

**Cátedra CSN “Federico Goded”**  
**Escuela Técnica Superior de Ingenieros  
Industriales**  
**Universidad Politécnica de Madrid**

**ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN 2018**

**Eduardo Gallego Díaz**  
**Nuria García Herranz**  
**Gonzalo Jiménez Varas**  
**Área Nuclear del Departamento de Ingeniería**

**INDUSTRIALES**  
**ETSII | UPM**

- ❑ **La docencia de Ingeniería Nuclear en la ETSII-UPM**
- ❑ **Objetivos de la cátedra CSN “FEDERICO GODED”**
- ❑ **Resumen de actividades desarrolladas en 2018**
  - **Becas**
  - **Bolsas de viaje**
  - **Cursos y seminarios**
- ❑ **Resumen de la Tesis Doctoral:**
  - ❑ **Generación de librerías optimizadas con cuantificación de incertidumbres para cálculos BEPU de reactores nucleares de agua ligera**

Autor: Santiago Sánchez-Cervera Huerta  
Dirección: Nuria García Herranz
- ❑ **Resumen de la Tesis Doctoral:**
  - ❑ **Towards a BEPU Methodology for Containment Safety Analyses**

Autor: Rafael Bocanegra Melián  
Dirección: Gonzalo Jiménez Varas



La Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UPM



Departamento de Ingeniería Energética. Edificio de Ingeniería Nuclear e Instituto de Fusión Nuclear

## **Plantilla docente:** 20 personas a tiempo completo (16 doctores)

- 4 Catedráticos de Universidad
- 3 Profesores Titulares de Universidad
- 1 Catedrática emérita
- 6 Profesores Contratados Doctores
- 1 Profesor Titular de Escuela Universitaria
- 2 Profesores Ayudantes Doctores
- 3 Técnicos Especialistas de Laboratorio

**120** Máster en Ciencia y Tecnología Nuclear (2008 – 2018)

**37** Doctores en Ciencia y Tecnología Nuclear (2012 – 2018)



Aula "José Cabrera", con el simulador gráfico interactivo de la C.N. de Zorita



Laboratorio de Medidas Neutrónicas

## Titulaciones de Grado

Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales (GITI), especialidad Técnicas Energéticas

Grado de Ingeniería de la Energía (GIEn), itinerario Tecnologías Energéticas

Nº aprox. alumnos

50

100

## Asignaturas "nucleares"

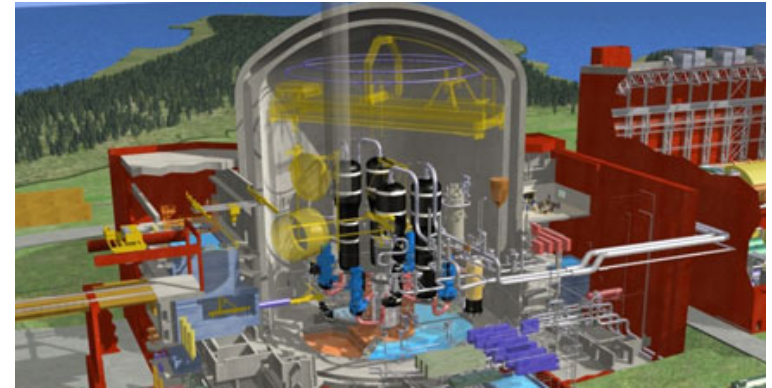
- Tecnología Nuclear
- Estructura de la Materia
- Centrales Nucleares

- Tecnología Nuclear
- Estructura de la Materia
- Tecnología Energética
- Centrales Nucleares
- Protección Radiológica
- Seguridad Nuclear
- Tecnología de Radiaciones



Titulaciones de Máster	Nº aprox. alumnos	Asignaturas “nucleares”
Máster U. Ingeniería Industrial (MII) (habilitante), especialidad Técnicas Energéticas	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección Radiológica</li> <li>• Seguridad Nuclear</li> <li>• Tecnología de Radiaciones</li> </ul>
Doble Máster Universitario Máster U. Ingeniería Industrial (MII) (habilitante) y Ciencia y Tecnología Nuclear	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las del MCTN</li> </ul>
Máster U. en Ingeniería de la Energía (GIEn), itinerario Energía Nuclear	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ampliación de Tecnología Nuclear</li> <li>• Fusión Nuclear</li> <li>• Tecnologías Avanzadas de Reactores de Fisión</li> <li>• Física Nuclear</li> <li>• Gestión de Residuos Radiactivos</li> <li>• Diseño de Reactores Nucleares</li> <li>• Impacto Radiológico Ambiental</li> <li>• Separación y Transmutación de Residuos Radiactivos</li> </ul>

- **Máster Universitario de la Universidad Politécnica de Madrid**
- Coordinado por el Departamento de Ingeniería Energética (Área Nuclear)
- Carácter oficial [[Enlace del título al Registro de Universidades, Centros y Títulos \(RUCT\)](#)]
- Impartido desde 2006
- 123 egresados
- Elevado porcentaje (70%) de los exalumnos investigan o trabajan en el sector nuclear (y CSN)
- Da acceso al doctorado
- Media de alumnos: 6 - 10



## Asignaturas Troncales (obligatorias) – 18 ECTS

Física nuclear	3 ECTS	Primer semestre
Tecnologías avanzadas en reactores nucleares	3 ECTS	Primer semestre
Seguridad energética	3 ECTS	Primer semestre
Fusión nuclear	3 ECTS	Segundo semestre
Neutrónica	3 ECTS	Segundo semestre
Separación y transmutación de residuos radiactivos	3 ECTS	Segundo semestre

## Asignaturas obligatorias de tipo práctico – 12 ECTS

Termohidráulica nuclear	3 ECTS	Primer semestre
Métodos numéricos avanzados	3 ECTS	Primer semestre
Materiales bajo irradiación	3 ECTS	Primer semestre
Diseño de reactores nucleares	3 ECTS	Segundo semestre

## Asignaturas optativas – 18 ECTS a elegir entre una oferta de 11 asignaturas (33 ECTS)

Protección Radiológica	3 ECTS	Primer semestre
Seguridad Nuclear: Introducción	3 ECTS	Primer semestre
Tecnología Radiaciones	3 ECTS	Primer semestre
Teoría del transporte de partículas y radiación	3 ECTS	Primer semestre
Historia de la Física y la Ingeniería Nuclear	3 ECTS	Primer semestre
Fundamentos de los Nanosistemas	3 ECTS	Primer semestre
Fiabilidad y análisis del riesgo	3 ECTS	Segundo semestre
Seguridad Nuclear: Análisis de accidentes nucleares	3 ECTS	Segundo semestre
Gestión de residuos radiactivos	3 ECTS	Segundo semestre
Impacto radiológico ambiental	3 ECTS	Segundo semestre
Seminarios avanzados	3 ECTS	Anual





## MSc in Safe and REliable Nuclear Applications (SARENA)



Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union



Univerza v Ljubljani



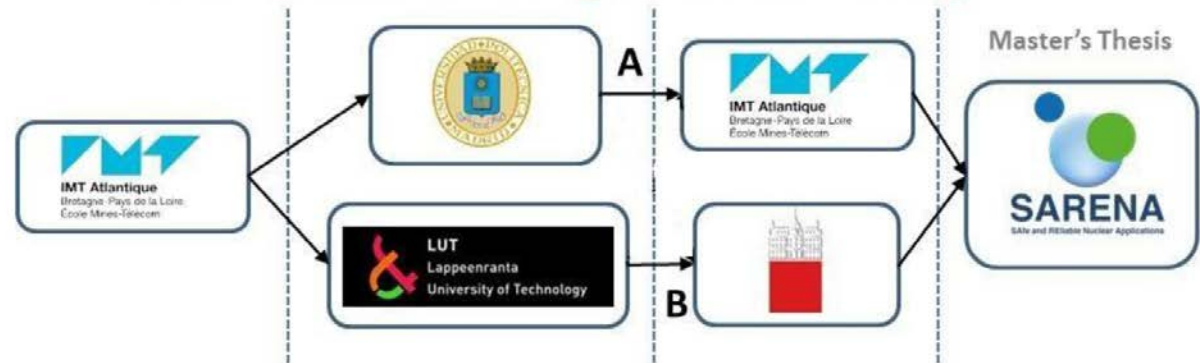
SEMESTER 1

SEMESTER 2

SEMESTER 3

SEMESTER 4

Track A: Radioactive Waste Management & Decommissioning



Track B: Nuclear Reactor Operation and Safety



- **Línea de Investigación 1: CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR**  
(heredera del programa de doctorado homónimo).
  - Aprox. 25 Tesis en elaboración**
  - Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Sistemas Avanzados de Fisión Nuclear
  - Grupo de Investigación en Fusión Nuclear Inercial y Tecnología de Fusión
- Línea de Investigación 2: ENERGÍAS RENOVABLES, COMBUSTIBLES Y MEDIO AMBIENTE

Creada en enero de 2005, la [Cátedra de Seguridad Nuclear "Federico Goded"](#) , tiene los siguientes objetivos:

- Incentivar la **formación de técnicos altamente cualificados en seguridad nuclear y protección radiológica**, así como **ampliar conocimientos y especialización** de alumnos, investigadores y profesores de la Universidad, a través de sus propios planes de estudios, cursos de especialización y participación activa en proyectos de investigación afines.
- **Promover actividades de investigación**, que contribuyan a ampliar el conocimiento, a producir desarrollos innovadores y a la difusión de sus resultados, **enfocadas a necesidades reales** en el ámbito de la seguridad nuclear y la protección radiológica.
- El Convenio de 2018 fue firmado con fecha 26 de julio de 2018, cubriendo las actividades de todo el año 2018.

- FINANCIACIÓN:
- 1) ***A proposed BEPU methodology for DBA analysis in nuclear containments.*** Rafael Bocanegra Melián.  
Dirección: Gonzalo Jimenez Varas 7 meses
  - 2) ***Estudio del potencial de nuevos detectores para dosimetría personal de neutrones.*** Gonzalo F. García Fernández.  
Dirección: Eduardo Gallego Díaz 1 mes
  - 3) ***Diseño y puesta en marcha de un dispositivo para irradiación gamma en continuo (colaboración con CIEMAT).*** Iván Sánchez García.  
Dirección: José M. Perlado (UPM) y Joaquín Cobos (CIEMAT) 6 meses
  - 4) ***Development and application of uncertainty assessment methodologies integrated in thermal-hydraulic coupled calculations for nuclear reactors.*** Luis Felipe Durán Vinuesa. Dirección: Diana Cuervo Gómez 3 meses
  - 5) ***Metodología de simulación de accidentes severos con códigos tridimensionales.*** Carlos Vázquez Rodríguez.  
Dirección: Gonzalo Jimenez Varas 3 meses
  - 6) ***Methodology for improving the estimate of reactivity effects and their uncertainties using integral experiments.*** Antonio Jiménez Carrascosa.  
Dirección: Nuria García Herranz 4 meses

- 1) *Neutronic and thermal-hydraulic uncertainty propagation in coupled multi-physics.*** Luis Felipe Durán Vinuesa. Dirección: Diana Cuervo Gómez
- 2) *Modelización del circuito primario del reactor EPR con el código de cálculo termohidráulico MELCOR.*** Lucile Fallot. Dirección: Gonzalo Jimenez Varas
- 3) *Modelización del reactor modular SMART con MELCOR 2.1.*** Samantha Larriba Del Apio. Dirección: Gonzalo Jimenez Varas
- 4) *Estudio de impacto ambiental de la instalación IFMIF-DONES con los códigos PC-CREAM y NORMTRI.*** Elisa Gil Crespo. Dirección: Eduardo Gallego Díaz
- 5) *Caracterización mediante métodos Monte Carlo de los detectores neutrónicos de alto rango WENDI-II y LUPIN 5401 BF3.*** Roberto García Baonza. Dirección: Eduardo Gallego Díaz
- 6) *Gestión del Conocimiento aplicada a la I+D en Protección Radiológica. Desarrollos para la Plataforma española de I+D en Protección Radiológica (PEPRI).*** Javier Peña García. Dirección: Eduardo Gallego Díaz

Simulador Gráfico Interactivo de la  
Central Nuclear José Cabrera.  
Aula José Cabrera – Gas Natural Fenosa.

## 3 Becas en 2018:

Directora: Carolina Ahnert Iglesias

1. **Simulación de sucesos en una central nuclear con el simulador gráfico interactivo de Zorita: LOCA en rama caliente con agravantes** (Agustín Matías Alonso Ardura)
2. **Simulación del Disparo de turbina** (Noemi García Gómez)
3. **Simulación de la Rotura de línea de vapor en el recinto de contención.** (Elba Fernández Aisa)



**1. Participación en la 2018 Frédéric Jolliot/Otto Hahn Summer School (, Aix-en-Provence, Francia).**  
*Maximizing the Benefits of Experiments for the Simulation, Design and Analysis of Reactors.*

Periodo: 22-31 agosto 2018.

Alumno: **Antonio Jiménez Carrascosa**

**2. Estancia de investigación en la Unidad Académica de Estudios nucleares, perteneciente al Cuerpo Académico de Radiobiología de la Universidad Autónoma de Zacatecas (México).**

Periodo: 15 de mayo al 15 de agosto de 2018

Alumno: **Lenin Cevallos Robalino**

**3. Estancia de investigación en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Oviedo y en el CIC biomaGUNE de San Sebastián).**

Periodo: 1 y al 28 de febrero y del 14 de mayo al 22 de junio de 2018., entre el 1 de marzo y el 1 de mayo de 2018

Alumno: **Pablo Díaz Núñez**

**4. Participación en Curso “Applied Monte Carlo simulation for Radiation Protection”, organizado por la Cátedra “Vicente Serradell” de la Universidad Politécnica de Valencia.**

Periodo: 22 al 24 de octubre del 2018

Alumno: **Lenin Cevallos Robalino**

**5. Participación en el Primer Curso Internacional de PROTONTERAPIA del Institute Curie de París (Francia).**

Periodo: 20 al 24 de noviembre del 2018

Alumno: **Gonzalo Felipe García Fernández**

**6. Viaje alumnos Máster y Doctorado, visita a C.N. Trillo (Guadalajara).**

Periodo: 30 de noviembre de 2018

**9 alumnos del Máster en Ciencia y Tecnología Nuclear**

- 1. Conferencia TopFuel 2018, Praga (República Checa). 3 de septiembre al 4 de octubre de 2018.** Julio Benavides Rodríguez
- 2. XVIII Simposio Internacional de Dosimetría del Estado Sólido (ISSSD 2018). Oaxaca (México), 24 al 28 de septiembre del 2018.** Lenin E. Cevallos Robalino
- 3. 44ª Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española. Ávila, del 26 al 28 de septiembre de 2018.**  
Gonzalo F. García Fernández  
Luis Felipe Durán Vinuesa  
Antonio Jiménez Carrascosa  
Rafael Bocanegra Melián  
Julio Benavides Rodríguez  
Andrés Hernández Avellaneda



## ***“Seminar on Ethics, Science and Technology”***

**Prof. Gaston Meskens.** Science & Technology Studies Unit, SCK•CEN (Belgium) & Centre for Ethics and Value Inquiry, University of Ghent (Belgium).

5 y 6 de noviembre de 2018

## ***“La investigación del Karlsruhe Institute of Technology (KIT) sobre Seguridad Nuclear. Numerical and Experimental Investigations for LWR Reactor Safety”***

**Dr. Victor Hugo Sanchez Espinoza.** Jefe del Grupo “Reactor Physics and Dynamics” – Institute of Neutron Physics and Reactor Technology (IMR). KIT Institute of Energy – Karlsruhe Institute of Technology (KIT). Alemania

27 de noviembre de 2018

## ***“La Energía nuclear en el mundo – perspectivas de futuro”. “Avance del proyecto de desmantelamiento de la central nuclear de Fukushima-Daiichi”***

**Luis E. Echávarri.** Ex Director General de la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE.

19 de diciembre de 2018

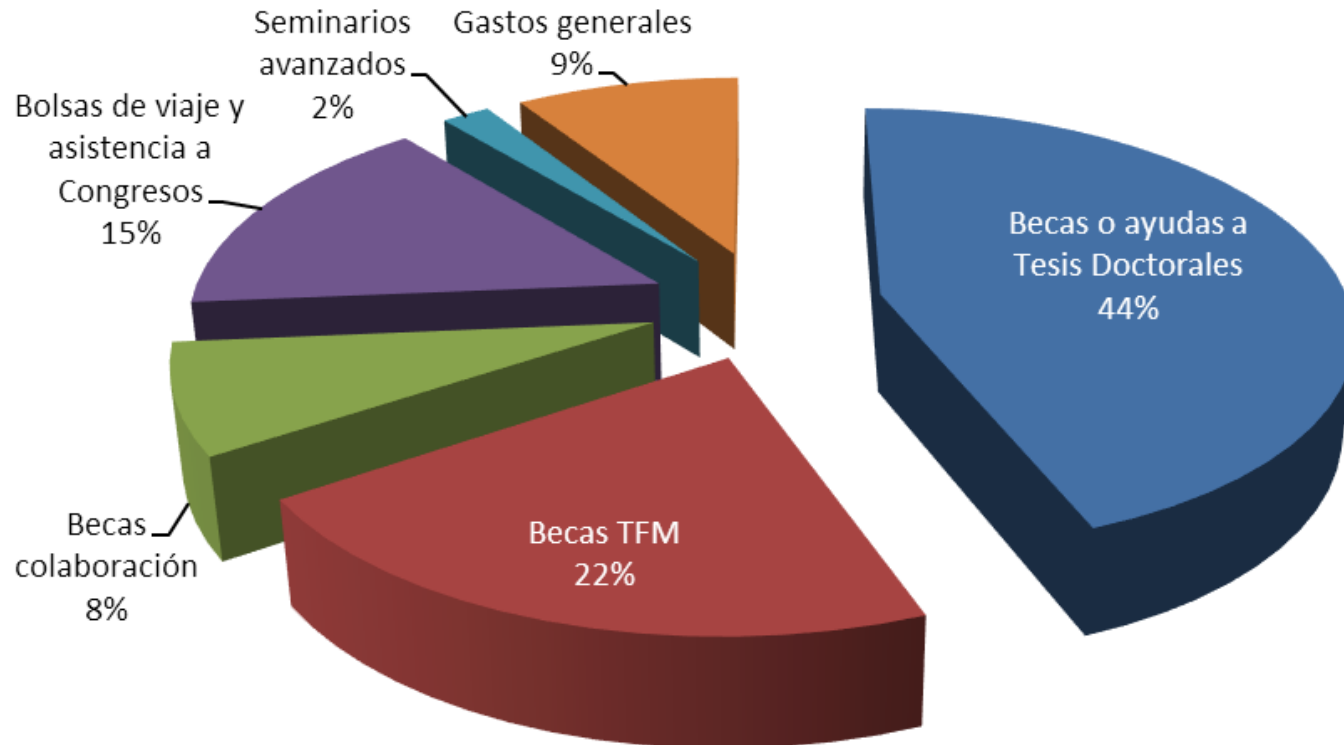
## ***“Implementation of MELCOR for severe accident research at Chalmers”***

**Emma López-Alonso Conty, PhD.** Department of Chemistry and Chemical Engineering. Chalmers University, Gothenburg. Suecia.

21 de diciembre de 2018

En 2018, atendiendo a sus objetivos, la Cátedra de Seguridad Nuclear “Federico Goded” ha desarrollado las siguientes actividades:

- > Se han dotado 6 **Becas doctorales** (parcialmente). Una de ellas ha logrado un Doctorado Industrial de la CAM.
- > Se otorgado 5 **becas de Fin de Máster y 1 de Grado**.
- > Se han otorgado 3 **Becas de Colaboración** para mejorar las capacidades y potenciar el uso del SGI como herramienta esencial para la formación en análisis de transitorios y accidentes.
- > Se han adjudicado **2 bolsas de viaje** para estancias breves, 3 para **Cursos de formación** especializada, se ha financiado una **visita de estudios** para los alumnos del Máster en Ciencia y Tecnología Nuclear, y **8 asistencias a congresos** de estudiantes de doctorado.
- > Se han organizado **4 seminarios** sobre temas avanzados.
- > El conjunto de temas cubre un espectro amplio de cuestiones relacionadas con la Seguridad Nuclear y la Protección Radiológica.



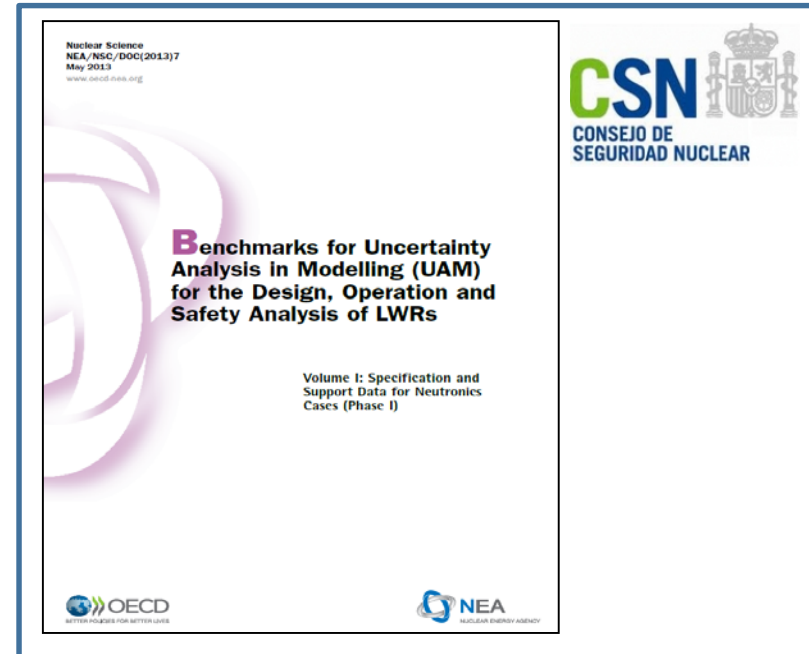
**Subvención total: 70.000 €**

**Gastos totales: 70.488 €**

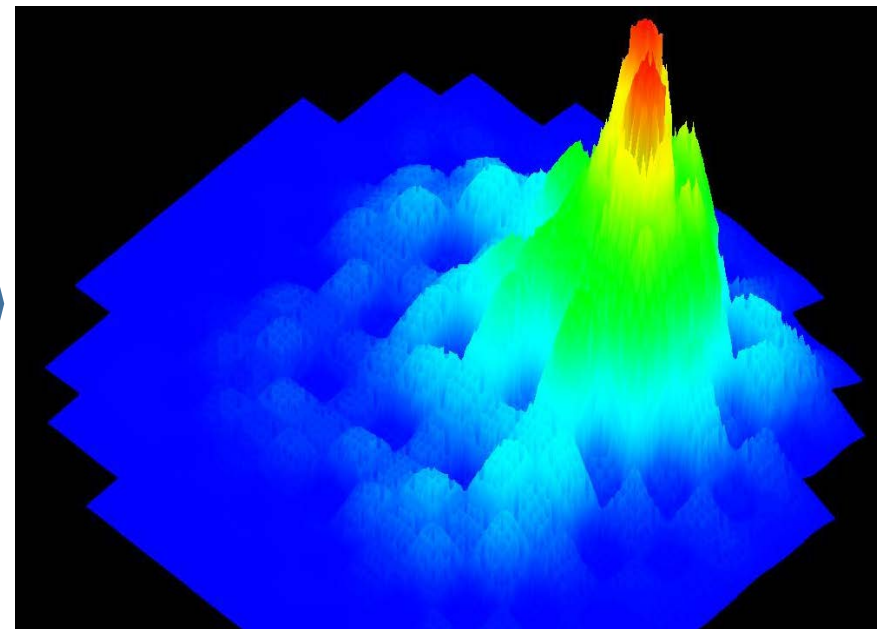
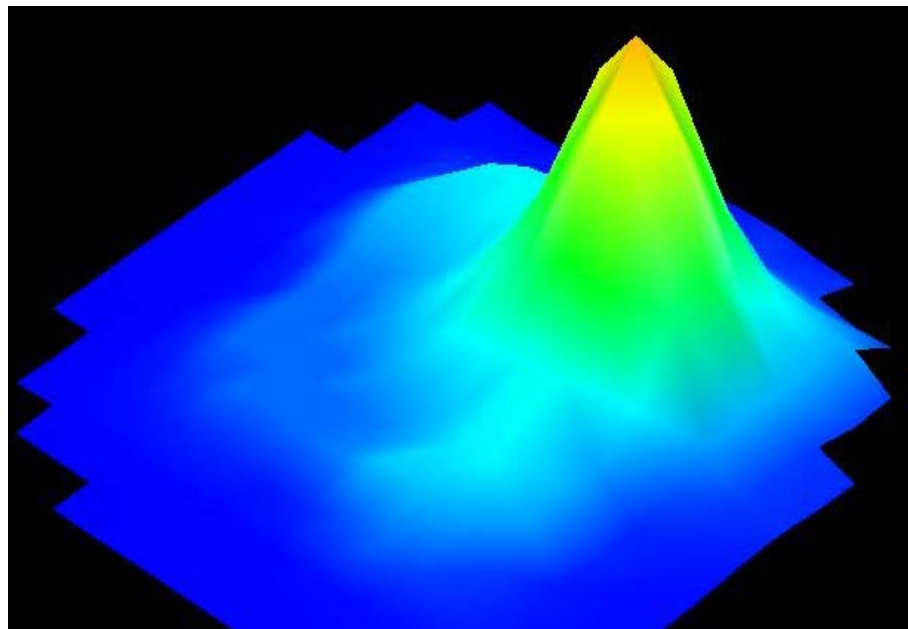
Título de la Tesis: **Generación de librerías optimizadas con cuantificación de incertidumbres para cálculos *BEPU* de reactores nucleares de agua ligera**

Autor: **Santiago Sánchez-Cervera Huerta**

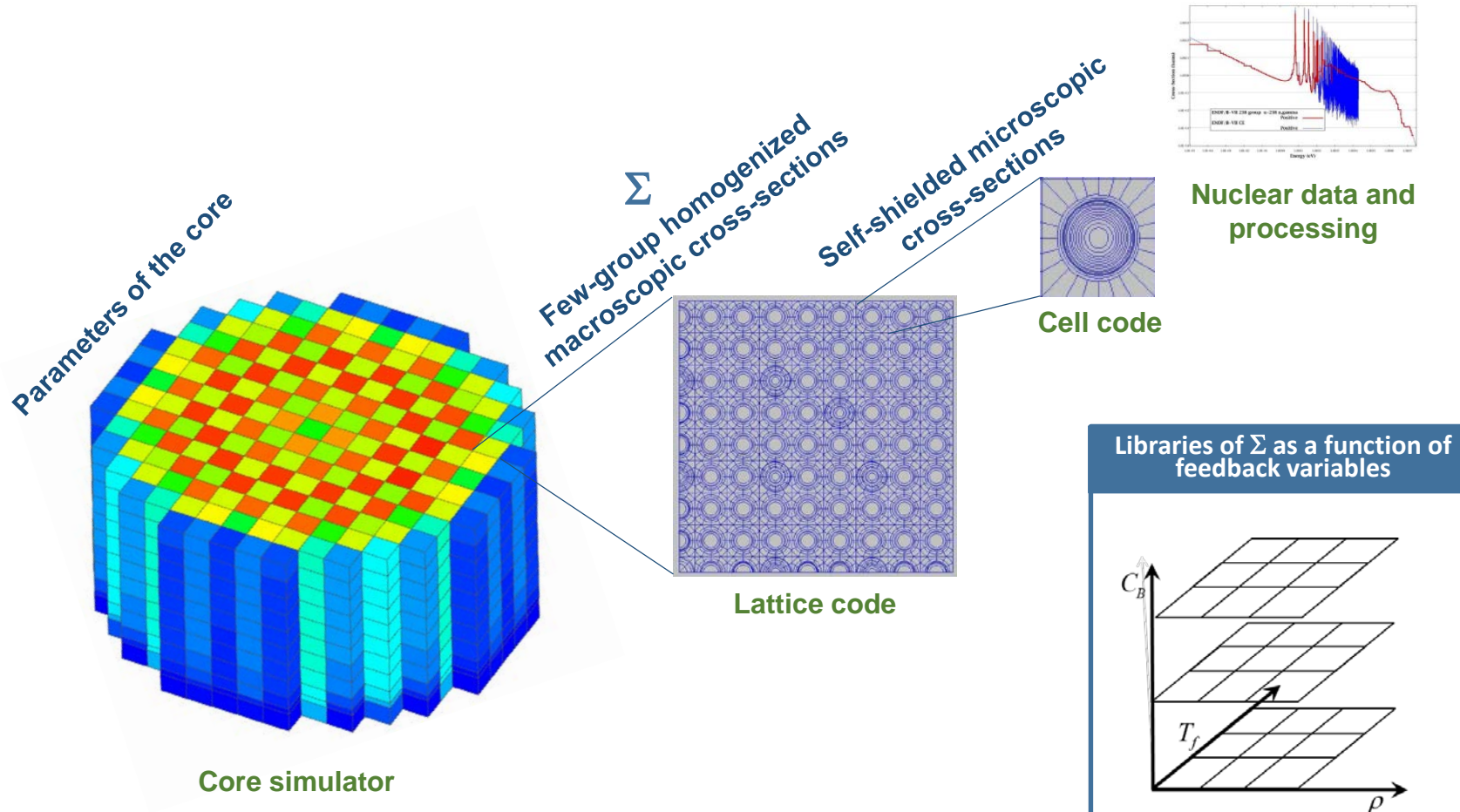
Dirección: **Nuria García Herranz**



- Simulación computacional en física de reactores crucial para mejor evaluación de la seguridad
- Necesidad de herramientas que aporten resultados detallados y realistas → **Best-Estimate (BE)**
- Necesidad de cuantificación rigurosa de incertidumbres es esencial para tomar decisiones robustas basadas en la simulación computacional → **Best-Estimate Plus Uncertainties (BEPU)**

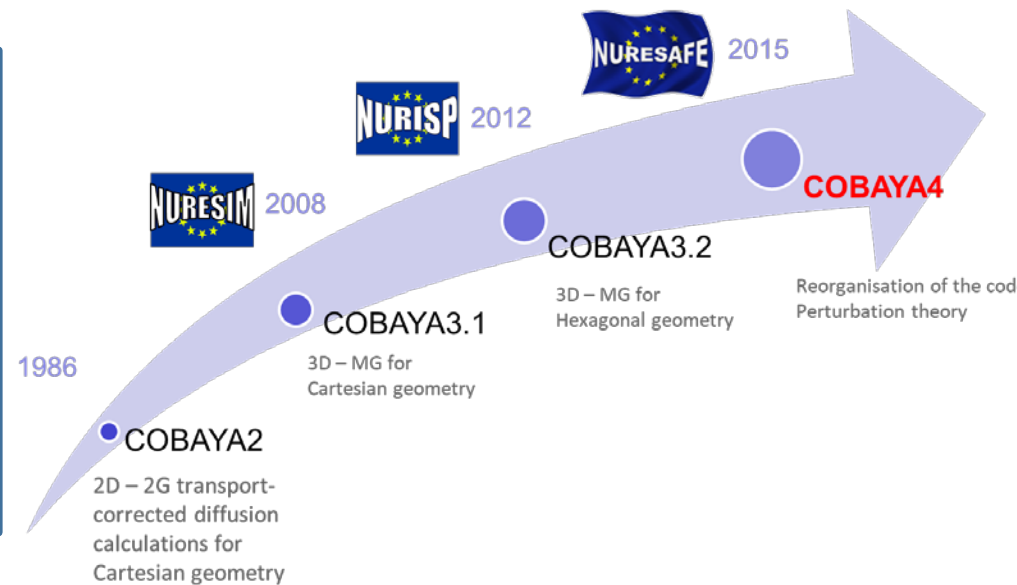
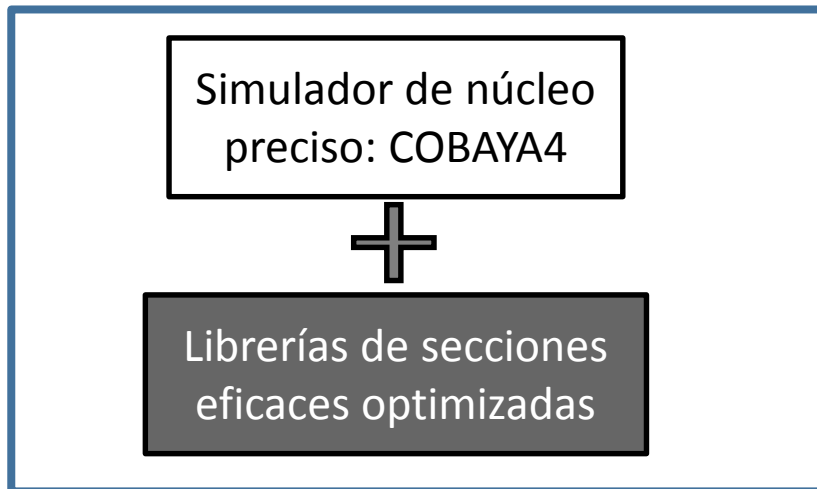


## Standard calculation scheme for LWR full core neutronics analysis in nuclear industry





### Cálculo neutrónico *Best Estimate*



### Cálculo neutrónico *Best Estimate*

Simulador de núcleo  
preciso: COBAYA4



Librerías de secciones  
eficaces optimizadas

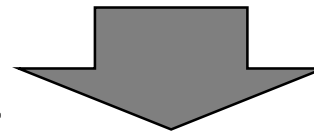
### Cálculo neutrónico *BEPU*

Identificar las principales  
fuentes de incertidumbre



Propagarlas a través del  
esquema estándar

**TESIS DOCTORAL**



**Desarrollo de librerías para análisis  
neutrónicos 3D *BEPU***

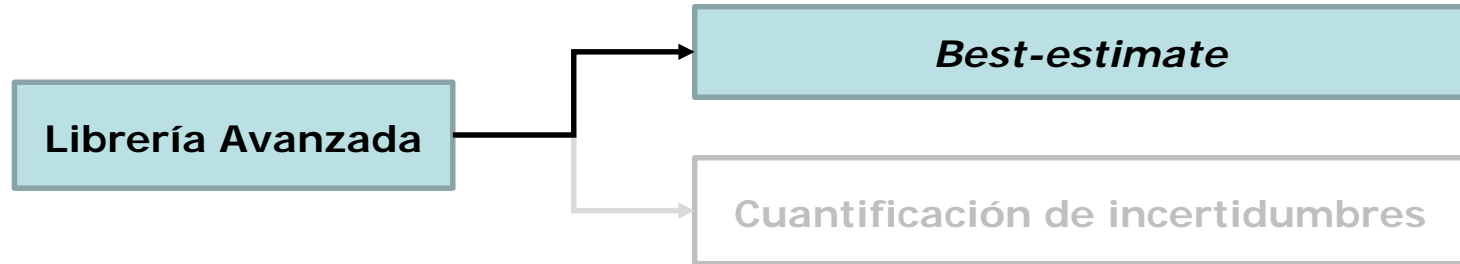
**Librería Avanzada**

*Best-estimate*

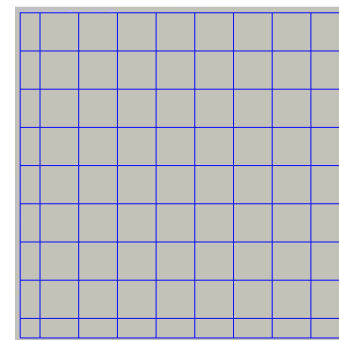
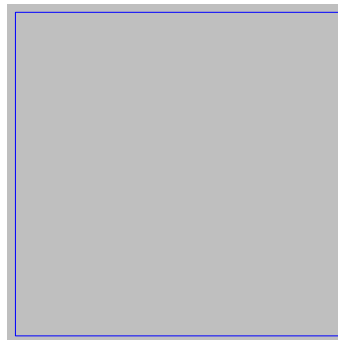
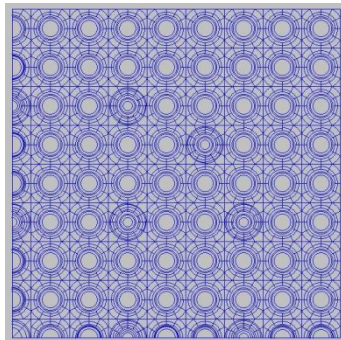
**Cuantificación de incertidumbres**



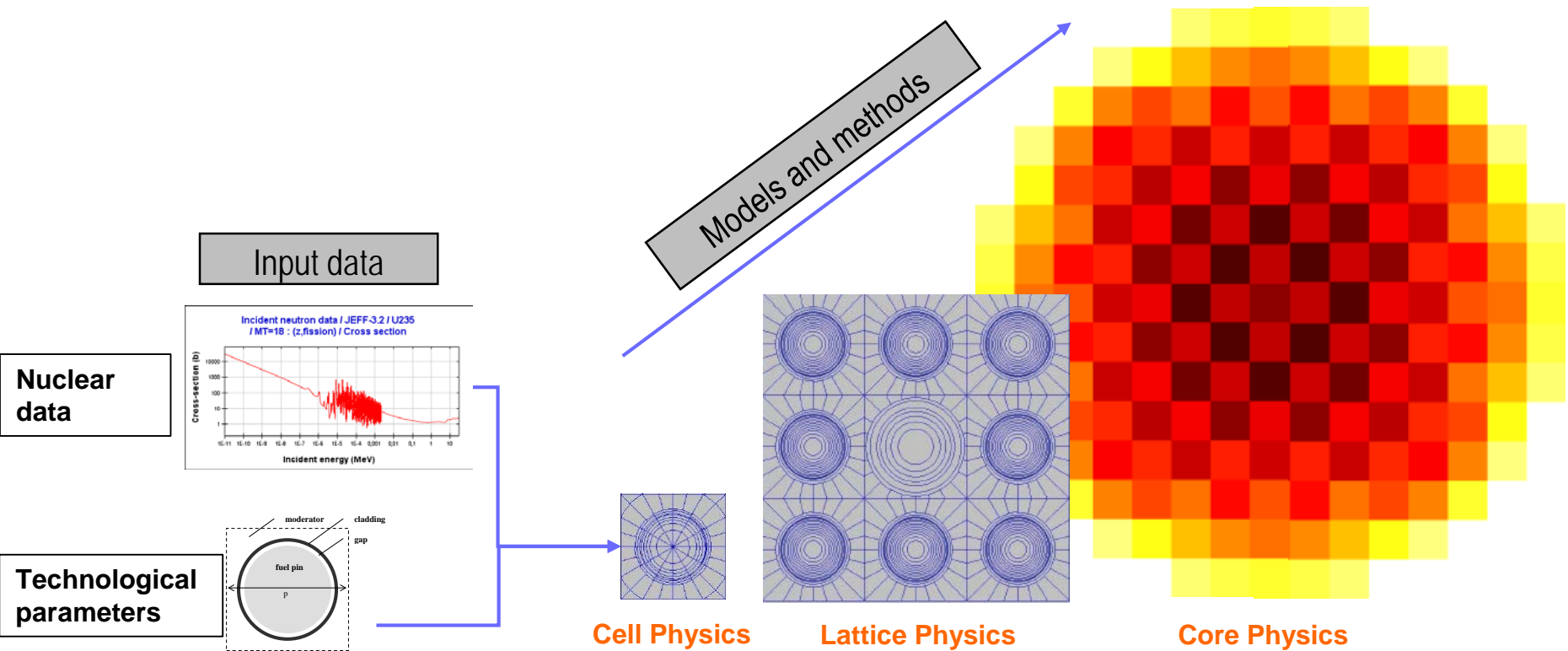
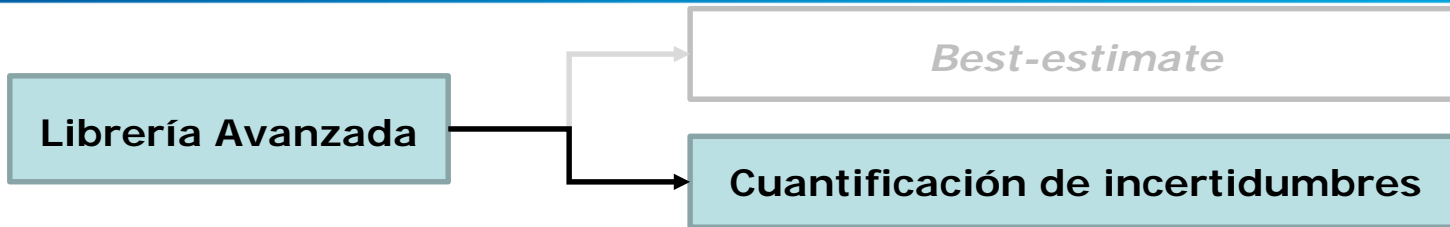


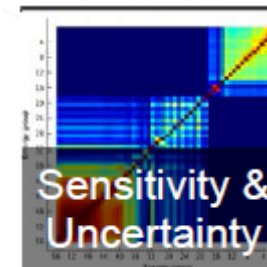
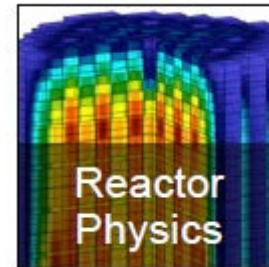
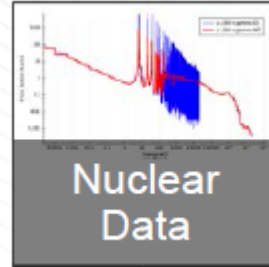
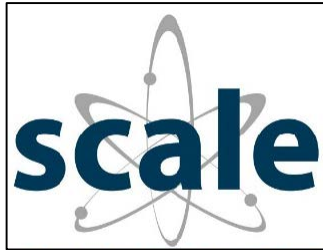


- Códigos *cell/lattice*: APOLLO2 , NEWT 
- Técnicas de homogeneización: opciones del cálculo *cell/lattice*, niveles de homogeneización espacial, factores de discontinuidad (estrecho acoplamiento *lattice code /core simulator*)



Malla espacial para  $\frac{1}{4}$  elemento y homogeneización a nivel nodal y de celda





Input data

Nominal  $\sigma$  library

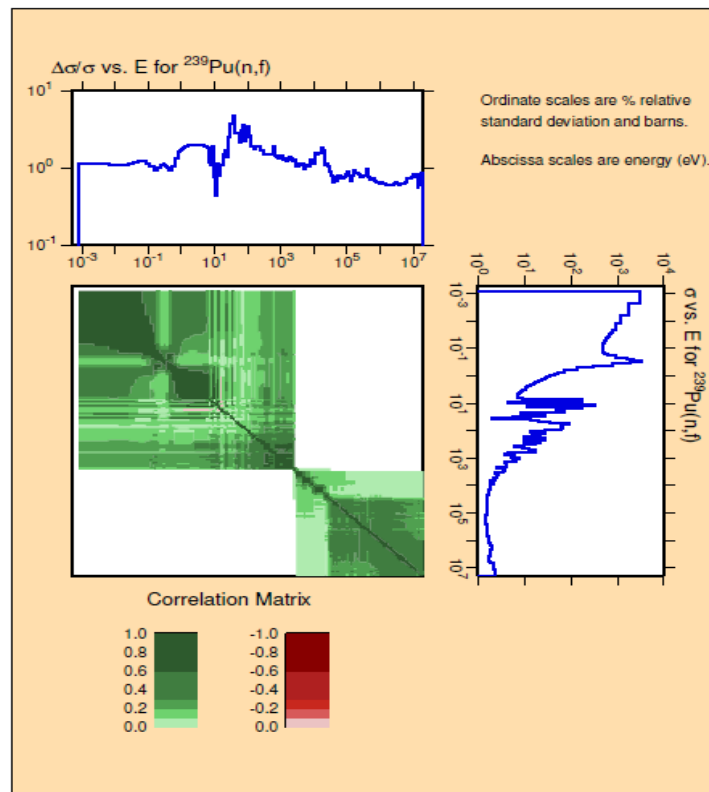
NEWT

Covariance matrix  $\sigma$

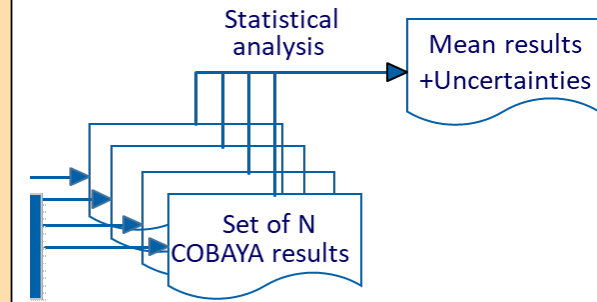
Set of N perturbed  $\sigma$  libraries

NEW

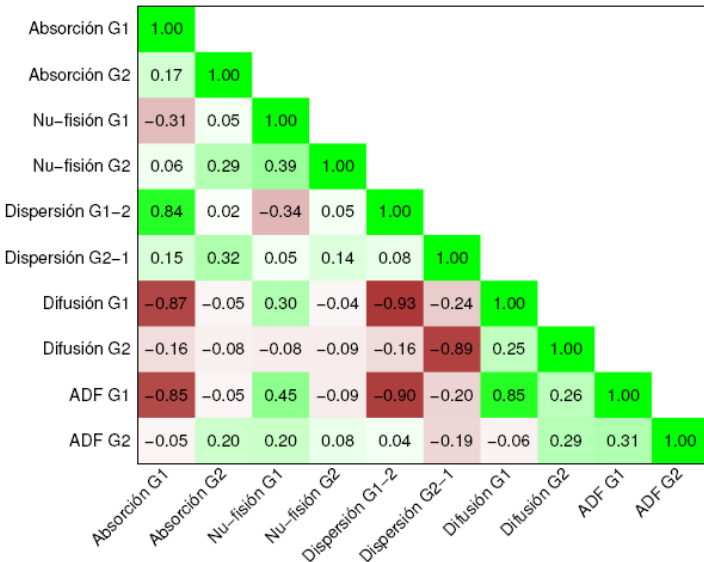
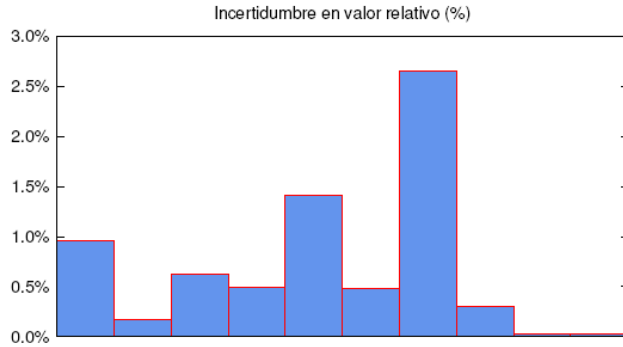
SAMPLER



Completa y actualizada  
compilación de covarianzas de los  
datos nucleares

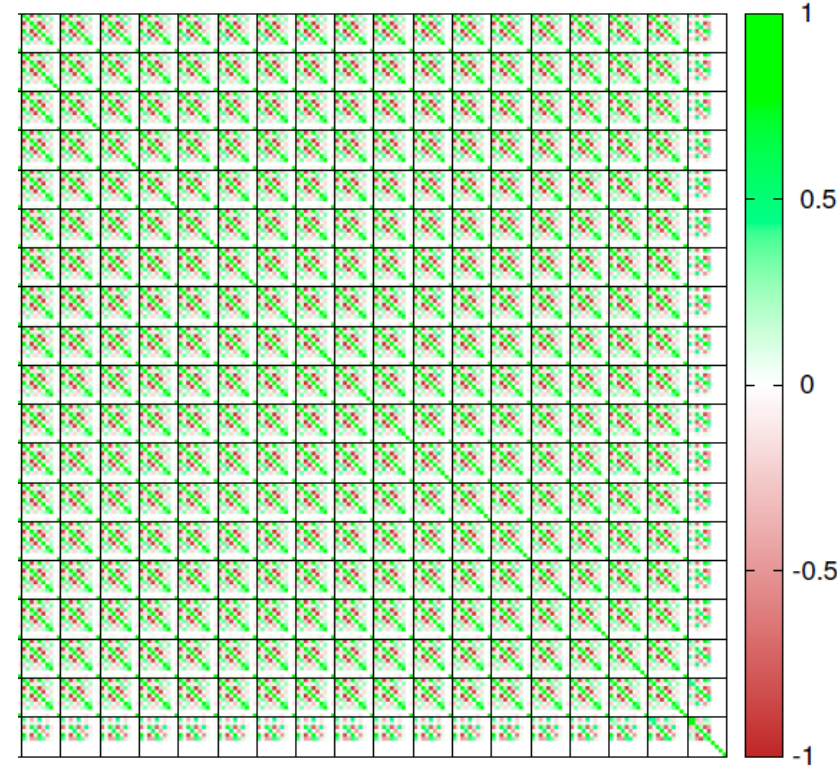
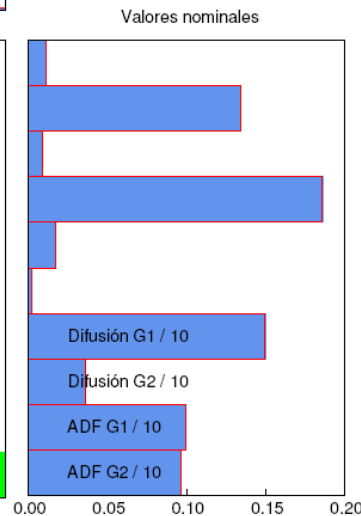


## Para cada tipo de elemento

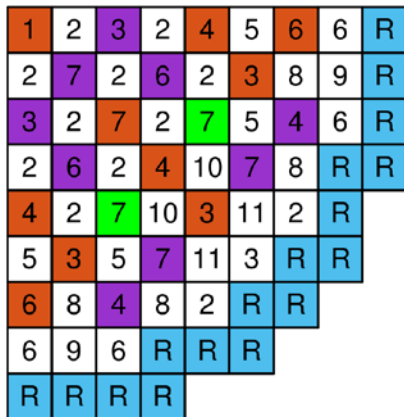


Nodal correlation matrix for 1 assembly ~ 10 x 10

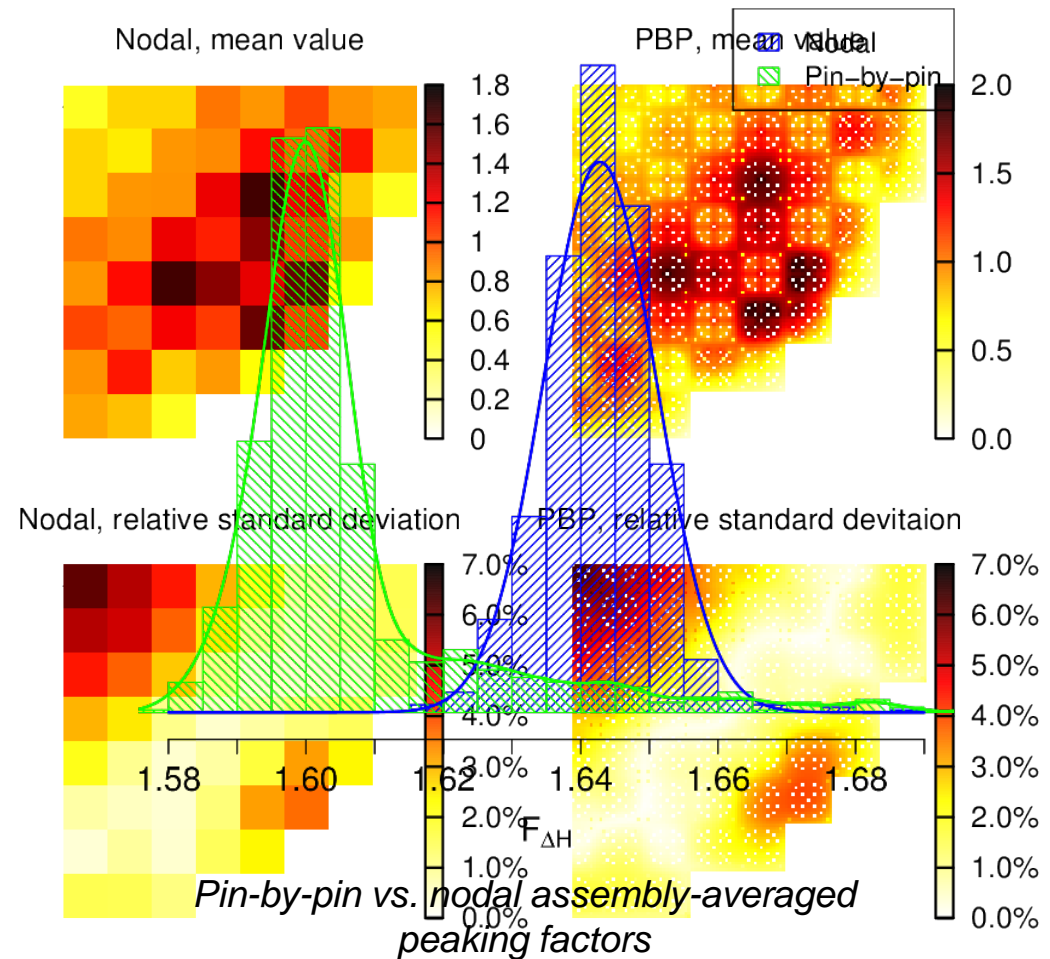
## Para un núcleo completo (de 19 FA)



## Librerías *BEPU* en estacionarios: *Exercise I-3 UAM benchmark, TMI-1 at HZP-ARI*



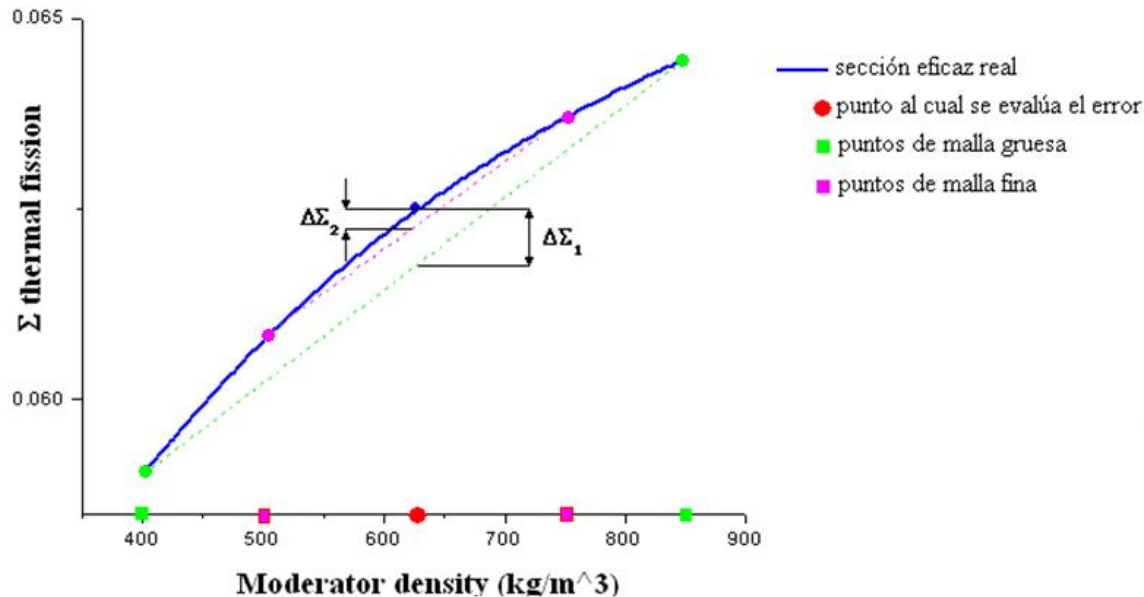
Solver	Método	k-eff	$\Delta k/k$ (%)
Pin-by-pin	PT	1.00351	0.515
Pin-by-pin	Muestreo	1.00350	0.517
Nodal	PT	1.00374	0.511
Nodal	Muestreo	1.00373	0.519



0.215% si no se consideran correlaciones  
0.522% si se propagan incertidumbres tecnológicas

Modelos y métodos: evaluación de errores introducidos al aplicar el esquema estándar

- **Cell Physics** (aproximación en MG) → KENO-MG vs. KENO-CE
  - **Lattice Physics** (transporte y homogeneización) → NEWT-MG vs. KENO-MG
  - **Core Physics** (uso de librerías tabuladas): interpolación de  $\Sigma$  entre puntos de malla → Metodología de optimización de la malla según nivel de precisión fijado por el usuario
- } MC como experimento numérico



$$\varepsilon(\rho) = |\Sigma(\rho) - P(\rho)|$$

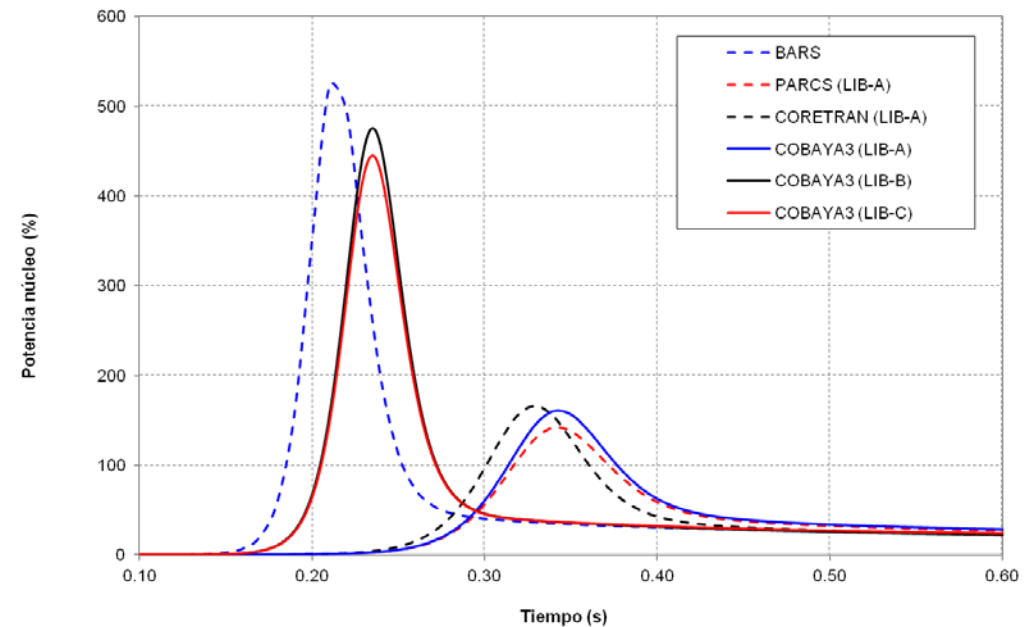
$$\varepsilon_{obj} = |\delta\Sigma| = \frac{|\delta k|}{|S_{\Sigma}^k|} \leq \frac{10^{-4}}{|S_{\Sigma}^k|}$$

$$S_{\Sigma}^k = \frac{\delta k}{\delta\Sigma}$$



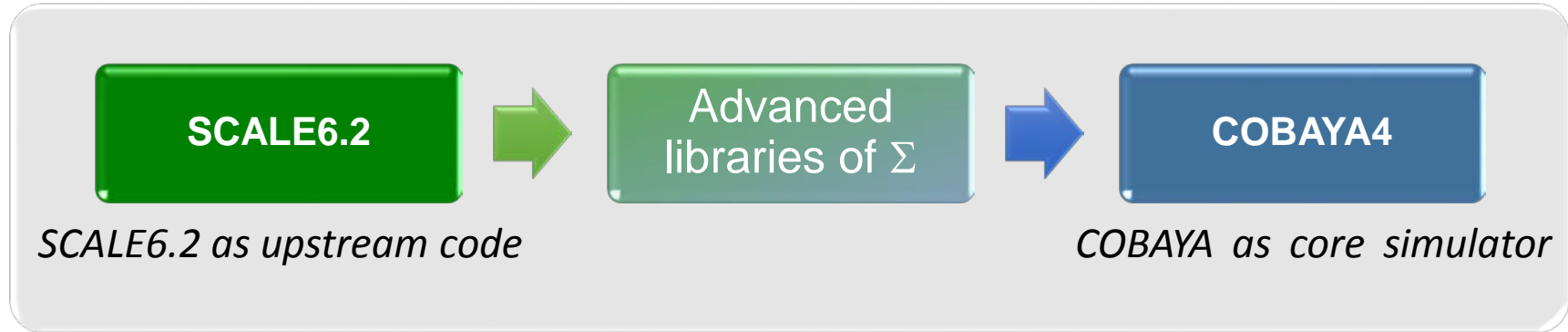
## Librerías *BE* en transitorios: *OECD/NEA* and *U.S. NRC PWR MOX/UO2* core transient benchmark

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	U 4.2% (CR-D) 35.0	U 4.2% 0.15	U 4.2% (CR-A) 22.5	U 4.5% 0.15	U 4.5% (CR-SD) 37.5	M 4.3% 17.5	U 4.5% (CR-C) 0.15	U 4.2% 32.5
B	U 4.2% 0.15	U 4.2% 17.5	U 4.5% 32.5	M 4.0% 22.5	U 4.2% 0.15	U 4.2% (CR-SB) 32.5	M 4.0% 0.15	U 4.5% 17.5
C	U 4.2% (CR-A) 22.5	U 4.5% 32.5	U 4.2% (CR-C) 22.5	U 4.2% 0.15	U 4.2% 22.5	M 4.3% 17.5	U 4.5% (CR-B) 0.15	M 4.3% 35.0
D	U 4.5% 0.15	M 4.0% 22.5	U 4.2% 0.15	M 4.0% 37.5	U 4.2% 0.15	U 4.5% (CR-SC) 20.0	M 4.3% 0.15	U 4.5% 20.0
E	U 4.5% (CR-SD) 37.5	U 4.2% 0.15	U 4.2% 22.5	U 4.2% 0.15	U 4.2% (CR-D) 37.5	U 4.5% 0.15	U 4.2% (CR-SA) 17.5	U 4.2% 17.5
F	M 4.3% 17.5	U 4.2% (CR-SB) 32.5	M 4.3% 17.5	U 4.5% (CR-SC) 20.0	U 4.5% 0.15	M 4.3% 0.15	U 4.5% 32.5	
G	U 4.5% (CR-C) 0.15	M 4.0% 0.15	U 4.5% (CR-B) 0.15	M 4.3% 0.15	U 4.2% (CR-SA) 17.5	U 4.5% 32.5	Assembly Type CR Position Bumup [GWd/t]	
H	U 4.2% 32.5	U 4.5% 17.5	M 4.3% 35.0	U 4.5% 20.0			Fresh Once Burn Twice Burn	



*Análisis de una expulsión de barra de control: efecto de la optimización conduce a diferencias del 7% en pico de potencia*





- **SCALE6.2/COBAYA4** como herramienta de cálculo independiente para análisis neutrónicos **BEPU**
  - SCALE: datos y códigos para generar librerías y abordar V&V&UQ
  - COBAYA: análisis multiescala **pin-by-pin**
- **Datos nucleares** son la principal fuente incierta de datos de entrada en cálculos neutrónicos / **Métodos y modelos** pueden introducir importantes sesgos
- **Interés en V&V&UQ** con simuladores de núcleo (datos + códigos + esquemas de cálculo) y completar cualificación de la herramienta SCALE/COBAYA4 y posterior aplicación a cálculos multifísica

## Publicaciones (artículos):

1. S. Sánchez-Cervera, N. García-Herranz, J.J. Herrero, and O. Cabellos. ***Optimization of multidimensional cross-section tables for few-group core calculations.*** Annals of Nuclear Energy, 69:226 – 237, 2014.
2. S. Sánchez-Cervera, N. García-Herranz, J.J. Herrero, and D. Cuervo. ***Effects of cross sections tables generation and optimization on rod ejection transient analyses.*** Annals of Nuclear Energy, 73:387 – 391, 2014.
3. I. Spasov, S. Mitkov, N. Kolev, S. Sánchez-Cervera, N. García-Herranz, A. Sabater, D. Cuervo, J. Jimenez, V. Sanchez, and L. Vyskocil. ***Best-estimate simulation of a VVER MSLB core transient using NURESIM platform codes.*** Nuclear Engineering and Design, 321: 26-37, 2017.
4. N. García-Herranz, D. Cuervo, A. Sabater, G. Rucabado, S. Sánchez-Cervera, and E. Castro. ***Multiscale neutronics/thermal-hydraulics coupling with COBAYA4 code for pin-by-pin PWR transient analysis.*** Nuclear Engineering and Design, 321: 38-47, 2017.
5. Kliem, S. et al. ***Testing the NURESIM platform on a PWR main steam line break benchmark.*** Nuclear Engineering and Design, Nuclear Engineering and Design, :Nuclear Engineering and Design, 321.8-25, 2017.
6. E. Castro, S. Sánchez-Cervera, N. García-Herranz, D. Cuervo. ***Impact of the homogenization level, nodal or pin-by-pin, on the uncertainty quantification with core simulators,*** Progress in Nuclear Energy 104 (2018) 218-228.

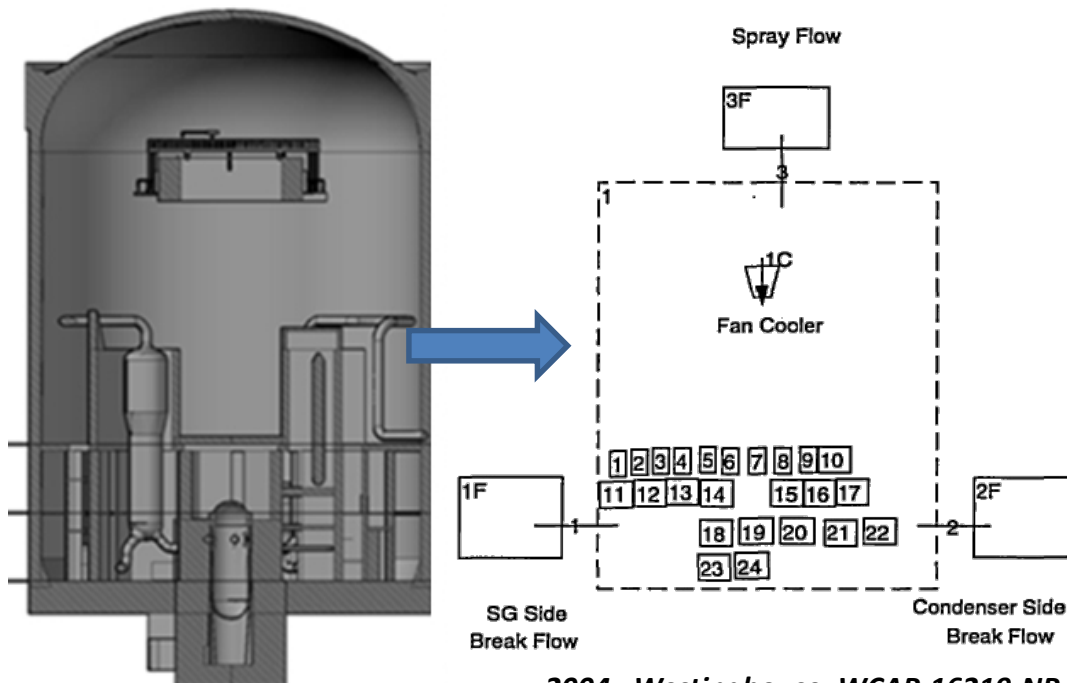
## **Towards a BEPU Methodology for Containment Safety Analyses**

**Autor: Rafael Bocanegra Melián**

**Director: Dr. Gonzalo Jiménez Varas**

- **Fecha y lugar de defensa:**  
**17/06/2019**, 11:00 h  
ETSII UPM, Aula D

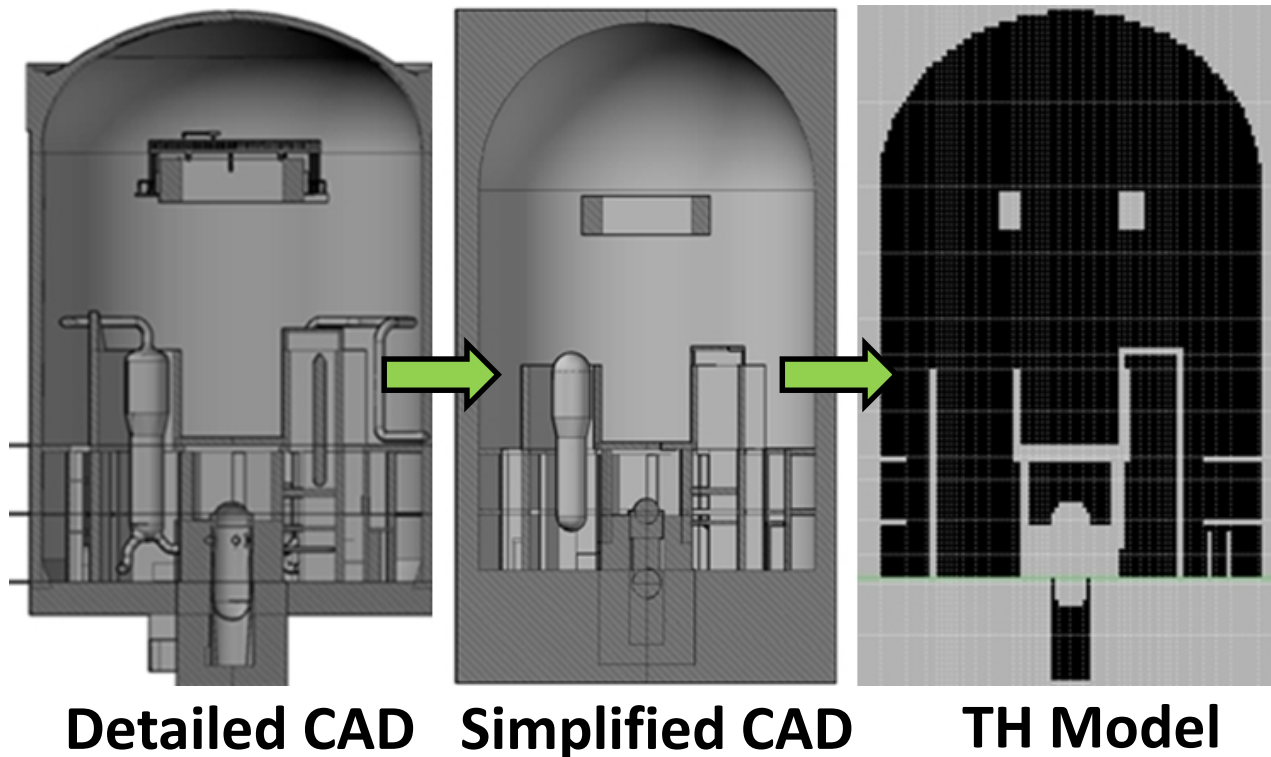
## Análisis clásico de accidente base de diseño en contención



2004 . Westinghouse. WCAP-16219-NP

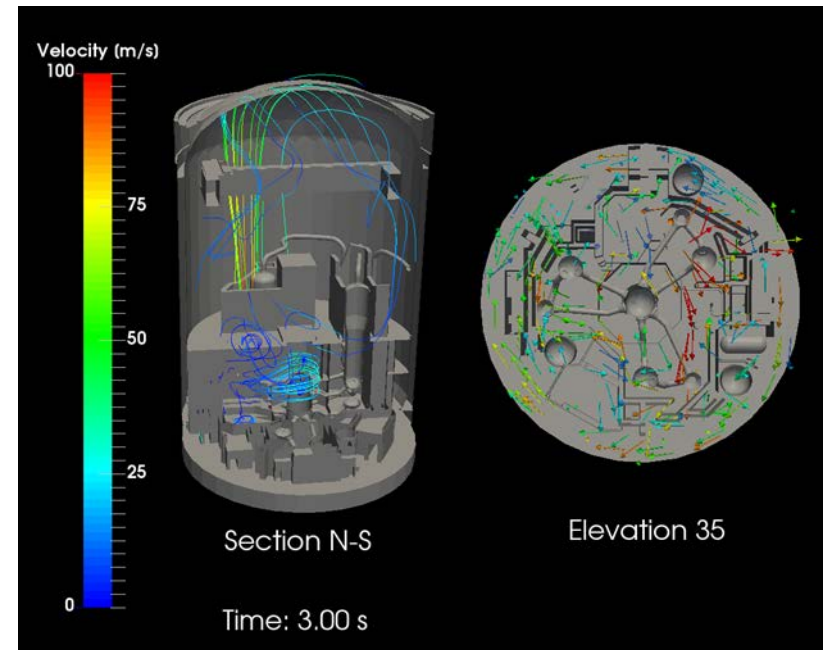
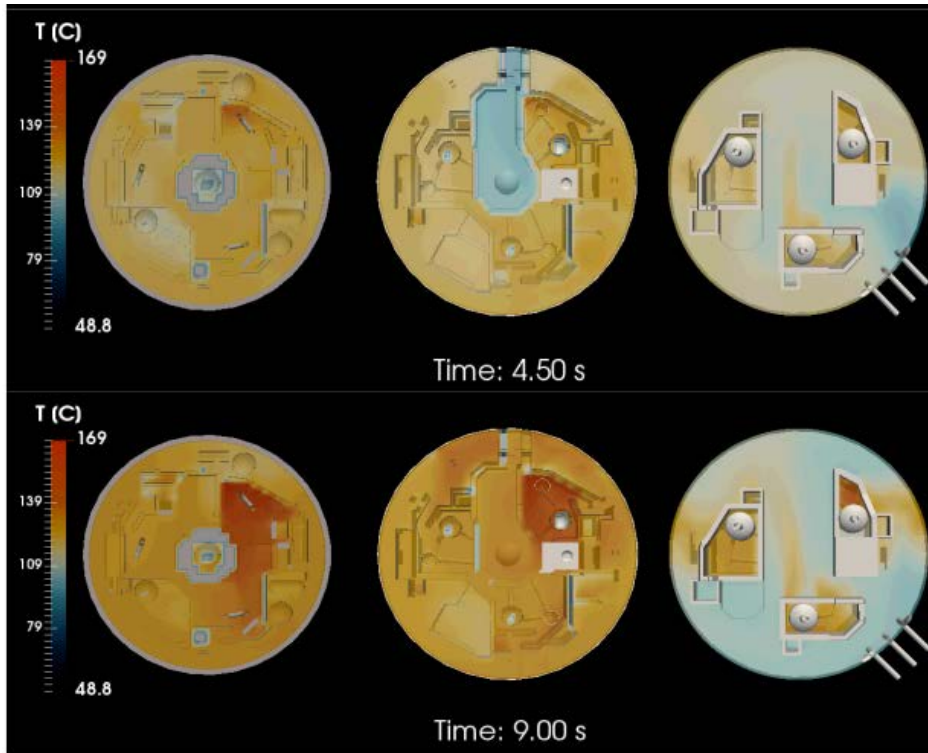
- Hipótesis conservadoras
- No cuantifica incertidumbres
- Aproximación “*Lumped Parameters*”: resultados P y T<sup>a</sup> promediados en todo el volumen

## Metodología de modelado de contención 3D en un PWR-W genérico



2016 . Rafael Bocanegra et al. Development of a PWR-W GOTHIC 3D model for containment accident analysis  
*Annals of Nuclear Energy* 87, 547-560

## Resultados de presión y temperatura por habitación y patrones de flujo en un PWR-W genérico

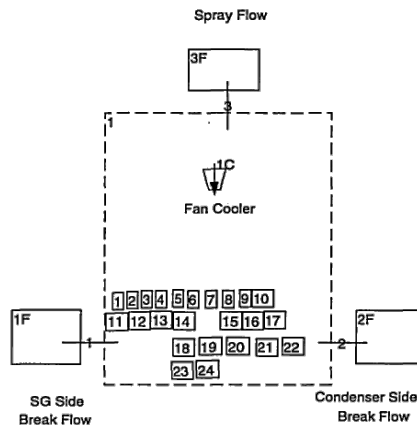


2017 . G. Jiménez et al. Analysis of the equipment and instrumentation qualification criteria using 3D containment models. *Nuclear Engineering and Design* 323, 28-38

# ¿Cuán preciso es el análisis?

### Análisis clásico de accidente base de diseño en contención

- Hipótesis conservadoras
- No cuantifica incertidumbres
- Aproximación “*Lumped Parameters*”: resultados P y T<sup>a</sup> promediados en todo el volumen

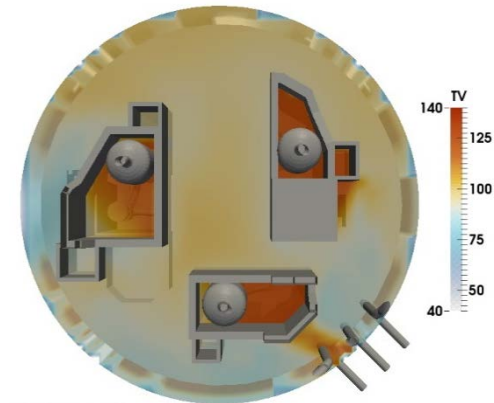


2004 . Westinghouse. WCAP-16219-NP

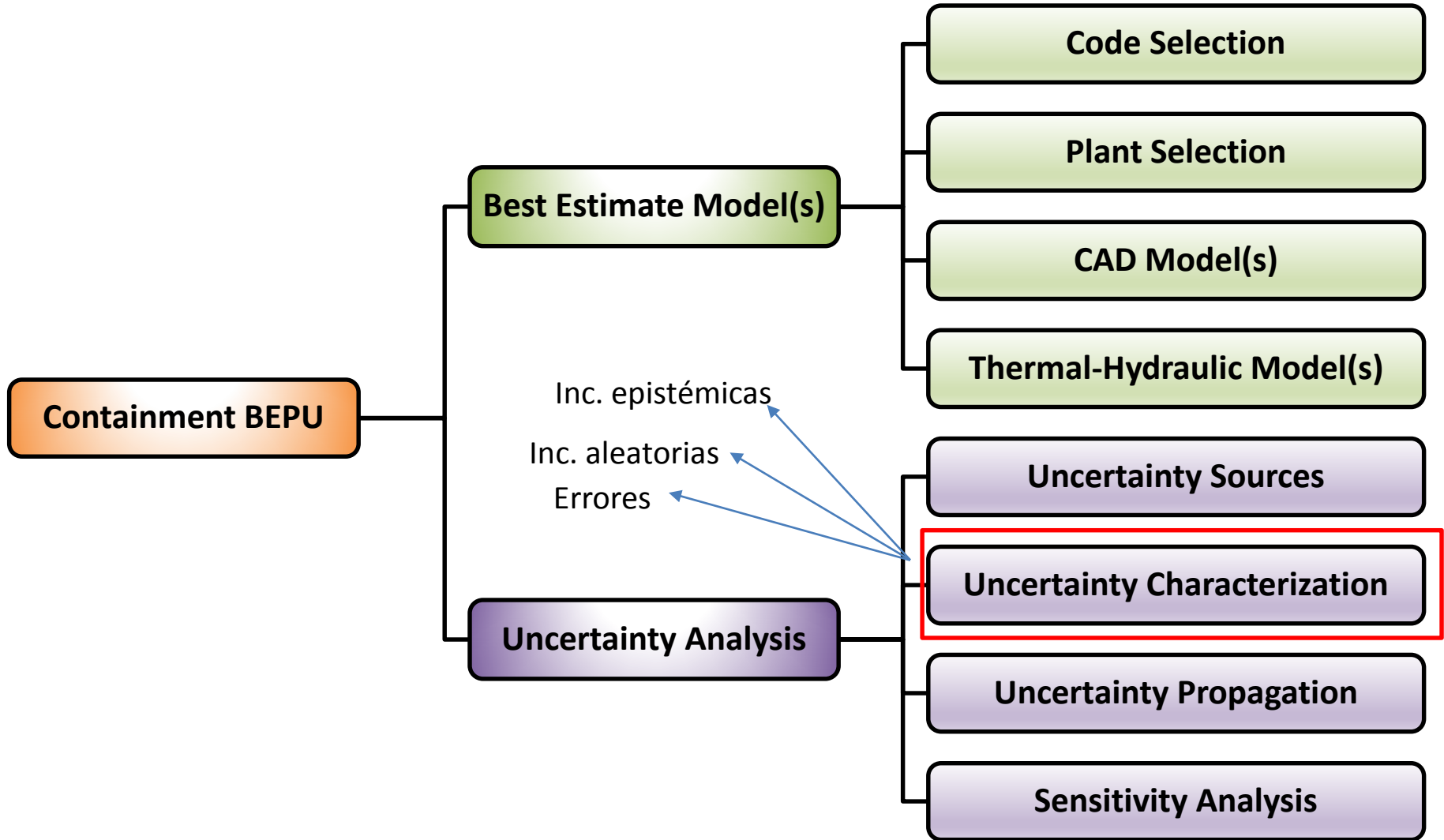
### Propuesta de nueva metodología BEPU con análisis 3D en un PWR-W genérico

- Hipótesis *best-estimate*
- Cuantifica incertidumbres
- Modelos 3D: información de P y T<sup>a</sup> por habitaciones

➔  
**TESIS  
DOCTORAL**



2017 . G. Jiménez et al. Analysis of the  
equipment and instrumentation qualification  
criteria using 3D containment models  
*Nuclear Engineering and Design* 323, 28-38

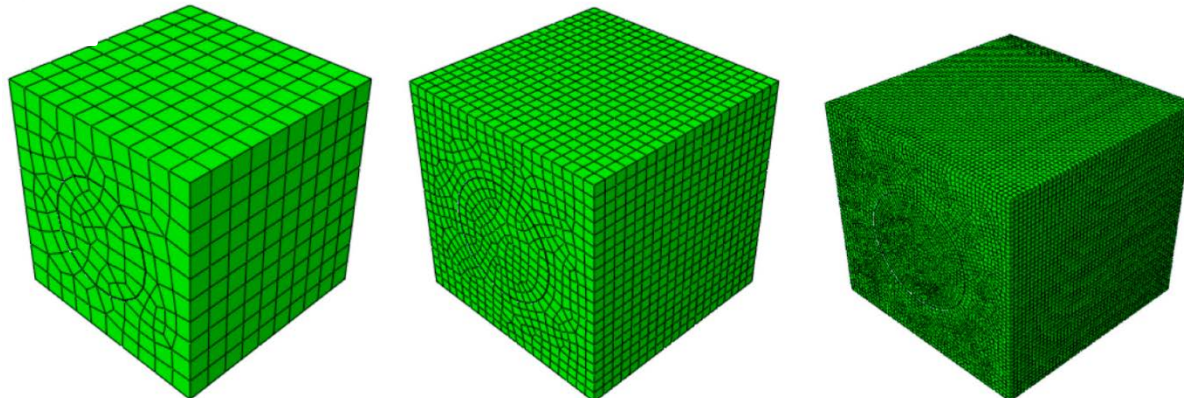
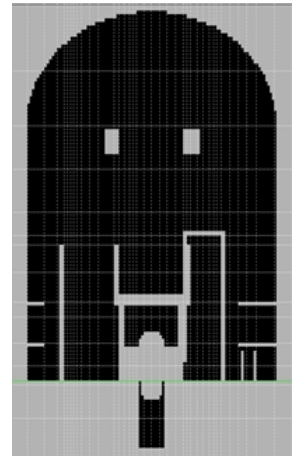




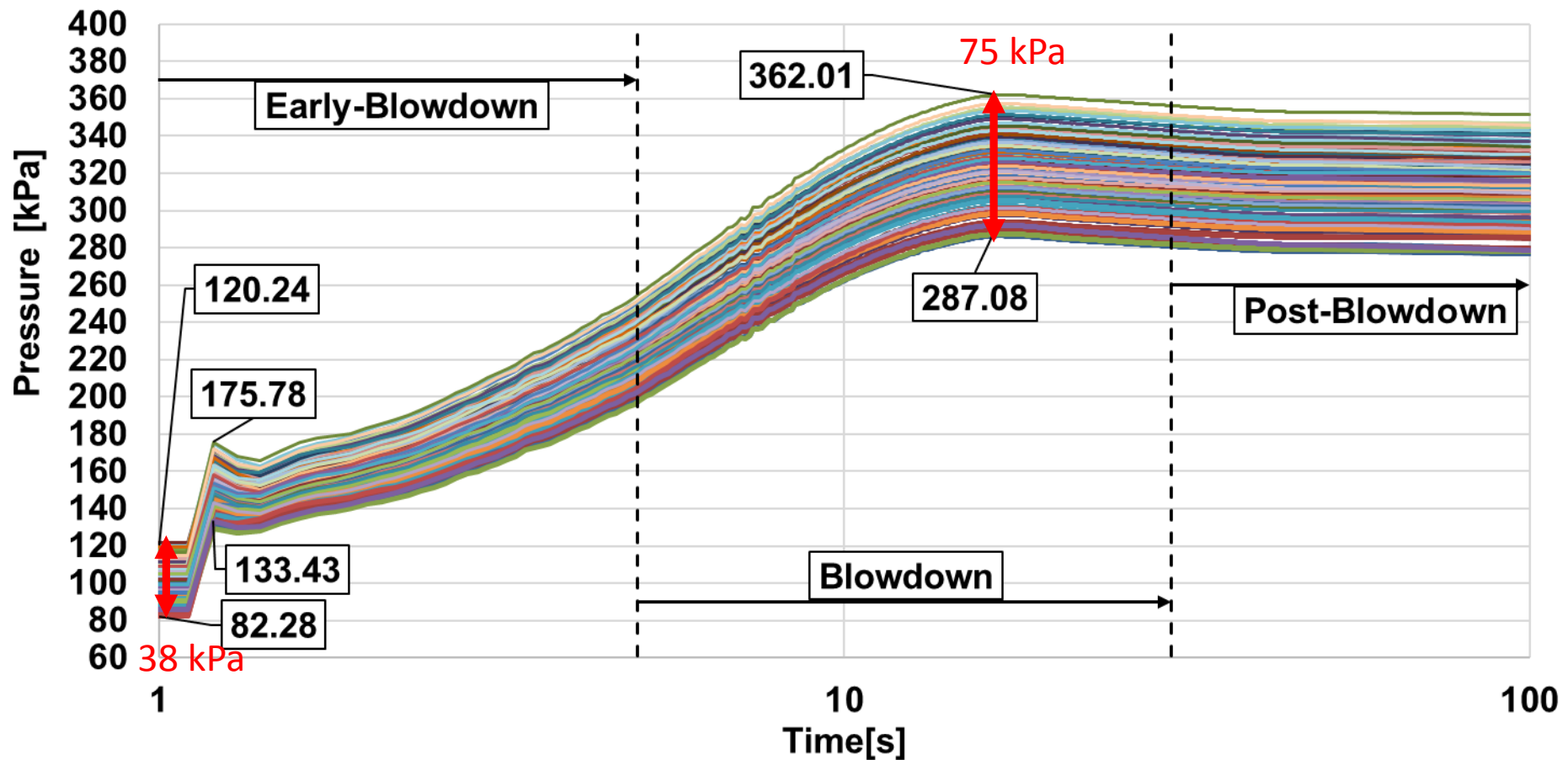
## Porous-CFD Mesh Independence Study



- Mesh refinement  
**always**
- Results do ~~not~~ change with further refinement  
**limited by code models applicability**
- ~~Small cell size leads to high resolution results~~
- ~~Smoothness~~  
~~Orthogonality & Skewness~~ **Cartesian mesh!!**



## Presión promedio en CV-2 (LHS-Wilks, 1770 casos)



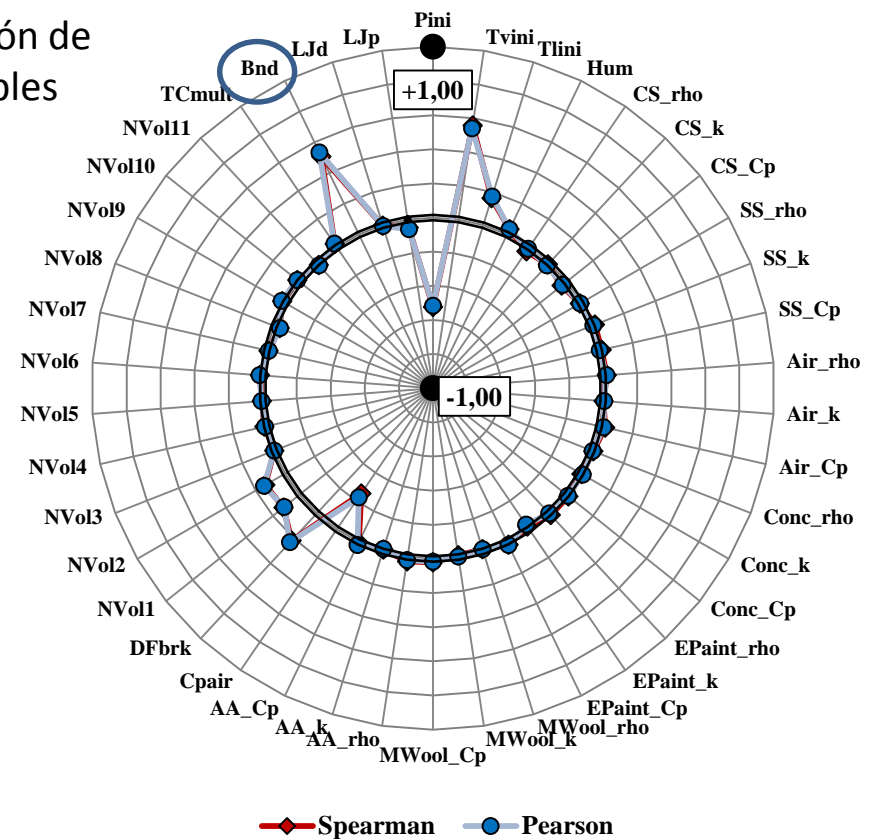
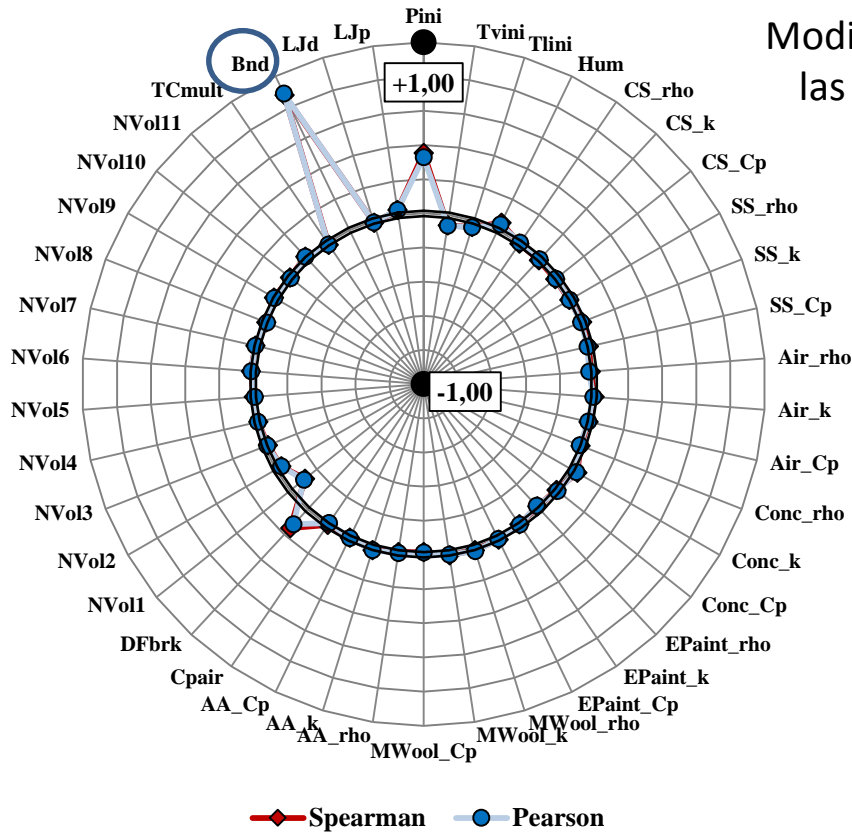
# Análisis de sensibilidad

Avg. Temperature

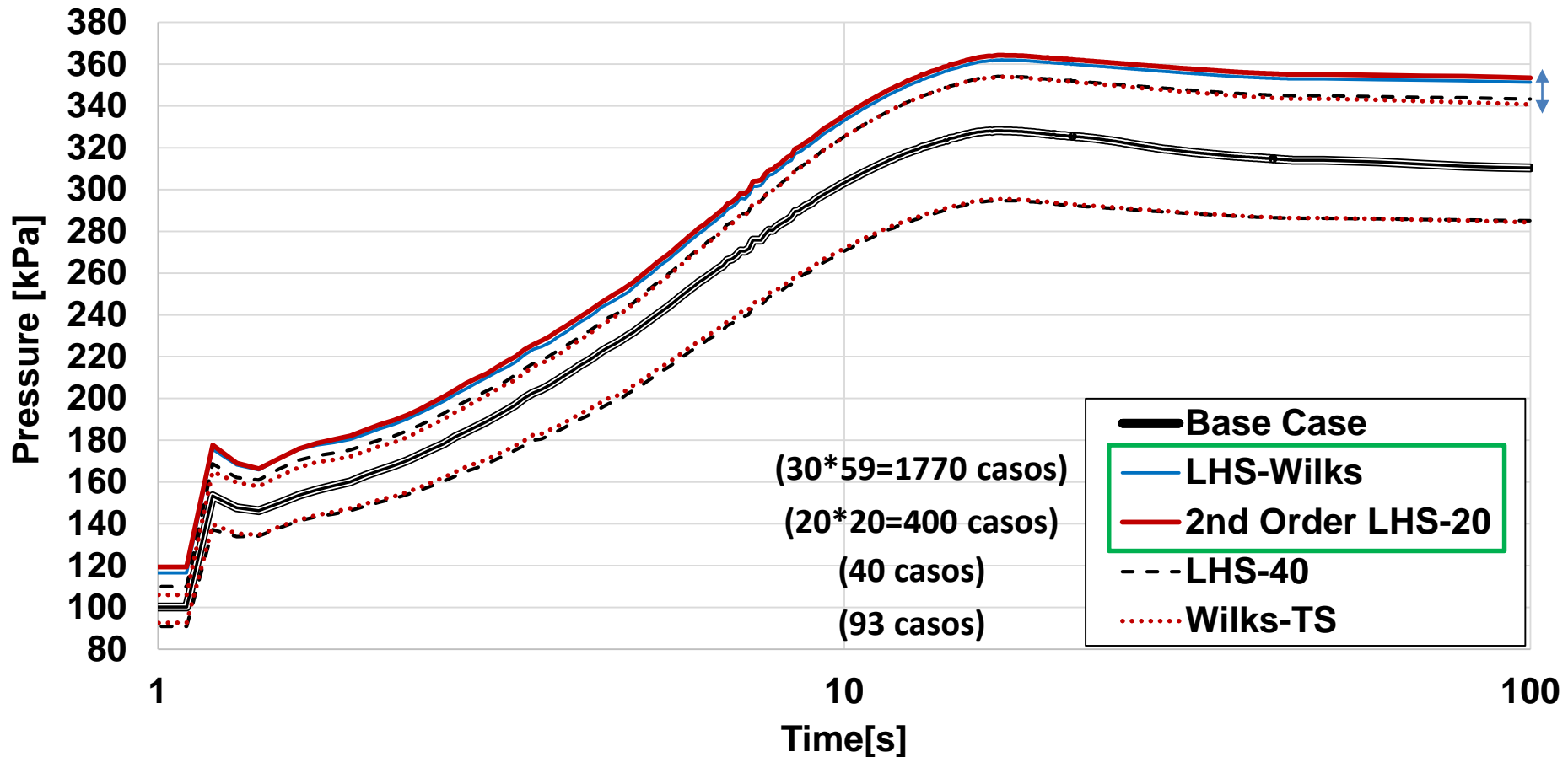


Max. W. Temperature

Modificación de  
las variables



## Diferentes Aproximaciones BEPU



## Publicaciones (Artículos):

- G. Jiménez, M.K. Fernández-Cosials, R. Bocanegra y C. Queral. ***“Analysis of the equipment and instrumentation qualification criteria using 3D containment models”***. Nuclear Engineering and Design 323, 28-38 (2017)
- R. Bocanegra, G. Jiménez y M.K. Fernández-Cosials. ***“Development of a PWR-W GOTHIC 3D model for containment accident analysis”***. Annals of Nuclear Energy 87, 547-560 (2016)

## Ponencias internacionales:

- 2018 ***“BEPU Methodology for Containment Safety Analysis”***. BEPU-2018. Lucca, Italy
- 2015 ***“Best-estimate LOCA simulation in a PWR-W containment building with a detailed 3D GOTHIC model”***. ENYGF-2015. Paris, France.
- 2014 ***“Best-Estimate Thermal-hydraulic Analysis of a Design Basis Accident in a PWR-W and AP1000 containment building with a 3D detailed model”***. ICONE-22. Prague, Czech Republic

## Ponencias nacionales:

- 2018 ***“Mesh independence studies for containment models with Porous CFD codes”***. SNE Ávila
- 2017 ***“BEPU Methodology for Containment Accident Analysis”***. 43 Reunión Annual de la SNE. Málaga.
- 2013 ***“Análisis termo-hidráulico de un accidente en contención de un reactor PWR-W con el código GOTHIC mediante un modelo 3D detallado”***. 39 Reunión Anual de la SNE. Reus.

**Cátedra CSN “Federico Goded”**  
**Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales**  
**Universidad Politécnica de Madrid**

**MUCHAS GRACIAS**  
**POR SU ATENCIÓN**

