

MÉTODO DE MONTE CARLO Y SUS APLICACIONES EN REACTORES NUCLEARES Y FÍSICA MÉDICA

ININ

Arturo Delfín Loya

[http:](http://www.aztlanplatform.mx/noticias-neutronica/curso-basico-de-mcnp/)

[//www.aztlanplatform.mx/noticias-neutronica/curso-basico-de-mcnp/](http://www.aztlanplatform.mx/noticias-neutronica/curso-basico-de-mcnp/)

Noviembre, 2018



instituto nacional de
investigaciones nucleares



MCNP: Monte Carlo N-Particle, es un código de transporte con propósitos generales y geometría generalizada que utiliza el **Método de Monte Carlo** para la solución de problemas y que se emplea para:

- ▶ neutrones
- ▶ fotones
- ▶ electrones
- ▶ neutrones/fotones
- ▶ neutrones/fotones/electrones
- ▶ fotones/electrones y viceversa
- ▶ criticidad en sistemas físis
- ▶ cálculo de k_{eff} , etc.

El código emplea una biblioteca de datos nucleares continua en energía, basada en ENDF/B-VII (Evaluated Nuclear Data File), ENDL (Evaluated Nuclear Data Library), etc.

Modelos detallados de geometría y física

- En general geometría combinatoria 3D
- Estructuras repetidas
- Geometrías de Lattice (mallas)
- Datos de interacciones físicas ENDF/B-VII

Cálculos aproximados y valores físicos

- Flujo y corriente
- Transferencia de carga y energía
- Calor de decaimiento y rapidez de reacción
- Funciones de respuesta
- Mesh Tallies
- k_{eff} , α , η , ν , Λ
- Distribución de la fisión

> 10,000 usuarios en el mundo

- Fisión y fusión de diseño de reactores
- Riesgos de criticidad en Rx
- Blindaje de radiación
- Análisis y diseño de detectores
- Registros nucleares de pozos (pemex)
- Seguridad nuclear y dosimetría
- Física médica y radioterapia
- Transmutación, activación y quemado
- Aplicaciones aeroespaciales
- Descontaminación y desmantelamiento
- Seguridad nuclear

Temas que Posiblemente Veremos

Monte Carlo y sus Aplicaciones C1

4/20

Teoría	Práctica
1. Repaso de Ing. Nuclear	1. Introducción
2. Fundamentos de Monte Carlo I	2. Bases de MCNP6
3. Fundamentos de Monte Carlo II	3. Cálculos de criticidad I
4. Cálculo de valores propios I	4. Geometría avanzada
5. Cálculo de valores propios II	5. Cálculos de criticidad II
6. Cálculo de valores propios III	6. Práctica I, Tanque con una solución
7. Modelo de un HTGR	7. Tallies
8. Dependencia de la temperatura	8. Física y datos nucleares
9. Deposición de energía de la fisión	9. Práctica II, Almacén de combustible
10. Interpretación de detalles y diferencias	10. Validación
11. Paralelización	11. Práctica II, Núcleo B&W
12. Modelo de incertidumbres y tolerancias	12. Física y datos nucleares
	13. Resultados con Tallies, etc.

- ▶ EJECUCIÓN

- ▶ ARCHIVO DE ENTRADA

<PROMPT>mcnp6 i=<nombre del archivo> o= <Nombre del Archivo> [opciones]

Para la declaración “i=”, puede escribir “inp=”, o simplemente “l=”.
Solo necesitas suficiente información para hacer la declaración única.

Lo mismo con “o=”

De hecho, esto es cierto para muchas opciones de entrada en MCNP!

<PROMPT>mcnp6 i=<nombre del archivo> o= <Nombre del Archivo> [opciones]

opciones

i	procesa el archivo de entrada	default
p	gráfica la geometría	
x	procesa secciones eficaces	default
r	transporte de partículas	default
z	grafica resultado de los tallies	
p	grafica la geometría	
	grafica las secciones eficaces	

NOTA: si proporciona alguna opción, debe proporcionar todo lo que desee. Sin espacios entre opciones

MCNP6, puede emplear multi-núcleos y ejecutarse tan rápido como se quiera

mcnp6 i=inp <= emplea un núcleo de la máquina por default

mcnp6 i=inp tasks *n* <= emplea *n* núcleos corre *n* veces más rápido

Las soluciones de los ejercicios están dados en:

- ▶ La sección de ejemplos: futura liga que se proporcionará
- ▶ Notas de clases

Los resultados de los ejercicios en clases fueron generados en:

- ▶ MCNP6
- ▶ por default ENDF/B-VII.0

Ejecutar los archivos de entrada con datos de bibliotecas antiguas, presentan diferentes resultados

<PROMPT>mcnp6 i=<nombre del archivo> o= <Nombre del Archivo> [opciones]

Nombres de archivo por default:

inp archivo de entrada
outp archivo de salida en Ascci
runtpe archivo de reinicio en binario

Ejemplos:

mcnp6 inp=Ej1 outp= Ej1o run=Ej1r ip

mcnp6 name=Ej1 (genera el ixr por default)

mcnp6 i=Ej1 ixz

Ejercicio: Vamos a correr algunos ...

Modelo simplificado de una esfera desnuda HEU

- ▶ Radio de la esfera = 9.538 cm
- ▶ Densidad HEU = 18.74 g/cm^3
- ▶ Nuclido ZAID Fracción másica

U235 92235 94.73 %

U238 92238 5.27 %

$$\text{ZAID} = Z * 1000 + A$$

Unidades de MCNP g, cm

Vacío



Densidad de Mats MCNP:	+	= densidad atómica	$atom/bar * cm$
	-	= densidad másica	g/cm^3
Frac. de nuclidos MCNP:	+	= fracción atómica	
	-	= fracción másica	

Generar y editar el archivo inin1.txt o copiarlo del folder de "Soluciones"

Experimento de Criticidad IPN

```
c
c INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
c Elaboro: ADL
c Email: arturo.delfin@inin.gob.mx
c
c --| Fecha de elaboracion del archivo de entrada: --
c 31 de Mayo de 2016
c
c Tarjeta de Celdas $ Comentario
c
10 100 -18.74 -10 $ Densidad en g/cm^3
20 0 +10 $ Vacio en el universo externo
c $ NOTA: Línea en blanco aquí !!!
c Tarjeta de Superficies $ Comentario
c
10 so 9.538 $ Esfera en el origen de radio 9.538
c $ NOTA: Línea en blanco aquí !!!
c Tarjeta de Datos $ Comentario
c
kcode 1000 1.0 10 50
ksrc 0.0 0.0 0.0
imp:n 1.0 0.0 $ importancia del neutron para la
c celda 10 y 20 respectivamente
m100 92235 -0.9473
92238 -0.0527
c Fin de archivo
```

Celda 20
Material=Vacío
imp:n=0

Celda 10
Material 100
imp:n=1

Superficie 10

Ejemplo: Experimento de Criticidad GODIVA

Monte Carlo y sus Aplicaciones C1

13/20

```
Experimento de Criticidad IPN
c
c INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
c Elaboro: ADL
c Email: arturo.delfin@inin.gob.mx
c
c -- Fecha de elaboracion del archivo de entrada: --
c 31 de Mayo de 2016
c
c Tarjeta de Celdas      $ Comentario
c
c 10 100 -18.74 -10 $ Densidad en g/cm^3
c 20 0 +10 $ Vacio en el universo externo
c $ NOTA: Linea en blanco aqui !!!
c Tarjeta de Superficies $ Comentario
c
c 10 so 9.538 $ Esfera en el origen de radio 9.538
c $ NOTA: Linea en blanco aqui !!!
c Tarjeta de Datos $ Comentario
c
c kcode 1000 1.0 10 50
c ksrc 0.0 0.0 0.0
c imp:n 1.0 0.0 $ importancia del neutron para la
c celda 10 y 20 respectivamente
c
c m100 92235 -0.9473
c 92238 -0.0527 5 o más espacios para la
c Fin de archivo continuación de una tarjeta
```

Celda 10

- ▶ Tiene al material 100 con densidad= 18.74 g/cm^3
- ▶ Ver la tarjeta m100 de la parte de materiales
- ▶ La superficie límite contiene solamente una superficie: -10 (dentro de 10)
- ▶ Importancia = 1 (ver tarjeta imp:n), desarrolla el seguimiento de neutrones

Celda 20

- ▶ Contiene el vacío (material 0), no es necesario escribir la densidad
- ▶ La superficie límite contiene solamente una superficie: +10 (fuera de 10)
- ▶ Importancia = 0 (ver tarjeta imp:n), se mueren todos los neutrones que llegan a esta celda

Tarjetas kcode y ksrc

- ▶ ksrc: 0, 0, 0; los neutrones inician en el centro
- ▶ 1000 *n/ciclo*, supone inicialmente $k_{eff} = 1$
- ▶ Descarga 10 ciclos y evalúa un total de 50

Guardar el archivo que elaboró en algún directorio de trabajo

- ▶ Abrir el command prompt de MCNP6
- ▶ y/o colocarse en el directorio de trabajo, desde el "Símbolo del Sistema": y ubicar el archivo de entrada que generó
- ▶ Realizar los siguientes pasos para ejecutarlo:
 - ▶ `mcnp6 i=inin1 o=inin1.o tasks 8` o
 - ▶ `MCNP6 inp=inin1 o=inin1 tasks 4` o
 - ▶ `MCNP6 i=inin1.txt out=inin1.out tasks 2` o
 - ▶ `mcnp6 inp=archivo de entrada o=archivo de salida tasks n (n=núcleos)`
- ▶ Observar qué archivos se han creado
- ▶ Analizar el archivo de salida desde un editor de texto

Haga limpieza: del out? srct? runtp? (si quiere)

Pantalla del Archivo de Salida 1

```

Code Name & Version = MCNP6, 1.0

// // // // //
// // // // //
// // // // //
// // // // //
// // // // //

+-----+
| Copyright 2008. Los Alamos National Security, LLC. All rights
| reserved.
| This material was produced under U.S. Government contract
| DE-AC52-06NA25396 for Los Alamos National Laboratory, which is
| operated by Los Alamos National Security, LLC, for the U.S.
| Department of Energy. The Government is granted for itself and
| others acting on its behalf a paid-up, nonexclusive, irrevocable
| worldwide license in this material to reproduce, prepare derivative
| works, and perform publicly and display publicly. Beginning five
| (5) years after 2008, subject to additional five-year worldwide
| renewals, the Government is granted for itself and others acting on
| its behalf a paid-up, nonexclusive, irrevocable worldwide license
| in this material to reproduce, prepare derivative works, distribute
| copies to the public, perform publicly and display publicly, and to
| permit others to do so. NEITHER THE UNITED STATES NOR THE UNITED
| STATES DEPARTMENT OF ENERGY, NOR LOS ALAMOS NATIONAL SECURITY, LLC,
| NOR ANY OF THEIR EMPLOYEES, MAKES ANY WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED,
| OR ASSUMES ANY LEGAL LIABILITY OR RESPONSIBILITY FOR THE ACCURACY,
| COMPLETENESS, OR USEFULNESS OF ANY INFORMATION, APPARATUS, PRODUCT,
| OR PROCESS DISCLOSED, OR REPRESENTS THAT ITS USE WOULD NOT INFRINGE
| PRIVATELY OWNED RIGHTS.
+-----+

lmcnp version 6 ld=05/08/13 05/31/16 20:52:13
*****
i=ipn1 o=ipn1.o tasks 8

warning. Physics models disabled.
1- Experimento de Criticidad IPN
2- c
3- c INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
4- c Elaboro: ADL

```

Pantalla del Archivo de Salida 2

```
warning. Physics models disabled.
```

```
1- Experimento de Criticidad IPN
2- c
3- c INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
4- c Elaboro: ADL
5- c Email: arturo.delfin@inin.gob.mx
6- c
7- c -- Fecha de elaboracion del archivo de entrada: --
8- c 31 de Mayo de 2016
9- c
10- c Tarjeta de Celdas $ Comentario
11- c
12- 10 100 -18.74 -10 $ Densidad en g/cm^3
13- 20 0 +10 $ Vacio en el universo externo
14- c
15- c Tarjeta de Superficies $ Comentario
16- c
17- 10 so 9.538 $ Esfera en el origen de radio 9.538
18- c
19- c Tarjeta de Datos $ Comentario
20- c
21- kcode 1000 1.0 10 50
22- ksrc 0.0 0.0 0.0
23- imp:n 1.0 0.0 $ importancia del neutron para la
24- c celda 10 y 20 respectivamente
25- m100 92235 -0.9473
26- 92238 -0.0527
27- c Fin de archivo
```

```
comment. total fission nubar data are being used.
```

```
icells print table 60
```

	cell	mat	atom density	gram density	volume	mass	neutron pieces	importance
1	10	100	4.79817E-02	1.87400E+01	3.63463E+03	6.81130E+04	1	1.0000E+00
2	20	0	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0	0.0000E+00
total					3.63463E+03	6.81130E+04		

Pantalla del Archivo de Salida 3

the results of the w test for normality applied to the individual collision, absorption, and track-length keff cycle values are:

the k (collision) cycle values appear normally distributed at the 95 percent confidence level
the k(absorption) cycle values appear normally distributed at the 95 percent confidence level
the k(trk length) cycle values appear normally distributed at the 95 percent confidence level

the final estimated combined collision/absorption/track-length keff = 1.07750 with an estimated standard deviation of 0.00363
the estimated 68, 95, & 99 percent keff confidence intervals are 1.07383 to 1.08116, 1.07014 to 1.08486, and 1.06763 to 1.08736
the final combined (col/abs/trk) prompt removal lifetime = 6.7976E-09 seconds with an estimated standard deviation of 2.9897E-11
the average neutron energy causing fission = 1.4188E+00 mev
the energy corresponding to the average neutron lethargy causing fission = 7.9306E-01 mev
the percentages of fissions caused by neutrons in the thermal, intermediate, and fast neutron ranges are:
(<0.625 ev): 0.00% (0.625 ev - 100 kev): 5.47% (>100 kev): 94.53%
the average fission neutrons produced per neutron absorbed (capture + fission) in all cells with fission = 2.3194E+00
the average fission neutrons produced per neutron absorbed (capture + fission) in all the geometry cells = 2.3194E+00
the average number of neutrons produced per fission = 2.594

the estimated average keffs, one standard deviations, and 68, 95, and 99 percent confidence intervals are:

keff estimator	keff	standard deviation	68% confidence	95% confidence	99% confidence	corr
collision	1.07784	0.00421	1.07359 to 1.08208	1.06931 to 1.08636	1.06643 to 1.08924	
absorption	1.07783	0.00422	1.07358 to 1.08209	1.06930 to 1.08637	1.06641 to 1.08926	
track length	1.07737	0.00364	1.07371 to 1.08104	1.07001 to 1.08473	1.06752 to 1.08723	
col/absorp	1.07784	0.00426	1.07354 to 1.08213	1.06920 to 1.08647	1.06627 to 1.08940	0.9939
abs/trk len	1.07750	0.00358	1.07389 to 1.08111	1.07024 to 1.08476	1.06778 to 1.08722	0.6864
col/trk len	1.07750	0.00359	1.07388 to 1.08111	1.07024 to 1.08476	1.06778 to 1.08722	0.6900
col/abs/trk len	1.07750	0.00363	1.07383 to 1.08116	1.07014 to 1.08486	1.06763 to 1.08736	

Pantalla del Archivo de Salida 4

```

38 12 11939| 1.0723 0.0085 1.0709 0.0085 1.0734 0.0039 |95/95/95| 1.07365 0.00482 1.06274-1.08456 1.05799-1.08932
39 11 10926| 1.0710 0.0092 1.0694 0.0091 1.0741 0.0042 |95/95/95| 1.07567 0.00525 1.06355-1.08780 1.05804-1.09331
40 10 9920| 1.0754 0.0089 1.0740 0.0087 1.0749 0.0046 |95/95/95| 1.07568 0.00558 1.06249-1.08888 1.05616-1.09521
-----
41 9 8987| 1.0758 0.0099 1.0745 0.0097 1.0748 0.0052 |95/95/95| 1.07548 0.00626 1.06017-1.09079 1.05228-1.09869
42 8 7960| 1.0787 0.0108 1.0768 0.0107 1.0746 0.0059 |95/95/95| 1.07235 0.00876 1.04983-1.09487 1.03703-1.10768
43 7 6969| 1.0763 0.0121 1.0743 0.0121 1.0719 0.0060 |95/95/95| 1.06963 0.00865 1.04560-1.09366 1.02978-1.10947
44 6 5895| 1.0771 0.0143 1.0752 0.0142 1.0695 0.0066 |95/95/95| 1.06589 0.00643 1.04542-1.08637 1.02832-1.10347
45 5 4952| 1.0725 0.0166 1.0709 0.0166 1.0690 0.0080 |95/95/95| 1.06626 0.00641 1.03867-1.09386 1.00262-1.12991
46 4 3971| 1.0606 0.0150 1.0585 0.0142 1.0638 0.0079 |95/95/95| 1.06646 0.01546 0.86992-1.26300 0.08205-2.05087
47 3 2934| 1.0532 0.0185 1.0506 0.0168 1.0601 0.0099 |
48 2 1952| 1.0706 0.0107 1.0663 0.0104 1.0675 0.0113 |

the minimum estimated standard deviation for the col/abs/tl keff estimator occurs with 4 inactive cycles and 46 active cycles.

the first active half of the problem skips 10 cycles and uses 20 active cycles; the second half skips 30 and uses 20 cycles.
the col/abs/trk-len keff, one standard deviation, and 68, 95, and 99 percent intervals for each active half of the problem are:

      problem      keff      standard deviation      68% confidence      95% confidence      99% confidence
      first half    1.09313      0.00474      1.08827 to 1.09799      1.08313 to 1.10313      1.07939 to 1.10687
      second half    1.06469      0.00442      1.06016 to 1.06922      1.05537 to 1.07402      1.05188 to 1.07751
      final result    1.07750      0.00363      1.07383 to 1.08116      1.07014 to 1.08486      1.06763 to 1.08736

warning. the first and second half values of k(col/abs/trk len) appear to be different at the 99 percent confidence level.

*****

dump no. 2 on file runtpg nps = 49988 coll = 179716 ctm = 0.15 nrm =
2795378

2 warning messages so far.

run terminated when 50 kcode cycles were done.

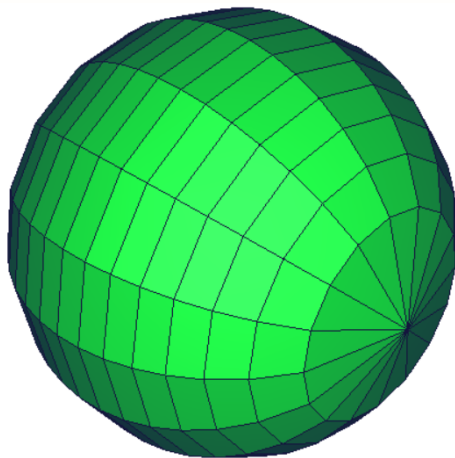
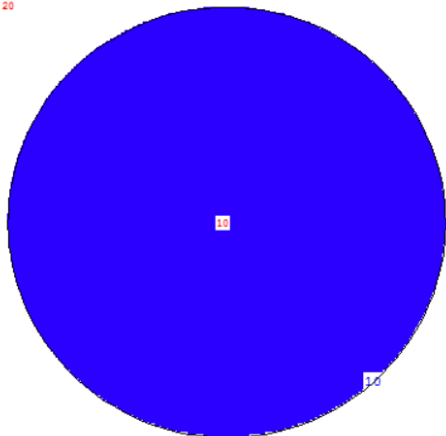
computer time = 0.19 minutes

mcnp version 6 05/08/13 05/31/16 20:52:14 probid = 05/31/16 20:52:13

```

Abrir el visualizador visedX_32, y practicar con el archivo "ipn1"

20



Línea de Comando

- ▶ `mcnp6 i=inin1`

- ▶ Vuélvalo a hacer

Observaciones

- ▶ Qué archivos resultaron???
`outp, runtpe`

- ▶ Qué archivos resultaron???
`outp, runtpe`
`outq, runtpe`