



## 1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

**Título:** Síntesis de geles dopados con metales de transición para la producción electrocatalítica de H<sub>2</sub> verde.

**Descripción general** (resumen y metodología):

### Introducción

La necesidad de fuentes de energía sostenibles y respetuosas con el medio ambiente ha impulsado el interés en el hidrógeno verde como portador energético limpio, producido a partir de la electrólisis del agua utilizando electricidad proveniente de fuentes renovables [1]. No obstante, la eficiencia del proceso depende en gran medida del desempeño de los electrocatalizadores utilizados en la reacción de evolución de hidrógeno (HER, por sus siglas en inglés).

En este contexto, los geles dopados con metales de transición han surgido como una alternativa prometedora para el diseño de nuevos materiales catalíticos [2]. Estos sistemas presentan una elevada área superficial, estructura porosa ajustable y la posibilidad de incorporar especies metálicas activas de forma uniforme [3,4]. La incorporación de metales de transición como, por ejemplo, hierro (Fe), cobalto (Co) o molibdeno (Mo) puede mejorar sustancialmente la actividad electrocatalítica, la estabilidad y la selectividad de estos materiales.

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo la síntesis, caracterización y evaluación de geles funcionalizados con metales de transición para su aplicación en la producción electrocatalítica de hidrógeno verde. Se espera que los resultados contribuyan al desarrollo de electrocatalizadores más eficientes, sostenibles y de bajo costo, que faciliten la implementación a gran escala de tecnologías basadas en hidrógeno limpio.

### Metodología experimental

Los xerogeles de carbono dopado con metales de transición (Fe, Co o Mo) se sintetizarán mediante un método sol-gel, empleando resorcinol (R) y formaldehído (F) como precursores orgánicos y sales precursoras metálicas como fuentes de dopado y como catalizadores del proceso de polimerización. Una vez formados los geles, estos serán lavados con acetona durante 3 días con el fin de eliminar residuos y preservar la porosidad. Posteriormente, se procederá al secado en horno microondas bajo atmósfera de argón. Finalmente, los materiales serán sometidos a un tratamiento térmico de carbonización a 800 °C durante 2 horas. Como resultado, se obtendrán xerogeles de carbono dopados con metales de transición para su caracterización por distintas técnicas y evaluación como electrocatalizadores en la reacción de evolución de hidrógeno (HER).

**Tipología:** Trabajos experimentales, de toma de datos de campo o de laboratorio.

**Objetivos planteados:**

### Objetivo general

Desarrollar y evaluar geles dopados con metales de transición como electrocatalizadores eficientes para la reacción de evolución de hidrógeno (HER) en condiciones de electrólisis, con el fin de contribuir a la producción sostenible de hidrógeno verde.

### Objetivos específicos

- Diseñar y sintetizar geles funcionalizados con metales de transición como, por ejemplo: Fe, Co o Mo, mediante un proceso sol-gel y técnicas complementarias, controlando la porosidad, la distribución del dopante y la estabilidad estructural.
- Caracterizar físico-químicamente los materiales obtenidos mediante técnicas como espectroscopía (Raman, XPS), difracción de rayos X (DRX), microscopía electrónica (SEM/TEM) y análisis de superficie (Fisisorción de N<sub>2</sub>), con el fin de correlacionar su estructura con la actividad catalítica.

- Evaluar la actividad electrocatalítica de los geles dopados en la reacción de evolución de hidrógeno (HER) en medio ácido y/o alcalino, mediante técnicas electroquímicas.
- Comparar el rendimiento de los diferentes sistemas dopados en función del tipo y concentración del metal de transición, para identificar las composiciones más eficientes y estables en condiciones operativas.
- Analizar la relación entre las propiedades estructurales del material y su actividad electrocatalítica.

### **Bibliografía básica:**

Bibliografía básica

[1] M.A.A. Rahman, H.M. Robin, M.S. Hossain, M. Aziz, M. Mourshed, Transforming waste into clean energy: The future of hydrogen energy generation in Bangladesh, *International Journal of Hydrogen Energy*. 136 (2025) 275–293. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.05.075>.

[2] L.D. Ramírez-Valencia, E. Bailón-García, A.I. Moral -Rodríguez, F. Carrasco-Marín, A.F. Pérez-Cadenas, Electrochemical reduction of CO<sub>2</sub> to syngas using carbon gels-green graphene composites as metal free electrocatalyst, *Journal of Power Sources*. 645 (2025) 237189. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2025.237189>.

[3] L. Álvarez-Manuel, C. Alegre, D. Sebastián, P.F. Napal, C. Moreno, E. Bailón-García, F. Carrasco-Marín, M.J. Lázaro, Effect of Carbon Xerogel Activation on Fe–N–C Catalyst Activity in Fuel Cells, *ChemElectroChem*. 11 (2024). <https://doi.org/10.1002/celec.202300549>.

[4] A. Barranco-López, A.I. Moral-Rodríguez, E. Fajardo-Puerto, A. Elmouwahidi, E. Bailón-García, Highly graphitic Fe-doped carbon xerogels as dual-functional electro-Fenton catalysts for the degradation of tetracycline in wastewater, *Environmental Research*. 228 (2023) 115757. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115757>.

### **Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:**

**Plazas:** 1

### **2. DATOS DEL TUTOR/A:**

**Nombre y apellidos:** ESTHER BAILÓN GARCÍA

**Ámbito de conocimiento/Departamento:** QUÍMICA INORGÁNICA

**Correo electrónico:** estherbg@ugr.es

### **3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):**

**Nombre y apellidos:** ADRIANA ISABEL MORAL RODRÍGUEZ

**Ámbito de conocimiento/Departamento:** QUÍMICA INORGÁNICA

**Correo electrónico:** amoral@ugr.es

### **4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):**

**Nombre y apellidos:**

**Correo electrónico:**

**Nombre de la empresa o institución:**

**Dirección postal:**

**Puesto del tutor en la empresa o institución:**

**Centro de convenio Externo:**

**5. DATOS DEL ESTUDIANTE:**

**Nombre y apellidos:**

**Correo electrónico:**