

# Necesidades de mejora de las bases de datos nucleares para el diseño de reactores avanzados

P. Romojaro, F. Álvarez-Velarde

Unidad de Innovación Nuclear - CIEMAT

pablo.romojaro@ciemat.es

- Ciclo de vida de los datos nucleares:

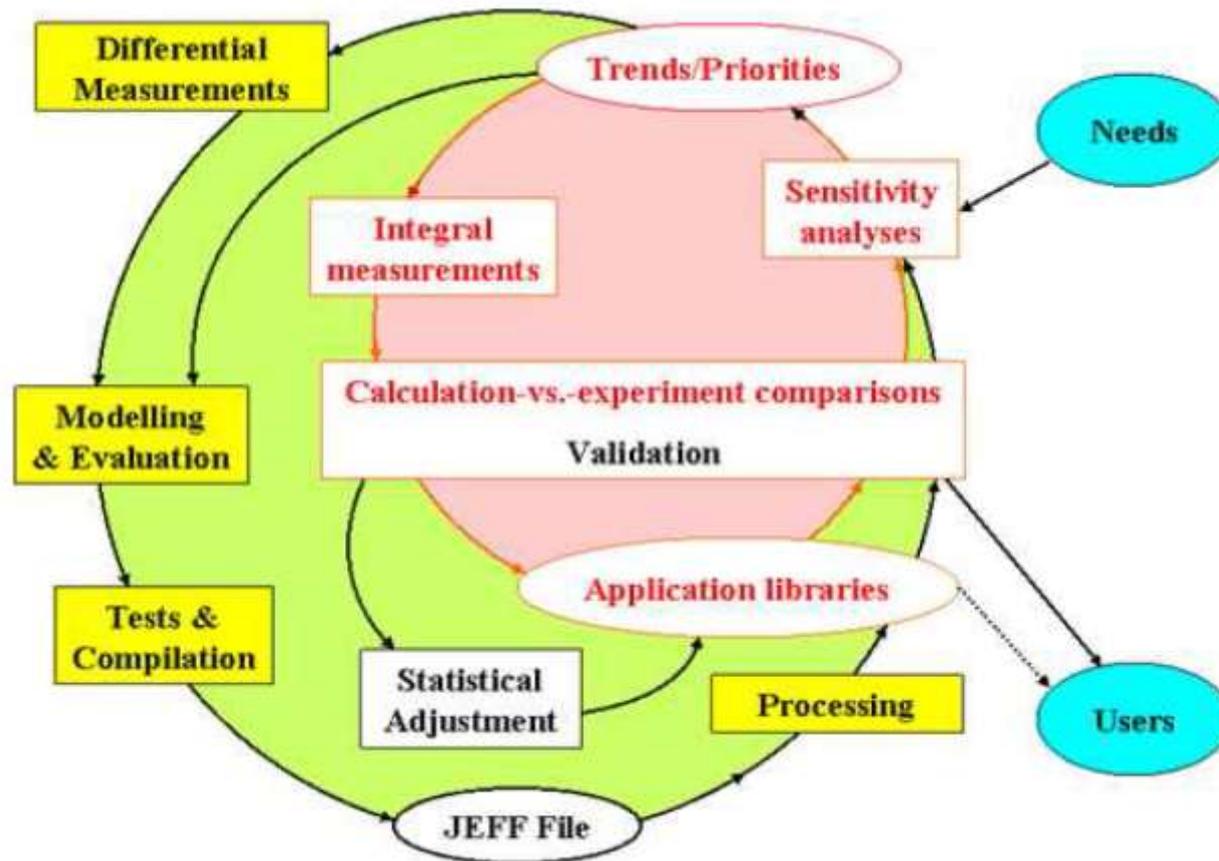
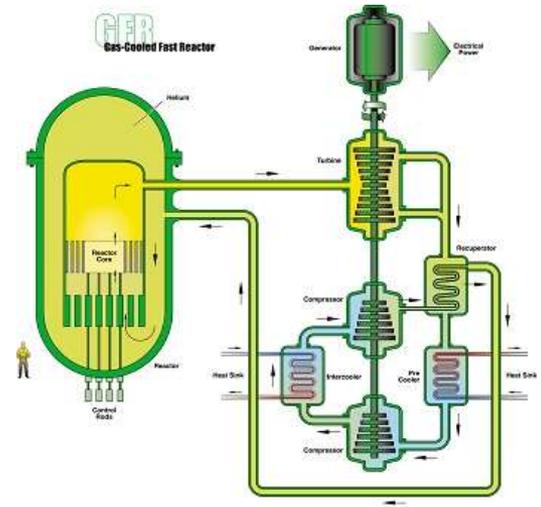
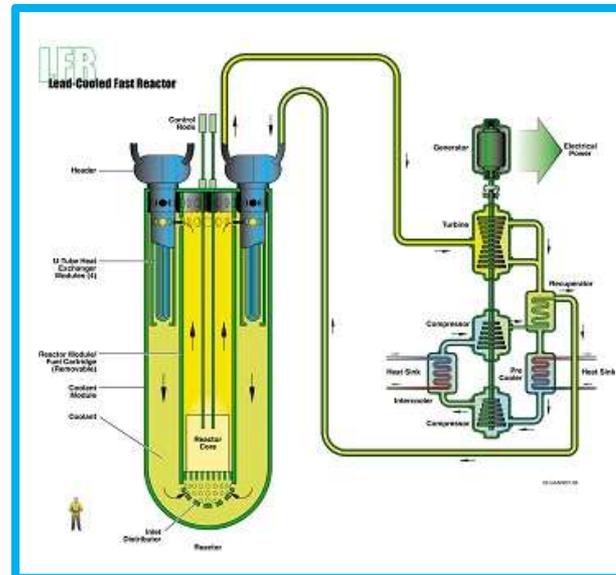
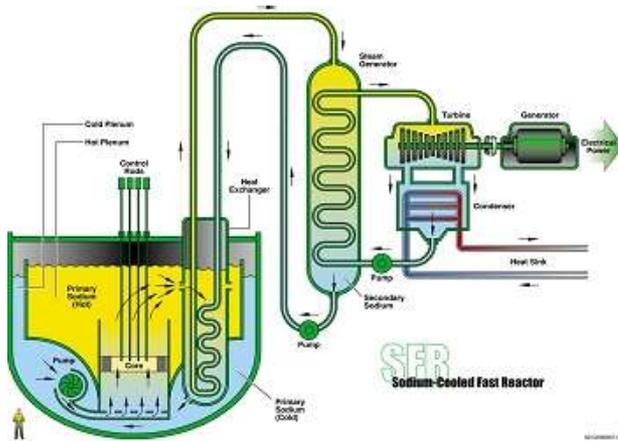


Imagen: A. Koning et al. *Status of the JEFF nuclear data library*. J. Korean Phys. Soc. 59 (2011) 1057-1062

- **Foro Internacional de GEN-IV:**

- Reactor rápido refrigerado por sodio
- Reactor rápido refrigerado por plomo
- Reactor rápido refrigerado por gas
- Reactor de sales fundidas
- Reactor de alta temperatura
- Reactor refrigerado por agua supercrítica

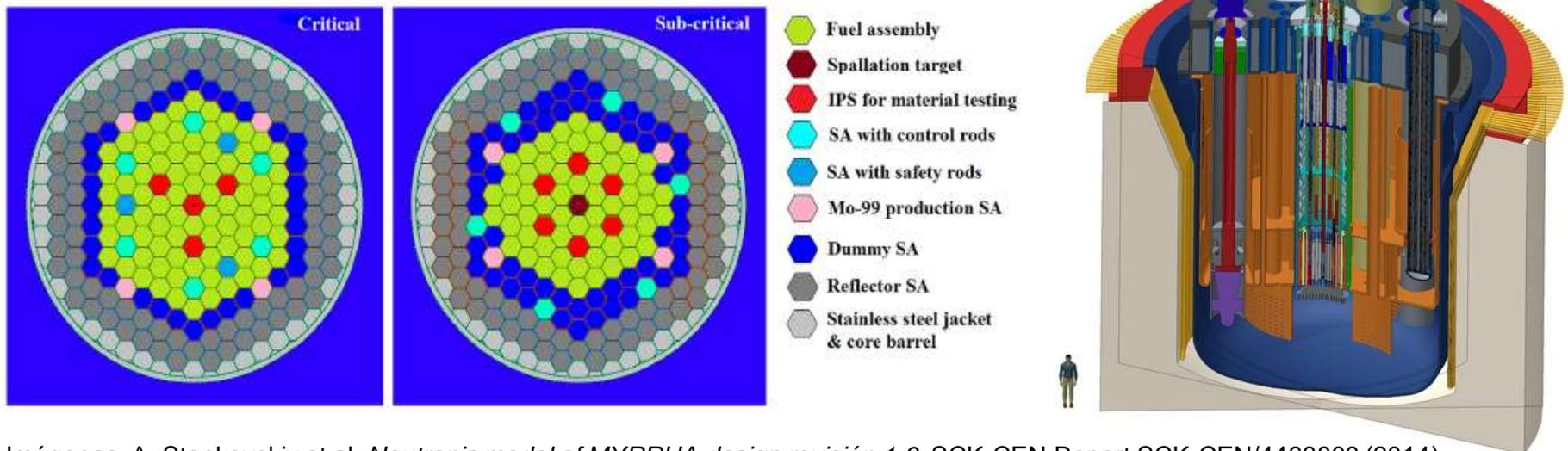
**ESNII**



Imágenes: GIF <https://www.gen-4.org/gif/>

- **MYRRHA:**

- 50 – 100 MWth
- Reactor tipo piscina
- **Refrigerado por plomo-bismuto**
- **Modo crítico y subcrítico (ADS)**
- Combustible MOX de alto enriquecimiento (30%)



Imágenes: A. Stankovskiy et al. *Neutronic model of MYRRHA design revisión 1.6*. SCK•CEN Report SCK•CEN/4463803 (2014)

## Cálculos de criticidad

Librería	$k_{eff}$	std (pcm)
JEFF-3.2	1.00479	0.00001
JEFF-3.3	1.00722	0.00001
ENDF/B-VIII.0	1.00273	0.00001



**¡Hasta 450 pcm de diferencia en función de la base de datos!**

## Cálculos de sensibilidad

MYRRHA – $k_{eff}$ ISC (%/%)		
Quantity		JEFF-3.3
$^{239}\text{Pu}$	v	$0.696 \pm 2.9 \cdot 10^{-6}$
$^{239}\text{Pu}$	(n,f)	$0.482 \pm 2.9 \cdot 10^{-6}$
$^{238}\text{U}$	(n, $\gamma$ )	$-0.112 \pm 3.7 \cdot 10^{-7}$
$^{241}\text{Pu}$	v	$0.091 \pm 4.5 \cdot 10^{-7}$
$^{240}\text{Pu}$	v	$0.081 \pm 4.5 \cdot 10^{-7}$

### Tradicionalmente validación y ajuste con experimentos de masa crítica

MYRRHA – $\beta_{eff}$ ISC (%/%)		
Quantity		JEFF-3.3
$^{239}\text{Pu}$	$v_p$	$-0.594 \pm 9.8 \cdot 10^{-6}$
$^{239}\text{Pu}$	$v_d$	$0.413 \pm 9.9 \cdot 10^{-6}$
$^{238}\text{U}$	$v_d$	$0.297 \pm 6.7 \cdot 10^{-5}$
$^{238}\text{U}$	(n,f)	$0.192 \pm 7.5 \cdot 10^{-5}$
$^{239}\text{Pu}$	(n,f)	$-0.167 \pm 3.0 \cdot 10^{-4}$

MYRRHA – $\rho_p$ ISC (%/%)		
Quantity		JEFF-3.3
$^{16}\text{O}$	(n,n)	$-2.286 \pm 2.8 \cdot 10^{-2}$
$^{58}\text{Ni}$	(n,n)	$-1.291 \pm 1.2 \cdot 10^{-2}$
$^{209}\text{Bi}$	(n,n)	$-1.288 \pm 2.8 \cdot 10^{-2}$
$^{56}\text{Fe}$	(n,n)	$1.064 \pm 2.3 \cdot 10^{-2}$
$^{207}\text{Pb}$	(n,n)	$-0.740 \pm 1.3 \cdot 10^{-2}$

MYRRHA – $\rho_{CR}$ ISC (%/%)		
Quantity		JEFF-3.3
$^{239}\text{Pu}$	(n,f)	$0.653 \pm 4.7 \cdot 10^{-5}$
$^{239}\text{Pu}$	v	$0.575 \pm 4.7 \cdot 10^{-5}$
$^{10}\text{B}$	(n, $\alpha$ )	$-0.359 \pm 2.8 \cdot 10^{-5}$
$^{240}\text{Pu}$	v	$0.166 \pm 7.7 \cdot 10^{-6}$
$^{238}\text{U}$	v	$0.154 \pm 1.1 \cdot 10^{-5}$

### Necesario uso de experimentos complementarios

## Cálculos de incertidumbre (I)

MYRRHA									
JEFF-3.3				ENDF/B-VIII.0					
Quantity		$\Delta k_{eff}/k_{eff}$ (%)		Quantity		$\Delta k_{eff}/k_{eff}$ (%)			
$^{240}\text{Pu}$	(n,f)	$^{240}\text{Pu}$	(n,f)	$0.543 \pm 7.3 \cdot 10^{-7}$	$^{239}\text{Pu}$	(n,f)	$^{239}\text{Pu}$	(n,f)	$0.550 \pm 5.4 \cdot 10^{-7}$
$^{240}\text{Pu}$	(n,f)	$^{240}\text{Pu}$	(n, $\gamma$ )	$-0.420 \pm 1.4 \cdot 10^{-7}$	$^{239}\text{Pu}$	(n, $\gamma$ )	$^{239}\text{Pu}$	(n, $\gamma$ )	$0.227 \pm 1.2 \cdot 10^{-7}$
$^{239}\text{Pu}$	$\nu_p$	$^{239}\text{Pu}$	$\nu_p$	$0.321 \pm 1.1 \cdot 10^{-7}$	$^{209}\text{Bi}$	(n,n)	$^{209}\text{Bi}$	(n,n)	$0.222 \pm 3.3 \cdot 10^{-6}$
$^{239}\text{Pu}$	(n,f)	$^{239}\text{Pu}$	(n,f)	$0.295 \pm 2.6 \cdot 10^{-7}$	$^{239}\text{Pu}$	$\nu_p$	$^{239}\text{Pu}$	$\nu_p$	$0.187 \pm 4.0 \cdot 10^{-8}$
$^{239}\text{Pu}$	$\chi$	$^{239}\text{Pu}$	$\chi$	$0.261 \pm 2.0 \cdot 10^{-6}$	$^{238}\text{U}$	(n, $\gamma$ )	$^{238}\text{U}$	(n, $\gamma$ )	$0.139 \pm 2.7 \cdot 10^{-8}$
$^{240}\text{Pu}$	(n, $\gamma$ )	$^{240}\text{Pu}$	(n, $\gamma$ )	$0.197 \pm 2.3 \cdot 10^{-8}$	$^{239}\text{Pu}$	$\chi$	$^{239}\text{Pu}$	$\chi$	$0.128 \pm 3.5 \cdot 10^{-7}$
$^{239}\text{Pu}$	(n,f)	$^{239}\text{Pu}$	(n, $\gamma$ )	$0.174 \pm 4.3 \cdot 10^{-8}$	$^{238}\text{U}$	(n,n')	$^{238}\text{U}$	(n,f)	$-0.095 \pm 2.6 \cdot 10^{-7}$
$^{238}\text{U}$	(n, $\gamma$ )	$^{238}\text{U}$	(n, $\gamma$ )	$0.167 \pm 3.6 \cdot 10^{-8}$	$^{240}\text{Pu}$	(n, $\gamma$ )	$^{240}\text{Pu}$	(n, $\gamma$ )	$0.091 \pm 6.2 \cdot 10^{-9}$
$^{239}\text{Pu}$	(n, $\gamma$ )	$^{239}\text{Pu}$	(n, $\gamma$ )	$0.151 \pm 6.7 \cdot 10^{-8}$	$^{238}\text{U}$	$\nu_p$	$^{238}\text{U}$	$\nu_p$	$0.087 \pm 4.3 \cdot 10^{-8}$
$^{238}\text{U}$	(n,n')	$^{238}\text{U}$	(n,f)	$-0.138 \pm 5.6 \cdot 10^{-7}$	$^{238}\text{U}$	(n,n')	$^{238}\text{U}$	(n, $\gamma$ )	$0.081 \pm 1.5 \cdot 10^{-7}$
<b>Total uncertainty in <math>k_{eff}</math></b>				<b><math>0.772 \pm 3.7 \cdot 10^{-6}</math></b>	<b>Total uncertainty in <math>k_{eff}</math></b>				<b><math>0.771 \pm 3.9 \cdot 10^{-6}</math></b>

Fuertemente dependientes de la base de datos

Incetidumbre global similar pero contribuyentes diferentes

## Cálculos de incertidumbre (II)

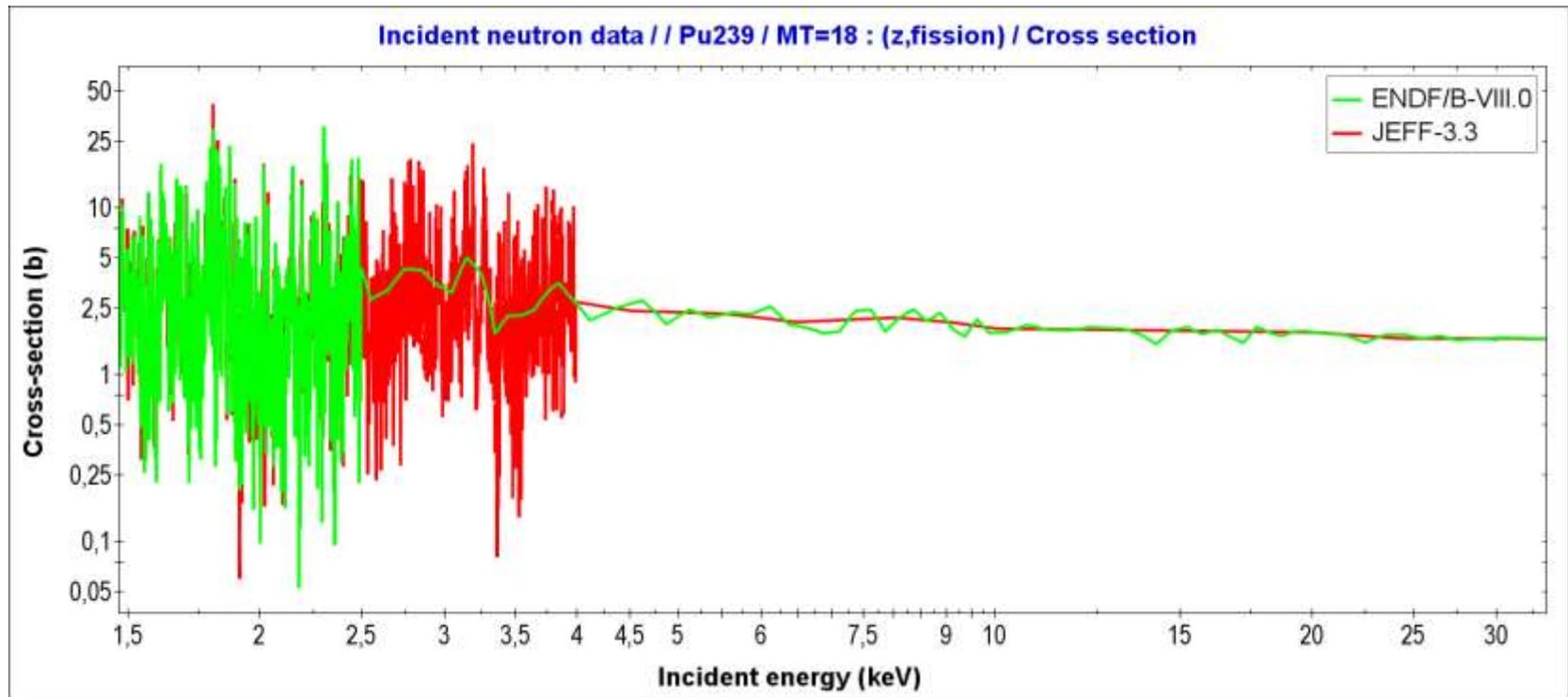
Parámetro	Incertidumbre JEFF-3.3 (%)	Precisión objetivo* (%)
$k_{eff}$	0.7	0.3
$\beta_{eff}$	1.1	2
$\rho_T$	9.1	7
$\rho_R$	20.3	7
$\rho_{CR}$	1.8	7

\*M. Salvatores et al. *Uncertainty and target accuracy assessment for innovative systems using recent covariance data evaluations*. OECD/NEA Report NEA/WPEC-26 (2008)

**Precisión objetivo excedida en varios parámetros de criticidad**

## Análisis (I)

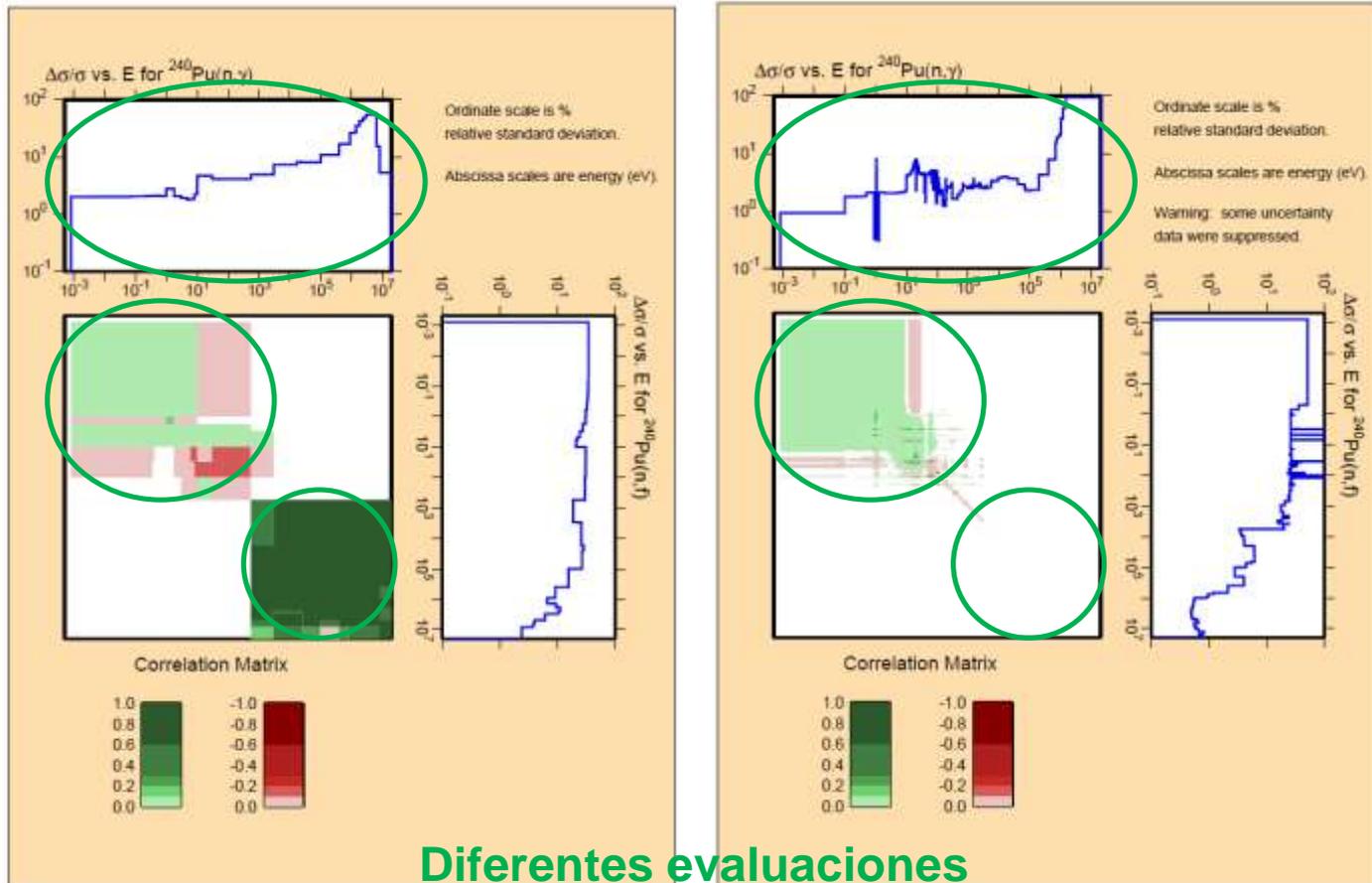
- Secciones eficaces:



## Diferentes evaluaciones

## Análisis (II)

- Matrices de covarianza:



Diferentes evaluaciones

JEFF-3.3

ENDF/B-VIII.0

## Análisis (III)

- Matrices de covarianza:

MF=33 Covariances of neutron cross sections	9443	1451	254
Covariances were given to all the cross sections by using	9443	1451	255
KALMAN code/31/ and the covariances of model parameters	9443	1451	256
used in the theoretical calculations.	9443	1451	257
	9443	1451	258
For the following cross sections, covariances were determined	9443	1451	259
by different methods.	9443	1451	260
	9443	1451	261
MT=1, 2 Total and elastic scattering	9443	1451	262
In the resolved resonance region, uncertainty of 5% was added	9443	1451	263
to the contributions from resonance parameter uncertainties.	9443	1451	264
	9443	1451	265
Above 300 eV, covariances for CCONE calculation were adopted.	9443	1451	266
	9443	1451	267
MT=18 Fission cross section	9443	1451	268
Error of 2 % was assumed in the resolved resonance region up	9443	1451	269
to 300 eV.	9443	1451	270
	9443	1451	271
In the energy range from 300 eV to 10 keV, the fission cross	9443	1451	272
section was determined from the experimental data of Gerassimov	9443	1451	273
et al./19/ Error of 5% was assumed in the region up to	9443	1451	274
9 keV.	9443	1451	275
	9443	1451	276
Above 9 keV, covariance matrix was obtained by simultaneous	9443	1451	277
evaluation among the fission cross sections of U-233, U-235,	9443	1451	278
U-238, Pu-239, Pu-240 and Pu-241(See MF=3, MT=18, and /1/).	9443	1451	279
Since the variances are very small, they were adopted by	9443	1451	280
multiplying a factor of 2.	9443	1451	281

**Pu-241**

**B-10**

4. MF=33, MT=107,800,801 data from the ENDF/B-VII international	525	1451	33
standards analysis were incorporated into the evaluation.	525	1451	34

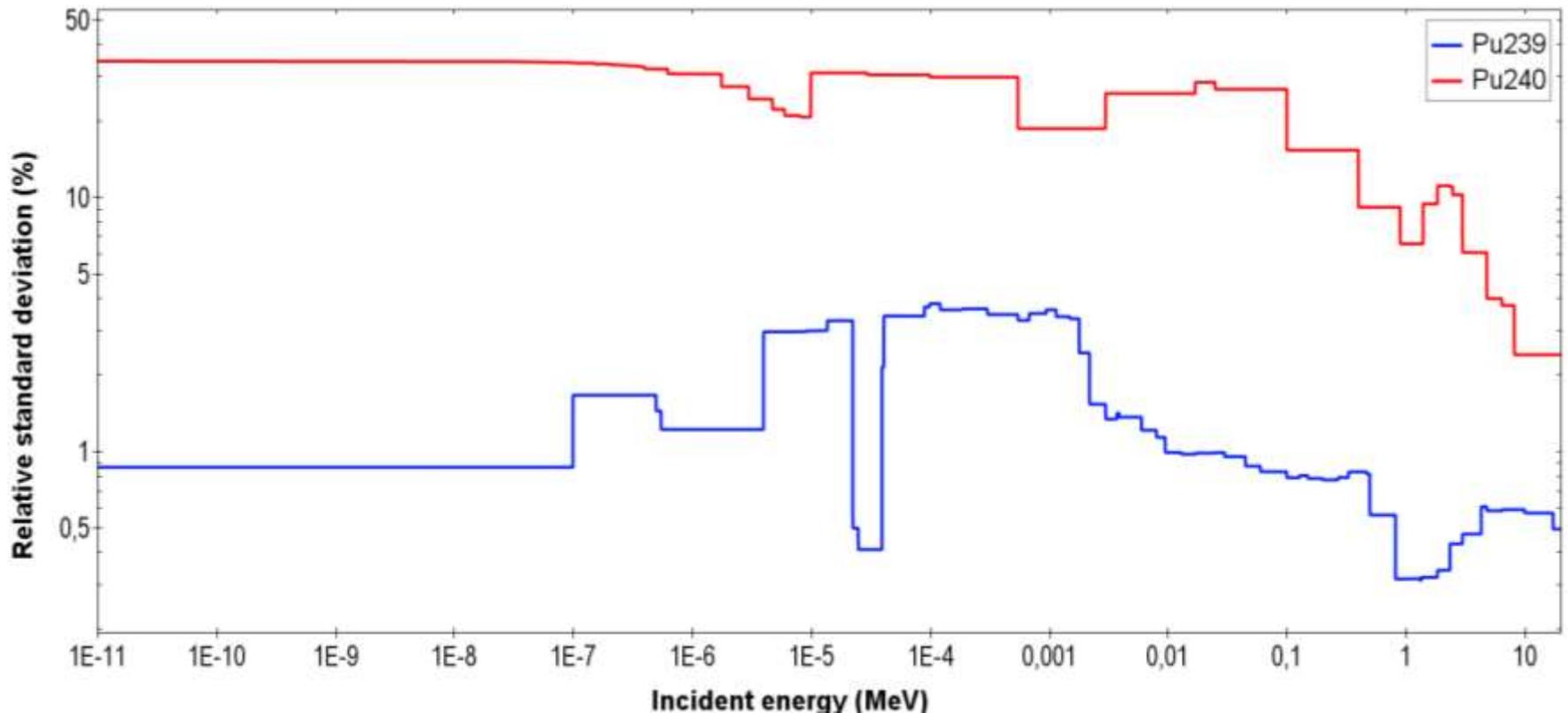
**MT=4?**

## Origen evaluaciones

## Análisis (IV)

- Matrices de covarianza:

**JEFF-3.3 (n,f)**

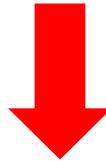


## Análisis (V)

- Diferencias debidas a:
  - Diferentes evaluaciones de secciones eficaces:  $^{239}\text{Pu}(n,f)$
  - Diferentes evaluaciones de incertidumbre:  $^{240}\text{Pu}(n,\gamma)$
  - Falta de correlaciones entre reacciones:  $^{240}\text{Pu}(n,f) - ^{240}\text{Pu}(n,\gamma)$
  - Falta de evaluaciones de covarianzas:  $v_d^{235,238}\text{U}$
  - Diferente estructura de grupos

## Conclusiones

- Diferencias entre bases de datos para evaluaciones de secciones eficaces y covarianzas
- Análisis de incertidumbres son fuertemente dependientes de la base de datos
- **Precisiones objetivo excedidas para reactores de plomo**



**¡Necesidades de mejora en las bases de datos nucleares!**

## Necesidades de mejora JEFF-3.3

- Nuevas evaluaciones, revisión de evaluaciones o sustitución por evaluaciones de otras bases de datos
- Más detalle sobre como se han llevado la evaluación de las covarianzas en el cabecero de los archivos
- Nuevas covarianzas y correlaciones
- Revisión de las incertidumbres en algunas secciones eficaces
- Uso de experimentos distintos de masa crítica en el proceso de evaluación y validación