

Estudios de centralidad de colisión $Bi+Bi$ en el experimento MPD-NICA

4th Computing/Analysis Workshop of the MexNICA Collaboration

Ramón Orlando Ruiz Olais

Universidad Autónoma de Sinaloa
Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas

15/06/2022



¿Qué es la centralidad?

La centralidad es un observable físico estrechamente relacionado con la región de interacción de los núcleos que colisionan.

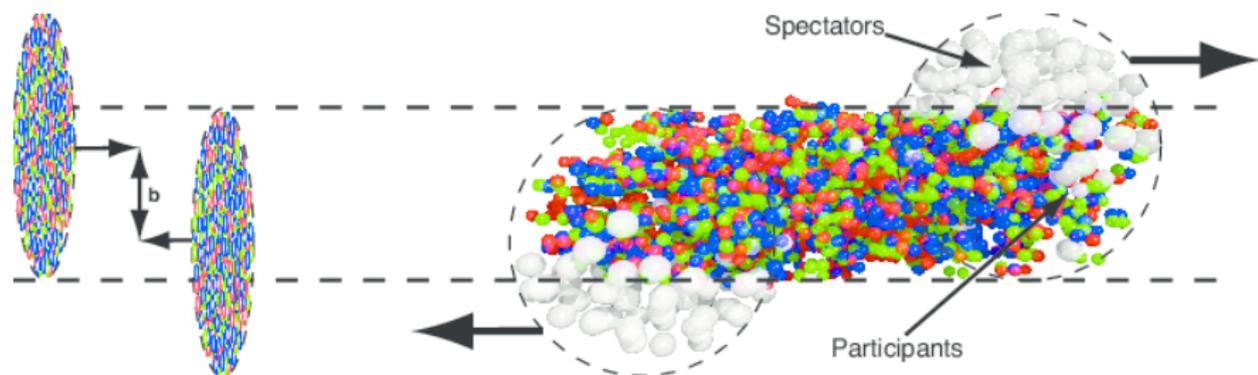


Figure 1: Diagrama de la región de colisión. [?]

La sección eficaz es proporcional a la probabilidad de que ocurra una dispersión, y tiene unidades de área. Podemos obtener la sección transversal total integrando en todas las direcciones.

$$\sigma = \int d\Omega \frac{d\sigma}{d\Omega} \quad (1)$$

La sección eficaz total se define como:

$$\sigma = \sigma_{el} + \sigma_{ine} \quad (2)$$

Determinación de la centralidad

La centralidad suele ser expresada como un porcentaje de la sección transversal de interacción nuclear total.

$$\sigma_{Tot} = \sigma_{Ela} + \sigma_{Ine} + \sigma_{Abs} \quad (3)$$

En nuestro caso para obtener la sección transversal de una colisión A+A con un parámetro de impacto b , integramos la distribución del parámetro de impacto:

$$\sigma_{AA} = \int_0^{b_{max}} \frac{d\sigma}{db'} db' \quad (4)$$

Y para calcular la centralidad c hacemos entonces:

$$c = \frac{\int_0^b \frac{d\sigma}{db'} db'}{\int_0^{b_{max}} \frac{d\sigma}{db'} db'} = \frac{1}{\sigma_{AA}} \int_0^b \frac{d\sigma}{db'} db' \quad (5)$$

Es posible establecer una relación entre el parámetro de impacto y la multiplicidad, de modo que clasifiquemos N de acuerdo a la fracción de sección transversal:

$$c \approx \frac{1}{\sigma_{AA}} \int_{N_{th}}^{N_{max}} \frac{d\sigma}{dN} dN \quad (6)$$

Y simplificamos reemplazando la sección transversal por el número de eventos observados de modo que:

$$c \approx \frac{1}{\sigma_{AA}} \int_{N_{th}}^{N_{max}} \frac{dN_{ev}}{dN} dN \quad (7)$$

Determinación de la centralidad

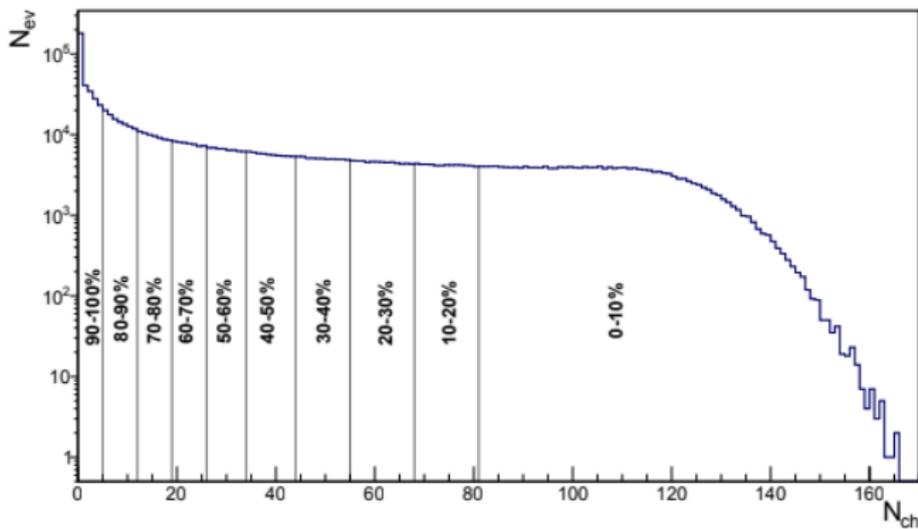


Figure 2: Ejemplo de una distribución de la multiplicidad dividida.

Y así podemos determinar cualquier clase de centralidad:

$$C_n = \frac{\int_{N_{max}}^{N_i} \frac{dN_{ev}}{dN} dN}{\int_{N_{max}}^0 \frac{dN_{ev}}{dN} dN} \quad (8)$$

Monte Carlo Glauber

El procedimiento Monte Carlo Glauber se resume en:

- 1 La coordenada radial del nucleón es muestreada de forma aleatoria $4\pi r^2 \rho(r)$ y ρ es determinada por la condición $\int \rho d^2r = A$
- 2 Se simula la colisión nuclear con parámetro de impacto aleatorio. El valor máximo de b debe ser suficientemente grande para simular colisiones hasta que $\sigma = 0$

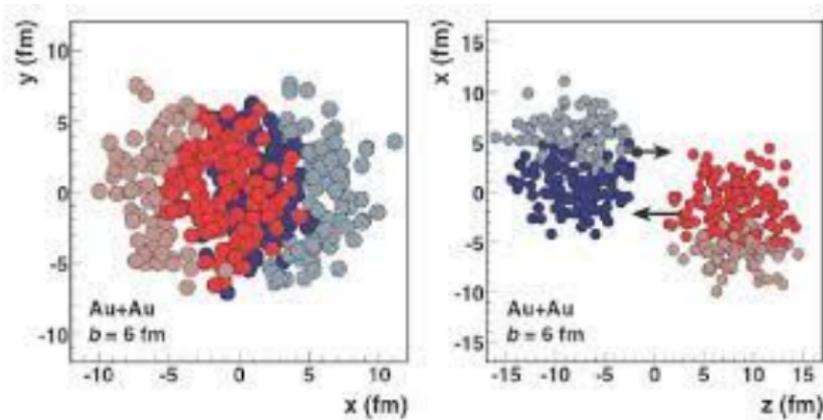


Figure 3: Ejemplo gráfico de simulación MCG.

Está probado que la distribución binomial negativa (Negative Binomial Distribution) puede reproducir resultados experimentales de distribuciones de multiplicidad para una amplia variedad de energías.

$$P(n) = \frac{\Gamma(n+k)}{\Gamma(n+1)\Gamma(k)} \frac{(\mu/k)^n}{(\mu/k+1)^{n+k}} \quad (9)$$

El concepto de ancestros se refiere a las partículas "madre" o fuentes de otras partículas y podemos determinar el número de ancestros N_{anc} .

$$N_{anc} = fN_{par} + (1 - f)N_{coll} \quad (10)$$

Siendo f una probabilidad y puede tomar un valor entre 0 y 1.

Y para obtener la multiplicidad promedio simulada por evento, la NBD muestrea una cantidad N_{anc} de veces.

$$P(n)_{ev} = \sum_1^{N_{anc}} N_{anc} P(n) \quad (11)$$

Dónde μ , k , y f los parámetros de esta distribución.

Utilizaremos el método de minimización de χ^2 para determinar los parámetros de la NBD que se ajustan mejor a la distribución de multiplicidad obtenida.

$$\chi^2 = \frac{S}{\sigma^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - E(x_i))^2}{\sigma^2} \quad (12)$$

Resumen de NBD

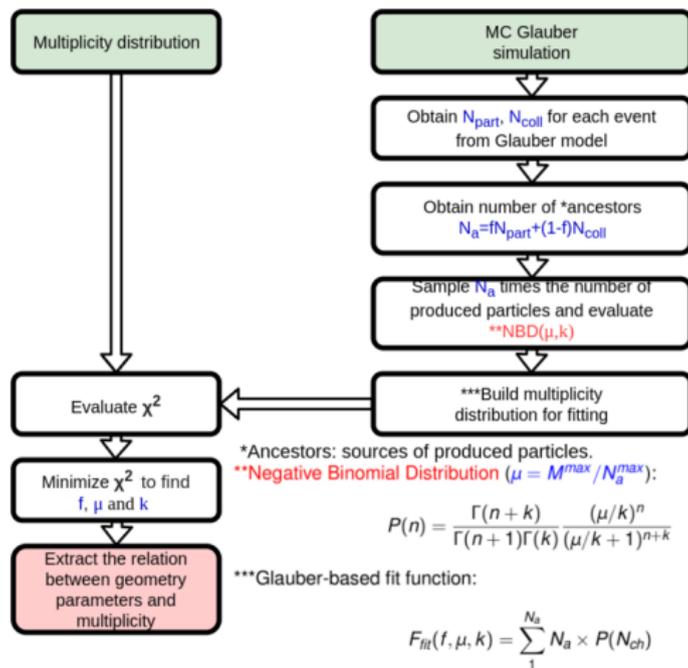


Figure 4: Diagrama de flujo del método con NBD.

- Paso 1: Generación de eventos con UrQMD.
- Paso 2: Transporte de datos con MPDRoot.
- Paso 3: Generación de distribución de multiplicidad.

Datos de entrada:

`/storage/mexnica/evetestmpdroot/BeBeCDR/BiBi9GeVMB`

Ejemplo de distribución:

`/storage/mexnica/Ramon/analisis/MultiplicityHex`

- Paso 4: Cálculo de clases de centralidad
- Paso 5: Generación de eventos con MC-Glauber
- Paso 6: Ajuste de la NBD

1.1 Installation

The latest version of Glauber Monte Carlo (MC-Glauber) package is available here [1](https://tgaubermc.hepforge.org/downloads/):

<https://tgaubermc.hepforge.org/downloads/>

To download it on the cluster one can use wget command:

```
wget https://tgaubermc.hepforge.org/downloads/?f=TGlauberMC-3.2.tar.gz
```

To unpack and clean up the downloaded archive one can use the following command:

```
tar -xf *.tar.gz  
rm *.tar.gz
```

The main ROOT script is runlauber_v3.2.C.

Figure 5: Paso 1 para generar datos con MC-Glauber

1.2 Usage

Firstly, one need to set up ROOT environment:

```
source /opt/fairsoft/mpd/new/bin/thisroot.sh
```

Use following commands to run Glauber Monte Carlo:

```
root -l
.L runlauber_v3.2.C
runAndSaveNtuple(Nev, sysA, sysB, signn)
.q
```

Here `Nev` denotes number of events, `sysA` and `sysB` – colliding nuclei, and `signn` – inelastic nucleon-nucleon cross section which defines energy of the colliding nuclei.

In general, it is reasonable to generate $(5-20) \cdot 10^6$ events to have enough statistics for the centrality determination procedure. The ratio between MC-Glauber and data statistics is 10/1, so for the centrality determination based on $5 \cdot 10^5$ events from the data one must have at least $5 \cdot 10^6$ MC-Glauber events.

The first colliding systems on the MPD experiment is planned to be Bi+Bi and Au+Au. Those nuclei must be manually set up in the `runlauber_v3.2.C` (under the line number 1172):

```
else if (TString(name) == "Au3")
    {fN = 197; fR = 6.5541; fA = 0.523; fW = 0; fF = 1; fZ=79;}
else if (TString(name) == "Bi")
    {fN = 209; fR = 6.75; fA = 0.468; fW = 0; fF = 1; fZ=83;}
```

Figure 6: Paso 2 para generar datos con MC-Glauber

$\sqrt{s_{NN}}$, GeV	4.5	7.7	9.5	11
σ_{NN}^{inel} , mb	29.3	29.7	30.8	31.2

After adding those modification in the code, one can generate MC-Glauber data. For example, to generate $5 \cdot 10^6$ Au+Au events at $\sqrt{s_{NN}} = 11$ GeV, one can use the following command:

```
root -l
.L runlauber_v3.2.C+
runAndSaveNtuple(5000000, "Au3", "Au3", 31.2)
.q
```

Figure 7: Paso 3 para generar eventos con MC-Glauber

Ajuste de la NBD

- Para realizar el ajuste se calcularon los N_{coll} y N_{part} promedio correspondientes a ciertos rangos de parámetro de impacto.

Centralidad	Multiplicidad	Parámetro de impacto	$\langle N_{coll} \rangle$	$\langle N_{part} \rangle$
0-10%	44-100	16	906	217
10-20%	34-43	15	264	95
20-30%	25-33	14	184	72
30-40%	17-24	13	128	55
40-50%	11-16	12	89	42
50-60%	8-10	11	57	32
60-70%	6-7	9-10	35	23
70-80%	4-5	8-9	16	13
80-90%	2-3	6-7	7	8
90-100%	0-1	0-5	10	15

Table 1: Rangos de centralidad asociados a sus respectivos rangos de multiplicidad y parámetros geométricos extraídos del Monte Carlo Glauber.

Ajuste de la NBD

- Utilizando estos valores promedio de Ncoll y Npar se realizaron 10 fits por región y se hará un fit total utilizando las 10 funciones individuales.

```
22 ///////////////////////////////////////////////////NBD fits//////////////////////////////////////
23
24 Double_t NBDfit1(Double_t *x, Double_t *par){
25
26   Int_t nhits=x[0];
27   Int_t meanMu=par[0];
28   Double_t k=par[1];
29   Double_t f = par[2];
30
31   return (f*217*(1-f)*906)*((tgamma(nhits+k)/((tgamma(nhits+1))*tgamma(k)))*((TMath::Power(meanMu/k,nhits))/(TMath::Power(meanMu/k +1,nhits+k))));
32
33   // return x;
34 }
35
36 Double_t NBDfit2(Double_t *x, Double_t *par){
37
38   Int_t nhits=x[0];
39   Int_t meanMu=par[0];
40   Double_t k=par[1];
41   Double_t f = par[2];
42
43   return (f*95*(1-f)*264)*((tgamma(nhits+k)/((tgamma(nhits+1))*tgamma(k)))*((TMath::Power(meanMu/k,nhits))/(TMath::Power(meanMu/k +1,nhits+k))));
44 }
45
46 Double_t NBDfit3(Double_t *x, Double_t *par){
47
48   Int_t nhits=x[0];
49   Int_t meanMu=par[0];
50   Double_t k=par[1];
51   Double_t f = par[2];
52
53   return (f*72*(1-f)*184)*((tgamma(nhits+k)/((tgamma(nhits+1))*tgamma(k)))*((TMath::Power(meanMu/k,nhits))/(TMath::Power(meanMu/k +1,nhits+k))));
54 }
55
56 }
```

Figure 8: Ejemplo de 3 funciones de ajuste en el código

- Resultado de paso 3:

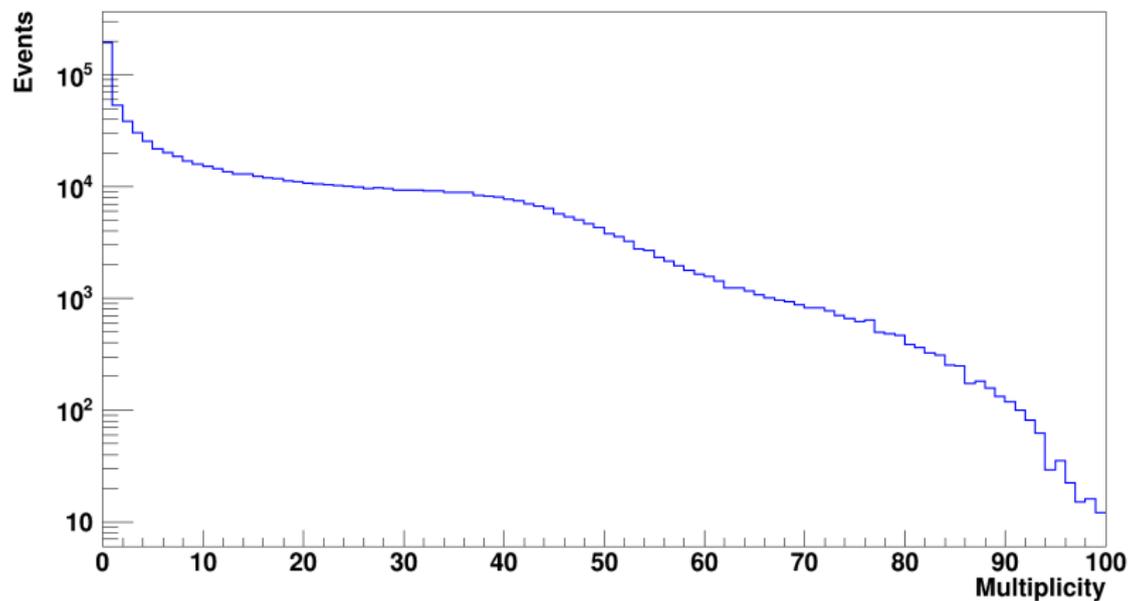


Figure 9: Distribución de multiplicidad.

Resultados

● Resultado de paso 4:

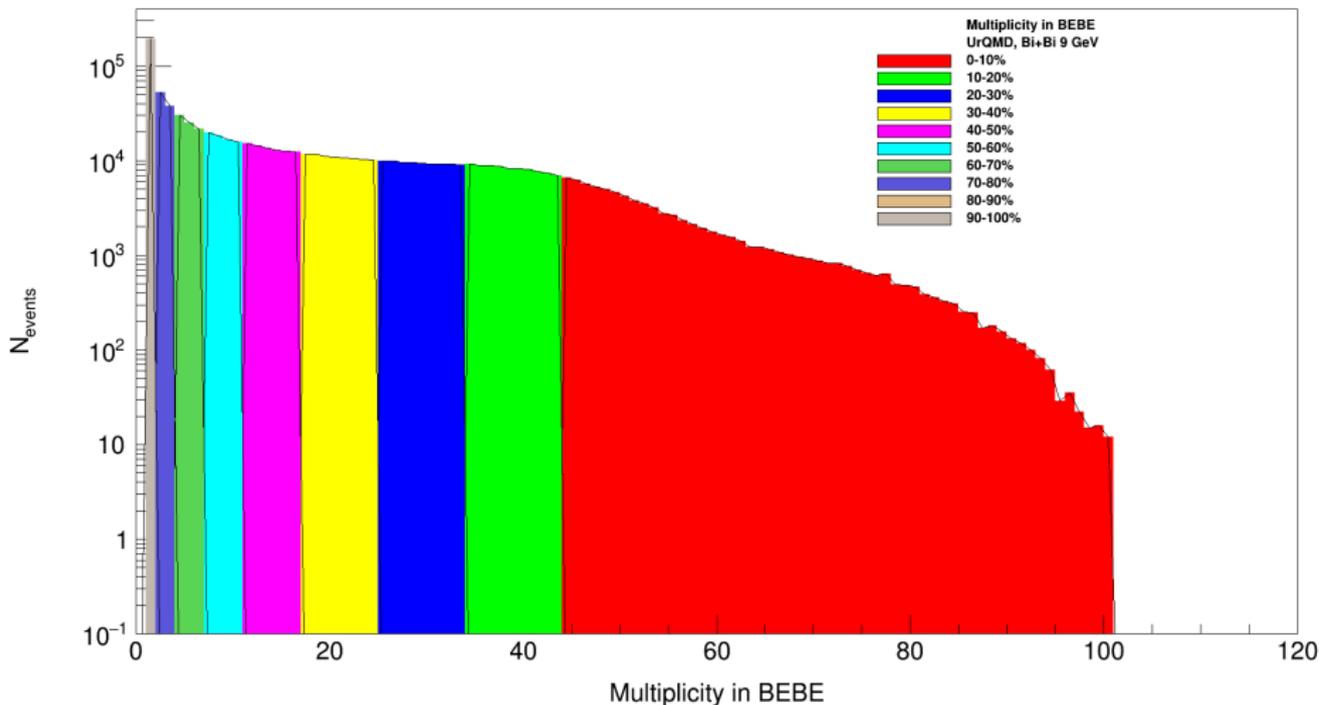


Figure 10: Distribución de multiplicidad dividida en clases de centralidad 22 / 25

Resultados

- Resultado de paso 5:

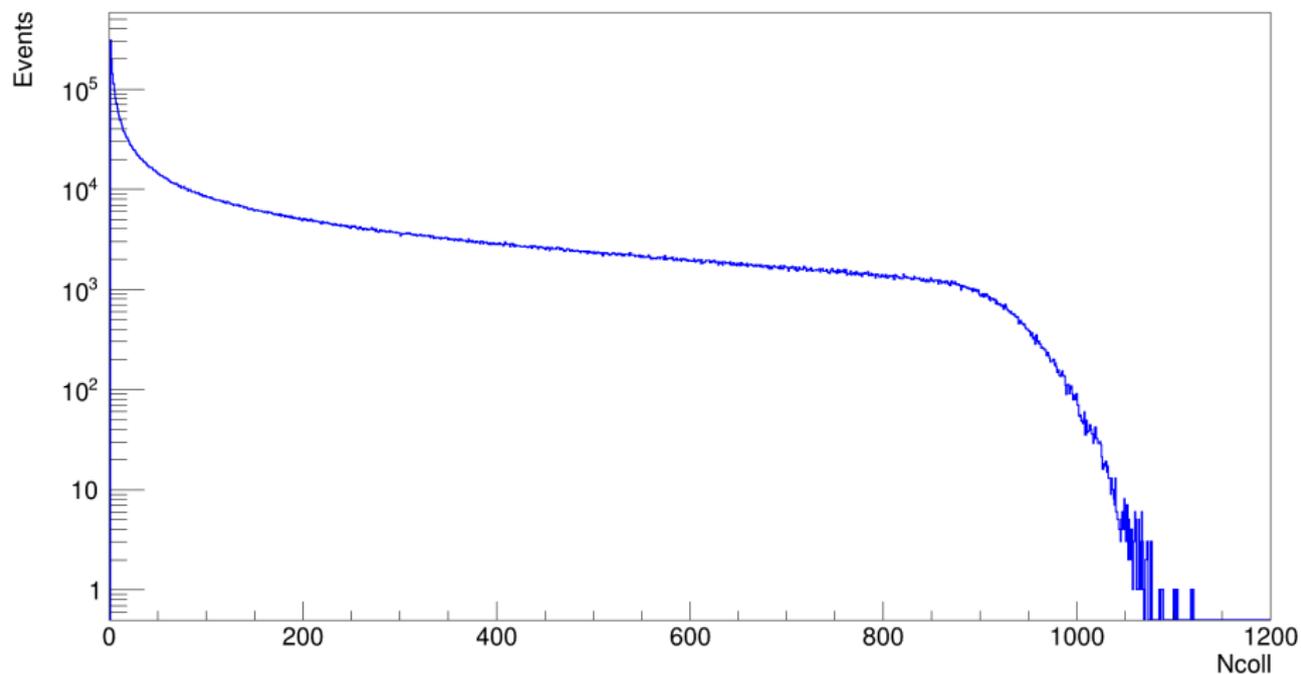


Figure 11: Distribución de N_{coll} .

Resultados

- Resultado de paso 5:

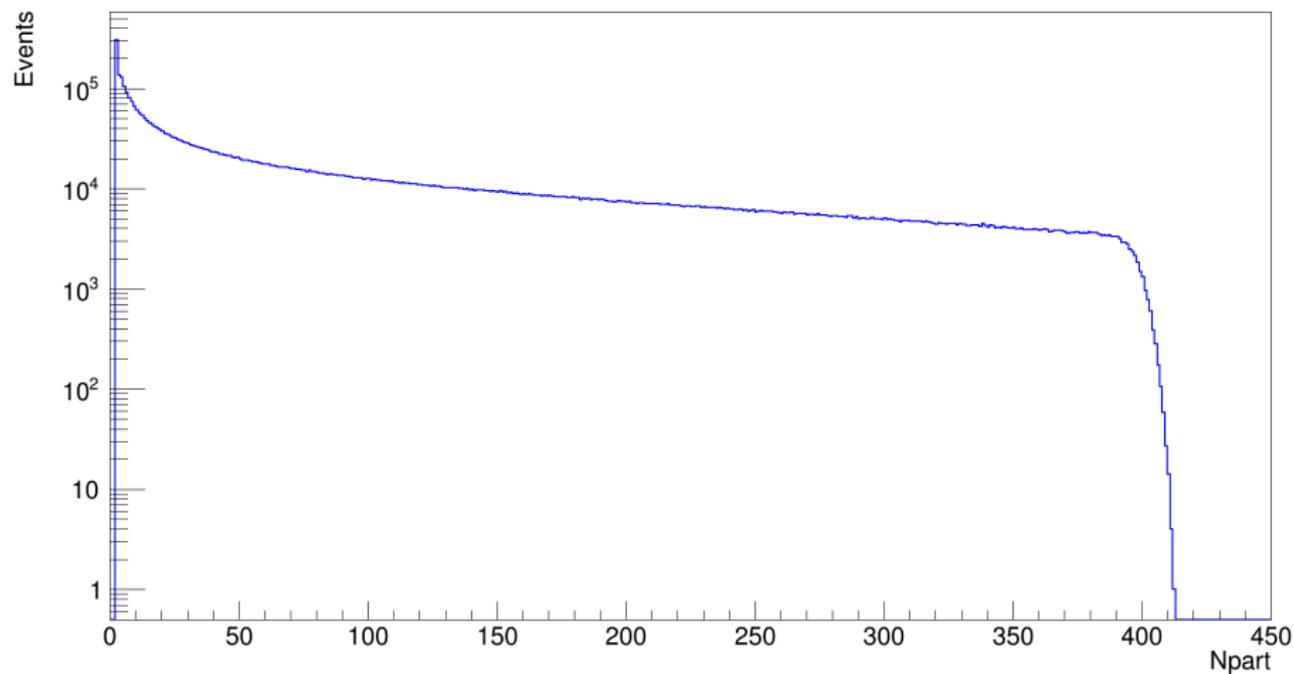


Figure 12: Distribución de N_{part} .

Resultados

- Resultado de paso 6:

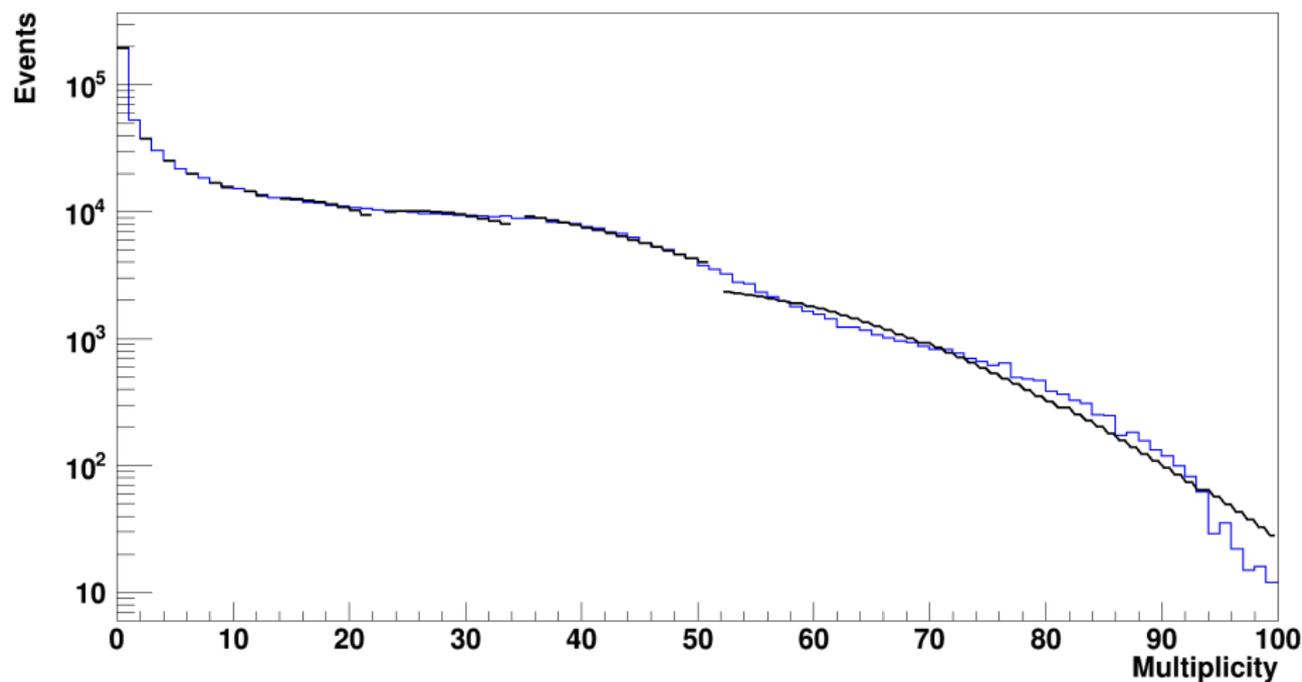


Figure 13: Ajuste de la NBD por regiones a la distribución de multiplicidad 25 / 25