

# SAMOFAR

HACIA EL DESARROLLO  
DEL REACTOR NUCLEAR MÁS SEGURO





*¡Las palabras seguridad y energía nuclear no pueden ir juntas! Así es como algunas personas comúnmente critican noticias o temas relacionados con energía nuclear en medios de comunicación. ¿Es esto cierto? ¿La energía nuclear es insegura?*

**Léster Javier Espinoza Pérez,  
Eddie López Honorato**

Después del accidente nuclear de Fukushima, Japón, en el año 2011, la seguridad de la energía nuclear fue una vez más tema de discusión en el ámbito mundial, provocando, incluso, cambios importantes en políticas energéticas en algunos países. En la televisión vimos la cobertura tan importante que se dio al accidente nuclear; incluso, dejando de lado la devastación que sufrió la misma ciudad por el tsunami y el terremoto de gran magnitud. Esto ha hecho que muchos cuestionen la seguridad de la energía nuclear; pero ¿cómo podemos evaluar la seguridad de esta tecnología con otras fuentes de energía?

Una forma de determinar la seguridad de una fuente de energía es a través del índice de pérdida de vidas humanas causado, en relación con la cantidad de energía generada (por ejemplo: kilowatts por hora –kWh–). En la tabla 1 se muestra la tasa de mortandad causada por el uso de diferentes fuentes de energía en la cual se puede ver que el carbón es, por mucho, la fuente de energía causante del mayor número de muertes en todo el mundo, seguido por el petróleo y los biocombustibles/biomasa. Para muchos podría ser una sorpresa el hecho de que la energía nuclear cuenta con la tasa de mortandad más baja, incluso considerando los accidentes nucleares de Chernobyl y Fukushima, lo cual ofrece una muestra de los altos estándares de seguridad con los que cuenta esta tecnología.

**TABLA 1. MORTANDAD RELACIONADA CON FUENTES DE ENERGÍA**

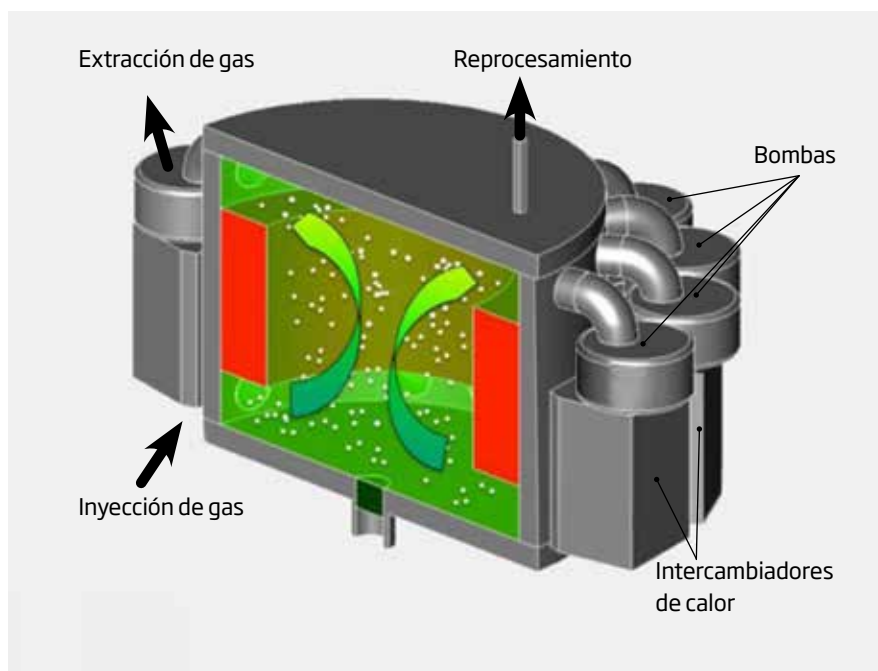
FUENTE DE ENERGÍA	TASA DE MORTALIDAD*
Carbón	100,000
Petróleo	36,000
Biocombustibles/biomasa	24,000
Gas natural	4,000
Hidroeléctrica	1,400
Solar	440
Eólica	150
Nuclear	90**

\*Muertes/10<sup>12</sup> kWh

\*\*Incluye Chernobyl y Fukushima

A pesar de sus constantes críticas, la energía nuclear cuenta con los estándares de seguridad más altos; incluso, al considerar los accidentes de Fukushima y Chernobyl





◀ FIGURA 1. Diseño general del Reactor Rápido de Sales Fundidas. Proyecto Europeo SAMOFAR, samofar.eu

El reactor de sales fundidas, al contar con un combustible líquido, elimina en su totalidad la posibilidad de una fusión del centro del reactor, en caso de un accidente



◀ FIGURA 2. Participantes del proyecto Samofar de once instituciones de la Unión Europea, Suiza y México.

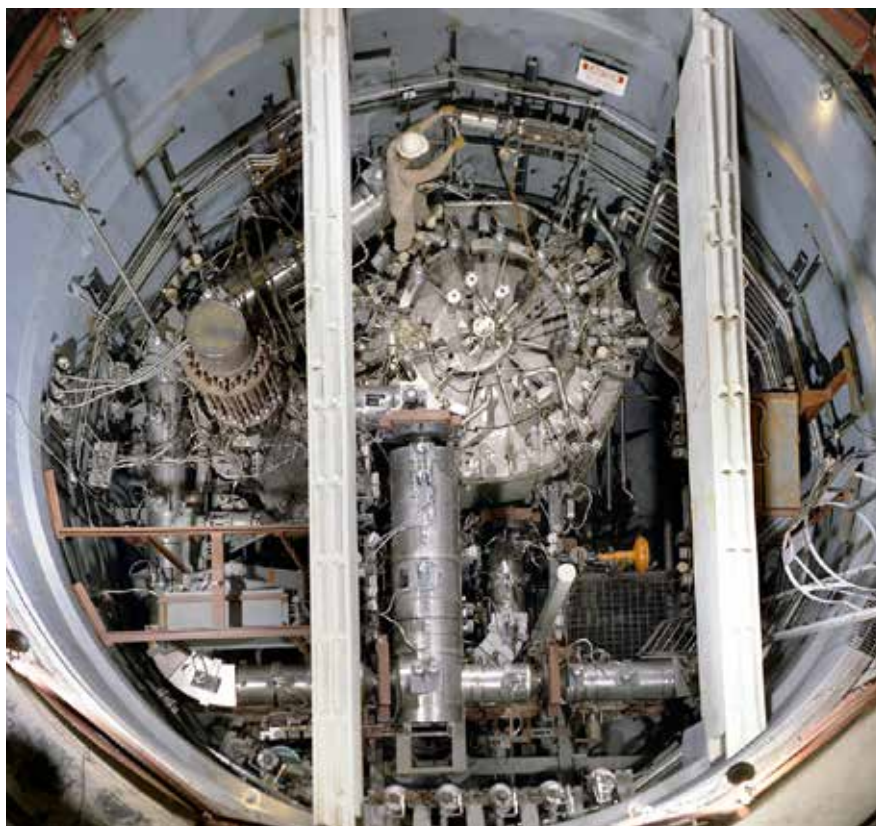
El uso de la energía nuclear –que, por cierto, genera muy pocos gases de efecto invernadero durante todo su ciclo de producción– ha evitado la liberación de, aproximadamente, 64 Gigatoneladas ( $10^9$  toneladas) de gases de efecto invernadero, tan sólo en el periodo 1971-2009. Además, ha evitado la instalación de cientos de carboeléctricas que hubiesen dañado el medio ambiente y la salud de la población. En conjunto, se estima que la energía nuclear ha evitado la muerte de, aproximadamente, 1.8 millones de personas en todo el mundo (tabla 1).

En México, se cuenta con plantas hidroeléctricas, las cuales no generan el mismo temor que una planta nuclear; sin embargo, incluso esta tecnología ha sufrido accidentes mucho mayores, como el ocurrido en 1975, en Henan, China, donde 230,000 personas murieron por una falla en la planta hidroeléctrica.

A pesar de que la energía nuclear ha demostrado con hechos que cuenta con estándares de seguridad muy por arriba de otras fuentes de energía, la comunidad científica y la industrial continúan aspirando a desarrollar tecnologías a prueba de errores humanos. Aunque resulte paradójico, los reactores nucleares que operan actualmente precisan del suministro de electricidad para mantener en funcionamiento las bombas hidráulicas responsables de hacer circular el agua con la que se extrae el calor generado por el reactor. De tal modo, durante un accidente nuclear en los reactores actuales, es imprescindible el suministro de electricidad para mantener en funcionamiento las bombas, pues, contrario a lo que ocurre con un fuego a base de gas o carbón, es imposible reducir a cero en poco tiempo la producción de calor en un reactor; y es este calor residual el que puede generar un accidente nuclear como el ocurrido en Fukushima.

### SAMOFAR

El proyecto Samofar –Evaluación de la Seguridad del Reactor Rápido de Sales



El objetivo del proyecto Samofar es probar los innovadores conceptos de seguridad del reactor de sales fundidas, mediante técnicas experimentales y numéricas avanzadas

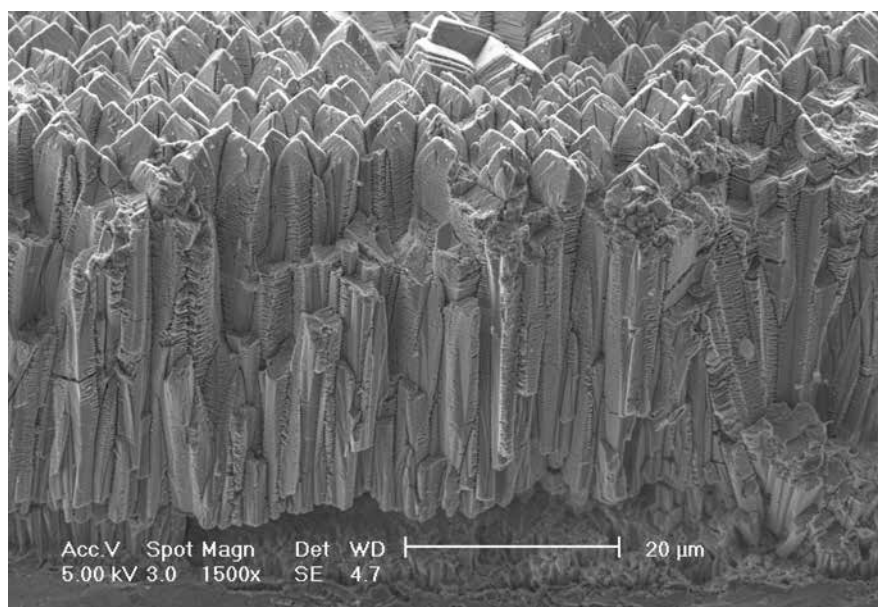
Fundidas (Safety Assessment of the Molten Salt Fast Reactor, por sus siglas en inglés)– es una de las principales iniciativas de investigación e innovación del Programa Europeo Horizonte 2020-Euratom (figura 1). En este proyecto, se planea desarrollar un reactor nuclear inherentemente seguro (que no necesite intervención humana o externa para mantener su seguridad), pero que, además, no produzca desechos nucleares más allá de los productos de fisión (figura 2). En este proyecto participan once instituciones de la Unión Europea, Suiza y México (a través del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Cinvestav).

Una de las peculiaridades más importantes del reactor de sales fundidas es que, a diferencia de los reactores tradicionales, su combustible se encuentra en forma líquida (figura 3), y la ventaja de utilizar un líquido desde el inicio es que evita en su totalidad la posibilidad de que ocurra la fusión del núcleo del reactor, eliminando, de una vez por todas, el riesgo de un accidente de ese tipo. Otra de las ventajas del uso de un combustible líquido es que, si el reactor llegara a salirse de control y elevara su temperatura, el líquido puede ser drenado a través de un tapón que se derretiría a una temperatura específica.

Al momento en que el tapón se funde, el combustible es drenado hacia un contenedor en la parte inferior del reactor, disipando así todo el combustible y



FIGURA 3. Sales fluoradas de litio y berilio (FLiBe) fundidas. Oak Ridge National Laboratory.



◀ **FIGURA 4.** Barrera térmica de zirconia estabilizada con óxido de itrio. MEIAF Facility, bren.ucsb.edu

permitiendo que se enfríe por convección natural (el movimiento natural del aire, a partir del cual el aire frío circula hacia abajo y el caliente hacia arriba). Durante todo este proceso, el reactor se puede mantener bajo control sin intervención alguna, ya que depende de la gravedad y convección natural para su seguridad, dos acciones que permiten crear un sistema a prueba de fallas.

Además de los sistemas de seguridad, el uso de un líquido como combustible permite controlar en todo momento la composición del combustible a través de un sistema de reprocesamiento interno, el cual posibilita la remoción de cualquier producto de fisión indeseable y reciclar continuamente el combustible hasta hacer uso del mismo en su totalidad. La destrucción continua del combustible facilita eliminar la producción de los tradicionales desechos nucleares que constituyen una de las grandes críticas en el uso de esta fuente de energía.

Obviamente, el uso de este tipo de líquido no viene sin sus respectivos retos; como su nombre lo dice, el combustible está hecho de sales fluoradas de uranio y otros elementos que lo hacen altamente corrosivo, por lo cual

el uso de estas sales hace necesario desarrollar materiales altamente especializados que permitan su uso sin la posibilidad de ser dañados durante toda la vida útil del reactor; es aquí donde el Cinvestav participa.

Una de las formas de evitar el daño que la sal pueda provocar en las paredes internas del reactor consiste en aplicar recubrimientos cerámicos químicamente inertes (que no reaccionan con la sal) que, además, sean aislantes térmicos (para no permitir el paso del calor tan fácilmente). Por otro lado, el uso de recubrimientos cerámicos (figura 4) brindaría un mayor nivel de seguridad al reactor, al reducir un posible daño a

sus paredes como resultado de su interacción con la sal, y ayudarían a reducir la temperatura que la estructura interna del reactor sufriría en caso de un accidente.

En el Cinvestav, estamos desarrollando recubrimientos cerámicos de óxido de zirconio ( $ZrO_2$ ) producidos por la técnica de deposición química en vapor (CVD). En este proceso, se introduce un gas que se descompone a altas temperaturas, dando como resultado el material deseado. Una de las múltiples ventajas de producir el material por CVD es que se puede controlar las características físicas del recubrimiento y, por tanto, sus propiedades físicas.

El gran objetivo del proyecto Samofar es probar los innovadores conceptos de seguridad del reactor de sales fundidas, mediante técnicas experimentales y numéricas avanzadas, con lo cual se convierte en un parteaguas en la seguridad de los reactores nucleares y la gestión óptima de sus residuos. <sup>CVD</sup>

#### **BIBLIOGRAFÍA:**

- ◀ <https://www.forbes.com/sites/james-conca/2012/06/10/energys-deathprint-a-price-always-paid/#5c1d960d709b>. Visitada el 27 de marzo de 2017.
- ◀ <https://climate.nasa.gov/news/903/coal-and-gas-are-far-more-harmful-than-nuclear-power/>. Visitada el 27 de marzo de 2017.
- ◀ Kharecha, P. A. y J. E. Hansen (2013). "Prevented Mortality and Greenhouse Gas Emissions from Historical and Projected Nuclear Power". *Environ. Sci. Technol.*, 47, 4889-4895, doi:10.1021/es3051197.

**Léster J. Espinoza Pérez** es Ingeniero Químico, por la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua, y Maestro –en Ciencias en Ingeniería Cerámica–, por el Cinvestav, México. Actualmente, cursa el programa de Doctorado en Ciencias en Cinvestav, en el Grupo de Investigación en Energía y Agua del Doctor Eddie López Honorato. Su trabajo de tesis se centra en el desarrollo de recubrimientos de zirconia depositados mediante deposición química de vapor asistido por plasma para su uso como barreras ambientales en reactores nucleares de sales fundidas.

**Eddie López Honorato** es Químico por la Universidad Nacional Autónoma de México. Cuenta con estudios de maestría y doctorado en Ciencia de Materiales, por la Universidad de Manchester, Reino Unido. Ha laborado como Investigador asociado en la Universidad de Manchester y como Catedrático en el Instituto de Elementos Transuránicos de la Comisión Europea en Alemania. Actualmente, labora como Profesor-Investigador en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados - IPN, Unidad Saltillo, donde realiza investigación en el área de energía nuclear y renovable, al igual que en tratamiento de agua. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Para más información pueden visitar la página de nuestro grupo: <https://www.facebook.com/GRINAER.LAB/>.