

Document downloaded from:

<http://hdl.handle.net/10251/61029>

This paper must be cited as:

Mesado Melia, C.; Miró Herrero, R.; Barrachina Celda, TM.; Verdú Martín, GJ. (2014). Principales características y posibilidades del nuevo módulo de SCALE 6.2 para cálculo de sensibilidad e incertidumbre por muestreo: SAMPLER. 40ª Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española. Grupo Senda.



The final publication is available at

<http://www.reunionanualsne.es/doc/40/ponencias/tecnicas/I+D+i/28/28-02.pdf>

Copyright Grupo Senda

Additional Information

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y POSIBILIDADES DEL NUEVO MÓDULO DE SCALE 6.2 PARA CÁLCULO DE SENSIBILIDAD E INCERTIDUMBRE POR MUESTREO: SAMPLER.

C. Mesado, R. Miró, T. Barrachina, G. Verdú

Institute for the Industrial, Radiophysical and Environmental Safety.
Universitat Politècnica de València (UPV).
Camí de Vera s/n.
46021 Valencia, Spain.

cmesado@isiryum.upv.es, rmiro@isiryum.upv.es, tbarrachina@isiryum.upv.es, gverdu@isiryum.upv.es

ABSTRACT

Debido a la importancia del cálculo de sensibilidad e incertidumbre en los cálculos de ámbito ingenieril, y sobre todo en el mundo nuclear, se ha decidido presentar las principales características del nuevo módulo presente en la nueva versión de SCALE 6.2 (actualmente versión beta 3) denominado SAMPLER. Este módulo permite el cálculo de incertidumbre en un amplio rango de secciones eficaces, parámetros neutrónicos, composición y parámetros físicos. Sin embargo, el cálculo de sensibilidad no está presente en la versión beta 3. Aun así, este módulo puede resultar de gran ayuda para los participantes del *Benchmark* propuesto por *Expert Group on Uncertainty Analysis in Modelling* (UAM-LWR), así como a los analistas en general.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace algún tiempo se ha venido observando un aumento, sobretodo en el ámbito nuclear, de estudios relacionados con el cálculo de sensibilidad e incertidumbre. Esto es debido principalmente por la introducción, por parte de la *Nuclear Regulatory Commission* (NRC), de dichos cálculos en los Análisis de Seguridad mediante códigos *Best Estimate*. Este hecho ha propiciado el desarrollo de un nuevo módulo llamado SAMPLER en la nueva versión de SCALE 6.2 (actualmente versión beta 3).

En el presente trabajo se pretende mostrar las posibilidades que ofrece este nuevo módulo y las ventajas e inconvenientes derivados de su uso. Este módulo permite el cálculo de sensibilidad e incertidumbre mediante muestreos (cálculo estocástico), aunque los cálculos de sensibilidad aún no están disponibles en la versión beta. Este módulo puede resultar de gran ayuda, por ejemplo, en el *Benchmark* propuesto por *Expert Group on Uncertainty Analysis in Modelling* (UAM-LWR).

El artículo se organiza de la siguiente manera: en el segundo apartado se explican diversas consideraciones a tener en cuenta a la hora de usar SAMPLER. En el tercer apartado se presentan las posibilidades de cálculo disponibles en SAMPLER. El cálculo de incertidumbre se puede realizar, a petición del usuario, sobre una gran variedad de parámetros neutrónicos, densidades isotópicas y parámetros geométricos o físicos, entre otras posibilidades. Además, el módulo SAMPLER no limita el método de transporte, por lo que el módulo de transporte puede ser 1D (XSDRN), 2D (NEWT) o 3D (KENO-V & KENO-VI). En el cuarto apartado se muestra un ejemplo de cálculo de incertidumbre usando el módulo determinista 2D NEWT con quemado y obtención de secciones eficaces colapsadas y homogenizadas. Finalmente, debido a un error en SAMPLER, no es posible llevar a cabo el cálculo de incertidumbre con quemado si hay variaciones de las variables instantáneas (uso de las *branches* en TRITON), por lo que se comenta una solución para llevar a cabo el cálculo de incertidumbre satisfactoriamente.

2. DIVERSOS ASPECTOS DE SAMPLER

2.1 Cálculo de incertidumbre y otros parámetros

SCALE 6.2 beta 3 incorpora una librería de perturbaciones aleatorias de secciones eficaces 1D (MG_Perturbations), esta librería ha sido creada mediante el uso del módulo Medusa incluido en el programa XSUSA. Para ello se ha asumido una función de densidad de probabilidad normal con covarianzas obtenidas de la librería de covarianzas relativas que incorpora SCALE (44groupcov). La librería de perturbaciones contiene 1000 conjuntos de perturbaciones, para cada uno de los grupos de energía (238), para diversos tipos de reacciones nucleares y para todos los isótopos disponibles. Esta librería de perturbaciones se usa siempre en los cálculos de SAMPLER. La ventaja inmediata es que no hay que calcular las perturbaciones en cada ejecución. Sin embargo, el usuario no tiene, a priori, la libertad de cambiar la distribución o método de muestreo de dichas perturbaciones. Las perturbaciones almacenadas en la librería son factores multiplicativos, ver ecuación (1).

$$Q_{x,g} = 1 + \frac{\Delta\sigma_{x,g}}{\sigma_{x,g}} \quad (1)$$

Donde x representa la reacción en un cierto nucleído y g es el grupo de energía. El valor de $\Delta\sigma_{x,g}/\sigma_{x,g}$ se obtiene de la librería de covarianzas que incorpora SCALE.

El módulo *ClarolPlus* se encarga de leer la librería de perturbaciones y de calcular las nuevas secciones eficaces perturbadas. Como ya se ha comentado, el usuario no puede cambiar las perturbaciones, pero sí que puede elegir el conjunto de perturbaciones que se va a usar en el cálculo, de entre los 1000 conjuntos disponibles en la librería de perturbaciones. Las secciones eficaces multi-grupo se calculan haciendo uso de la ecuación (2), los factores *Bondarenko* con la ecuación (3) y las secciones eficaces de energía continua con la ecuación (4).

$$\sigma'_{x,g} = Q_{x,g} \sigma_{x,g} \quad (2)$$

$$f'_{x,g}(\sigma_0, T) = f_{x,g}(\sigma'_0, T) \quad \text{donde: } \sigma'_0 = \sigma_0/Q_{x,g} \quad (3)$$

$$\sigma'_x(E) = Q_{x,g} \sigma_x(E) \quad \text{para: } E \in g \quad (4)$$

Posteriormente, SCALE realiza diversas simulaciones, tantas como muestras indicadas por el usuario más una adicional para el caso de referencia. Si el número de muestras es el adecuado, se puede hallar la incertidumbre asociada a un cierto parámetro calculando la varianza de sus valores perturbados, por ejemplo la incertidumbre en el factor de multiplicación se puede calcular mediante la ecuación (5).

$$\Delta k_{eff} = \mu_i = \sqrt{\frac{\sum_{a=1}^n (k_a - \bar{k})^2}{n - 1}} \quad (5)$$

Donde n es el número de muestras totales, k_a es el valor perturbado del factor de multiplicación obtenido en la simulación a y \bar{k} es el valor medio del factor de multiplicación. De la misma forma la covarianza del factor de multiplicación entre dos sistemas i y j , se obtiene con la ecuación (6).

$$\Sigma_{ij} = \sqrt{\frac{\sum_{a=1}^n (k_{a,i} - \bar{k}_i)(k_{j,a} - \bar{k}_j)}{n - 1}} \quad (6)$$

Finalmente, el coeficiente de correlación entre los sistemas i y j , se obtiene haciendo uso de los valores anteriores, ecuación (7). El valor del coeficiente de correlación determina si la correlación es directa, inversa o si no hay correlación entre las dos variables estudiadas.

$$C_{ij} = \frac{\Sigma_{ij}}{\mu_i \mu_j} \quad (7)$$

$$-1 < C_{ij} < +1 \quad \begin{array}{l} +1: \text{ correlación directa} \\ 0: \text{ no hay correlación} \\ -1: \text{ correlación inversa} \end{array}$$

2.2 SAMPLER vs TSUNAMI

En SCALE existen dos opciones distintas para el cálculo de sensibilidad e incertidumbre. La primera opción es la técnica de muestreo estocástico explicada anteriormente, módulo SAMPLER. Primero se ejecutan tantas simulaciones como número de muestras especificadas (más el caso de referencia) perturbando las secciones eficaces correspondientes, ecuaciones (2)-(4). Posteriormente se puede calcular la incertidumbre usando las ecuaciones vistas anteriormente (5)-(7). La segunda opción es el módulo TSUNAMI, ampliamente usado en la literatura [1] y [2]. TSUNAMI usa la teoría de perturbaciones de primer orden (GPT) para calcular la respuesta deseada. Para ello realiza un único cálculo directo del problema de transporte, después, un cálculo inverso (adjunto) para cada una de las respuestas seleccionadas por el usuario. Por tanto, el módulo SAMPLER es preferible, respecto de TSUNAMI, en tres supuestos casos:

- 1) Casos con un número elevado de respuestas. En dichos casos el TSUNAMI requiere una elevada carga de computación ya que tiene que hacer el cálculo del adjunto para cada respuesta. En cambio, en SAMPLER el número de simulaciones es independiente del número de respuestas.
- 2) Casos en que el código no esté preparado para realizar cálculos del adjunto. SCALE dispone de dicho cálculo en la mayoría de casos, pero no está preparado para casos con quemado. TSUNAMI no realiza cálculos con quemado.
- 3) Casos en los que la teoría de perturbaciones de primer orden no sea válida.

3. POSIBILIDADES DE SAMPLER

En este apartado se explican las diferentes posibilidades de cálculo de SAMPLER: incertidumbre, sensibilidad y estudios paramétricos. Pero primeramente se explica los parámetros principales de que dispone el usuario y que afectan al cálculo de SAMPLER. Ver el manual de SAMPLER [3] para una adecuada explicación de la estructura del archivo de entrada.

3.1 Parámetros

Todos los parámetros de que dispone SAMPLER se explican en la Tabla 1.

Parámetro	Significado
<i>n_samples=N</i>	Número de muestras a perturbar (máximo 1000)
<i>first_sample=N</i>	Número de la primera muestra (<i>first_sample</i> + <i>n_samples</i> <= 1000)
<i>run_cases=yes/no</i>	Ejecuta los casos con SAMPLER o independientemente
<i>perturb_xs=yes/no</i>	Perturba secciones eficaces
<i>perturb_yields=yes/no</i>	Perturba los productos de fisión
<i>perturb_decay=yes/no</i>	Perturba datos de decaimiento
<i>perturb_bondarenko=yes/no</i>	Perturba factores de <i>Bondarenko</i> (<i>perturb_xs=yes</i>)
<i>perturb_pointwise=yes/no</i>	Perturba secciones eficaces de energía continua (<i>perturb_xs=yes</i>)
<i>perturb_geometry=yes/no</i>	Perturba parámetros físicos indicados por el usuario (geometría, temperaturas, densidades, concentraciones...)
<i>library="..."</i>	Nombre de la librería master (v7-238, xn238v7...)
<i>perturbed_library="..."</i>	Nombre de la librería perturbada
<i>mg_factors_library="..."</i>	Nombre de la librería de perturbaciones
<i>force_run=yes/no</i>	Fuerza la ejecución de las muestras aun habiendo finalizado la simulación en ejecuciones anteriores
<i>plt=yes/no</i>	Se crean archivos <i>.plt</i> para su representación en <i>Javapeno</i>
<i>csv=yes/no</i>	Se crean hojas de cálculo con datos estadísticos de las respuestas
<i>print_data=yes/no</i>	Muestra los datos por muestra en el archivo de salida
<i>print_corr=yes/no</i>	Muestra la matriz de correlación en el archivo de salida
<i>print_cov=yes/no</i>	Muestra la matriz de covarianza en el archivo de salida
<i>print_chi2=yes/no</i>	Muestra el resultado del test <i>chi-square</i> para la normalidad de los datos en el archivo de salida
<i>continue_if_errors=yes/no</i>	Completa todas las simulaciones incluso si alguna termina con error

Tabla 1: Parámetros de control de cálculo de SAMPLER

3.2 Respuestas

SAMPLER realiza una serie de cálculos estadísticos a partir de ciertos parámetros de salida obtenidos en cada una de las simulaciones ejecutadas. El usuario puede escoger dichos parámetros de salida definiendo, para cada uno de ellos, la respuesta adecuada. Existe una gran variedad de respuestas: secciones eficaces colapsadas, composición isotópica, composición isotópica en el módulo de quemado ORIGENS, valores de los factores de perturbación, variables del módulo OPUS, y valores que se encuentran en el archivo de salida.

3.2.1 Sección eficaz colapsada

Se indica con la palabra clave *triton*, además se ha de indicar la mezcla (*mixture*) (puede ser una mezcla homogenizada) y el tipo de sección eficaz o parámetro neutrónico (*data*). Pudiendo elegir entre los principales parámetros encontrados en el archivo xfile16 (o txtfile16): *kinf*, *nu_fission*, *sigma_absorption*, *sigma_elastic*, *sigma_n2n*, *flux*, *diffusion*, *sigma_fission*, *sigma_capture*, *sigma_transport_out*, *sigma_transport_in*, *kappa_fission*, *nu*, *chi*.

```
read response [xsec]
  type=triton
  mixture=9
  data=kinf nu_fission end
end response
```

3.2.2 Factores de perturbación

La respuesta es el valor del factor de perturbación usado (de la librería de perturbaciones). Palabra clave *mgfactors*, además se ha de indicar el nucleido (*zaid*, usando el correspondiente código ZAID) y reacción (*mt*, valor MT).

```
read response [xs_react]
  type=mgfactors
  zaid=922350
  mt=18
end response
```

3.2.3 Concentración isotópica (composición estándar)

Palabra clave *stdcmp*, además se ha de indicar los nucleídos (*nuclides*) y la mezcla (*mixture*).

```
read response [std_conc]
  type=stdcmp
  nuclides = u-235 u238 end
  mixture=10
end response
```

3.2.4 Concentración isotópica quemado (ORIGENS)

Palabra clave *origen_nuclides* (archivos ft71f001), además se ha de indicar los nucleidos (*nuclides*) y la mezcla (*mixture*).

```
read response [origen_conc]
  type=origen_nuclides
  nuclides=u-235 u238 end
  mixture=10
end response
```

3.2.5 Variable del módulo OPUS

La respuesta es cualquier valor que se encuentre en los archivos *.plt* creados por el módulo OPUS. La palabra clave a especificar es *opus_plt*, además se ha de indicar los nucleidos (*nuclides*) y el paso de quemado (*ndataset*).

```
read response [opus_fisrate]
  type=opus_plt
  ndataset=1
  nuclides=u235 u238 total end
end response
```

3.2.6 Respuesta definida a partir de la función *grep*

Se puede definir una respuesta como cualquier valor que se puede encontrar en el archivo de salida del módulo a ejecutar. La definición está basada en la función de consola *grep*. La palabra clave a especificar es *grep*, varias funciones *grep* pueden ser concatenadas. Además, varias expresiones están incluidas por defecto en SCALE, por ejemplo, “:kenova.keff:” define el factor de multiplicación como respuesta de los módulos KENO5/CSAS5. Ver [3] para más información.

```

read response [opus_fisrate]
  type=grep
  regexp=" best estimate system k-eff\s+\d+\.\d+"
  regexp=" \d+\.\d+"
end response

```

3.3 Estudios paramétricos

Primeramente, el usuario ha de definir el bloque paramétrico, en éste se indican las variables (o parámetros físicos) que compondrán el estudio paramétrico. Además, se definirán dichas variables en su correspondiente bloque. Estas variables o parámetros pueden ser geométricos o materiales (dimensiones, composiciones, temperaturas, densidades...). También se ha de definir un rango y una distribución apropiada para dichas variables, ésta puede ser: uniforme, normal o beta. Ver [3] para más información a la hora de definir variables.

SAMPLER hace un muestreo de estas variables. Para ello hace un muestreo uniforme de tamaño *n_samples* de las variables definidas en base a su distribución. Una vez finalizadas las simulaciones apropiadas, se crean los archivos *.plt* mostrando la dependencia entre las variables definidas y las respuestas indicadas.

```

=sampler
  read parameters
    n_samples=50
    perturb_geometry=yes
  end parameters

  read parametric
    variables=rho end
  end parametric

  read case[c1]
    sequence=t-xsdrn
    ...
    h2o 3 den=#{rho} 0.9991 540 end
    ...
  end sequence
end case

  read variable[rho]
    distribution=constant
    minimum=0.6
    value=0.75
    maximum=0.8
  end variable
end

```

3.4 Estudio de sensibilidad

El bloque de sensibilidad no está disponible en SCALE6.2 beta 3 por el momento. Se muestra un mensaje al principio,

```
Sensitivity sampling not yet supported
```

y tras finalizar las diferentes simulaciones muestreadas, sale un error y SAMPLER no realiza el análisis de sensibilidad.

En un principio este bloque obtiene los coeficientes de sensibilidad en formato *.sdf* (igual que el módulo TSUNAMI), por lo tanto, dicho fichero se puede abrir con las herramientas habituales de tratamiento de coeficientes de sensibilidad como VIBE, EXITE y TSURFER.

4. EJEMPLO DE SAMPLER Y RESULTADOS

Como ejemplo de presentación se ha elegido un problema simple en el que se quemara únicamente una varilla de combustible usando los módulos TRITON/NEWT 2D, ver Figura 1 para una representación esquemática del sistema.

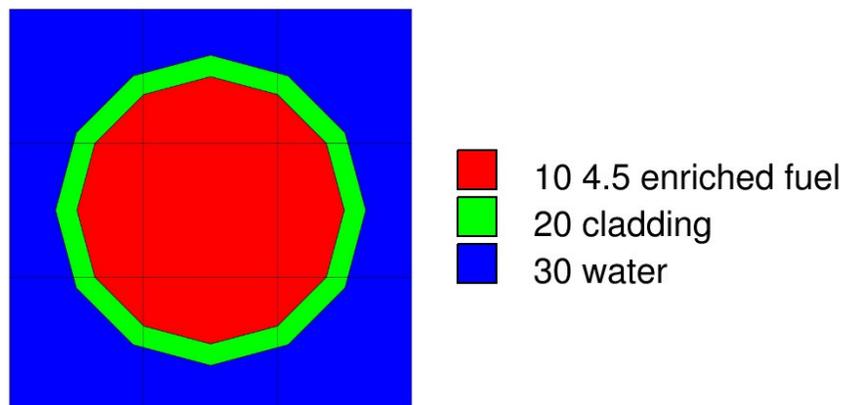


Figura 1: Esquema de la varilla en la simulación de demostración

En el bloque de parámetros, el número de muestras se ha fijado en 146 para una mayor fiabilidad de los datos, además se perturban los factores *Bondarenko* y las secciones eficaces, no se perturban los productos de fisión ni los datos de decaimiento. Tenemos una única respuesta que consiste en diversas secciones eficaces colapsadas y homogenizadas, ver Figura 2.

```
read response [xsec]
  type=triton
  mixture=10
  data=kinf nu_fission end
end response
```

Figura 2: Respuesta de la simulación de demostración

Una vez han finalizado las 146 simulaciones perturbadas (más una como caso de referencia), en el directorio de salida principal encontramos los resultados estadísticos en forma de archivos *.csv* (hoja de cálculo) y *.plt* (gráfico de *Javapeno*).

En la Tabla 2 y la Tabla 3 se muestran los coeficientes de correlación y las covarianzas de las respuestas

seleccionadas, además estos valores se obtienen para cada paso de quemado y cada grupo de energía colapsado. En la Tabla 4 se muestra, además, el valor medio y la desviación típica, en este caso en función del tiempo de quemado.

(CORR:1)	kinf	nu_fission_g1_m1	nu_fission_g2_m1
kinf	1	0.558	0.726
nu_fission_g1_m1	0.558	1	0.371
nu_fission_g2_m1	0.726	0.371	1

Tabla 2: Coeficiente de correlación de las respuestas seleccionadas para el primer paso de quemado

(COV:1)	kinf	nu_fission_g1_m1	nu_fission_g2_m1
kinf	4.21E-05	1.51E-07	3.03E-06
nu_fission_g1_m1	1.51E-07	1.75E-09	9.98E-09
nu_fission_g2_m1	3.03E-06	9.98E-09	4.14E-07

Tabla 3: Covarianzas de las respuestas seleccionadas para el primer paso de quemado

time(d)	kinf		nu_fission_g1_m1		nu_fission_g2_m1	
	Media	Des. Típica.	Media	Des. Típica.	Media	Des. Típica.
0	1.34E+00	6.49E-03	7.65E-03	4.18E-05	1.46E-01	6.44E-04
182.5	1.29E+00	6.63E-03	6.64E-03	4.89E-05	1.21E-01	5.61E-04
547.5	1.15E+00	6.73E-03	4.97E-03	6.27E-05	7.79E-02	4.39E-04
912.5	9.15E-01	6.50E-03	3.63E-03	7.40E-05	4.19E-02	4.17E-04
1277.5	5.49E-01	7.88E-03	2.69E-03	7.93E-05	1.59E-02	3.86E-04

Tabla 4: Valores medios y desviación típica de las respuestas seleccionadas

En la Figura 3, la Figura 4 y la Figura 5 se muestra la información gráfica relativa al factor de multiplicación: valor medio y su error, histograma y media móvil con su error respectivamente. Además, estas gráficas se obtienen para las demás respuestas seleccionadas, para cada paso de quemado y cada grupo de energía colapsado. Obsérvese que el gráfico de la Figura 3 equivale a la primera columna (k_{inf}) de la Tabla 4.

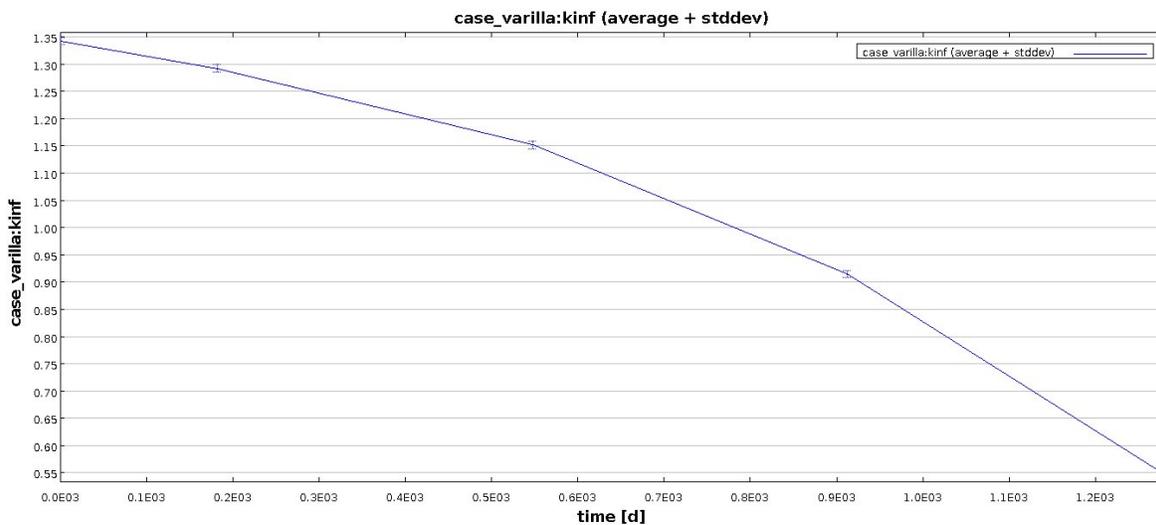


Figura 3: Valor medio del factor de multiplicación y barra de error

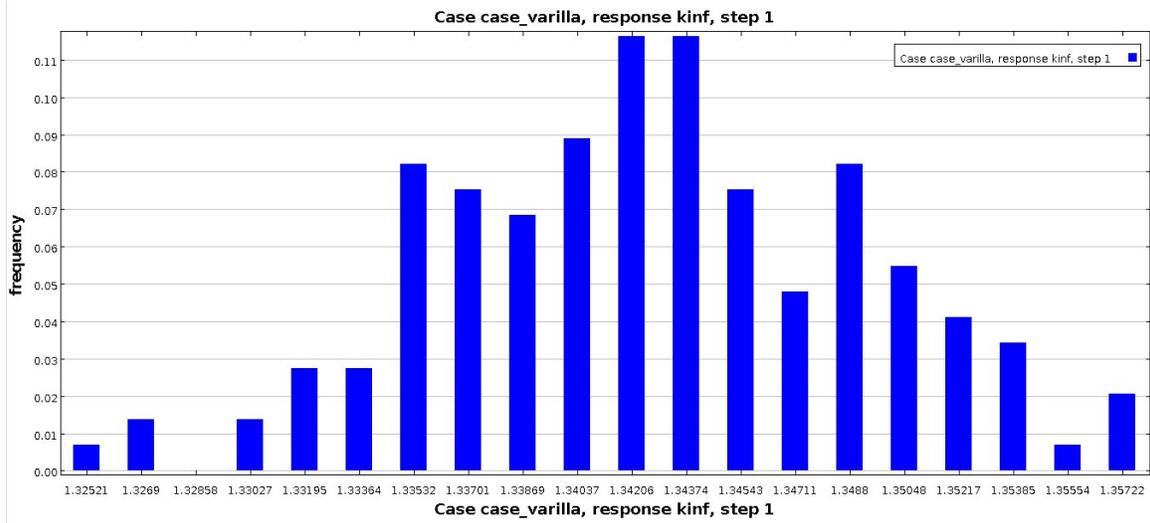


Figura 4: Histograma del factor de multiplicación para el primer paso de quemado

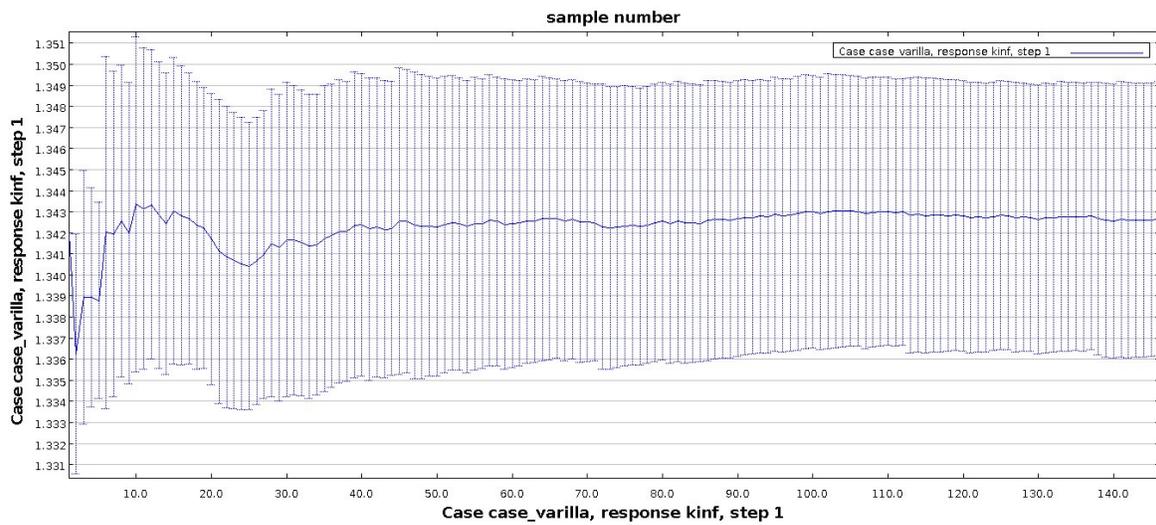


Figura 5: Media móvil del factor de multiplicación y barra de error para el primer paso de quemado

5. EJECUTAR SAMPLER CON *BRANCHES*

Como ya se comentó en la introducción, existe un error en SAMPLER que no permite ejecutar un caso de quemado TRITON/NEWT 2D con la opción de cambiar las variables instantáneas mediante *branches*, las simulaciones se ejecutan correctamente, pero antes de realizar los cálculos estadísticos sale un error y SAMPLER termina de repente. Se ha desarrollado una metodología para solucionar este problema y obtener los cálculos de incertidumbre usando *branches*. La metodología consta de 4 pasos bien definidos:

1. Lanzar la simulación de SAMPLER usando *branches* en el archivo de entrada. Usar el bloque *save* para almacenar el archivo *txtfile16* de cada simulación. La simulación terminará con un error después de realizar todas las simulaciones y sin los cálculos de incertidumbre.

```
read save
  file="txtfile16"
end save
```

2. Crear una serie de directorios y archivos que se especifican en la Figura 6. Suponemos que creamos el directorio llamado *BCH1*, que el archivo de entrada a SAMPLER se llama *input_name.inp*, y que el nombre del caso de SAMPLER se llama *case_name*. Los nombres dentro de un rectángulo corresponden a directorios, los demás son archivos.

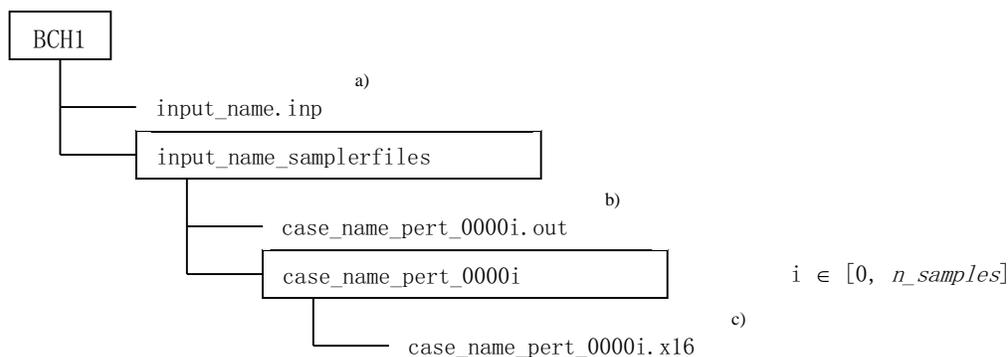


Figura 6: Esquema de directorios y archivos propuesto para realizar los cálculos estadísticos con SAMPLER con *branches*

- a) Este archivo de entrada de SAMPLER, contiene la estructura de cualquier archivo de entrada a SAMPLER. Sin embargo el bloque de la secuencia estará vacío, en el bloque de parámetros *force_run=no* (valor por defecto) y el nombre del caso de SAMPLER se llamará *case_name* siguiendo el ejemplo mostrado. No olvidar introducir las respuestas adecuadas.
- b) Este archivo de salida contiene sólo y únicamente la cadena de texto “*Scale is finished*” (sin las comillas). El índice *i* es un entero que se inicia en 0 y termina en *n_samples*.
- c) Leer los *n_samples+1* archivos *txtfile16* obtenidos en el punto 1 de la metodología y reescribirlos en binario (*x16*) pero eliminando todos los datos no correspondientes a la primera *branch*. Como si se tratara de una simulación sin *branches*. Ver el apéndice T1.A del manual de TRITON [4]. Recordar que las variables *datlen*, *nobranh* y *branchflag* deben ser igual a 0. Comentar que SCALE tiene por defecto un programa llamado *x16convert* (junto con los demás ejecutables) que convierte los archivos *x16* (binario) a *t16* (equivalente a *txtfile16*, ascii). El índice *i* es un entero que

se inicia en 0 y termina en $n_samples$.

3. Ejecutar el archivo de entrada *input_name.inp*. SAMPLER debería creer que todas las simulaciones han terminado, y puesto que no hay *branches*, SAMPLER realiza los cálculos estadísticos automáticamente.
4. Volver al paso 2 pero creando otro directorio principal llamado *BCH2*. En el apartado c) reescribir los archivos *.x16* conteniendo solo la información de la segunda *branch*. Repetir este bucle tantas veces como *branches* tuviera el archivo de entrada del paso 1.

Esta metodología está diseñada únicamente para la respuesta de secciones eficaces colapsadas, ver subsección 3.2.1. Sin embargo para otras respuestas sólo habría que modificar el punto c) del paso 2. Como ejemplo, en la Tabla 5 se muestra la varianza para el factor de multiplicación variando la temperatura de fuel y la densidad de moderador (variables instantáneas para diferentes *branches*).

$T_{fuel} (K) / \rho_{mod} (g/cm^3)$	0.73522	0.45634	0.17745	0.10773	0.05196	0.03801
293.0	2.3942e-6	3.9591e-6	7.9942e-6	9.9603e-6	1.2144e-5	1.2852e-5
734.4	2.4177e-6	4.0023e-6	8.0491e-6	1.0057e-5	1.2297e-5	1.3013e-5
1175.8	2.4262e-6	4.0195e-6	8.1147e-6	1.0136e-5	1.2408e-5	1.3137e-5
1617.2	2.4405e-6	4.0375e-6	8.1666e-6	1.0210e-5	1.2512e-5	1.3246e-5
2058.6	2.4518e-6	4.0665e-6	8.2035e-6	1.0264e-5	1.2591e-5	1.3332e-5
2500.0	2.4585e-6	4.0798e-6	8.2263e-6	1.0270e-5	1.2645e-5	1.3392e-5

Tabla 5: Varianza del factor de multiplicación para diferentes estados instantáneos de la temperatura del fuel y densidad del moderador (*branches*)

6. CONCLUSIONES

En este artículo se han presentado las principales ventajas e inconvenientes del nuevo módulo SAMPLER que ofrece SCALE 6.2 (versión beta 3 actualmente). Como principales ventajas encontramos la facilidad de uso del módulo, ya que es por muestreo y no interviene en los cálculos del módulo a analizar, por ejemplo TRITON/NEWT. Además dispone de una librería con una serie de perturbaciones ya calculadas, por lo que no se ha de repetir su cálculo a cada ejecución de SAMPLER. Se han encontrado dos inconvenientes principales. Primero, debido a que no hay una versión definitiva, aún no se dispone del análisis de sensibilidad, además encontramos el error relacionado con la ejecución del quemado con *branches*. El segundo inconveniente está relacionado con la librería de perturbaciones. Debido a que no hay opción de modificar dicha librería, el usuario no puede cambiar la distribución o método de muestreo de las perturbaciones (aunque sí se puede crear una librería nueva usando los programas estadísticos XSUSA o Dakota).

SAMPLER (estocástico) es una alternativa a TSUNAMI (determinista) para realizar cálculos de sensibilidad e incertidumbre. Como ya se comentó en la subsección 2.2, es conveniente usar SAMPLER en los casos que se disponga de un número importante de respuestas. Por último remarcar que el módulo SAMPLER es una prueba, entre otras, de que el código nuclear SCALE está en constante actualización y mejora.

7. REFERENCIAS

- [1] C. Arenas, R. Bratton, F. Reventós y K. Ivanov. *Uncertainty Analysis of Light Water Reactor Fuel Lattices*. Hindawi Publishing Corporation. Science and Technology of Nuclear Installations. Volume 2013, Article ID 380284, 10 pages.
- [2] C. J. Díez, J. J. Herrero, O. Cabellos y J. S. Martínez. *Propagation of Cross-Section Uncertainties in Criticality Calculations in the Framework of UAM-Phase I Using MCNPX-2.7e and SCALE-6.1*. Hindawi

Publishing Corporation. Science and Technology of Nuclear Installations. Volume 2013, Article ID 437409, 10 pages.

- [3] M. L. Williams et al. *SAMPLER: A Module for Statistical Uncertainty Analysis with SCALE Sequences*. SCALE 6.2 beta 1.
- [4] M. A. Jesse y M. D. DeHart. *TRITON: A Multipurpose Transport, Depletion, and Sensitivity and Uncertainty Analysis Module*. Oak Ridge National Laboratory. Version 6.1, Sect T1. June 2011.