

Avance y Perspectiva

Revista de divulgación del CINVESTAV

Cerámicas para mejorar la seguridad de la energía nuclear

Karina Galache · Wednesday, November 17th, 2021

Categorías: [Ciencias Exactas](#), [Zona Abierta](#)

[El consorcio SAMOFAR](#)

Por lo general, las fuentes de energía eléctrica se clasifican en: *renovables*, como la geotérmica, eólica, biomasa, solar, e hidráulica; y *no renovables*, como el petróleo, carbón, gas natural, y los combustibles nucleares. Se estima que tan solo en 2010 el 81.1% de la energía consumida en el mundo provino de la quema de petróleo, carbón y gas natural; el 13.2% se derivó de la quema de biocombustibles/biomasa y otras fuentes de energía renovables y tan solo el 5.7% tuvo su origen en los combustibles nucleares (Ferrari, 2013). Es bien conocido que la quema de combustibles fósiles es una de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (principalmente CO₂) asociados con el cambio climático que padece hoy en día el mundo (Caballero *et al.*, 2007). Este es uno de los mayores desafíos de nuestro tiempo y sus efectos son de alcance mundial y de escala sin precedentes (Caballero *et al.*, 2007). Si no se toman medidas drásticas, será más difícil y costoso adaptarse a sus efectos en el futuro. Se hace imperativo que los gobiernos cambien sus matrices energéticas hacia las fuentes de energía que emitan menor cantidad de gases de efecto invernadero al medio ambiente.

La energía nuclear, aunque no es una fuente renovable, tiene una de las más bajas emisiones de gases de efecto invernadero (28 toneladas de CO₂/GWh), cuando se compara con otras fuentes de energía tales como el carbón (888 toneladas de CO₂/GWh), petróleo (735 toneladas de CO₂/GWh), o gas natural (500 toneladas de CO₂/GWh), (Bruckner T. *et al.*, 2014). La ventaja de la energía nuclear con respecto a los recursos renovables es el menor espacio de terreno que ocupa para generar energía. En efecto, una planta de energía nuclear ocupa entre 1-4 km² mientras que una planta solar necesita entre 20-50 km²; una planta eólica entre 50-150 km² y una planta de generación de energía a partir de biomasa, entre 4,000-6,000 km².

A pesar de las indiscutibles ventajas de la energía nuclear con respecto a otras fuentes renovables y no renovables, existe controversia sobre la seguridad en su uso. El accidente nuclear ocurrido en la ciudad de Fukushima, Japón, en 2011 no se olvida. De acuerdo con un estudio publicado después del accidente (Beliefs, 2011), el 53% de la población estadounidense asociaba las palabras “energía nuclear” con las palabras “desastre” o “malo” frente a un 27% que las asociaba con “energía” o “bueno”. Esta desconfianza a la energía nuclear es injustificada, pues tiene la tasa más baja de

mortalidad ($90/10^{12}$ KWh) cuando se compara con otras fuentes tales como el carbón ($100,000/10^{12}$ KWh), el petróleo ($36,000/10^{12}$ KWh) o el gas natural ($4,000/10^{12}$ KWh) (Kharecha & Hansen, 2013). No obstante, para incrementar la seguridad de la energía nuclear, la comunidad científica e industrial internacional continúa trabajando en el desarrollo de diversos prototipos de reactores nucleares que superen los impases de los prototipos actualmente en operación (Generación III). Uno de los modelos de Generación IV que destaca es el Reactor Nuclear de Sales Fundidas (MSR por sus siglas en inglés), (Siemer, 2015).

El MSR se distingue de las tecnologías actuales por el estado líquido (o fundido) del combustible con el que operará; se compone de sales fluoradas fundidas de $\text{LiF-ThF}_4\text{-UF}_4$. Esto constituye un gran avance en seguridad, ya que se evitará la fusión del núcleo y accidentes como el de Fukushima, pero a la vez presenta dos desafíos tecnológicos: 1) en lo que respecta a compatibilidad entre el material estructural del interior del reactor (aleaciones de níquel) y el combustible líquido con el que va a operar, ya que a elevadas temperaturas (~ 700 °C) estas sales fluoradas son altamente corrosivas y 2). Las elevadas temperaturas de operación (~ 700 °C) podrían provocar una disminución de las propiedades mecánicas del material estructural del reactor.

El proyecto SAMOFAR (Safety Assessment of the Molten Salt Fast Reactor; <http://samofar.eu/project/>), fue una de las principales iniciativas de investigación e innovación Horizonte 2020-Euratom de la Unión Europea, donde el Cinvestav Unidad Saltillo participó junto con 10 instituciones de investigación de la Unión Europea (Technische Universiteit Delft, Centre National de la Recherche Scientifique, Joint Research Centre-European Commission, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, AREVA NP SAS, Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives, Electricité de France S.A., Paul Scherrer Institute y Karlsruhe Institut für Technologie).

La aportación al proyecto SAMOFAR realizado en Cinvestav-Saltillo tuvo como objetivo desarrollar un recubrimiento cerámico de circonita (ZrO_2) sobre el material estructural del reactor, mediante la técnica de deposición química en fase vapor asistida por plasma o PE-CVD por sus siglas en inglés (que es la misma técnica utilizada para obtener diamantes sintéticos), de tal manera que la deposición se lleva a cabo a temperaturas de ~ 700 °C, evitando de esta manera la disminución de las propiedades mecánicas del material estructural del reactor, y el aislamiento del mismo de las sales corrosivas, incrementando su vida útil y disminuyendo los tiempos de paro por mantenimiento. Para ello, se evaluó el efecto de variables tales como temperatura de deposición, potencia del plasma, cantidad de precursores de circonita e itria sobre la microestructura, espesor y fases cristalinas de los recubrimientos obtenidos (Espinoza-Pérez *et al.*, 2020). Se utilizaron técnicas avanzadas de caracterización de materiales tales como microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FE-SEM), espectroscopía de energía dispersiva (EDS), difracción de rayos X (XRD), espectroscopía Raman, espectroscopía foto electrónica de rayos X (XPS), espectroscopía Infrarroja (IR) y haz de iones enfocados (FIB), así como técnicas gravimétricas. Se obtuvieron recubrimientos cerámicos de circonita estabilizada con itria en fase 100% cúbica (YSZ) depositados sobre la aleación de uso nuclear Hastelloy B2. Los recubrimientos conseguidos tuvieron un espesor máximo de 5 micrómetros, con crecimiento columnar de la circonita y estructuras del tipo coliflor (Espinoza-Pérez *et al.*, 2020).



Figura 1: a) Superficie y b) sección transversal de los recubrimientos de circonita depositados sobre aleaciones de níquel a 700 °C (Espinoza-Pérez *et al.*, 2020).

El MSR es un prototipo de IV Generación; ofrece ventajas con respecto a los reactores nucleares actuales en los campos de la sostenibilidad, economía, seguridad, fiabilidad, no proliferación y protección física (Siemer, 2015). Los reactores de IV Generación se encuentran, en su mayoría, en fase de diseño y su desarrollo plantea grandes desafíos, especialmente en aspectos de materiales y combustibles. Se espera que estén en operación comercial dentro de 15 a 25 años.

Referencias:

Beliefs, G. W. (2011). climate change in the american mind. *Change*.

Bruckner T., Bashmakov, I. A., Mulugetta, Y., Chum, H., Navarro, A. de la V., Edmonds, J., Faaij, A., Fungtammasan, B., Garg, A., Hertwich, E., Honnery, D., Infield, D., Kainuma, M., Khennas, S., S. Kim, H. B., Nimir, K. R., Strachan, N., Wiser, R., & Zhang, X. (2014). 2014: Energy Systems. In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambios climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria*. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.04.002>

Espinoza-Pérez, L. J., López-Honorato, E., & González, L. A. (2020). Development of ZrO₂ and YSZ coatings deposited by PE-CVD below 800 °C for the protection of Ni alloys. *Ceramics International*. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.03.109>

Ferrari, L. (2013). Energía finita en un planeta finito. *Revista Digital Universitaria*.

Kharecha, P. A., & Hansen, J. E. (2013). Prevented mortality and greenhouse gas emissions from historical and projected nuclear power. *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/es3051197>

Siemer, D. D. (2015). Why the molten salt fast reactor (MSFR) is the “best” gen IV reactor. *Energy Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1002/ese3.59>

This entry was posted on Wednesday, November 17th, 2021 at 1:03 pm and is filed under [Ciencias Exactas](#), [Zona Abierta](#)

You can follow any responses to this entry through the [Comments \(RSS\)](#) feed. Both comments and pings are currently closed.