



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA - *Iztapalapa*

División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica

Ciudad de México, a 8 de febrero de 2024.

IPH.02.1.12418/2024/1.

DR. ROMÁN LINARES ROMERO
Presidente del Consejo Divisional de C.B.I.

Presente

Por este conducto solicito a usted someter a la consideración del Consejo Divisional el Informe de Actividades del Profesor **GILBERTO ESPINOSA PAREDES**, del periodo sabático de 12 meses, comprendido del 30 de enero del año 2023, al 29 de enero del año 2024.

Quiero hacer notar que el Dr. Espinosa Paredes entregó en tiempo y forma a la jefatura de nuestro Departamento toda la documentación relacionada con su informe. Asimismo, le comunico que después de haber revisado el Informe, encuentro que los objetivos se cumplieron satisfactoriamente.

A t e n t a m e n t e

"Casa abierta al tiempo"

DR. RODOLFO VÁZQUEZ RODRÍGUEZ

Jefe del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica

Ferrocarril San Rafael Atlixco No. 186, Col. Leyes de Reforma 1ª. Sección, C.P. 09310, Iztapalapa, CDMX.

Tel. [REDACTED] Email: [REDACTED]@xanum.uam.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

CONSEJO DIVISIONAL DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERIA

INFORME DE PERÍODO SABÁTICO

DATOS GENERALES

Nombre del profesor: Gilberto Espinosa Paredes N° empleado: 12418

Departamento: Ingeniería de Procesos e Hidráulica Área: Ingeniería en Recursos Energéticos

Teléfono particular: [REDACTED] Extensión UAM-I: [REDACTED] E-mail [REDACTED]@xanum.uam.mx

DATOS DEL PERÍODO SABÁTICO SOLICITADO

N° meses solicitados: 12 Fecha de inicio: 30-01-2023 Fecha de terminación: 29-01-2024

Institución donde se realizará: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

Depto., Laboratorio, etc.: Simulacion de Reactores Nucleares Avanzados (T-365B)

Domicilio de la institución: Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco 186, Col. Leyes de Reforma 1A Sección, CDMX 09310.

Teléfono: [REDACTED] Fax: [REDACTED] E-mail [REDACTED]@xanum.uam.mx

OBJETIVOS DEL PERÍODO SABÁTICO

- 1) Modelación matemática para diseño y análisis de un Reactor Nuclear de Sales Fundidas
- 2) Construir un marco de referencia de investigación en el país para contribuir en el ámbito internacional
- 3) Fortalecer las relaciones de la UAM con instituciones mexicanas para la cooperación científica y tecnológica
- 4) Posible asesoría de proyectos para la formación de recursos humanos de pregrado y posgrado

METAS ALCANZADAS EN EL PERÍODO SABÁTICO

Memorias in extenso en libro de resúmenes* Artículos de investigación en revista indexada* Presentaciones en congresos

libros o capítulos de libros Grado % Avance de estudios de posgrado

Otros (especifique): Programa computacional Mittag-Leffler FNPKE (<https://doi.org/10.17632/v4kfhzw7sf.1>)

* Indicar en anexo si se trata de trabajo publicado, aceptado o sometido

TIPO DE ACTIVIDADES ACADÉMICAS DESARROLLADAS

(Indique aquellas relacionadas con las actividades desarrolladas)

Investigación

Docencia

Difusión

Formación académica

Formación profesional

Entrenamiento técnico

Otros (especifique): _____

RESUMEN DEL PLAN DE ACTIVIDADES ACADÉMICAS DESARROLLADAS

(El llenado de esta sección no sustituye el informe detallado de actividades)

Docencia: Publicación de un libro. Asesoría de 2 PT y 1 tesis de maestría concluida; 3 estudiantes de Maestría y 1 de doctorado. Asesoré un proyecto posdoctoral e impartí una UEA en el PEMA.

Investigación: 9 artículos publicados y 4 sometidos en revistas indizadas. Un programa computacional.

Editor invitado de "Nuclear Engineering and Design". Responsable de tres de proyectos de investigación y sometí uno a CC

Difusión y divulgación de la cultura: 1 artículo, 1 capsula informativa, 2 conferencias magistrales, 8 ponencias, y 4 congresos

Profesor huésped en la Universidad de Antofagasta. Revisor de proyectos de investigación, artículos y evaluador de la Co

PARA USO DEL JEFE DE DEPARTAMENTO

Después de haber evaluado el informe detallado de actividades del período sabático del interesado según los lineamientos establecidos para tal efecto; informo al Consejo Divisional que:

- Los objetivos SE cumplieron satisfactoriamente
 Los objetivos SE cumplieron parcialmente
 Los objetivos NO se cumplieron
 NO se cumplió el propósito del sabático


Firma del Jefe de Departamento

08/02/2024
Fecha

PARA USO DEL CONSEJO DIVISIONAL

El Consejo Divisional, en su Sesión No. _____ del _____ sobre el Período sabático del interesado acordó que:

- Los objetivos SE cumplieron satisfactoriamente
 Los objetivos SE cumplieron parcialmente
 Los objetivos NO se cumplieron
 NO se cumplió el propósito del sabático

Secretario del Consejo Divisional

*Además de este formato-resumen, el interesado deberá entregar su Informe detallado de actividades junto con la documentación probatoria correspondiente.

Apéndice A: Protocolo del Proyecto

Reactores Nucleares de Sal Fundida

I. Antecedentes y Justificación.

I.I Antecedentes

Entre los retos que enfrenta México, se encuentran los relacionados con la producción, distribución y aprovechamiento de energía eléctrica. Estas actividades se relacionan directamente con el crecimiento económico y con la mejora en la calidad de vida de la población [1]. Por lo tanto, adquiere mayor relevancia el buscar formas económicas y sustentables de producir electricidad. Desafortunadamente la mayor parte de la electricidad que se genera en el país y en el mundo, depende de combustibles fósiles, los cuales representan una de las más importantes causas del incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera, particularmente de CO_2 . El rol de la energía nuclear, y particularmente de la nucleoelectricidad, es fundamental para reducir la emisión de dichos gases, debido a que las plantas nucleares prácticamente no los producen durante su operación, además de que el costo de producir electricidad en dichas instalaciones es sumamente bajo. De esta forma, las mejoras continuas en la tecnología y la modelación de plantas nucleares son tópicos de vital importancia para cambio climático.

Actualmente, alrededor del mundo, científicos en varios países desarrollan e investigan la tecnología de reactores nucleares basados en diseños de reactores avanzados de cuarta generación GIV [2]. Estos reactores de aplicaciones diversas, además de la generación de energía eléctrica se diseñan para producción de hidrógeno, desalinización de agua de mar, entre otros procesos. El GIV emitió un reporte en el 2014 para establecer seis propuestas tecnológicas de reactores nucleares avanzados. Las seis opciones de reactores nucleares de GIV consideran diferentes tecnologías: dos reactores enfriados con metales líquidos, un reactor enfriado con agua que opera en condiciones supercríticas, dos reactores enfriados con gas, uno de ellos de muy alta temperatura y un reactor de sales fundidas. Este último constituye el objetivo central de esta investigación.

Los reactores nucleares de sales fundidas (MSR por sus siglas en inglés) son reactores de alta eficiencia y uno de los conceptos más prometedores de los reactores de generación IV. Se trata de reactores de fisión que se encuentran en el espectro rápido o térmico y utilizan una mezcla fluida de sales fundidas como combustible y refrigerante [3]. Este tipo de reactores se suele utilizar con combustible de torio o uranio, lo que representa una ventaja en tecnología, debido a las grandes reservas de torio existentes en la naturaleza, también se puede utilizar como reactor de cría o para quemar residuos de reactores existentes, como PWR y BWR, que disminuirían la producción de desechos nucleares. En esta tecnología, la sal combustible tetrafluoruro de uranio (UF_4) o tetrafluoruro de torio (ThF_4) se disuelve en una mezcla de sales como el fluoruro de litio con fluoruro de berilio ($\text{LiF}-\text{BeF}$) [4]. La sal combustible entra en el núcleo con una temperatura en torno a los $650\text{ }^\circ\text{C}$ y recircula en un tiempo aproximado de 5 segundos, mientras se lleva a cabo una reacción en cadena de fisión que alcanza temperaturas de hasta $750\text{ }^\circ\text{C}$ y se modera con grafito. Existen diseños de esta tecnología en los que el núcleo del reactor se recubre con una sal de material fértil para producir combustible [5]. Esta tecnología se considera una de las más seguras, debido a que las sales tienen altas temperaturas de fusión, si se produce una fuga de sal fundida, se congelará y no se liberarán materiales radiactivos [6]. La dinámica del MSR tiene características únicas en comparación con los reactores convencionales y cinco de los reactores propuestos por el GIV (combustible sólido hecho de pastillas contenidos en barras) porque es un reactor de combustible nuclear circulante. Esto último, debido a la migración de precursores de neutrones retardados del núcleo del reactor al lazo externo, que causa efectos de retroalimentación de temperatura retardada [7]. El estado actual de la investigación de este tipo de reactor indica que se encuentra en crecimiento desde hace una década [8].

Plan de Actividades

Dr. Gilberto Espinosa Paredes
Área de Ingeniería en Recursos Energéticos
[REDACTED]@xanum.uam.mx

Periodo Sabático: 30 de enero 2023 al 29 de enero de 2024

Contenido

Resumen del Plan de Actividades.

Apéndice A. Protocolo del proyecto Reactores Nucleares de Sal Fundida

Apéndice B. Plan de actividades del Estudiante Jesús Jorge Domínguez Alfaro, estudiante maestría del posgrado de Energía y Medio Ambiente.

Resumen del Plan de Actividades

Unos de los principales objetivos de esta estancia sabática es la modelación termohidráulica en flujo en dos fases para el análisis de reactores nucleares de sal fundida. Este reactor es de cuarta generación y el combustible nuclear es líquido y también constituye el refrigerante. Este proyecto representa un desafío tecnológico debido a que la integración de los procesos termohidráulicos, neutrónicos y de transferencia de calor para el análisis de seguridad de un reactor nuclear. Este proyecto tiene 2 aspectos que se desean profundizar, una de ellos son la presencia de burbujas de helio para remover los fragmentos de fisión en el núcleo del reactor, y el otro se relaciona con los procesos de decaimiento de los precursores de neutrones fuera del núcleo del reactor, que requieren estrategias de control para mantener crítico el reactor. El protocolo del proyecto se presenta en el **Apéndice A** de este documento.

El alumno del posgrado de Energía y medio Ambiente Jesús Jorge Domínguez Alfaro está desarrollando la tesis de maestría "Flujo en dos fases en reactores nucleares de sal fundida" bajo mi asesoría. El alumno Domínguez cumplió 5 trimestres en el posgrado y presenta un avance significativo de su tesis, la cual concluirá al inicio del presente sabático. El posible sabático me permitirá firmar y asignar calificaciones en las actas correspondientes y llevar a cabo el proceso de asesoría de acuerdo al plan de trabajo que se presenta en el **Apéndice B** del presente documento.

Dada la originalidad del tema se someterá durante el sabático por lo menos un manuscrito en una revista científica indizada (SCI), y una participación en el congreso de la Sociedad Nuclear Mexicana. Otros posibles trabajos que pueden someterse en revistas internacionales especializadas bajo colaboración, cubrirán temáticas relativas a pequeños reactores nucleares, escalamiento de sistemas heterogéneos que incluyen teoría de flujo en dos fases.

El sabático se llevará a cabo en el Laboratorio de Simulación de Reactores Nucleares Avanzados (T-365B).

I.II Justificación

Es necesario contar con la capacidad de analizar los fenómenos físicos del Reactor de Sal Fundida (MSR) importantes para el diseño y análisis, haciendo especial énfasis en los fenómenos de transporte de masa, energía y cantidad de movimiento en flujo en dos fases (gas helio y la sal fundida líquida) y su impacto con los efectos de retroalimentación de los procesos neutrónicos y generación de potencia.

El comportamiento del reactor MSR se puede considerar atípico y se requiere entender dos efectos fundamentales en el comportamiento de dicho reactor: (1) Decaimiento de los precursores de neutrones en los intercambiadores de calor y respuesta de la potencia térmica generada, (2) El efecto de la inyección de Helio para extraer fragmentos de fisión gaseosos en los procesos térmicos del fluido bajo la presencia de flujo en dos fases.

El estudio y análisis fenomenológico con modelos matemáticos propios de estas nuevas tecnologías representará un paso importante que pondrá a México en el mediano plazo en un nivel internacional, que permitan estrechar colaboraciones con instituciones extranjeras de prestigio y cooperación con el GIV.

Generar líneas de investigación que permita la formación de Maestros y Doctores en Ciencias e Ingeniería que serán los encargados del desarrollo tecnológico del país en el campo nuclear.

II. Objetivos y Metas.

II.I Objetivos

General

Modelación matemática para diseño y análisis de un Reactor Nuclear de Sales Fundidas para la generación de energía eléctrica.

Específicos

1. Construir un marco de referencia de investigación en el país para contribuir en el ámbito internacional en relación al diseño y análisis de seguridad de reactores de sales fundidas de cuarta generación (GIV).
2. Fortalecer las relaciones de la UAM con instituciones mexicanas (UNAM, IPN, ININ, INEEL, CFE) y del grupo internacional de sistemas avanzados de energía nuclear (GIF), lo que sentará las bases de una cooperación científica.
3. Ofrecer un modelo matemático de los procesos hidrodinámicos, de transferencia de calor, neutrónicos y de generación de potencia térmica de un Reactor Nuclear de Sales Fundidas, para experimentación numérica que permita enfocar los esfuerzos de futuros proyectos.
4. En principio continuar con proyectos para formar recursos humanos especializados en programas de posgrado.

II.II Metas

1. Procesos hidrodinámicos en flujo en dos fases (HTP):
 - a. Modelo escalado para describir las velocidades de combustible (líquido) y helio (gas), fracción volumen y presión del núcleo de reactor, en régimen transitorio y dependencia espacial.
 - b. Ecuaciones constitutivas. Análisis de coeficientes de fricción para flujo en dos fases.
 - c. Propiedades termodinámicas y de transporte del combustible líquido estudiado.
2. Transferencia de calor en el núcleo del reactor (HTC)

- a. Modelo escalado de desequilibrio termodinámico de dos temperaturas en régimen transitorio y dependencia espacial.
 - b. Determinación de los coeficientes escalados de transferencia de calor para el gas y líquido.
 - c. Modelo escalado de equilibrio termodinámico y análisis comparativo con el modelo de dos ecuaciones.
3. Procesos neutrónicos y generación de potencia (NUP):
- a. Modelo de los procesos neutrónicos en el núcleo del reactor.
 - b. Modelo de precursores de neutrones retardados con efectos convectivos.
 - c. Cálculo de reactividad por temperatura y fracción volumen del gas a presión atmosférica.
 - d. Modelo de potencia térmica en función de flujo neutrónico y parámetros nucleares.
4. Control del reactor (CER)
- a. Modelo de control de reactividad externa por efectos de precursores a la entrada del reactor.
5. Acoplamiento (ACO):
- a. Desarrollo de un algoritmo de cálculo acoplado para el diseño y análisis de Reactores Nucleares de Sales Fundidas (acoplamiento NUP con HTP, TCC y CER) para simular la dinámica del núcleo.

III. Resultados esperados.

1. Una herramienta de cómputo para realizar experimentos numéricos de Reactores Nucleares de Sales Fundidas.
2. Promover entre la UAM y la UNAM proyectos para formación de recursos humanos: Licenciatura, maestría y doctorado.
3. Publicaciones científicas: (a) Dada la originalidad del tema se someterá duración del sabático por lo menos un manuscrito en una revista científica indizada (SCI). (b) Un trabajo en el congreso de la Sociedad Nuclear Mexicana, y un evento internacional (ICAPP: *International Congress on Advances in Nuclear Power Plants*).

IV. Metodología propuesta.

IV.I *Carácter Multi-Físico en Reactores Nucleares de Sales Fundidas*

La integración de los procesos hidrodinámicos y de transferencia de calor en flujo en dos fases con los procesos neutrónicos y generación de potencia consideran fenómenos físicos cruciales en el diseño y análisis de seguridad y control del reactor MSR, siendo los fenómenos más evidentes y medibles las velocidades superficiales, caída de presión, temperaturas y potencia generada. Todo este carácter multifísico se centra en el núcleo del reactor, que es en donde se dan las fisiones nucleares y cuya potencia producida en forma de calor debe ser removida a través de intercambiadores de calor, donde además se producen procesos nucleares por el decaimiento de los productos de fisión.

IV.II *Dinámica de flujo en dos fases*

La presencia de inyección de burbujas de helio al combustible-líquido, representa un desafío en el modelado, debido a la interacción interfacial entre la fase líquida y la fase gas. La capacidad de predecir diferentes condiciones de operación, producen cambios en las velocidades de las fases y caída de presión, que son variables importantes en el diseño y análisis del reactor, además de la retroalimentación con los procesos neutrónicos por fracción volumen de la fase gas. El modelo matemático y numérico se basa en el método de un trabajo previo del mismo autor de la presente propuesta [9].

IV.II *Transferencia de calor en dos fases*

La evaluación de seguridad de las plantas nucleares está relacionada con la capacidad para determinar las distribuciones temporales y espaciales de las temperaturas del núcleo del reactor, así como los efectos asociados de las fuentes y sumideros de calor a través del sistema de refrigeración del reactor, siendo en este caso el combustible nuclear por su

característica líquida. El método establecido para evaluar esas condiciones más complejas es a través de modelos escalados para poder predecir el comportamiento de una planta nuclear. Los fenómenos de transferencia de calor y la dinámica del fluido en mezcla heterogénea de flujo en dos fases conforman un conjunto de fenómenos físicos que se deben de tomar en cuenta en el diseño y análisis. El modelo matemático escalado de dos temperaturas se basa en el método del promedio volumétrico de un trabajo reciente del mismo autor de la presente propuesta [10].

IV.III Neutrónica

El diseño y operación de un reactor nuclear está relacionado con la capacidad de predecir el flujo neutrónico en el sistema en función del espacio y el tiempo. Esto se puede hacer aplicando como primera aproximación un modelo reducido de la cinética neutrónica y con una distribución espacial de potencia. El cálculo de parámetros nucleares se obtendrá mediante el código SERPENT, siguiendo la metodología desarrollada por el investigador anfitrión, el Dr. Juan Luis François con su equipo de trabajo.

IV.IV Control

El decaimiento de los precursores de neutrones retardados en el lazo externo al núcleo del reactor establece un desbalance neutrónico que debe compensarse con una reactividad externa. El tiempo de residencia del refrigerante-combustible en el intercambiador de calor, se estima con la velocidad del fluido calculada con los principios fundamentales de transporte.

IV.V Metodologías de acoplamiento

Las metodologías de acoplamiento multifísico se puede establecer a través de la retroalimentación fuerte entre comportamiento neutrónico (NUP) con la dinámica del fluido (HTP) y la transferencia de calor en el núcleo (HTC), seguida del control del reactor (CER). El esquema de acoplamiento es diferente de los reactores convencionales, debido a que la potencia generada se produce en el fluido que viaja con la velocidad de diseño. El proceso de retroalimentación del acoplamiento multifísico se esquematiza de manera simplificada en la Figura 1.

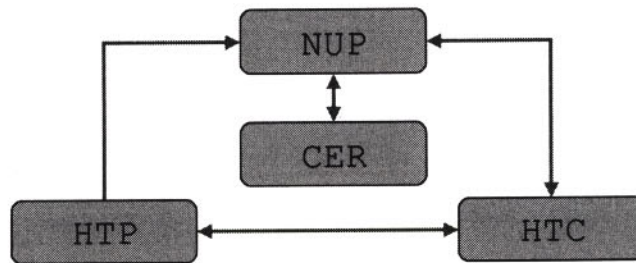


Figura 1. Esquema simplificado de acoplamiento: Neutrónico (NUP)/Transferencia de calor (HTC)/Dinámica del fluido (HTP)/Sistema de Control (CER).

Los fenómenos de retroalimentación con el proceso neutrónico se generan a través de la interacción con la temperatura del combustible-refrigerante y la fracción volumen. Además, la interacción con la dinámica del fluido se debe a los efectos convectivos en los procesos neutrónicos a través de la velocidad.

La parte neutrónica (NUP) está encargada de calcular la densidad de flujo neutrónico para calcular la potencia térmica dentro del núcleo y distribución de potencia. Con esta distribución de potencia se calcula la distribución de temperaturas de la combustible líquido y las burbujas de helio (HTC). La parte dinámica del fluido (HTP) calcula las distribuciones de velocidades del combustible y el Helio, fracción volumen y presiones. El control del reactor (CRE) controla la potencia del reactor e interactúa con la neutrónica. Los fenómenos de retroalimentación con el proceso neutrónico se generan a través de la interacción con las temperaturas antes mencionadas y fracción volumen. Por otro lado, la transferencia de calor interactúa con la dinámica del fluido a través de las velocidades de las fases. Además, la interacción con la dinámica del fluido se debe a los efectos convectivos en los procesos neutrónicos a través de la velocidad para calcular la concentración de los precursores de neutrones.

IV.VI Generación de parámetros nucleares

En el presente análisis, el acoplamiento neutrónico y termohidráulico se basa fundamentalmente en la retroalimentación a través de variables críticas como son los coeficientes de reactividad por temperaturas de combustible-refrigerante y helio para distintas fracciones de volumen del gas, que son esenciales en el modelo reducido de los procesos neutrónicos que impactan directamente en el modelo de transferencia de calor del combustible y en el modelo de la dinámica del flujo en dos fases.

La reactividad como función de la fracción volumen del helio (permite estimar la densidad de la mezcla líquido-gas) y de las temperaturas del combustible, se obtendrá mediante el código SERPENT para un espectro continuo de energía de los neutrones, a partir de los valores del factor de multiplicación infinita de neutrones (k_{∞}).

V. Cronograma de actividades.

El proyecto se plantea llevar a cabo en un periodo de un año con las siguientes actividades globales:

HTP-Dinámica de fluidos en dos fases

- HTP1.1 Diseño conceptual del núcleo de un Reactor de Sales Fundidas
- HTP1.2 Escalamiento de las ecuaciones de transporte de masa, y cantidad de movimiento para cada fase
- HTP1.3 Ecuaciones constitutivas interfaciales entre la fase gas y líquida
- HTP1.4 Implementación numérica y pruebas desacopladas

TCC-Transferencia de calor

- TCC1.1 Modelación escalada de dos temperaturas y cálculo de coeficientes efectivos
- TCC1.2 Modelación escalada de una temperatura y cálculo de coeficientes efectivos
- TCC1.3 Implementación numérica y pruebas unitarias

NUP-Neutrónica

- NUP1.1 Cálculo de parámetros con SERPENT
- NUP1.2 Implementación y pruebas desacopladas

CRE-Control

- CRE1.1 Desarrollar una estrategia de control, implementación y pruebas

ACO-Acoplamiento

- ACO1.1 Metodología e implementación
- ACO1.2 Validación, análisis de sensibilidad e incertidumbre
- ACO1.3 Experimentos numéricos

Tabla 1. Cronograma de actividades

Actividad	1er bimestre		2do bimestre		3er bimestre		4to bimestre		5to bimestre		6to bimestre	
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
HTP												
TCC												
NUP												
CRE												
ACO												

El programa de actividades es factible debido a que se cuenta con infraestructura desarrollada tanto por el investigador proponente como por el investigador anfitrión. En el 4to bimestre se someterá un manuscrito en una revista internacional (indizada en el SCI).

Referencias

- [1] IAEA Nuclear Energy Series (2013). Hydrogen Production Using Nuclear Energy. No. NP-T-4.2., Vienna.

- [2] GIF, 2002 and 2014. A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems. December 2002 and January 2014. Issued by the U.S. DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum.
- [3] Dolan, T. (2017). Introduction. In T. Dolan (Ed.), Molten Salt Reactors and Thorium Energy. Woodhead Publishing: United Kingdom.
- [4] Muránsky O., et al. (2019). Molten salt corrosion of Ni-Mo-Cr candidate structural materials for Molten Salt Reactor (MSR) systems. Corrosion Science, 108087.
- [5] Allibert M. et al. (2016). Handbook of Generation IV Nuclear Reactors (pp. 157-158). Woodhead Publishing: UK
- [6] Yoshiok R. et al. (2017). Molten Salt Reactors and Thorium Energy (pp. 189-193). Woodhead Publishing: UK
- [7] Singh V., et al. (2020). Plant-level dynamic modeling of a commercial-scale molten salt reactor system. Nuclear Engineering and Design, 360, 110457
- [8] Pázsit I. et al. (2014). The point kinetic component of neutron noise in an MSR. Annals of Nuclear Energy 64 344-352;
- Betzler B. R. et al. (2017). Molten salt reactor neutronics and fuel cycle modelling and simulation with SCALE. Annals of Nuclear Energy 101, 489-503;
- Wooten D., Powers J. J. (2018). A review of molten salt reactor kinetics models. Nuclear Sci. and Eng. 191 203-230;
- Greenwood M. S., Betzler B. (2019). Modified Point-Kinetics Model for Neutron Precursors and Fission Product Behavior for Fluid-Fueled Molten Salt Reactors. Nuclear Science and Engineering 193, 417-430;
- Bajpai, P. et al. (2020). A multiphysics model for analysis of inert gas bubbles in Molten Salt Fast Reactor. The European Physical Journal Plus 135(6), 409.
- Diniz, R. C. et al. (2020). Neutron point kinetics model with precursors' shape function update for molten salt reactor. Nuclear Engineering and Design 360, 110466.
- Greenwood M. S., et al. (2020). Demonstration of the Adv. Dynamic System Modeling Tool TRANSFORM in a Molten Salt Reactor Application via a Model of the Molten Salt Demonstration Reactor. Nuclear Technology 206, 478-504.
- [9] Espinosa-Paredes, G. 2001. Theoretical derivation of the interaction effects with an eccentric cell model and void fraction propagation in two-phase flow. Annals of Nuclear Energy 28, 659-688.
- [10] Pérez-Valseca et al. (2021). Upscaled heat transfer coefficients for a liquid metal-cooled fast nuclear reactor. International Journal of Heat and Mass Transfer 165, 120622.



Apéndice B

Plan de actividades del Estudiante Jesús Jorge Domínguez Alfaro, estudiante maestría del posgrado de Energía y Medio Ambiente

La tesis de maestría del alumno Domínguez está desarrollando e integrando modelos de orden reducido para el análisis dinámico dinámica de un reactor de sal fundida.

Al concluir el próximo trimestre (22P) que corresponde al inicio del sabático, el alumno Domínguez bajo mi asesoría concluirá la tesis de maestría, con la idea de trabajar inmediatamente en un protocolo de proyecto para el programa de doctorado del PEMA.

El modelo de orden reducido consiste de un modelo flujos relativos para flujo en dos fases (Espinosa-Paredes y Nuñez-Carrera, 2008) y la implementación de un modelo de temperaturas de dos fluidos (Jiménez-Balbuena, 2021), estas modelos se acoplan con el modelo de generación del potencia del combustible líquido y concentración de precursores. Se han realizado las pruebas de unitarias desacopladas en estado estacionario y transitorio.

Se estima que la tesis tiene un avance incluyendo escritura de tesis tiene un avance del 80%, y las actividades por realizar son:

- (1) Acoplamiento de los modelos de orden reducido con efectos de retroalimentación,
- (2) experimentos numéricos,
- (3) discusión de resultados y
- (4) escritura de tesis
- (5) trámites de titulación

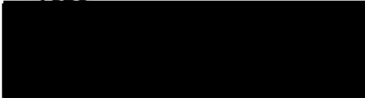

Las primeras cuatro actividades se realizarán en el transcurso del trimestre 22P.

Referencias

Espinosa-Paredes G. y Nuñez-Carrera, A. (2008). SBWR Model for Steady State and Transient Analysis. Science and Technology of Nuclear Installations 2008, Article ID 428168

Zaira Itzel Jiménez Balbuena (2021). Transferencia de calor en un reactor nuclear de sales fundidas con efectos de inyección de burbujas de helio. Posgrado en Energía y Medio Ambiente. UAM-Iztapalapa.

VoBo


Dra Beatriz Adriana Silva Torres
Coordinadora del Posgrado de Energía y Medio Ambiente
@xanum.uam.mx



Ciudad de México a 06 de febrero de 2024

Dr. Rodolfo Vázquez Rodríguez

Jefe del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica (IPH)

ASUNTO: Informe periodo sabático: 30 de enero de 2023 al 29 de enero de 2024.

Estimado Dr. Vázquez:

En este informe se presentan los resultados de docencia, investigación y difusión de la cultura del periodo sabático del 10 de octubre de 2022 al 09 de diciembre de 2023. Las actividades académicas realizadas están íntimamente relacionadas con la Licenciatura de Ingeniería en Energía (LIE), el Posgrado de Energía y Medio Ambiente (PEMA), y del Área de Investigación "Ingeniería en Recursos Energéticos" (AIRE).

Se publicó un libro de difusión docente relativo a Exergía que deseamos tenga un impacto entre los estudiantes y profesores de la LIE, con la idea de complementar al menos 4 UEAS de termodinámica. Se asesoraron 2 Proyectos Terminales y 1 Tesis de maestría. Se continuó con la asesoría de 3 estudiantes de Maestría e inicié con 1 de doctorado. Respecto a la formación de investigadores, asesoré un proyecto posdoctoral del Dr. Carlos Cruz López financiado por CONAHCyT, con duración de un año, el cual se extendió por dos años más. Impartí una UEA en el PEMA "Método de Análisis de Transporte de Neutrones".

Respecto a la investigación en el AIRE y el proyecto "Transferencia de Calor en Sistemas Energéticos" (aprobado por el CDCBI) del cual soy responsable, se lograron avances notables en investigación con 9 artículos publicados y 5 sometidos en revistas indizadas, la mayoría de gran prestigio en mi área de investigación. Se desarrolló un programa computacional para la solución analítica de un modelo de orden fraccional para análisis dinámico de reactores nucleares. Editor invitado de "Nuclear Engineering and Design" para el número especial "Outcomes and Achievements From Researches Orienting the Future In Nuclear Fission Technology". Responsable de tres de proyectos de investigación y sometí uno a CONAHCyT.

En el ámbito de difusión y divulgación de la cultura: 1 artículo publicado, 1 cápsula informativa, 2 conferencias magistrales y más de 10 conferencias (e.g., EXPO UAMI-2023). Profesor huésped en la Universidad de Antofagasta. Participé en la revisión de proyectos de investigación, artículos científicos y en Comisión Dictaminadora del Instituto de Energías Renovables, de la UNAM.

Atentamente

Casa abierta al tiempo



Dr. Gilberto Espinosa-Paredes
Profesor-Investigador

Ccp Miembros del Consejo Divisional de CBI



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA - *Iztapalapa*

Informe de Periodo Sabático 30 de enero de 2023 al 29 de enero de 2024

Dr. Gilberto Espinosa-Paredes
Área de Ingeniería en Recursos Energético
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
✉ [xanum.uam.mx](mailto:gilberto@xanum.uam.mx)

Docencia

Libro publicado

1. **Espinosa-Paredes, G.**, Vázquez-Rodríguez, A, Carlos G. Aguilar-Madera (2023). Exergía en Sistemas Energéticos. OmniaScience Scholar, Charleston, USA, 338 páginas. DOI: [10.3926/oss.39](https://doi.org/10.3926/oss.39); ISBN: 978-84-126475-3-2

Link: <https://www.omniascience.com/books/index.php/scholar/catalog/category/oss-tech>

Síntesis del libro: Los primeros cuatro capítulos tratan de un repaso de la Termodinámica para lectores que necesiten de una consulta rápida y estudiantes principiantes. Los lectores con bases suficientes pueden abordar directamente el tema de la exergía del Capítulo 5 al Capítulo 9. En el Capítulo 10 se presenta el análisis exergético de sistemas energéticos: nucleares, geotérmico, solar y de ciclo combinado.

Incidencia en la formación de estudiantes

Proyectos terminales: Energía Nuclear

2. Bruno Millán Cedraschi, Modelo dinámico de orden reducido de un microreactor de alta temperatura enfriado por helio. Licenciatura en Ingeniería en Energía, Área de Ingeniería en Recursos Energéticos. UAM-Iztapalapa, Nov 24, 2023.
3. José Emmanuel Castillo Pérez Título: Modelo para la circulación natural del reactor modular pequeño NuScale. Licenciatura en Ingeniería en Energía, Área de Ingeniería en Recursos Energéticos, UAM-Iztapalapa, Nov 14, 2023.

Descripción: La formación de los estudiantes de la Lic. de Ingeniería en Energía (LIC), en el área de energía nuclear de potencia, es vanguardista en el sentido que se enseña y se estudian nuevas tecnologías con reactores de cuarta generación (GIF integrado por 13 países) con 6 tecnologías definidas: dos enfriados con metales líquidos, dos enfriados con gas, uno de combustible nuclear líquido y un reactor enfriado con agua supercrítica. Especialmente se está poniendo énfasis en instalaciones nucleares con pequeños reactores (hasta 300 MWe). El despliegue de reactores nucleares de alta eficiencia de propósitos diversos, además de la generación de energía eléctrica son propicios para la transición energética, y atacar el cambio climático.

Maestría

4. Jesús Jorge Domínguez Alfaro. Flujo en dos fases en reactores nucleares de sal fundida. Posgrado en Energía y Medio Ambiente. UAM-Iztapalapa, febrero 23, 2023 (Título).

Descripción: En esta tesis se modeló un reactor de cuarta generación de sal fundida (MSR) para entender el comportamiento térmico y neutrónico de un combustible nuclear líquido, que al mismo tiempo constituye el refrigerante. Hay dos aspectos que nos interesaron entender, el efecto en la potencia de los precursores de neutrones cuando el combustible líquido sale del reactor hacia los intercambiadores de calor, y la presencia de un gas inerte en el combustible.

5. UEAS impartidas

- En el trimestre 23 P impartí las UEA "Métodos de Análisis de Transporte de Neutrones".
- Proyectos terminales I y II de la Licenciatura de Ingeniería en Energía.
- Proyecto y Seminario de Investigación III en Maestría del PEMA
- Investigación Doctoral I del PEMA.

Incidencia en la formación de investigadores

6. **Posdoctorante:** Dr. Carlos Cruz López.

Descripción: En este proyecto posdoctoral de investigación se analiza la dinámica de reactores nucleares con efectos subdifusivos en el movimiento del neutrón, con modelos matemáticos de orden fraccional. Se han logrado soluciones analíticas para analizar la seguridad en reactores nucleares en condiciones transitorias. El impacto de este proyecto son 5 artículos (2 publicados y 3 sometidos), y el desarrollo de un programa de cómputo.

Investigación

Responsable proyectos de investigación

- Desarrollo de modelos fenomenológicos energéticos de orden fraccional, para la optimización y simulación en reactores nucleares de potencia. CONAHCyT en el programa de estancias Posdoctorales (Duración 12 meses) 2023. Se extendió hasta el año 2025.
- Simulación de procesos neutrónicos y de transferencia de calor de un reactor pequeño enfriado con gas" en el Programa especial de apoyo a proyectos de docencia e investigación de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (Duración 12 meses). Enero de 2023 a febrero de 2024
- AZTLAN Platform (Termohidráulica): Plataforma Mexicana para el Análisis y Diseño de Reactores Nucleares. Convocatoria CONACyT-SENER-SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA-2013-0. Duración 2014-2023

Proyecto sometido: Reactores nucleares pequeños y microreactores para la transición energética de México. En la convocatoria CIENCIA BÁSICA Y DE FRONTERA 2023-2024 de CONAHCyT.

Descripción: Los reactores nucleares de Generación IV (GIV) consideran en su diseño la sostenibilidad, seguridad y confiabilidad, competitividad económica, resistencia a la proliferación y protección física. La

eficiencia térmica de estos reactores es aproximadamente del 40% y el ciclo de combustible puede ser abierto o cerrado, el ciclo cerrado presenta ventajas de sostenibilidad dado que los combustibles gastados son reprocesados, eliminando la explotación de minas. De acuerdo con la experiencia operativa, el factor de capacidad de las centrales nucleares es de 93.4%, varias veces mayor que las energías renovables. En este documento, se propone el estudio de reactores nucleares pequeños (hasta 300MWe) y microreactores (hasta 10MWe) de tecnologías de GIV. Una consideración fundamental de este proyecto es el estudio de tecnologías GIV que no son enfriados con agua, los cuales pueden ser utilizados en zonas de escasos de este recurso. Además de la generación de energía eléctrica, los reactores nucleares GIV pueden incorporar ciclos de cogeneración para calor industrial, hidrógeno nuclear y desalinización de agua de mar. La energía nuclear es una opción para la transición energética, ya que puede ser utilizada en el futuro para la descarbonización de la red eléctrica nacional, además tiene el potencial para contribuir en 10 de los 17 objetivos y metas de desarrollo sostenible

13 artículos en revistas indizadas en el JCR

Descripción: Los trabajos publicados y sometidos el producto de más de casi dos décadas investigación científica y tecnología, en modelado matemático y simulación dinámica de reactores nucleares. Desde del año 2004 con mi colega Dr. Alfonso Prieto Guerrero exploramos métodos avanzados para el tratamiento de señales nucleares reales, que años más tarde culminó en el desarrollo tecnológico de un monitor de estabilidad para la Central Nuclear de Laguna Verde, no obstante, seguimos investigando al respecto, y uno de los trabajos trata precisamente de explorar el método basado en espectro fractal de las señales nucleares. También se presentan trabajos con modelos matemáticos de orden reducido y de orden fraccional, para aplicaciones de estabilidad y control, con efectos anómalos en los procesos del movimiento del neutrón. Es importante señalar que algunos de los trabajos publicados se han realizado con investigadores *Ramrao Adik Institute of Technology* y *Visvesvaraya National Institute of Technology* de la India. También se presenta un trabajo para explorar las mejoras térmicas en dispositivos solares aplicando nanopartículas, y un trabajo de flujo en medios porosos con un modelo fractal. Otra de las líneas que hemos explorado desde hace 5 años es el escalamiento de reactores nucleares, que ha mostrado ventajas importantes frente a acoplamiento de grandes códigos existentes en la industria nuclear de termohidráulica y neutrónicos para esquemas de simulación pin-to-pin (elemento más pequeño representativo de un reactor compuesto de cientos de miles de estos), este método se aplicó a un reactor Chino de cuarta generación.

9 artículos publicados y revistas indizadas en el JCR

7. Cruz-López, C.-A., **Espinosa-Paredes, G.** (2024). Analytical solution of the fractional neutron point kinetic equations using the Mittag-Leffler function. *Computer Physics Communications* **296**, 109028. <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2023.109028>
8. Keluskar, Y.C., Singhaniya, N.G., Vyawahare, V.A., Jage C.S., Patil P., **Espinosa-Paredes, G.** (2024). Solution of nonlinear fractional-order models of nuclear reactor with parallel computing: Implementation on GPU platform. *Annals of Nuclear Energy* **195**, 110134. <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2023.109028>
9. **Espinosa-Paredes, G.**, Cázares-Ramírez, R.I., Vyawahare, V.A., 'Erick-G. Espinosa-Martínez, E.-G., (2024). Stability analysis in BWRs with double subdiffusion effects: Reduced order fractional

model (DS-F-ROM). *Nuclear Engineering and Technology* (In Press)
<https://doi.org/10.1016/j.net.2023.11.034>

10. **Espinosa-Paredes, G.**, Molina-Tenorio, Y., Prieto-Guerrero, A., Olvera Guerrero, O. (2023). Linear or non-linear stability monitor in BWRs? Introducing a new non-linear monitor based on the fractal spectrum. *Nuclear Engineering and Design* **415**, 112662.
<https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2023.112662>
11. Herrera-Hernández, E. C., Aguilar-Madera, C. G., **Espinosa-Paredes, G.**, Hernández D. (2023). Modeling single-phase fluid flow in porous media through non-local fractal continuum equation. *Journal of Engineering Mathematics* **138**(8), 1-18.
<https://doi.org/10.1007/s10665-022-10245-4>
12. Cruz-López, C. A., **Espinosa-Paredes, G.**, François, J. L. (2023). A new simplified analytical solution to solve the neutron point kinetics equations using the Laplace transform method. *Computer Physics Communications* **283**. 1085564.
<https://doi.org/10.1016/j.cpc.2022.108564>
13. Roul, P., Rohil, V., **Espinosa-Paredes, G.**, Obaidurrahman, K. (2023). An efficient computational technique for solving a fractional-order model describing dynamics of neutron flux in a nuclear reactor. *Annals of Nuclear Energy* **185**, 109733.
<https://doi.org/10.1016/j.anucene.2023.109733>
14. Galindo-Luna, H.-Y., Sánchez-Mora, H., **Espinosa-Paredes, G.**, Espinosa-Martínez, E.-G. (2023). Performance comparison of PTCs with nanoparticles in water and nanoparticle in thermal oil. *Case Studies in Thermal Engineering* **50**, 103478.
<https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103478>
15. **Espinosa-Paredes G.**, Centeno-Perez J., Nuñez-Carrera A., Quezada-García S., Espinosa-Martínez E.-G., Vázquez-Rodríguez A. (2023). Hydrodynamics and structural mechanics of jet pumps in a boiling water reactor: CFD Analysis. *Journal of Engineering and Applied Sciences* **18**(5), 516-521. (Artículo de difusión científica)

4 artículos sometidos en revistas indizada en el JCR

16. Cruz-López, C.-A., **Espinosa-Paredes, G.**, François, J. L. (2023). General Solution of Bateman Equations using Cauchy Products and the Theory of Divided Differences. *Annals of Nuclear Energy* (Submitted: September 28, 2023).
17. Cruz-López, C.-A., **Espinosa-Paredes, G.** (2023). A New Solution of the Fractional Neutron Point Kinetics Equations using Symmetry and the Heaviside's expansion formula. *Progress in Nuclear Energy* (Submitted: August 24, 2023)
18. Lopez-Solis, R., **Espinosa-Paredes, G.**, Perez-Valseca, A.D., Cruz-López, C.-A. (2023). Multiphysics and multiscale simulation for an experimental sodium-cooled fast reactor. *Nuclear Engineering and Design* (Submitted: December 30, 2023)

19. **Espinosa-Paredes, G.**, Cruz-López, C.-A, (2023). A New Fractional Neutron Point Kinetic Equations with different fractional orders based on Compartmental Models Theory *Nuclear Engineering and Design* (Submitted: December 30, 2023)
20. Roula, P., Rohila, V., **Espinosa-Paredes, G.**, Obaidurrahman, K. (2023). Numerical approximation of a fractional neutron diffusion equation for neutron flux profile in a nuclear reactor. *Progress in Nuclear Energy* (Submitted: September 09, 2023)

Programa computacional Mittag-Leffler FNPKE

21. Manual de usuario

CPC Library link to program files: <https://doi.org/10.17632/v4kfhzw7sf.1>

Developer's repository link: <https://github.com/Cruz-Lopez-Carlos-Antonio/Mittag-Leffler-FNPKE/tree/main>

Licensing provisions: Creative Commons by 4.0

Programming language: MATLAB (2021a) / Python 3

Naturaleza del problema: Las ecuaciones cinéticas de puntos fraccionarios de neutrones describen la población de neutrones en un reactor nuclear, considerando los cambios en el transporte y las propiedades termohidráulicas del sistema. Para tal tarea se utiliza un enfoque de balance de masa basado en derivadas fraccionarias e integrales, que mejora y generaliza el caso entero que utiliza las definiciones clásicas de estos operadores matemáticos. Desde un punto de vista físico, este nuevo enfoque tiene en cuenta la memoria y los efectos no locales que se omiten en la teoría estándar de la difusión de neutrones y que son relevantes en escenarios donde la densidad de neutrones actual sufre fuertes variaciones en el tiempo. Desde un punto de vista matemático, el uso de derivadas fraccionarias conduce a un nuevo tipo más general de ecuaciones diferenciales de orden arbitrario que requieren diferentes métodos de solución y aproximación, y que deben incluir el enfoque de números enteros como caso particular.

En tal contexto, el desarrollo de soluciones analíticas es un problema fundamental porque proporciona un marco para llevar a cabo verificaciones de métodos numéricos, así como una idea para realizar comparaciones teóricas con el modelo clásico. Los códigos Mittag-Leffler FNPKE desarrollados resuelven analíticamente las ecuaciones cinéticas de puntos fraccionarios de neutrones definidas en términos de las derivadas de Caputo y sujetas a condiciones iniciales clásicas.

22. Editor Invited Nuclear Engineering and Design

Los editores invitados somos académicos y científicos de diversas partes del mundo para orientar el futuro de la tecnología de fisión nuclear (NFT), a través de lanzar 1 serie de 33 números especiales virtuales donde jugamos un papel fundamental a la hora de conectar la investigación y las estrategias para el despliegue de la NFT.

Desde el comienzo de la investigación en energía nuclear, la viabilidad de NFT ha sido un tema de debate. Temas como la proliferación, la gestión de residuos nucleares, el desmantelamiento, los altos costos financieros relacionados con la producción de energía nuclear y los accidentes graves han generado una

opinión pública negativa sobre NFT. Estas cuestiones no tienen una fórmula matemática cerrada para la cuantificación del riesgo, sino que se orientan en torno a la opinión pública.

Hoy en día, el futuro de NFT es incierto. Se tomarán decisiones importantes en la producción de energía en países que han contribuido al desarrollo de NFT. Gran parte del debate se centra en la viabilidad de los grandes reactores, que son la forma más conveniente de producir energía. Aunque los beneficios de las NFT para la humanidad son indiscutibles, aquí la atención se centra en los desafíos inevitables que conlleva la interacción con las tendencias del mercado y las estrategias políticas que son difíciles de predecir o gestionar.

Algunas de las preguntas que se intentan responder a través de esta serie son:

¿Durante cuánto tiempo sobrevivirá un reactor nuclear de gran tamaño (basado en refrigeración por agua)?

¿Los SMR basados en tecnología hidráulica desplazarán a los grandes reactores?

¿Tendrán la tecnología sin refrigeración por agua SMR y los microrreactores un despliegue industrial?

¿Tendrá la debida relevancia la tecnología de mejoramiento, incluida la explotación de torio?

¿Se mantendrá o será suficientemente sólida la "infraestructura nuclear" (suministro de combustible, marco financiero, competencia de los reguladores para nuevos diseños, gestión de residuos, etc.)?

El estatus del número especial de la serie NFT-17, son 8 artículos aceptados o publicados, 6 sometidos y 2 rechazados. El promedio de artículos considerando las 33 series, es de aproximadamente 12 artículos, que significa que estamos arriba de la media.

Información de la revista Nuclear Engineering and Design: Cuartil Q1; ISSN 00295493; Cobertura desde 1965; índice H: 115.

Difusión de la Cultura

23. Artículo de difusión:

de León-Jasso, B.E., Aguilar-Madera, C.G., Cazarez-Candia, O., Herrera-Hernández, EC., **Espinosa-Paredes, G.** (2023). Simulador para un yacimiento de gas basado en una solución numérica explícita. *Ingenierías* **9**, 25-31. ISSN 0186-8950

24. Cápsula informativa

Microreactores nucleares

Cápsula informativa que se reproduce en Spotify, Amazon Music y Deezer a través del podcast del Departamento de Química.

<https://open.spotify.com/episode/1I92pbqeTs2FgqxwuQ2E7j?si=UDAX88KxR9qTWa5d8CfmwA>

Conferencias magistrales

25. Acoplamiento Multifísico y Multiescala en Reactores Nucleares: Rumbo a los Reactores de Generación IV. 5º Congreso Internacional de Energía. Zacatecas, 21 de septiembre de 2023.

26. La Energía Nuclear y la Transición Energética. 14° Congreso Internacional de Investigación UVM. Guadalajara. Octubre 06, 2023.

Participación en la mesa redonda Mesa Redonda

27. "Opciones Educativas Nucleares en México" dentro del Ciclo de Conferencias Virtuales de la Energía Nuclear y el Cambio Climático 2023. Red Mexicana de Educación, Capacitación e Investigación Nuclear (REMECIN).

Ponencias

28. Energía Nuclear. Expo-UAMI 2023 dirigido a estudiantes del sistema educativo nivel medio superior. Noviembre 29, 2023.
29. Aplicaciones del método de escalamiento en sistemas heterogéneos. Facultad de Ingeniería, Universidad de Antofagasta, Chile. Noviembre 02, 2023.
30. La formación de recursos humanos y la transferencia de conocimiento en las universidades mexicanas. Foro: Energía Nuclear y su Rol Fundamental en la Transición e Independencia Energética. Cámara de Diputados (LXV Legislatura). Noviembre 23, 2023.
31. Módulo de Elasticidad Escalado en Pastillas de UO₂. Unidad Académica de Estudios Nucleares, Universidad Autónoma de Zacatecas, 22 de septiembre de 2023.
32. "Energía Nuclear: La fuente de energía más EFICIENTE para mitigar el calentamiento global". Foro Cambio Climático. Septiembre 21, 2023
33. Geotermia Rumbo a la Transición Energética. Semana de la Ingeniería en Energía. Septiembre 29, 2023.
34. Solución analítica de las ecuaciones de orden fraccional del reactor nuclear puntual. Pi+Epsilon, celebrando el día internacional de las matemáticas. Agosto 17, 2023.
35. La Importancia del Escalamiento en el Análisis en Reactores Nucleares. Mentoreando para el desarrollo de capacidades humanas en Energía Nuclear en México. Febrero 11, 2023

Participación en congresos

36. Externa reactivity with two-phase flow effects in molten salt reactor. 5o Congreso Internacional de Energía 2023/5th Energy International Conference 2023. Zacatecas, Mex. 18-22 September 2023.
37. Unprotected transient analysis in lead-cooled fast reactor. 5o Congreso Internacional de Energía 2023/5th Energy International Conference 2023. Zacatecas, Mex. 18-22 septiembre 2023.
38. Neural Networks may be surging ahead in water surge prediction: How an EANN could predict flooding, XXVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) (Berlin 2023). <https://doi.org/10.57757/IUGG23-4149>
39. Acoplamiento Termohidráulico y Cinética Neutrónica Puntual de orden fraccional para el Análisis de Transitorios en el Reactor NuScale. XXXIV Congreso Anual de la Sociedad Nuclear Mexicana. La Paz, Baja California Sur, 29 de agosto de 2023.