska-Curie grant agreement 847648] European Union's Horizon 2023 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement 101150688, and the European Union (NASCENT 101077243).