

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

ININ

Arturo Delfín Loya
Samuel Vargas Escamilla

[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/)

Enero, 2019



instituto nacional de
investigaciones nucleares



Geometría Avanzada

- ▶ Universo y llenado
- ▶ 'like m but'
- ▶ Mallas y llenado

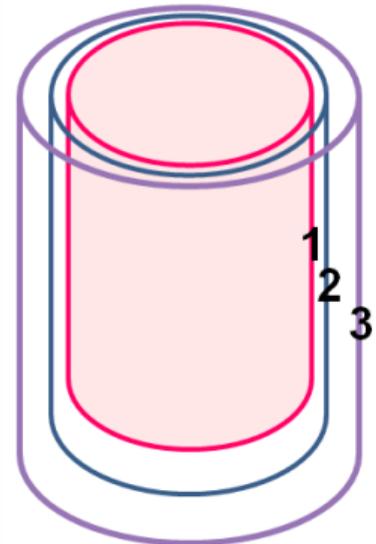
Universo y Llenado

- ▶ **Una o más celdas pueden ser agrupadas juntas, una colección llamada un universo**
- ▶ **Un universo es tanto**
 - Una celda de malla O
 - Una colección de celdas estándar
- ▶ **desde $u=\#$**
 - Colocado en las tarjetas de celdas, después de la información de superficie
 - $\#$ puede ser un número, $u=\#$'s que no necesariamente deben ser secuenciales
 - $\#$ debe aparecer en un **fill=** entrada en otra tarjeta de celda
 - Todas las celdas con el mismo $u = \#$ forman un universo que llena otra celda
- ▶ **Las celdas de un universo pueden ser finitas o infinitas, pero deben ser llenadas todas, del espacio interior de los contenedores de la celda que ellas llenan.**

- ▶ Las superficies de un universo puede ser coincidente con la celda que se llena. (Pero, evitar esto si puede)
- ▶ Barras de combustible de un reactor con gap y encamisado, rodeada por el moderador infinito

| c | Celdas | | | | |
|----|--------|----------|------|-----|-------------------|
| 10 | 110 | 0.069256 | -1 | u=9 | \$ combustible |
| 20 | 0 | | 1 -2 | u=9 | \$ gap |
| 30 | 120 | 0.042910 | 2 -3 | u=9 | \$ encamisado |
| 40 | 130 | 0.100059 | 3 | u=9 | \$ agua, infinito |

| c | Superficies | | | | |
|---|-------------|----------|------------|------|----------------|
| 1 | rcc | 0. 0. 0. | 0. 0. 360. | 0.43 | \$ combustible |
| 2 | rcc | 0. 0. 0. | 0. 0. 360. | 0.44 | \$ gap |
| 3 | rcc | 0. 0. 0. | 0. 0. 360. | 0.49 | \$ encamisado |



- ▶ El universo 9, consiste de las celdas 10, 20, 30 y 40, correspondiente al combustible, gap, encamisado y agua
- ▶ Note que la celda 40 es infinita
- ▶ El universo 9, puede ser usado para llenar "fill" otra celda (celda contenedor), o para crear una malla de barras de combustible
- ▶ Llenar un elemento de celda o malla, con un universo
- ▶ Forma: $\text{fill}=\text{n}$
 - Colocar en las tarjetas de celda, después de la información de superficie
 - n es el número de un universo
 - Variaciones
 - $\text{fill}=\#(\text{k})$ donde k es una transformación opcional
 - $\text{fill}=\#(\dots)$ donde k es una transformación opcional
 - $*\text{fill}=\#(\dots)$ donde k es una transformación opcional

- ▶ Por lo general, la celda que está siendo llenada contendrá el material de vacío, donde los números de material y las densidades se asignaron en las celdas con el universo de llenado
- ▶ La celda llenada es una "ventana" - cualquier parte del universo de llenado, el cual se extiende más allá del límite de la celda
- ▶ Las superficies de las celdas y el universo llenos, pueden ser coincidentes (pero, esto debe evitarse si es posible)

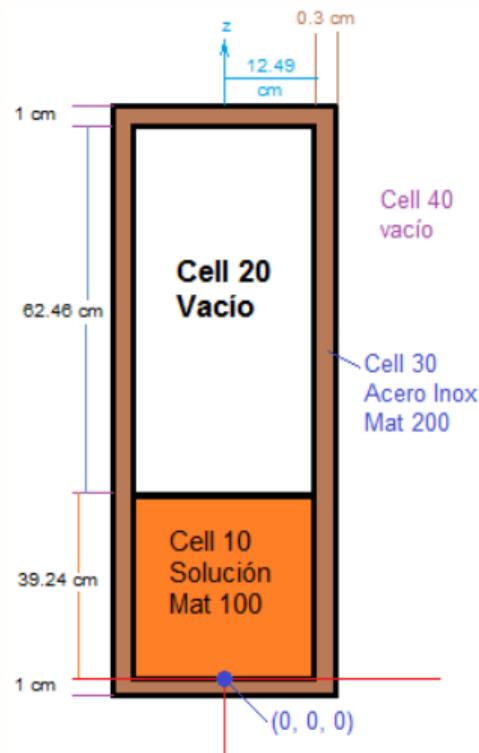
Ejercicio inin12.txt

Uso del "UNIVERSE" para una
solución y vacío interior

&

"FILL" del contenedor de acero con el
"UNIVERSE"

- ▶ Renombre el archivo de entrada **inin7** a **inin12**
- ▶ Edite el archivo **inin12.txt**
 - Modifique las definiciones de las celdas 10 & 20
 - ▶ Identifique las celdas 10 & 20 como pertenecientes al **UNIVERSO 1**
 - ▶ Sustituya la superficie 10 por solo la 30 en celda 10 & 20
 - ▶ Ambas celdas son infinitas (dentro del universo 1)
 - Defina una celda (25) para el interior del contenedor
 - ▶ Limitado por la superficie interior del recipiente (1)
 - ▶ **Llénelo "Fill" con el universo 1**
 - ▶ No olvide añadir `imp:n=1`
- ▶ Ejecute el problema con:
`kcode 1000 1.0 25 100`



Note que la respuesta es idéntica a la corrida previa.

Ejemplo inin12

Monte Carlo C5

10/64

inin12.txt - Cilindro simple, empleando universe-fill

RESULTADO $k_{eff} = 0.87894 \pm 0.00360$

```
c
c Tarjeta de Celdas
c => Universo 1 <=
10 100 9.9270e-2 -3 u=1 imp:n=1 $ Solucion infinita
20 0 +3 u=1 imp:n=1 $ vacio infinito
c => Mundo real <=
25 0 -1 fill=1 imp:n=1 $ contenedor dentro, llenado
30 200 8.6360e-2 +1 -2 imp:n=1 $ contenedor
40 0 +2 imp:n=0 $ exterior
```

```
c Tarjeta de Superficies
c
1 rcc 0. 0. 0. 0. 0. 101.7 12.49 $ interior
2 rcc 0. 0. -1. 0. 0. 103.7 12.79 $ exterior
3 pz 39.24 $ altura de la solucion
```

```
c Tarjeta de Datos
c
kcode 1000 1.0 25 100
ksrc 0. 0. 19.62
m100 1001 6.0070e-2 $ Material de la solucion Pu(NO3)3
c .....
mt100 lwtr
c
m200 24050 7.1866e-4 $ Material del contenedor
c .....
c sigue linea en blanco
```

▶ **El Universo 1, es infinito**

- Vacío infinito arriba de la superficie 30, solución infinita abajo de la superficie 30
- Las celdas 10 & 20 son infinitas, MCNP no puede calcular su volumen, y emplea Volumen=0 en la salida lo muestra

▶ **La celda 25 se llena con el Universo 1**

- El Universo 1 es **recortado** por la celda del contenedor (celda 25)
- El contenedor (celda 25) debe estar completamente incrustado en el universo (por supuesto que lo es, puesto que el universo 1 es infinito . . .)

▶ **Graficado**

- Gráfica "X-Y"
- Observe que sucede cuando se cambia de "Nivel" - Nivel 0, Nivel 1 (Debe hacer clic en "Volver a dibujar" para actualizar el gráfico después de cambiar de nivel)

▶ **Resultados**

- Mismos que la corrida previa
- Cuando utiliza **Universe/Fill** - podrían tener diferentes resultados por redondeo . .

"Like m But"
&
TRCL

- ▶ La descripción de la celda "LIKE m BUT" proporciona método abreviado para celdas similares repetidas
- ▶ Forma: **j LIKE m BUT list**
 - La celda **j** toma todos los atributos de la celda **m** excepto los parámetros de "list"
 - La celda **m** debe ser definida antes "j like m but" en el archivo de entrada
- ▶ Los parámetros que pueden constituir "list" incluyen:
 - imp, vol, pwt, ext, fcl, wwn, dxc, nonu, pd, tmp (red. de varianza Cap. 3)
 - u, trcl, lat, fill, mat, rho
 - U y/o TRCL, como mínimo, deben estar en "list"
 - Ejemplos:

```
17    like  70    but  trcl(1 1 2)  u=66
23    like  70    but  mat=13      u=2
```

- ▶ Los números de las superficies no se pueden alterar con el formato "like m but"

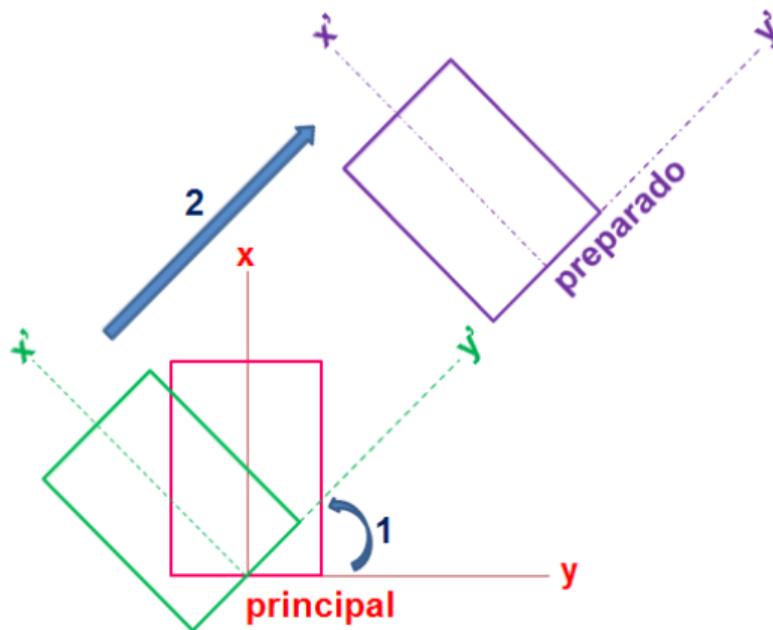
- ▶ Las Superficies pueden ser Trasladas/Rotadas usando la tarjeta TR
- ▶ Las Celdas pueden ser Trasladas/Rotadas usando la tarjeta TRCL
- ▶ Formas:
 - Trasladar una CELDA por (dx, dy, dz):
 $TRCL=(dx\ dy\ dz)$
 - Trasladar y Rotar una CELDA:
 $TRCL=(dx\ dy\ dz\ xx'\ yx'\ zx'\ xy'\ yy'\ zy'\ xz'\ yz'\ zz')$ donde:
xx' es el coseno del ángulo entre el eje original x y el nuevo eje x'
xy' ...similar
 - Trasladar y Rotar una CELDA:
 $*TRCL=(dx\ dy\ dz\ xx'\ yx'\ zx'\ xy'\ yy'\ zy'\ xz'\ yz'\ zz')$ donde:
xx' es el ángulo en grados entre el eje original x y el nuevo eje x'
xy' ...similar
- ▶ La Rotación se hace primero y después la Traslación

Traslación y Rotación

Monte Carlo C5

15/64

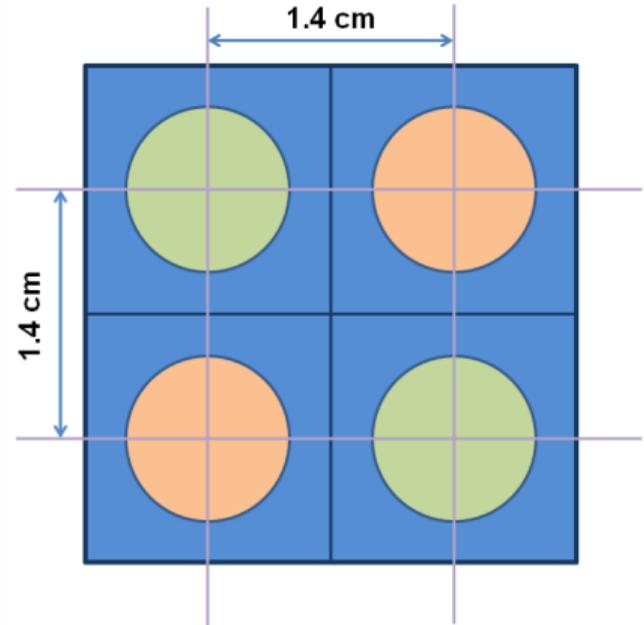
- ▶ Rotación (Ejes de rojo a verde) se hace primero (en el sist. coord. original)
- ▶ Traslación (Ejes de verde a violeta) en segundo lugar (en el sist. coord. original)



- ▶ Cuando se utiliza TRCL, MCNP debe crear nuevas superficies
 - Las nuevas superficies son asignados números de la forma:

$1000 * (\text{nuevo número de celda}) + (\text{número original de superficie})$

- Tenga cuidado de evitar esos números de superficie en el resto de su input
 - Si usa TRCL, asegúrese de que sus números de superficie < 1000 !!!
- ▶ Todos los universos que llenan ésta celda (heredan) el TRCL



Ejemplo Like m But
& TRCL

Grupo de barras de combustible, con diferentes enriquecimientos

inin13.txt - Like m but y TRCL

```

c
c Tarjeta de Celdas
c ⇒ Anaranjado claro, Universo 7 ←
1 110 -18.724760 -11 u=7 $ Comb., anaranjado
2 120 -0.9982070 +11 u=7 $ Agua
c ⇒ Verde claro, Universo 8 ←
3 130 -18.944386 -11 u=8 $ Combustible, verde
4 120 -0.9982070 +11 u=8 $ Agua
c ⇒Mundo real ←
5 0 -12 fill=7 $ Celda unit., origen abajo-izquierda
6 like 5 but fill=8 trcl=( 0 1.4 0) $ arriba-izquierda
7 like 5 but fill=8 trcl=(1.4 0 0) $ abajo-derecha
8 like 5 but fill=7 trcl=(1.4 1.4 0) $ abajo-derecha
9 0 +13 $ Celda unit., origen abajo-izquierda

c Tarjeta de Superficies
11 rcc 0. 0. -180. 0. 0. +360. 0.49 $ Combustible
12 rpp -.7 +.7 -.7 +.7 -180. +180. $ Cubo del Combustible
13 rpp -.7 +2.1 -.7 +2.1 -180. +180. $ Universo externo

c Tarjeta de Datos
c
kcode 1000 1.0 25 100
ksrc 0. 0. 19.62 $ especificación geométrica de la fuente
m110 92235 -.9473 92238 -.0527 $ U-enriquecido
c .....

```

Ejemplo ipn4c

contenedores de solución



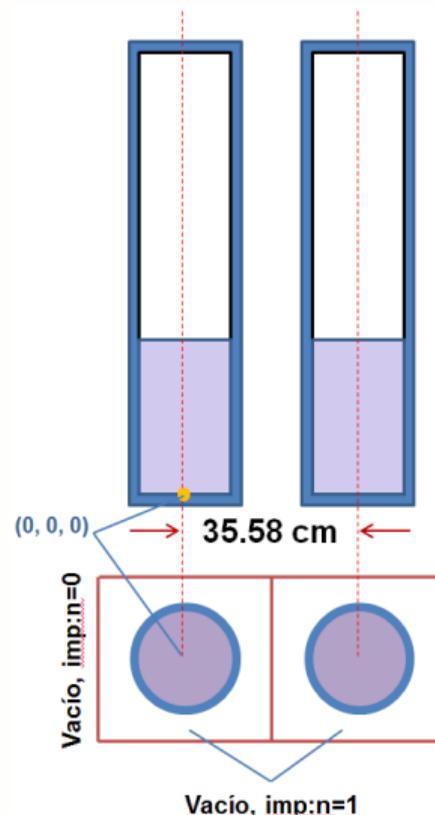
Empleando 'Like m But' y
TRCL

Ejercicio inin14 'Like m But' & TRCL

Monte Carlo C5

19/64

- ▶ Dos contenedores, 35.58 cm de separación entre centros (pitch)
- ▶ renombre el archivo **inin13** a **inin14** y edítelo
 - identifique las celdas 25, 30, 40 como universo 2 (cambie la importancia de la celda 40 a imp:n 1)
 - Defina la celda 50 y la superficie 4
 - ▶ Una caja alrededor del primer contenedor (cel 30)
 - ▶ Use RPP, en el rango de (x,y) $(-17.79, 17.79)$ en el rango de z $(-1.0, 102.7)$
 - ▶ Llene (Fill) la celda 50 con el universo 2, $imp = 1$
 - Defina la celda 60, misma celda como 50, pero trasládela 35.58 cm en dirección $+x$
 - Defina la celda 99, importancia = 0, vacío; fuera de 50 y 60
 - Añadir otro origen en KSRC, $(35.58, 0., 19.62)$



Ejercicio inin14 'Like m But' & TRCL

Monte Carlo C5

20/64

```
inin14.txt - Dos cilindros          RESULTADO  $k_{eff} = 0.91057 \pm 0.00350$ 
c
c   Tarjeta de Celdas
c   => Universo 1, solucion infinita y vacio <=
10  100  9.9270e-2  -3          u=1  imp:n=1  $ Solucion infinita
20   0    0          +3          u=1  imp:n=1  $ vacio infinito
c   => Universo 2, llenado del contenedor y exterior infinito <=
25   0    0          -1  fill=1  u=2  imp:n=1  $ contenedor dentro, llenado
30  200  8.6360e-2  +1  -2          u=2  imp:n=1  $ contenedor
40   0    0          +2          u=2  imp:n=1  $ exterior
c   => Mundo real, dos cajas (contenedores) y exterior vacio <=
50   0    0          -4  fill=2  u=2  imp:n=1  $ 1er caja en origen con contenedor
60  like 50 but  trcl=(35.58  0.  0.)  $ 2da caja desplazada, con contenedor
99   0    0          #50  #60          imp:n=0  $ exterior de ambas cajas

c   Tarjeta de Superficies
1  rcc  0.  0.  0.  0.  0.  101.7  12.49  $ interior
2  rcc  0.  0. -1.  0.  0.  103.7  12.79  $ exterior
3  pz  39.24  $ altura de la solucion
4  rpp -17.79 +17.79 -17.79 +17.79 -1.  102.7  $ exterior

c   Tarjeta de Datos
kcode 1000  1.0  25  100
ksrc  0.  0.  19.62  35.58  0.  19.62
m100  1001  6.0070e-2  $ Material de la solucion Pu(NO3)3
mt100 lwtr
m200  24050  7.1866e-4  $ Material del contenedor
c .....
c   sigue linea en blanco
```

- ▶ **El Universo 1, es infinito**
 - Lo mismo que el anterior, solo que ahora aparecen en 2 diferentes lugares
 - Recortado por la superficie 1, cuando se llena la celda 25
- ▶ **El Universo 2, es infinito**
 - El contenedor (contenido en el universo 1) y vacío exterior
 - Incrustado en la celda 50, y también en la celda 60
- ▶ **Graficado**
 - Grafique "X-Y" y gráfica "Z-X"
 - Observe que sucede cuando se cambia de "Nivel" - Nivel 0, Nivel 1 y Nivel 2 (Hacer clic "Volver a dibujar" para actualizar gráfico después de cambiar de nivel)
 - Observe que la superficie 60004, que sucedió a las otras superficies trasladadas? (Ver archivo de salida para obtener información sobre las superficies idénticas ...)
- ▶ **Resultados**
 - k_{eff} mayor, como se esperaba

Arreglo de Mallas & Llenado

- Define la celda como matriz, arreglo o malla infinita
 - El usuario describe en su archivo de entrada el elemento central $[0,0,0]$ en la malla
 - MCNP reproduce el elemento central en todas las 3 direcciones
- Forma: **LAT=1** hexaedros (seis superficies solidas) cuadrado
 LAT=2 prisma hexagonal (ocho)
 - **LAT=#** debe ir en una tarjeta de celda, después de la información de superficies
- Espacio entre los elementos debe ser llenado con exactitud:
 - Hexaedro no tiene que ser rectangular
 - Prismas hexagonales no necesitan ser regulares (jj??)
 - los lados opuestos del elemento central deben ser paralelos
- Los elementos de la malla pueden ser infinitos a lo largo de 1 ó 2 ejes
- El orden de superficies en la tarjeta de celda es importante
 - Macrobody siempre se incrementará a lo largo del eje +

Tarjeta de Arreglos de Mallas

Monte Carlo C5

24/64

| | | | | |
|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| $[-2, 2, 0]$ | $[-1, 2, 0]$ | $[0, 2, 0]$ | $[1, 2, 0]$ | $[2, 2, 0]$ |
| $[-2, 1, 0]$ | $[-1, 1, 0]$ | $[0, 1, 0]$ | $[1, 1, 0]$ | $[2, 1, 0]$ |
| $[-2, 0, 0]$ | $[-1, 0, 0]$ | $[0, 0, 0]$ | $[1, 0, 0]$ | $[2, 0, 0]$ |
| $[-2, -1, 0]$ | $[-1, -1, 0]$ | $[0, -1, 0]$ | $[1, -1, 0]$ | $[2, -1, 0]$ |
| $[-2, -2, 0]$ | $[-1, -2, 0]$ | $[0, -2, 0]$ | $[1, -2, 0]$ | $[2, -2, 0]$ |

Índice j incrementa

Índice i incrementa

Otros elementos en la malla definida internamente por MCNP

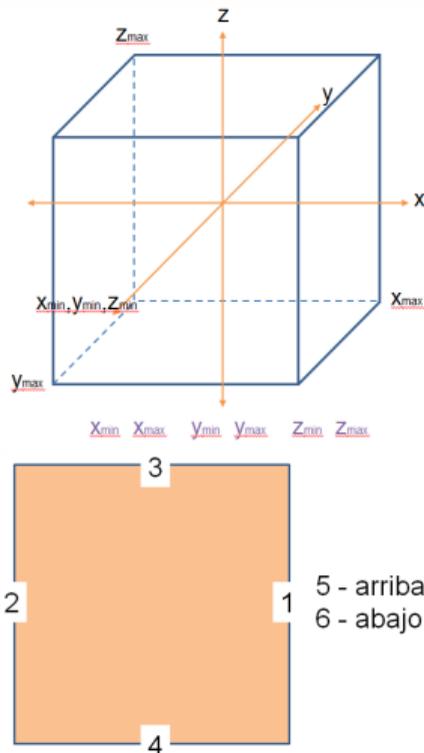
Elemento central en la malla, definida por el usuario en el INPUT

Tarjeta de Arreglos de Mallas

Monte Carlo C5

25/64

- En los elementos identificados por $[i, j, k]$, las etiquetas son determinadas por el orden en las entradas de la superficie en la tarjeta de celda
- En la tarjeta de celda se especifica el elemento $[0,0,0]$
11 0 -1 2 -3 4 -5 6 lat=1
 - Para LAT=1, al menos se requieren 4 superfis o 2 vects
 - Lado + de 1^{er} superficie=elemento de malla $[1, 0, 0]$
 - Lado - de 2^{da} superficie=elemento de malla $[-1, 0, 0]$
 - Lado + de 3^{er} superficie=elemento de malla $[0, 1, 0]$
 - Lado - de 4^{ta} superficie=elemento de malla $[0, -1, 0]$
 - Lado + de 5^{ta} superficie=elemento de malla $[0, 0, 1]$
 - Lado - de 6^{ta} superficie=elemento de malla $[0, 0, -1]$
- Si usted no incluye las superficies en el orden que se indica más arriba, todo va a ser muy confuso y que tendrá problemas



Tarjeta de Arreglos de Mallas

Monte Carlo C5

26/64

5 0 -8 9 -10 11

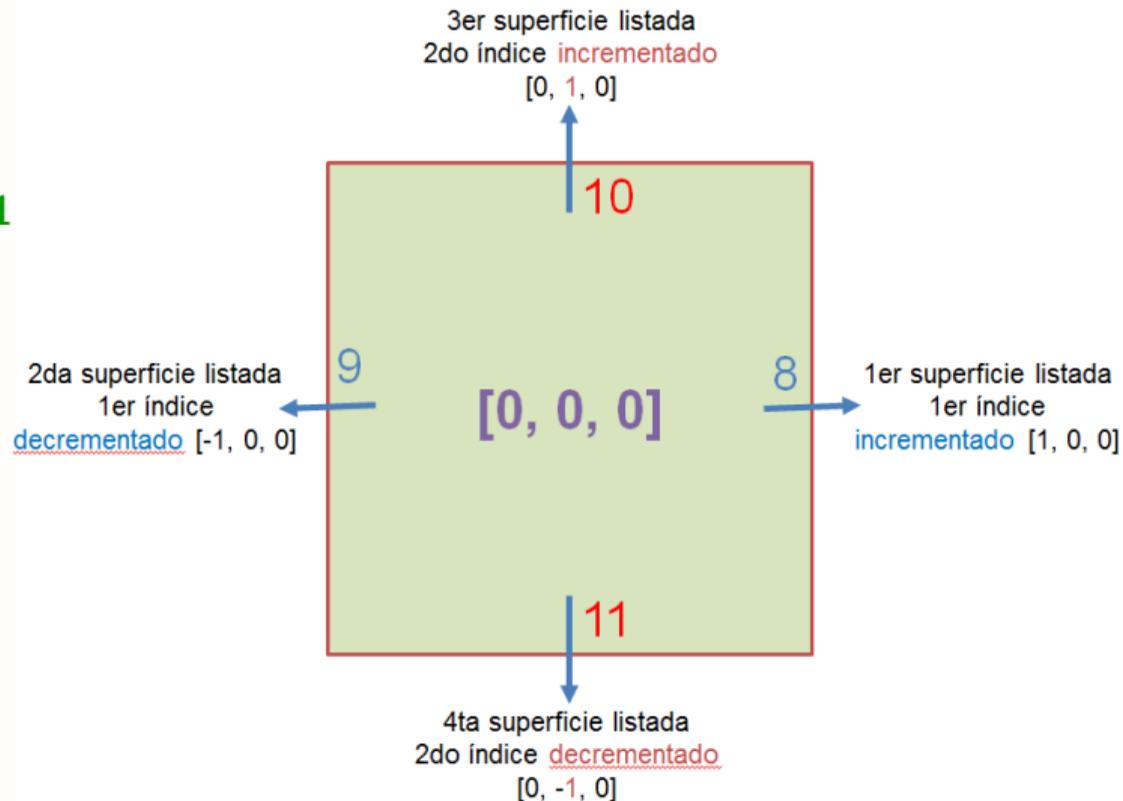
lat=1

8 px 17

9 px -17

10 py 17

11 py -17



- ▶ Para macrobodies, MCNP reemplaza internamente el cuerpo por un conjunto de superficies

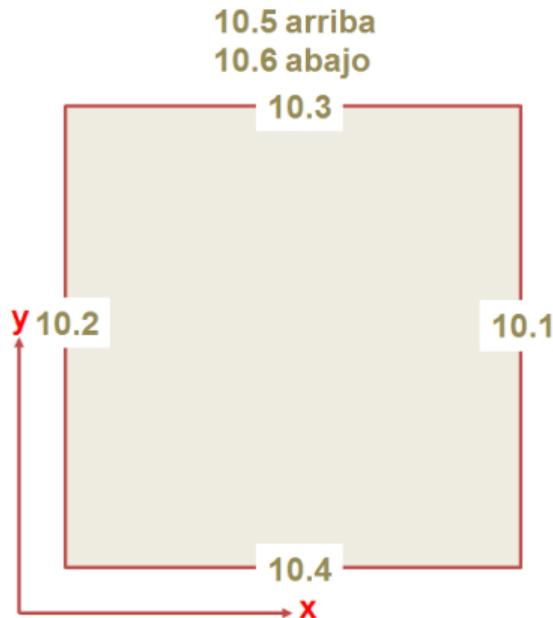
- La superficie creada tiene identificación **S.F**
- "S" es el número de Superficie original
- "F" es el **número de Cara (face)**, 1, 2, ...
- Son tarjetas celda y superficie de entrada en MCNP

25 111 -1.0 -10 lat=1 \$ tarjeta de celda

10 RPP -1 1 -2 2 -3 3 \$ tarjeta de superficie

- Genera las siguientes superficies internamente:

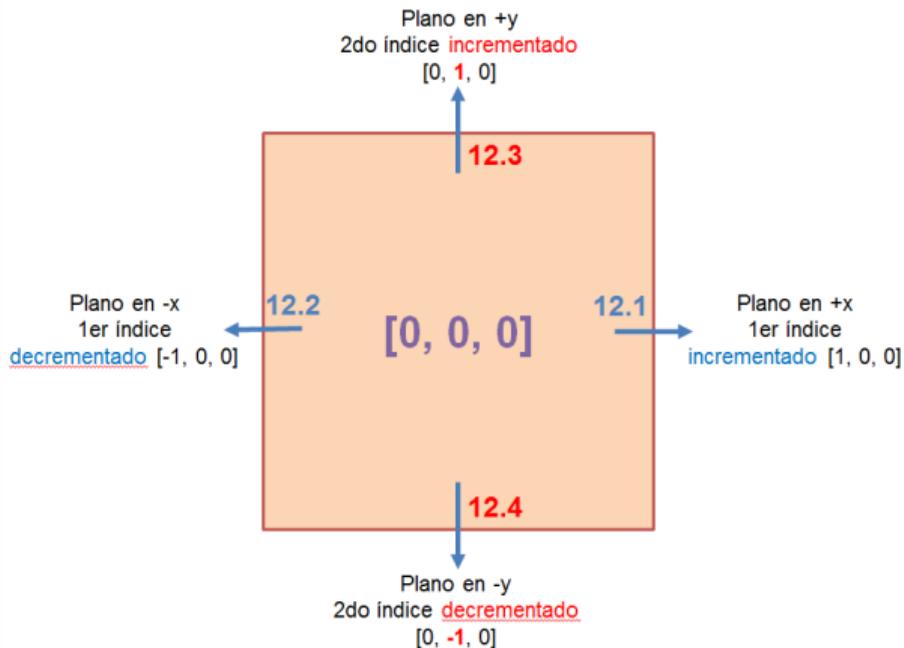
- 10.1 plano - "px" en $x = 1$
- 10.2 plano - "px" en $x = -1$
- 10.3 plano - "py" en $y = 2$
- 10.4 plano - "py" en $y = -2$
- 10.5 plano - "pz" en $z = 3$
- 10.6 plano - "pz" en $z = -3$



5 -12 lat=1

12 RPP -17. 17. -17. 17. -180. 180.

- para un plano infinito en eje-z, cambie -180. 180. por 0. 0.



Arreglo de barras de combustible 9 X 9 (renombrar inin13 a inin15)

inin15.txt - Arreglo de combs 9x9

```
c
c      Tarjeta de Celdas
1      110      -18.724760      -10      u=7      imp:n 1      $ Combustible HEU
2      120      -0.9982070      +10      u=7      imp:n 1      $ Agua
c
5      0      -20      fill=7      lat=1      u=9      imp:n 1      $ Malla infinita de elementos
6      0      -30      fill=9      imp:n 1      $ Caja de arreglo 9x9 elementos
7      0      +30      imp:n 1      $ Universo exterior vacio

c      Tarjeta de Superficies
10     rcc      0.      0.      0.      0.      0.      +360.      0.49      $ Combustible
20     rpp      -.7      +.7      -.7      +.7      0.      +360.      $ Caja para un solo elemento
30     rpp      -6.3      +6.3      -6.3      +6.3      0.      +360.      $ Caja de arreglo 9x9 elementos

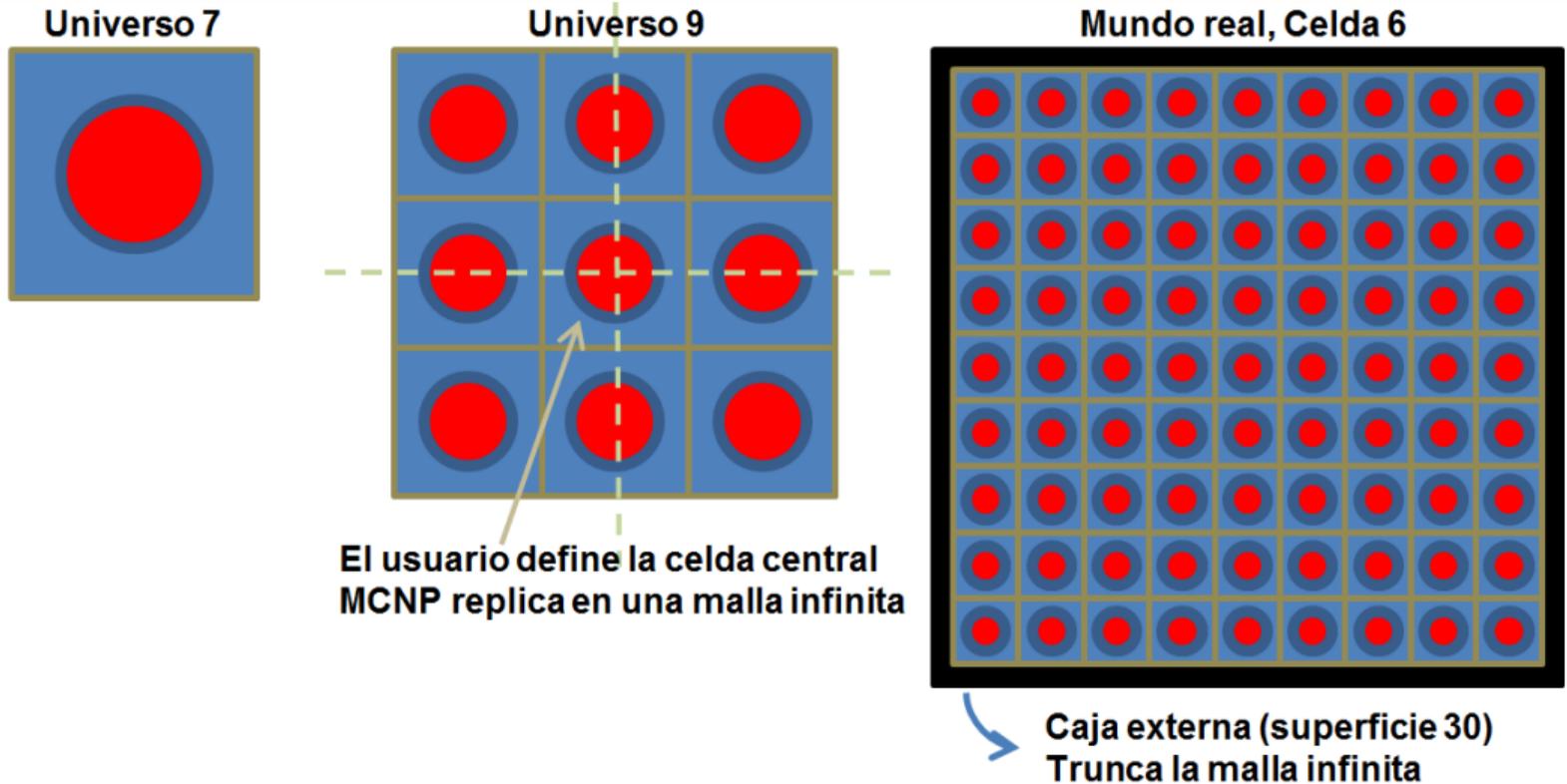
c      Tarjeta de Datos
c
kcode  1000      1.0      25      100
ksrc   0.      0.      180.
m110   92234      0.0098      92235      0.93155      92236      0.0045 ...      $ U-enriquecido
c .....
```

$$k_{eff} = 0.54235 \pm 0.00141$$

Ejercicio inin15 "Arreglos de Mallas"

Monte Carlo C5

30/64



Ejercicio inin16

Arreglo de Malla Infinita de
Contenedores
(Mallas en 3D)

Ejercicio inin16 "Arreglos de Mallas"

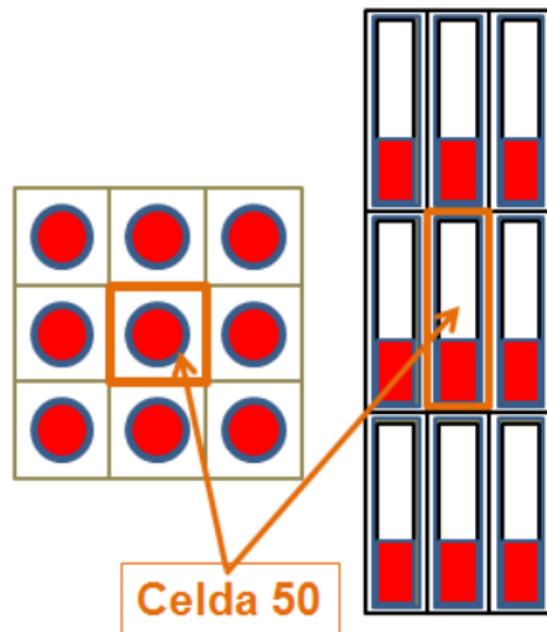
Monte Carlo C5

32/64

- ▶ Defina en la celda el centro del arreglo de la malla, y llénela (FILL) con el universo 2
- ▶ Renombre el archivo de entrada **inin14** como **inin16**
- ▶ Edite el archivo de entrada **inin16**
 - Borre las celdas 60 & 99
 - Declare la Celda 50, que sea el centro de la malla en la malla del hexaedro (caja), **LAT=1**
 - Añadir en la tarjeta de datos (apagar el cálculo de entropía para malla infinita):

```
hsrc 1 -1.e10 1.e10 1 -1.e10 1.e10 1 -1.e10 1.e10
```

- Remueva el segundo punto de ksrc
- Grafique **mcnp6 i=inin16 ip**
- Calcule k_{eff} **mcnp6 i=inin16**



Ejercicio inin16 "Arreglos de Mallas"

Monte Carlo C5

33/64

inin16 - Malla de contenedores infinitos en 3D

RESULTADO $k_{eff} = 1.60824 \pm 0.00206$

```
c
c Tarjeta de Celdas
c => Universo 1, solucion infinita y vacio <=
10 100 9.9270e-2 -3 u=1 imp:n=1 $ Solucion infinita
20 0 0 +3 u=1 imp:n=1 $ vacio infinito
c => Universo 2, llenado del contenedor y exterior infinito <=
25 0 0 -1 fill=1 u=2 imp:n=1 $ contenedor dentro, llenado
30 200 8.6360e-2 +1 -2 u=2 imp:n=1 $ contenedor
40 0 0 +2 u=2 imp:n=1 $ exterior infinito
c
50 0 0 -4 fill=2 lat=1 imp:n=1 $ Centro del arreglo de malla

c Tarjeta de Superficies
1 rcc 0. 0. 0. 0. 0. 101.7 12.49 $ interior
2 rcc 0. 0. -1. 0. 0. 103.7 12.79 $ exterior
3 pz 39.24 $ altura de la solucion
4 rpp -17.79 +17.79 -17.79 +17.79 -1. 102.7 $ Caja para sostener contenedor

c Tarjeta de Datos
kcode 1000 1.0 25 100
ksrc 0. 0. 19.62
m100 1001 6.0070e-2 $ Material de la solucion Pu(NO3)3
mt100 lwtr
m200 24050 7.1866e-4 $ Material del contenedor
hsrc 1 -1.e10 1.e10 1 -1.e10 1.e10 1 -1.e10
c sigue linea en blanco
```

- k_{eff} es bastante grande
 - Arreglo de malla infinita, no hay fuga, no hay absorciones
- Note que el arreglo en la malla son:
 - Definida por la creación de la celda central y etiquetada con $LAT = 1$
 - Llenada con 1 o más universos
 - De extensión infinita
- ¿Cómo se obtiene una malla finita?
 1. Hacer una malla infinita, y luego darle un número de universo
 2. Crear una celda con el contenedor, que tenga una parte de la malla
 3. A continuación, llenar esa celda del punto anterior con el universo de la malla
 - * La malla infinita se recorta (trunca) por los límites de las celdas de los contenedores
 - * Los elementos de la malla fuera del contenedor no se pueden alcanzar

Ejercicio inin17

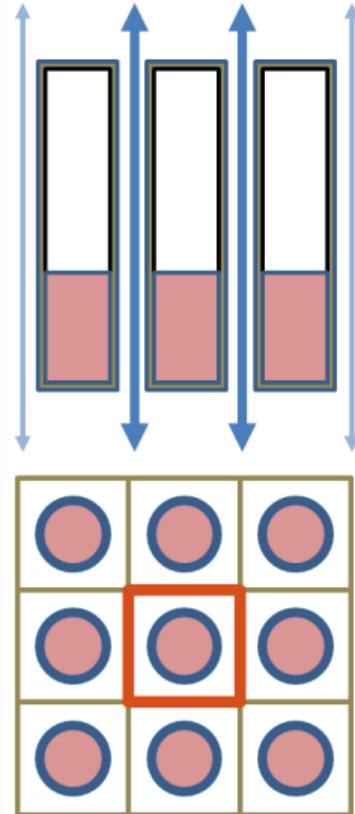
Arreglo de Malla Infinita de
Contenedores
(Mallas en 2D)

Ejercicio inin17 "Arreglos de Mallas"

Monte Carlo C5

36/64

- Defina una malla en 2D de contenedores, (Plano X-Y)
- Renombre el archivo de entrada **inin16** como **inin17**
- Edite el archivo de entrada **inin17**
 - Cambie la superficie 4 (RPP el cuerpo que define la celda central)
 - * Haga un RPP infinito en dirección-Z
 - + Use "0. 0." para Z superior/inferior
 - + Esto le dice a MCNP que RPP es infinito en la dirección-Z (sin la parte superior/inferior)



- Se necesita considerar neutrones por encima y por debajo de los contenedores
 - * Quieres vacíos con imp: n=1 entre los contenedores
 - * Quieres vacíos con imp: n=1 en la parte superior e inferior de los contenedores (Para evitar el flujo de neutrones por siempre ...)
 - * Necesitas añadir la celda 45 con universo 2, por encima & abajo del contenedor, **imp:n = 0**
 - * Podrías hacer esto con 2 superficies adicionales o utilizar datos de macrobodies existentes
- Grafique **mcnp6 i=inin17 ip**
- Calcula k_{eff} **mcnp6 i=inin17**

Ejercicio inin17 "Arreglos de Mallas"

Monte Carlo C5

38/64

inin17 - Malla infinita de contenedores en 2D (USANDO MACROBODIES)

RESULTADO $k_{eff} = 1.15722 \pm 0.00338$

```
c
c Tarjeta de Celdas
c => Universo 1, solucion infinita y vacio <=
10 100 9.9270e-2 -3 u=1 imp:n=1 $ Solucion infinita
20 0 +3 u=1 imp:n=1 $ vacio infinito
c => Universo 2, llenado del contenedor y exterior infinito <=
25 0 -1 fill=1 u=2 imp:n=1 $ contenedor dentro, llenado
30 200 8.6360e-2 +1 -2 u=2 imp:n=1 $ contenedor
40 0 +2 -5 +6 u=2 imp:n=1 $ exterior infinito
45 0 +5:-6 u=2 imp:n=0 $ vacio superior e inferior
50 0 -4 fill=2 lat=1 imp:n=1 $ Malla infinita en 2D de contenedores
```

```
c Tarjeta de Superficies
1 rcc 0. 0. 0. 0. 0. 101.7 12.49 $ interior
2 rcc 0. 0. -1. 0. 0. 103.7 12.79 $ exterior
3 pz 39.24 $ altura de la solucion
4 rpp -17.79 +17.79 -17.79 +17.79 0. 0. $ caja para sostener contenedor
5 pz 102.7 $ superior del contenedor
6 pz -1.0 $ inferior del contenedor
```

```
c Tarjeta de Datos
kcode 1000 1.0 25 100
ksrc 0. 0. 19.62
m100 1001 6.0070e-2 $ Material de la solucion Pu(NO3)3
mt100 lwtr
m200 24050 7.1866e-4 $ Material del contenedor
c hsrc 1 -1.e10 1.e10 1 -1.e10 1.e10 1 -1.e10
c sigue linea en blanco
```

Ejercicio inin18 "Arreglos de Mallas"

Monte Carlo C5

39/64

inin18 - Malla infinita de contenedores en 2D (USANDO SUPERFICIES Y MACRO)

RESULTADO $k_{eff} = 1.15722 \pm 0.00338$

```
c
c Tarjeta de Celdas
c => Universo 1, solucion infinita y vacio <=
10 100 9.9270e-2 -3 u=1 imp:n=1 $ Solucion infinita
20 0 +3 u=1 imp:n=1 $ vacio infinito
c => Universo 2, llenado del contenedor y exterior infinito <=
25 0 -1 fill=1 u=2 imp:n=1 $ contenedor dentro, llenado
30 200 8.6360e-2 +1 -2 u=2 imp:n=1 $ contenedor
40 0 +2 -2.2 -2.3 u=2 imp:n=1 $ exterior infinito
45 0 +2.2:+2.3 u=2 imp:n=0 $ vacio superior e inferior
50 0 -4 fill=2 lat=1 imp:n=1 $ Malla infinita en 2D de contenedores
```

```
c Tarjeta de Superficies
1 rcc 0. 0. 0. 0. 0. 101.7 12.49 $ interior
2 rcc 0. 0. -1. 0. 0. 103.7 12.79 $ exterior
3 pz 39.24 $ altura de la solucion
4 rpp -17.79 +17.79 -17.79 +17.79 0. 0. $ caja para sostener contenedor
```

```
c Tarjeta de Datos
kcode 1000 1.0 25 100
ksrc 0. 0. 19.62
m100 1001 6.0070e-2 $ Material de la solucion Pu(NO3)3
mt100 lwtr
m200 24050 7.1866e-4 $ Material del contenedor
hsrc 1 -1.e10 1.e10 1 -1.e10 1.e10 1 -1.e10
c sigue linea en blanco
```

- **k_{eff} se va más razonable**
 - Malla infinita en 2D, fuga en-Z, no hay absorbedores, ...
 - Mismos resultados para ambos inin17 e inin18
- **Archivo inin17 - Sencillo**
 - Celdas de superficies extra para definir vacíos en entre contenedores con imp:n=1, y por encima/debajo de los contenedores con imp:n=0
- **Archivo inin18**
 - Similar a inin17, pero no se necesitan superficies adicionales
 - Utiliza la parte superior del contenedor existente (superficie 2.2) y la parte inferior del contenedor (superficie 2.3)

- **Archivo inin18 (cont)**

- **Principal fuente de confusión: el signo (sentido) para la superficie 2.3**

- * Para macrobodies, MCNP convierte internamente la definición del cuerpo en una colección de superficies: cilindro infinito (2.1), plano superior (2.2), el plano inferior (2.3)

- * Por definición, MCNP considera: dentro del cuerpo sentido negativo, y fuera del cuerpo sentido positivo

- * MCNP altera las definiciones de la superficie para que coincida con la convención de sentido del cuerpo,

- § Por lo tanto, en el interior del cuerpo tiene una superficie wrt en el sentido negativo 2.3

- § y fuera del cuerpo tiene una superficie wrt sentido positivo 2.3,

- § frente a las convenciones normales de sentido superficial de 2.3.

Ejercicio inin19

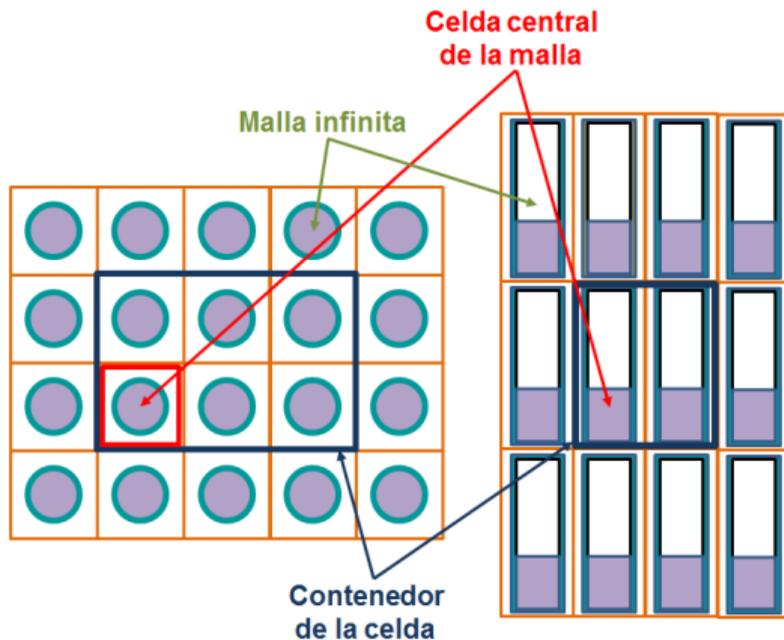
Arreglo de Malla Finita 2 X 3
de Contenedores

Ejercicio inin19 "Arreglos de Mallas"

Monte Carlo C5

43/64

- Empezar con una malla infinita 3D, como en el ejercicio **inin17** & genere un arreglo de contenedores 3x2
- Renombre el archivo de entrada **inin17** como **inin19**
- Edite el archivo de entrada **inin19**
 - Cambie la celda 50 como universo 3
 - Defina un contenedor en la celda 60, y un cuerpo rpp que contenga el arreglo 2x3 de la celda 50
 - Llenar la celda 60 con el universo 3
 - Defina una celda 99, fuera del contenedor, imp:n=0



Ejercicio inin19 "Arreglos de Mallas"

Monte Carlo C5

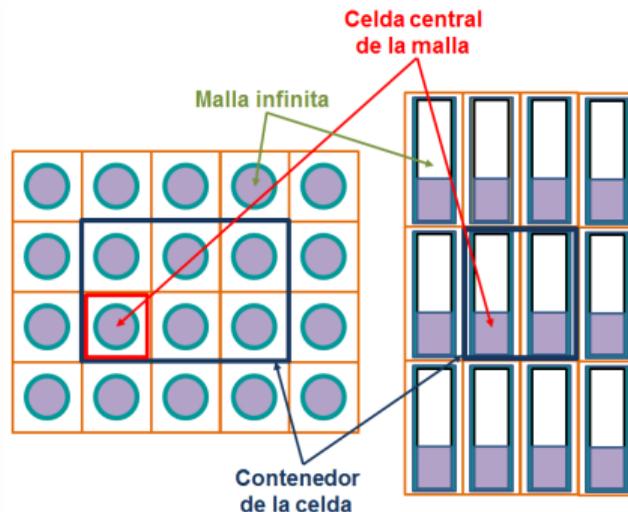
44/64

- Modifique la tarjeta HSRC (opcional)

```
hsrc      3  -17.79  88.95    2  -17.79  53.37    1  -1  102.7
```

- Grafique: `mcnp6 i=inin19 ip`

- Calcule k_{eff} : `mcnp6 i=inin19 o="nombre"`



Ejercicio inin19 "Arreglos de Mallas"

Monte Carlo C5

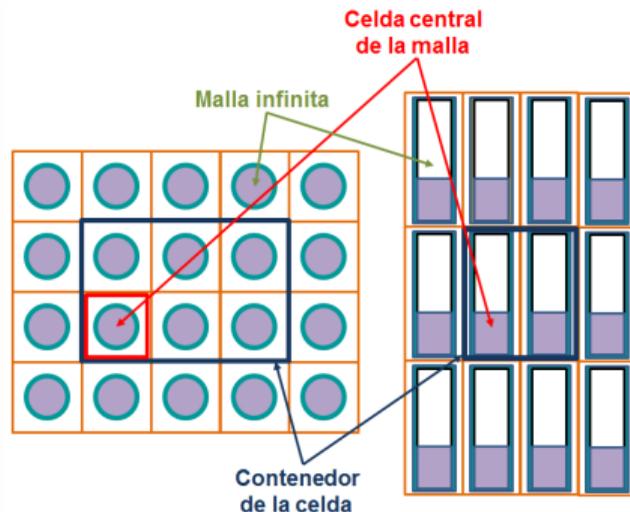
45/64

- Modifique la tarjeta HSRC (opcional)

```
hsrc      3  -17.79  88.95      2  -17.79  53.37      1  -1  102.7
```

- Grafique: `mcnp6 i=inin19 ip`

- Calcule k_{eff} : `mcnp6 i=inin19 o="nombre"`



Ejercicio inin19 "Arreglos de Mallas"

Monte Carlo C5

46/64

inin19 - Arreglo de contenedores en 3x2

RESULTADO $k_{eff} = 0.98670 \pm 0.00371$

```
c
c      Tarjeta de Celdas
c      => Universo 1, solucion infinita y vacio <=
10     100   9.9270e-2   -3           u=1   imp:n=1   $ Solucion infinita
20     0      0           +3           u=1   imp:n=1   $ vacio infinito
c      => Universo 2, llenado del contenedor y exterior infinito <=
25     0      0           -1   fill=1   u=2   imp:n=1   $ contenedor dentro, llenado
30     200   8.6360e-2   +1   -2           u=2   imp:n=1   $ contenedor
40     0      0           +2           u=2   imp:n=1   $ exterior de contenedor infinito
50     0      0           -4   fill=2   lat=1   u=3   imp:n=1   $ Malla infinita en 3D de contenedores
60     0      0           -5   fill=3           imp:n=1   $ contenedor, llenado por malla
99     0      0           +5           imp:n=0   $ exterior del contenedor

c      Tarjeta de Superficies
1      rcc    0.  0.  0.    0.  0.  101.7  12.49   $ interior
2      rcc    0.  0. -1.    0.  0.  103.7  12.79   $ exterior
3      pz     39.24
4      rpp   -17.79 +17.79 -17.79 +17.79 -1. 102.7   $ caja para sostener contenedor
5      rpp   -17.79 +88.95 -17.79 +53.37 -1. 102.7   $ contenedor para arreglo 3x2

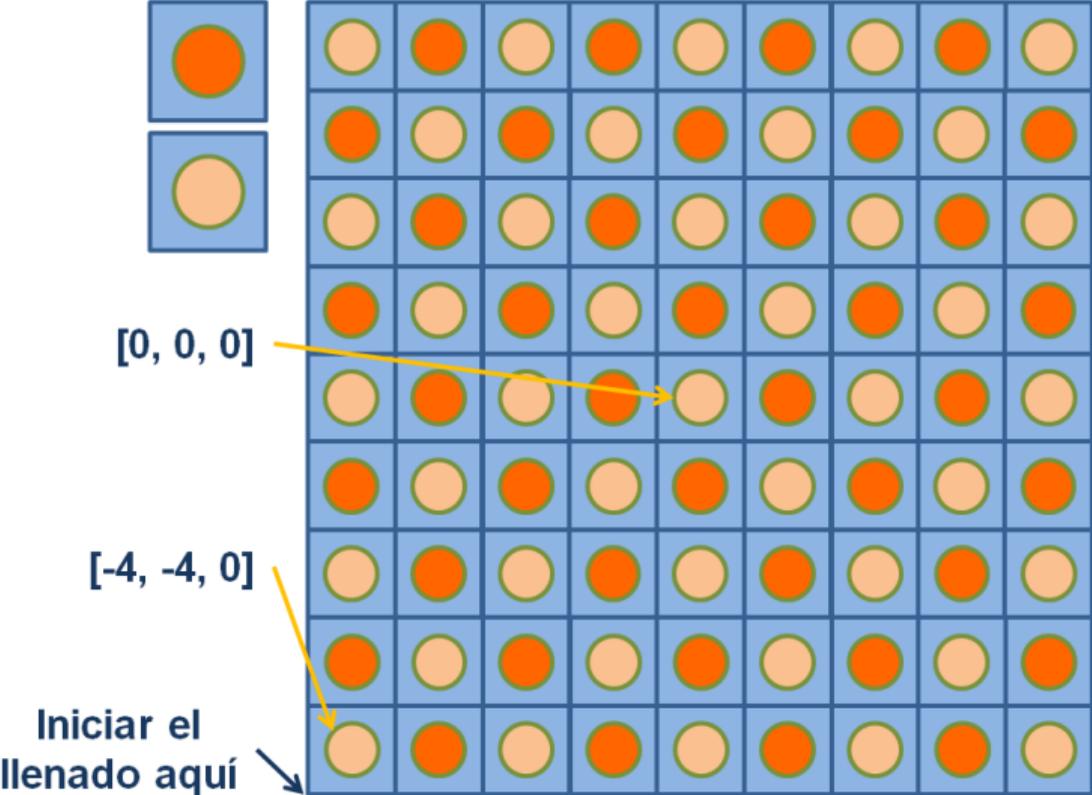
c      Tarjeta de Datos
kcode  1000  1.0  25    100
ksrc   0.  0.  19.62
m100   1001   6.0070e-2           $ Material de la solucion Pu(NO3)3
mt100  lwtr
m200   24050  7.1866e-4           $ Material del contenedor
hsrc   1  -1.e10  1.e10  1  -1.e10  1.e10  1  -1.e10
c      sigue linea en blanco
```

- k_{eff} es más cercana a 1.0
- Note que las mallas son:
 - Definidas por la creación de la celda central y marcándola con $LAT = 1$
 - Llenadas con 1 o más universos
 - Extensión infinita
- Obtención de una malla finita:
 1. Hacer una malla infinita, y darle un número de universo
 2. Crear una celda del contenedor para albergar una parte de la malla
 3. Llenar la celda de contenedores con el universo de la malla
 - La malla infinita se recorta (truncada) por los límites de las celdas de los contenedores
 - Los elementos de la malla fuera del contenedor, no se toman en cuenta

- Cuando se 'llena' una celda con una malla, se puede especificar el universo que va en cada elemento de la malla en lo individual
- Forma de malla infinita **fill=n**
 - Llene **todos** los elementos de la malla con el universo **n**
- Forma de la malla finita: **fill=i1:i2 j1:j2 k1:k2 N₁(...)N₂(...) etc.**
 - **i1:i2 j1:j2 k1:k2**
define cual elemento de la malla existe ($i1 \leq i2$ $j1 \leq j2$ $k1 \leq k2$)
 - **N₁(...)N₂(...) etc.**
Lista los números del universo de llenado que especifican qué universo se llena de cada elemento de la malla
 - **Orden de las entradas del arreglo, sigue la convención de FORTRAN**
(i1, j1, k1), (i1+1, j1, k1), (\forall i, j1, k1), ... (\forall i, j2, k1) ... (\forall i, j3, k1) ...
 - **Para este tipo de tarjetas: fill = -2:2 0:1 0:0**
Entradas requeridas 5 x 2 x 1, como en: **fill = -2:2 0:1 0:0 1 2 3 2 1**
2 1 1 1 2

Tarjeta de Arreglos de Mallas

Monte Carlo C5



Ejercicio inin20 "Arreglos de Mallas"

Monte Carlo C5

50/64

inin20 - Tablero de ajedrez-Arreglo 9x9

RESULTADO $k_{eff} = 0.37556 \pm 0.00118$

```
c
c Tarjeta de Celdas
1 110 -18.724760 -10 u=7 imp:n=1 $ HEU
2 120 -0.9982070 +10 u=7 imp:n=1 $ H2O
c
3 130 -18.944386 -10 u=8 imp:n=1 $ LEU
4 120 -0.9982070 +10 u=8 imp:n=1 $ H2O
c
5 0 -20 lat=1 u=9 imp:n=1 $ arreglo de elementos
. fill= -4:+4 -4:+4 -0:+0 $ llenado 9x9, elementos
  8 7 8 7 8 7 8 7 8 $ inicia abajo-izquierda ..
  7 8 7 8 7 8 7 8 7
  8 7 8 7 8 7 8 7 8
  7 8 7 8 7 8 7 8 7
  8 7 8 7 8 7 8 7 8
  7 8 7 8 7 8 7 8 7
  8 7 8 7 8 7 8 7 8
  7 8 7 8 7 8 7 8 7
  8 7 8 7 8 7 8 7 8
6 0 -30 fill=9 imp:n=1 $ caja que almacena 9x9 elementos, corta el resto
7 0 +30 imp:n=0 $ universo externo
c Tarjeta de Superficies
10 rcc 0. 0. 0. 0. 0. +360. 0.49
20 rpp -.7 +.7 -.7 +.7 0. +360.
30 rpp -6.3 +6.3 -6.3 +6.3 0. +360. $ Caja que almacena 9x9
c Tarjeta de Datos
kcode 1000 1.0 25 100
ksrc 0.6 0.6 180.
```

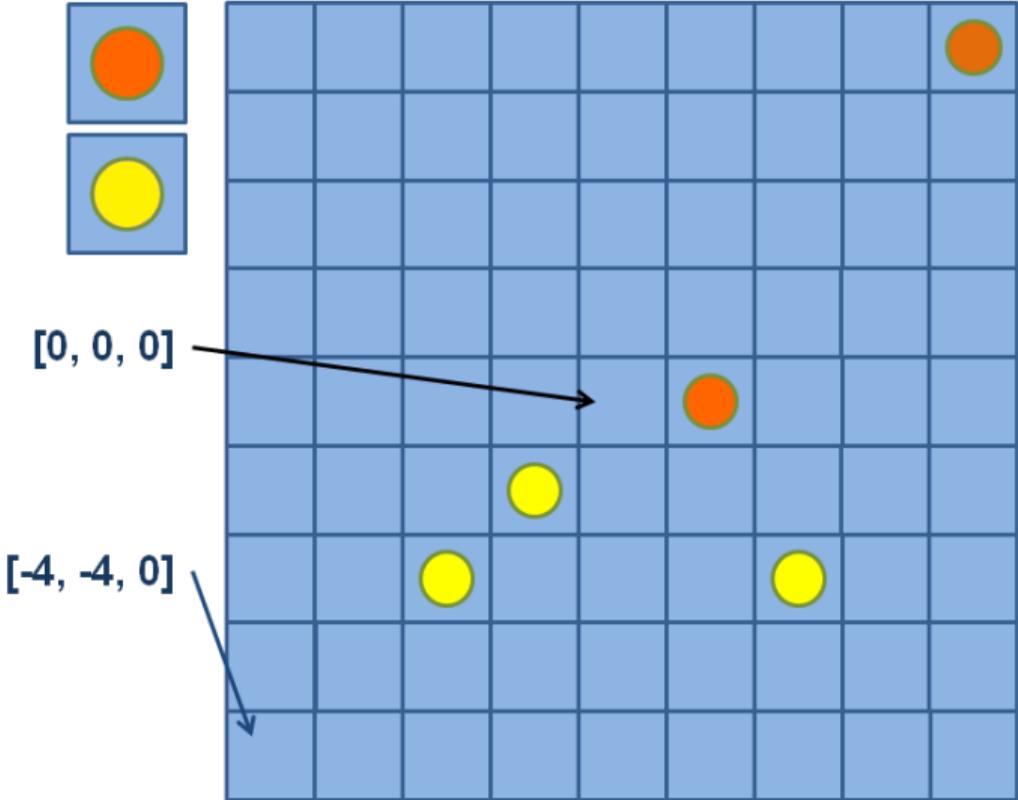
- Valores especiales para el llenado de arreglos de mallas
- **Número de universo de elementos propios, se llena con material en la tarjeta de celda**

```
11    300    -1.0    -22    lat=1    u=9    fill= -1:1    -1:1    0:0  
  
          9    9    9  
          9    1    9  
          9    9    9
```

- Los elementos de malla en la celda 11, que están llenos de Universo 9 (el universo asignado a esta celda) están realmente llenas de material 300
- Cuando se utiliza este caso especial, no puede haber ningún detalle geométrico en el interior del elemento de la celda

Tarjeta de Arreglos de Mallas

Monte Carlo C5



Ejercicio inin21 "Arreglos de Mallas"

Monte Carlo C5

53/64

inin21 - Tablero de ajedrez-Arreglo 9x9 con solo algunos elementos

RESULTADO $k_{eff} = 0.10652 \pm 0.00044$

```
c
c Tarjeta de Celdas
1 110 -18.724760 -10 u=7 imp:n=1 $ HEU
2 120 -0.9982070 +10 u=7 imp:n=1 $ H2O
c
3 130 -18.944386 -10 u=8 imp:n=1 $ LEU
4 120 -0.9982070 +10 u=8 imp:n=1 $ H2O
c
5 120 -0.9982070 -20 u=9 imp:n=1 $ arreglo de elementos
. fill= -4:+4 -4:+4 -0:+0 $ llenado 9x9, elementos
  9 9 9 9 9 9 9 9 9 $ inicia abajo-izquierda ..
  9 9 9 9 9 9 9 9 9
  9 9 8 9 9 9 8 9 9
  9 9 9 8 9 9 9 9 9
  9 9 9 9 9 7 9 9 9
  9 9 9 9 9 9 9 9 9
  9 9 9 9 9 9 9 9 9
  9 9 9 9 9 9 9 9 9
  9 9 9 9 9 9 9 9 7
6 0 -30 fill=9 imp:n=1 $ caja que almacena 9x9 elementos, corta el resto
7 0 +30 imp:n=0 $ universo externo

c Tarjeta de Superficies
10 rcc 0. 0. 0. 0. 0. +360. 0.49
20 rpp -7 +7 -7 +7 0. +360.
30 rpp -6.3 +6.3 -6.3 +6.3 0. +360. $ Caja que almacena 9x9

c Tarjeta de Datos
kcode 1000 1.0 25 100
ksrc 0.6 0.6 180.
```

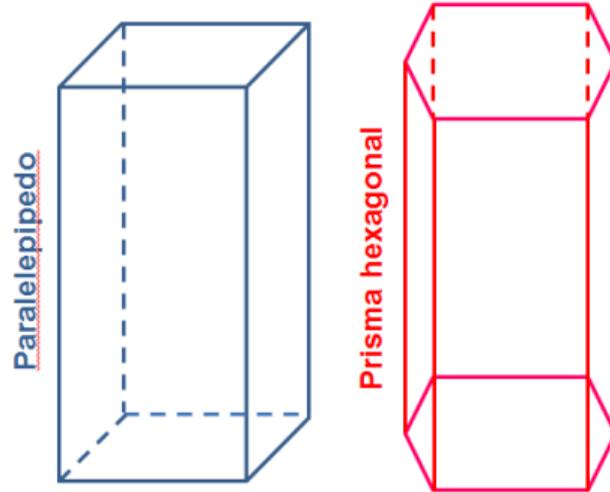
- No construir la geometría toda a la vez
 - Empezar con piezas pequeñas, graficar cada una a medida que avanza
- Siempre vaya graficando la geometría !!!!!
 - Observe si está correctamente definida
 - Vea si es lo que pretende definir
- Mantenga las celdas lo más razonablemente simples
- Utilice comentarios libremente para mayor claridad
- Sólo geometría con el mayor detalle si se requiere para la precisión
- Sólo con mayor detalle en la geometría como se requiera para la precisión
- Compruebe el volumen de MCNP, contra los valores calculados a mano
 - Mueva la gráfica del plano alrededor del origen
 - No ponga la gráfica del plano directamente sobre una superficie
- Si todo falla
 - Utilice la tarjeta de vacío con la fuente dirigida hacia adentro
 - Partícula perdida: coloque el origen en la loc. de la partícula perdida

Tema Avanzado

Geometría

Hexagonal

- "Cálculos de criticidad con MCNP: A Primer," LA-UR-04-0294



- Lados opuestos deben ser siempre idénticos y paralelos
- La sección transversal del prisma hexagonal debe ser convexa
- La altura del prisma hexagonal debe ser infinita, (si se define con superficies)

- Prisma Hexagonal Recto: RHP
- Las tarjetas RHP y HEX son las mismas
- Tarjetas RHP y HEX:

RHP v_1 v_2 v_3 h_1 h_2 h_3 r_1 r_2 r_3 s_1 s_2 s_3 t_1 t_2 t_3

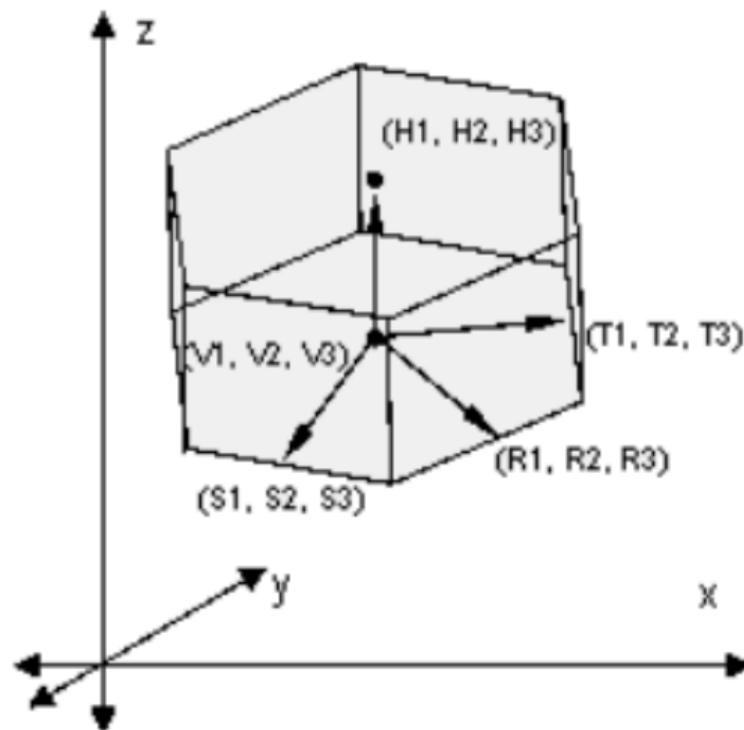
v_1 v_2 v_3 = coordenadas x, y, z desde el centro inferior del hexágono

h_1 h_2 h_3 = vector desde la parte inferior a la superior, magnitud altura para el eje-z con altura h, h_1 h_2 h_3 = 0 0 h

r_1 r_2 r_3 = vector desde el eje a la mitad de la primer superficie para un pitch $2p$ normal a la superficie del eje-y, r_1 r_2 r_3 = 0 p 0

s_1 s_2 s_3 = vector al centro de la segunda superficie

t_1 t_2 t_3 = vector al centro de la tercer superficie



Ejemplo de HEX usando macrobodies

```
1 101 -1.0 -10
2 102 -7.8 +10 -20
```

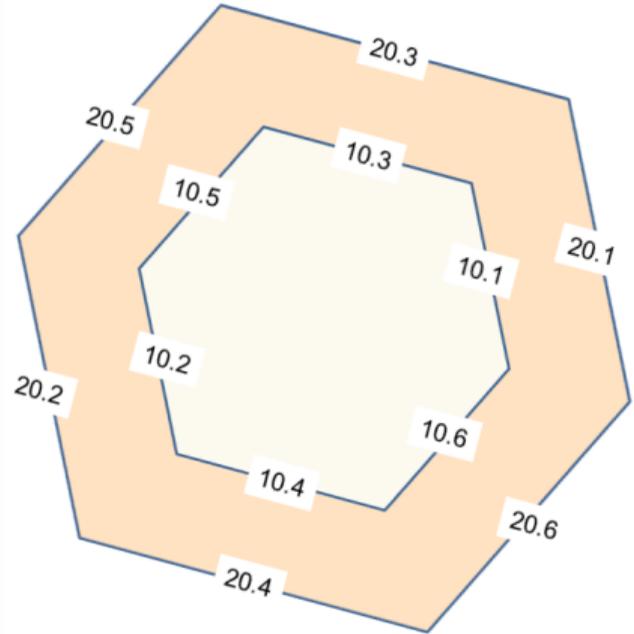
```
10 rhp 0. 0. -4 0. 0. +8 2. 0. 0.
20 rhp 0. 0. -4 0. 0. +8 3. 0. 0.
```

Centro de la base = (0, 0, -4)

Altura= 8 en dirección hacia usted

Superficie 10.1 es $x=2$, 10.2 es $x=-2$

Superficie 20.1 es $x=3$, 20.2 es $x=-3$

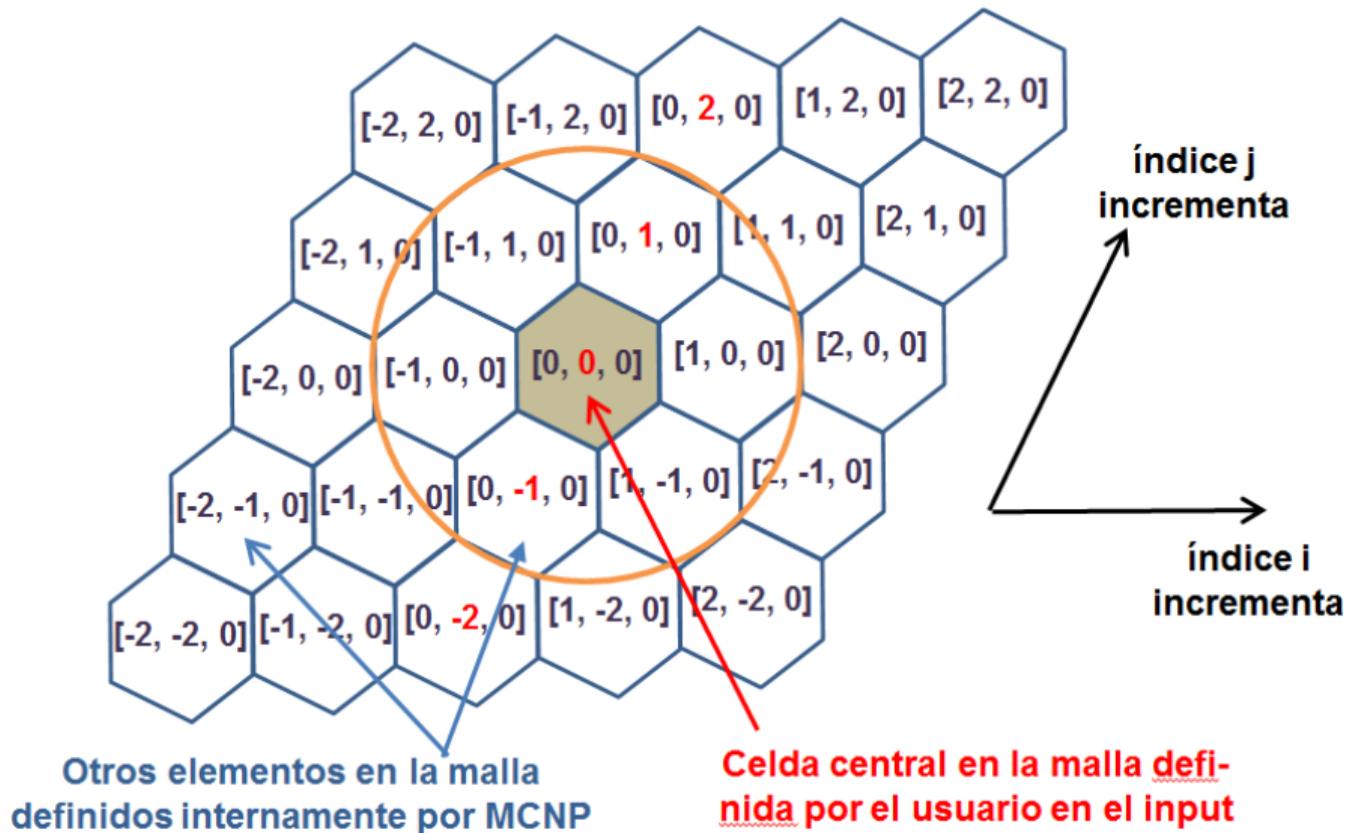


Al menos v_1 v_2 v_3 h_1 h_2 h_3 r_1 r_2 r_3 son requeridos

Índices de elementos de malla i j k son determinados por vectores de RHP

Además de:

| | $[i, j, k]$ |
|--|----------------------------|
| Plano normal al FINAL de elemento r_1 | r_2 $r_3 = [1, 0, 0]$ |
| Plano normal al INICIO de elemento r_1 | r_2 $r_3 = [-1, 0, 0]$ |
| Plano normal al FINAL de elemento s_1 | s_2 $s_3 = [0, 1, 0]$ |
| Plano normal al INICIO de elemento s_1 | s_2 $s_3 = [0, -1, 0]$ |
| Plano normal al FINAL de elemento t_1 | t_2 $t_3 = [-1, 1, 0]$ |
| Plano normal al INICIO de elemento t_1 | t_2 $t_3 = [1, -1, 0]$ |
| Plano normal al FINAL de elemento h_1 | h_2 $h_3 = [0, 0, 1]$ |
| Plano normal al INICIO de elemento h_1 | h_2 $h_3 = [0, 0, -1]$ |



Ejemplo de HEX usando macrobodies

Ec. de superficie MCNP ($Ax + Bx + Cx - D = 0$)

1: $x - p/2 = 0$

2: $x + p/2 = 0$

3: $x + \sqrt{3}y - p = 0$

4: $x + \sqrt{3}y + p = 0$

5: $-x + \sqrt{3}y - p = 0$

6: $-x + \sqrt{3}y + p = 0$

MCNP superficies

1: $px + p/2$

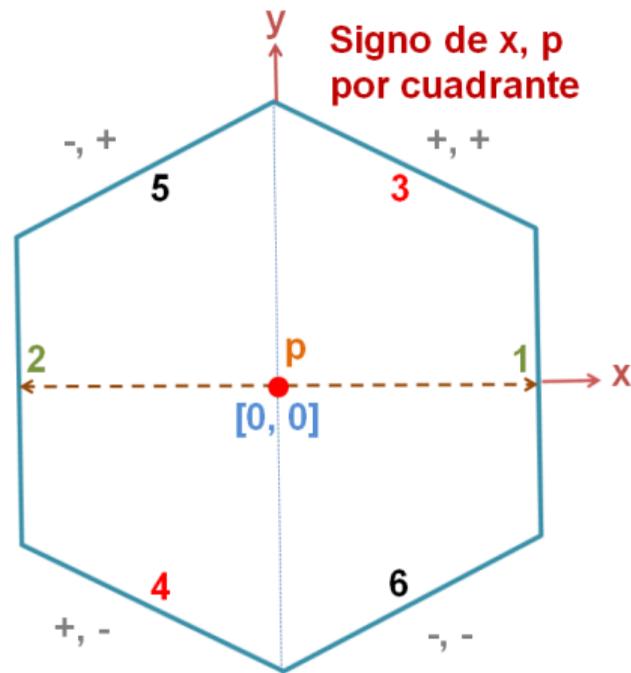
2: $px - p/2$

3: $p \quad 1,0 \quad 1,73205 \quad 0,0 \quad p$

3: $p \quad 1,0 \quad 1,73205 \quad 0,0 \quad -p$

3: $p \quad -1,0 \quad 1,73205 \quad 0,0 \quad p$

3: $p \quad -1,0 \quad 1,73205 \quad 0,0 \quad -p$



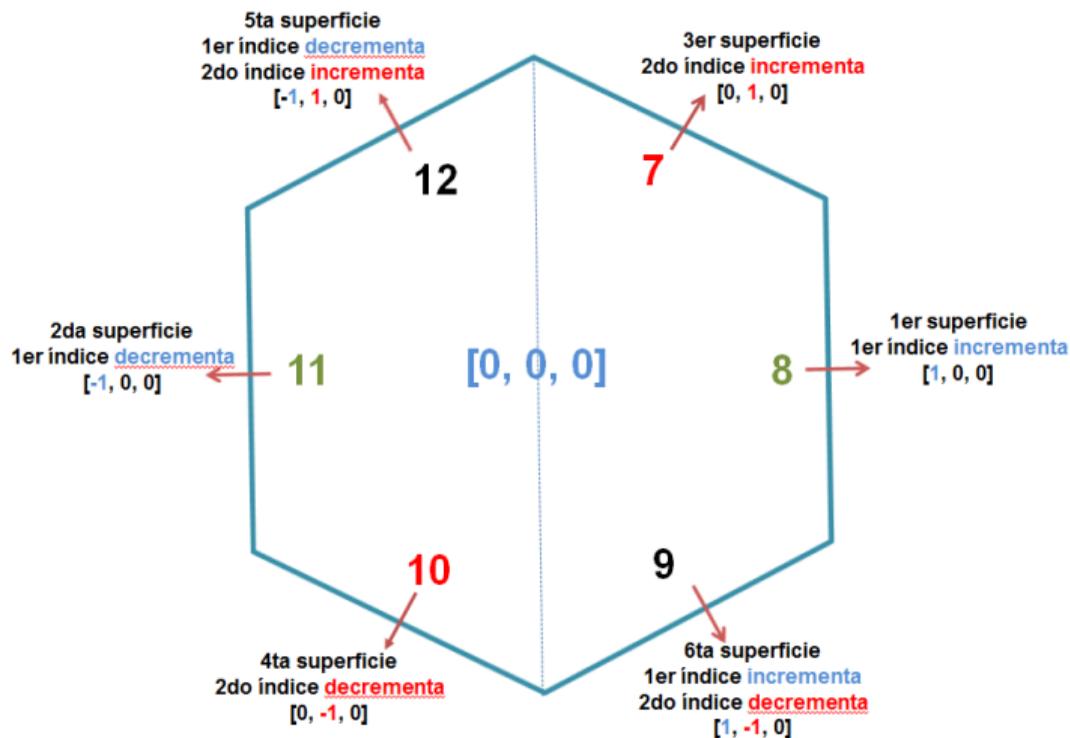
Malla hexagonal equilátero

Al menos se requieren seis superficies

Índices de elementos de malla i j k son determinados por el orden de las superficies

Como sigue:

| | $[i, j, k]$ |
|--|---------------------------|
| Hacia afuera de la 1 ^{er} superficie es | elemento = $[1, 0, 0]$ |
| Hacia afuera de la 2 ^{da} superficie es | elemento = $[-1, 0, 0]$ |
| Hacia afuera de la 3 ^{er} superficie es | elemento = $[0, 1, 0]$ |
| Hacia afuera de la 4 ^{ta} superficie es | elemento = $[0, -1, 0]$ |
| Hacia afuera de la 5 ^{ta} superficie es | elemento = $[-1, 1, 0]$ |
| Hacia afuera de la 6 ^{ta} superficie es | elemento = $[1, -1, 0]$ |
| Hacia afuera de la 7 ^{ma} superficie es | elemento = $[0, 0, 1]$ |
| Hacia afuera de la 8 ^{va} superficie es | elemento = $[0, 0, -1]$ |



Malla hexagonal equilátero