

Un Viaje por el Tiempo

Desarrollo y Aplicaciones en Difusión y Transporte de Neutrones en el IPN: 1975-2021

Mesa Redonda:

Desarrollo y aplicación de herramientas de simulación mexicanas para el análisis de reactores nucleares

XXXII Congreso Anual de la Sociedad Nuclear Mexicana
2021 LAS/ANS Symposium

Edmundo del Valle Gallegos

Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Física y Matemáticas



- 1. Inicio de la Etapa JPH (Jean Pierre Hennart, Big Brother), Las Diferencias Finitas, un campo de entrenamiento previo a los métodos de elemento finito (Crímenes Variacionales)**
- 2. De la Cinética Puntual al Caballo de Batalla: la ecuación de difusión/transporte de neutrones**
- 3. Desarrollo y aplicación de métodos nodales tipo elemento finito**
- 4. Comentarios finales**

1. Inicio de la Etapa JPH (Jean Pierre Hennart, Big Brother), Las Diferencias Finitas, un campo de entrenamiento previo a los métodos de elemento finito (Crímenes Variacionales)

Curso de Posgrado “Computadoras en la Ingeniería Nuclear” impartido por el Dr. Hennart desde 1974 hasta 1986.

Un viaje a lo desconocido desde los Métodos de Diferencias Finitas hasta los Métodos de Elemento Finito con paradas anticipadas en Algebra Lineal, Métodos Iterativos para Resolver Sistemas Lineales, Método de las Potencias, Diferencias Finitas en 1D y 2D, Integración por Caja, Método ADI, Aplicaciones en Difusión de Neutrones 1D y 2D, Solución de modelo de la cinética puntual, Difusión de Neutrones 1D y 2D con dependencia en tiempo, Ecuación de Transporte de Neutrones, Aproximación PL, Aproximación SN, Método de Elementos Finitos y sus Aplicaciones en la Solución de las Ecuaciones de Difusión de Neutrones en Estado Estable cometiendo uno que otro Crimen Variacional, faltaba menos.

$$\left. \begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= \frac{\rho - \beta}{\Lambda} n + \sum_{i=1}^I \lambda_i c_i \\ \frac{dc_i}{dt} &= \frac{\beta_i}{\Lambda} n - \lambda_i c_i; i = 1, \dots, I \end{aligned} \right\} I+1 \text{ EDO}$$

$$n(0) = n_0; \quad c_i(0) = \frac{\beta_i}{\lambda_i \Lambda} n_0; \quad i = 1, \dots, I$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{v^g} \frac{\partial}{\partial t} \phi^g(\vec{r}, t) = & \nabla \cdot D^g(\vec{r}, t) \nabla \phi^g(\vec{r}, t) - \sum_{g'=1}^G \Sigma_s^{g' \rightarrow g}(\vec{r}, t) \phi^{g'}(\vec{r}, t) \\ & + (1 - \beta) \sum_{g'=1}^G \chi^g \nu^{g'}(\vec{r}, t) \Sigma_f^{g'}(\vec{r}, t) \phi^{g'}(\vec{r}, t) + \chi^g \sum_{i=1}^I \lambda_i c_i(\vec{r}, t); \quad g = 1, \dots, G \end{aligned}$$

y además

$$\frac{\partial}{\partial t} c_i(\vec{r}, t) = \beta_i \sum_{g=1}^G \nu^g(\vec{r}, t) \Sigma_f^g(\vec{r}, t) \phi^g(\vec{r}, t) - \lambda_i c_i(\vec{r}, t); \quad i = 1, \dots, I$$

$$\mu_n \frac{d\psi_n}{dx} + \sum_t \psi_n = \sum_s \sum_{m=1}^N \omega_m \psi_m + S_n; n = 1, \dots, N$$



$$\boxed{\begin{array}{l} \psi_n(0) = 0 \\ \psi_n(a) = 0 \end{array}} \quad \begin{array}{l} n = 1, \dots, \frac{N}{2} \\ n = \frac{N}{2} + 1, \dots, N \end{array}$$

Ecuaciones de Transporte 3D Aproximación SN+T

$$\frac{1}{v_g} \frac{\partial}{\partial t} \psi_{gn}(x, y, z, t) + \mu \frac{\partial}{\partial x} \psi_{gn}(x, y, z, t) + \eta \frac{\partial}{\partial y} \psi_{gn}(x, y, z, t) + \xi \frac{\partial}{\partial z} \psi_{gn}(x, y, z, t) +$$

$$\Sigma_{ig}(x, y, z, t) \psi_{gn}(x, y, z, t) = \sum_{g'=1}^G \sum_{n'=1}^N \omega_n \Sigma_{s_{g' \rightarrow g}}(x, y, z, t) \psi_{gn'}(x, y, z, t) +$$

$$(1-\beta) \chi_{pg} \sum_{g'=1}^G \sum_{n'=1}^N \omega_n \nu \Sigma_{fg'}(x, y, z, t) \psi_{gn'}(x, y, z, t)$$

$$+ \chi_{dg} \sum_{i=1}^I \lambda_i C_i(x, y, z, t) + Q_{gn}(x, y, z, t)$$

$$g = 1, \dots, G$$

$$n = 1, \dots, N$$

$$\frac{\partial}{\partial t} C_i(x, y, z, t) = \beta_i \sum_{g'=1}^G \sum_{n'=1}^N \omega_n \nu \Sigma_{fg'}(x, y, z, t) \psi_{gn'}(x, y, z, t) - \lambda_i C_i(x, y, z, t).$$

$$i = 1, \dots, I$$

Tesis Realizadas

	1D	2D	3D	T	H	HZ	Año	
Cinética Puntual				■			1977	Incluye varias aproximaciones en tiempo
Difusión (Primal)		■					1975	CAS DELFIN Difusión 2D, Bicuadrático de Lagrange
		■					1980	MMV WHALE Difusión 2D, Varios elementos clásicos
	■	■		■			1981	EDVG incluye crímenes variacionales
	■			■			1990	LMGG método nodal 1D e Incluye quemado
			■				1995	ASC PRTN0 primal físico, matemático y MCFD
		■					1996	VMGM primal físico, matemático y MCFD
		■	■	■			2002	ARH NRKin3D primal físico, matemático y MCFD
	■			■			2004	AMGT MEF Clásicos y Nodales+T+TH
		■	■	■			2004	NHM DIF3D m. nodales híbridos en 2D y RTN0 3D
		■					2010	ADL modelo de reactividad lineal avanzado
				■		■	2015	JEE Nodales+transformación GH HZ->XYZ
				■		■	2015	LRA AZNHEXT incluye uso de SERPENT

Tesis Realizadas

	1D	2D	3D	T	H	HZ	Año	Autor, Comentarios
SN							1985	FSP métodos varios incluyendo primeros nodales 1D
							1987	JJVP nodales polinomiales 1D+DSA
							1991	GAV nodales analíticos 1D+DSA
							1993	CFL TNXY 2D nodales polinomiales
							1995	LMGC 2D nodales polinomiales+DSA
							1996	ADL 2D nodales fuertemente y débilmente discontinuos
							1998	EDVG nodales polinomiales+GH, H->XY
							2000	ANC Nodal RT1+CMR
							2002	GAAM Nodal Bilineal Discontinuo 1D+T
							2003	JVXM Nodales 1D+Nodales Híbridos 2D XS obtenidas con HELIOS
							2007	CAMR Nodales polinomiales+GH, H->XY
							2017	JADG Nodal RTN0+T+IQM
							2020	AAA Nodal RT0 Discontinuo+T
							2021	ACM Nodal RTN0 Débilmente Discontinuo+T+GH, HZ-XYZ
SPL							2020	GMP AZNHEXT+SP1, SP3, SP5 y SP7

2. De la Cinética Puntual al Caballo de Batalla: la ecuación de difusión/transporte de neutrones

1. Benjamín Torres Barrios: Benjamín Torres Barrios, Nuevas Aproximaciones para la Cinética Puntual de los Reactores Nucleares (1977)

2. Carlos Arredondo Sánchez: DELFIN, Difusión con Elementos Finitos.
Solución de las Ecuaciones de Difusión para Varios Grupos por el Método de Elementos Finitos (1975)

3. Marcela Martha Villegas Garrido: WHALE, We Have A Lot of Elements
Comparación entre Diferentes Elementos Finitos para la Solución Numérica de las Ecuaciones de Difusión para Varios Grupos de Neutrones (1980)

4. Edmundo del Valle Gallegos: Difusión de Neutrones en 1D y 2D con dependencia en tiempo.
Aplicación del Método de Elementos Finitos a la Dinámica de Reactores Nucleares (1981)

4. Desarrollo y aplicación de métodos nodales tipo elemento finito

5. Fernando Serrano Pedraza: Transporte de neutrones 1D, estado estable. Solución Numérica de las Ecuaciones de Transporte de Neutrones en Ordenadas Discretas y Geometría Plana (1985)
6. Jacinto Javier Valdés Parra: Transporte de neutrones 1D, estado estable, métodos nodales polinomiales, aceleración por difusión sintética, Aplicación del método de difusión sintética en la solución numérica de las ecuaciones de transporte de neutrones en geometría plana (1987)
7. Luis Miguel Gutiérrez Ruíz: Cálculo del Quemado e Combustible en un Reactor Nuclear mediante la Aplicación del Método de Elementos Finitos (1990)

First México-Texas Workshop on Numerical Particle Transport que se llevó a cabo del 22 al 23 de marzo de 1990 en la Unidad de Seminario Ignacio Chávez de la Universidad Nacional Autónoma de México

8. Gustavo Alonso Vargas: Transporte de neutrones 1D, estado estable, métodos nodales exponenciales, aceleración por difusión sintética. Solución Numérica de la Ecuación de Transporte de Neutrones en Geometría Plana Mediante Esquemas Analíticos Empleando Aceleración por Difusión Sintética (1991).
9. Carlos Filio López: Transporte de neutrones 2D, estado estable, métodos nodales polinomiales, Solución Numérica de la Ecuación de Transporte de Neutrones en Geometría X-Y (1993)

Second Texas- Mexico Workshop on Numerical Particle Transport que se llevó a cabo en 1993 en Texas A&M University, College Station, Texas, USA.

4. Desarrollo y aplicación de métodos nodales tipo elemento finito

TRANSPORT THEORY AND STATISTICAL PHYSICS, 19(6), 585-589 (1990)

CONFERENCE REPORT: MEXICO-TEXAS WORKSHOP ON NUMERICAL PARTICLE TRANSPORT

The genesis of this workshop occurred during discussions between the two undersigned at the 1987 (Paris) topical conference of the Mathematics and Computation Division of the American Nuclear Society, when we realized that our respective research groups were both working toward a unified theory of spatial approximations in transport theory, but from substantially different viewpoints. We agreed that both groups would benefit from closer interaction, and that a rather informal workshop would provide a most desirable venue. These plans were further developed during discussions between Henart and G. D. Allen (Texas A&M University), on the occasion of the Vth IIMAS/UNAM¹ Workshop on Numerical Analysis, which was held in Mérida, Yucatán in January 1989. A tentative program was devised during discussions between the two of us, on the occasion of the April 1989 (Santa Fe) topical conference of the Mathematics and Computation Division of the American Nuclear Society, and a possible date of the following autumn was initially set. Subsequently it was mutually agreed to postpone this to March 22-23, 1990. The workshop was held on these dates, in the lovely surroundings provided by the Unidad de Seminarios Ignacio Chávez, on the grounds of UNAM in Mexico City.

The inaugural ceremony on the morning of the 22nd was attended by a number of dignitaries, including Dr. Juan Ramón de la Fuente, Coordinator of Scientific Research at UNAM, Ms. Olga Leticia Hernández Chávez, Director of the "Escuela Superior de Física y Matemáticas" (ESFM) at the "Instituto Politécnico Nacional" (IPN), and Dr. Ignacio Méndez Ramírez, Director of IIMAS, and consisted of brief welcoming remarks by Dr. de la Fuente. After further brief remarks by the two of us, as Co-Directors, the technical sessions were off and running.

The morning session on the opening day was chaired by Edmundo del Valle (ESFM/IPN). The first paper "A Survey of Convergence Results in Numerical Transport Theory" was given by Paul Nelson, of Texas A&M University (TAMU). In addition to providing an overview of known such convergence

¹IIMAS denotes the Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas, which is a unit of Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

4. El desarrollo de los métodos nodales tipo elemento finito

10. Luz María García Cruz: Solución Numérica de la Ecuación de Transporte Neutrónico en Geometría X-Y Usando un Método DSA Nodal (1995)

11. Armando Salas Cuevas: Solución Numérica de las Ecuaciones de Difusión de Neutrones, para Varios Grupos de Energía en Geometría XYZ, Mediante el Método Nodal RTN-0 (1995)

Third México-United States Workshop on Numerical Particle Transport que se llevó a cabo los días 24 y 25 de mayo de 1995 en la Universidad Nacional Autónoma de México

12. Arturo Delfin Loya: Solución Numérica de la Ecuación de Transporte de Neutrones Usando Métodos Nodales Discontinuos en Geometría X-Y (1996)

13. Víctor Manuel González Mercado, Solución de la Ecuación de Difusión de Neutrones Utilizando Métodos Nodales (1995)

14. Edmundo del Valle Gallegos:, 1D y 2D, transformación de Gordon-Hall, aplicación incipiente en geometría hexagonal Métodos Nodales en Transporte y Difusión de Partículas, Tesis Doctoral (1998)

4. El desarrollo de los métodos nodales tipo elemento finito

15. Alejandro Núñez Carrera: Transporte de neutrones 2D, estado estable, métodos nodales polinomiales, aceleración por rebalance en malla gruesa, Solución de las Ecuaciones de Transporte de Neutrones Usando el Método Nodal RT-1 y Rebalance en Malla Gruesa (2000).
16. Andrés Rodríguez Hernández: Solución Numérica de las Ecuaciones de la Cinética 3D de Reactores Nucleares Usando el Método Nodal RTN-0 (2002)
17. Gustavo Alejandro Aveleyra Monroy: Solución Numérica de las Ecuaciones de Transporte de Neutrones Dependientes del Tiempo en Geometría Placa Usando los Esquemas Nodales SD3 y SD4 (2002)

Se logra obtener apoyo del CONACyT para un Proyecto de Investigación 2001-2003

18. José Vicente Xolocostli Munguía, Solución de la Ecuación de Transporte en Estado Estacionario, en 1 y 2 Dimensiones, para Ensamblajes tipo BWR usando Métodos Nodales (2003)
19. Armando Miguel Gómez Torres, Acoplamiento de la Neutrónica y la Termohidráulica para el Análisis de un BWR (2003)
20. Natividad Hernández Miranda, Simulación Estática en 1, 2 y 3 Dimensiones de la Neutrónica de un Reactor Nuclear de Agua Ligera Usando Métodos Nodales (2004)
21. José Francisco Márquez Flores, Solución de la Ecuación de Transporte en Geometría XY Usando Métodos Nodales Exponenciales (2005)
22. César Adrián Múgica Rodríguez, Solución a la Ecuación de Transporte en Geometría Hexagonal Usando la Aproximación S_n para Varias Condiciones de Simetría (2007)

4. El desarrollo de los métodos nodales tipo elemento finito

23. Arturo Delfín Loya, Diseño y Análisis de Recargas de Combustible Nuclear para Reactores de Agua Ligera Empleando el Modelo de Reactividad Lineal (2010)

Profesor Dr. Jean Pierre Hennart pasa a mejor vida el 23 de julio de 2015

24. Jaime Esquivel Estrada: Difusión 3D+dependencia en tiempo, transformación Gordon-Hall, geometría hexagonal-z, Métodos nodales aplicados a la ecuación de difusión de neutrones dependiente del tiempo en geometría hexagonal-z (2015)

25. Lucero Arriaga Ramirez, Difusión 3D+dependencia en tiempo, aplicaciones en reactores rápidos, Modelación y análisis de un reactor nuclear avanzado usando Serpent y AZNHEX (2015)

26. Julian Arturo Duran Gonzalez: Transporte de neutrones, 3D+dependencia en tiempo, solución directa y solución via IQM (improved Quasistatic Method), Implementación de la Cinética en el Código de Transporte Tridimensional AZTRAN (2017)

27. Guillermo Ibarra Reyes: Transporte de neutrones, 2D, estado estable, método de las características, Development of the Gemma Code for the Solution of the Neutron Transport Equation with the Method of Characteristics for HPC Applications (2017)

28. Miguel Angel Barrera Chávez, Generación de una Biblioteca de Secciones Eficaces Usando SERPENT, para la Simulación de un Reactor BWR (2017)

4. El desarrollo de los métodos nodales tipo elemento finito

29. Ángel Alegría Avendaño: Transporte de neutrones 2D, dependiente del tiempo, método nodal polinomial discontinuo, Solución Numérica de la Ecuación de Transporte de Neutrones en Geometría XY Dependiente del Tiempo Mediante Ordenadas Discretas y Métodos Nodales (2020)

30. Guillermo Muñoz Peña, Desarrollo y Aplicación de la Aproximación SPL en los Códigos AZKIND y AZNHEX de la Plataforma AZTLAN (2020)

31. Felipe de Jesús Pahuamba Valdez, Desarrollo de códigos SPH para el estudio de transferencia de calor en el núcleo de reactores nucleares (2020)

32. Alejandro Campos Muñoz, Development of a 3-D Neutron Transport Solver for AZNHEX Code (2021)

5. Comentarios Finales

A lo largo de casi 4 décadas se desarrollaron y aplicaron exitosamente métodos de elementos finitos, tanto clásicos como nodales, polinomiales como cuasipolinomiales (exponenciales), en la solución aproximada de las ecuaciones de difusión como las de transporte de neutrones en 1, 2 y 3D tanto para el caso de estado estable como el dependiente del tiempo generando diversos programas de cómputo con una componente esencialmente académica que permitió ir acumulando experiencia, adquiriendo nuevos conocimientos, poniéndolos en práctica al menos en “toy or model problems” y en el mejor de los casos para resolver diversos problemas de referencia, haciendo varias aportaciones al conocimiento en esta materia.

¿Qué sigue?

Agradecimientos

Jean Pierre Hennart, IPN y luego UNAM

Paul Nelson, Donald Allen, TAMU

Juan Luis Francois, IIE y luego UNAM

Ernest H. Mund, ULB

Instituto Politécnico Nacional-Escuela Superior de Física y Matemáticas

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología