

Sistema de simulación integrado por generador de eventos,  
simulador de geometría y analizador gráfico estadístico de datos,  
aplicado al caso de análisis de datos de interacciones nucleares a  
energías no relativistas

## Tópicos de investigación II Ticse Torres Royer.

Asesor: C. Javier Solano S.  
Universidad Nacional de Ingeniería.

17 de julio de 2010



## 1 Información básica.

- Reacciones nucleares a bajas energías
- Geant4 - Cómo trabaja?

## 2 El código ActarSim

- ACTAR
- Actarsim

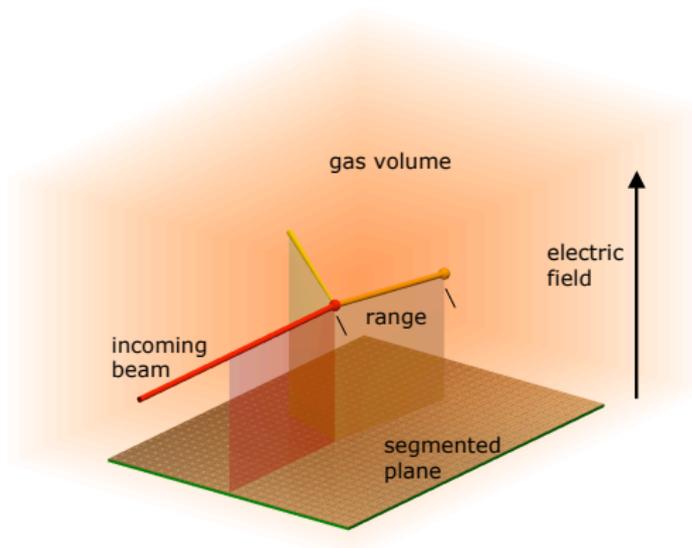
## 3 Aplicación

- Reacción  ${}^8\text{Li} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^8\text{Li}^*$
- Reacción  ${}^{78}\text{Ni} + d \rightarrow {}^{79}\text{Ni} + p$

## 4 Conclusiones



# Introducción



**Figura:** ACTAR es un detector de blanco activo que esencialmente es una cámara de ionización gaseosa.



## Clasificación con respecto al canal de salida.

1. Dispersion elástica ( $Q=0$ )



2. Dispersion inelástica ( $Q \neq 0$ )



3. Reacciones de transfrancia



- Entre las reacciones más estudiadas se encuentran las reacciones de *stripping*, en las que el proyectil cede un nucleón al núcleo blanco y las reacciones de *pick up*, donde el proyectil es el que “roba” un nucleón al blanco ( $^{78}\text{Ni} + d \rightarrow ^{79}\text{Ni} + p$ ).
- En las **reacciones con deuterones**. Cuando el deuterón se aproxima al núcleo, el neutrón puede entrar en el núcleo, siendo repelido el protón por la fuerza de coulomb. A causa de la elevada distancia entre el protón y el neutrón en un deuterón ( $10^{-13}\text{cm}$ ), el neutrón alcanza la superficie del núcleo mientras el protón está aún fundamentalmente fuera de la barrera de coulomb y como las fuerzas nucleares de enlace en el deuterón son bajas (2.23MeV) las fuerzas nucleares tienden a atrapar el neutrón rompiendo el deuterón. Este proceso es denominado proceso Oppenheimer-Phillips o proceso (O-P).



## Geant4.- Definiciones

- **Evento.** En física de altas energías la principal unidad de una ejecución experimental es un evento. En evento consiste en un conjunto de partículas primarias producidas en una interacción, y un conjunto de respuestas del detector a estas partículas.



## Geant4.- Definiciones

- **Evento.** En física de altas energías la principal unidad de una ejecución experimental es un evento. En evento consiste en un conjunto de partículas primarias producidas en una interacción, y un conjunto de respuestas del detector a estas partículas.
- **Tracking.** El seguimiento gestiona la contribución de los procesos a la evolución del estado del track o pista y proporciona información en volúmenes sensibles para el cual los datos pueden ser tomados en las colisiones y digitalización de los resultados.



- **Procesos Físicos.** Contiene la implementación de los procesos de transporte de las partículas y sus interacciones físicas.



- **Procesos Físicos.** Contiene la implementación de los procesos de transporte de las partículas y sus interacciones físicas.
- **Hit y Digitalización.** En Geant4 un hit es una acción instantánea de una interacción física o una acumulación de las interacciones de una pista o pistas en un componente sensible del detector. Una digitalización o dígito representa una salida, como una señal de disparo. Un dígito es creado a partir de uno o más hit y/o otros dígitos.



# ACTAR

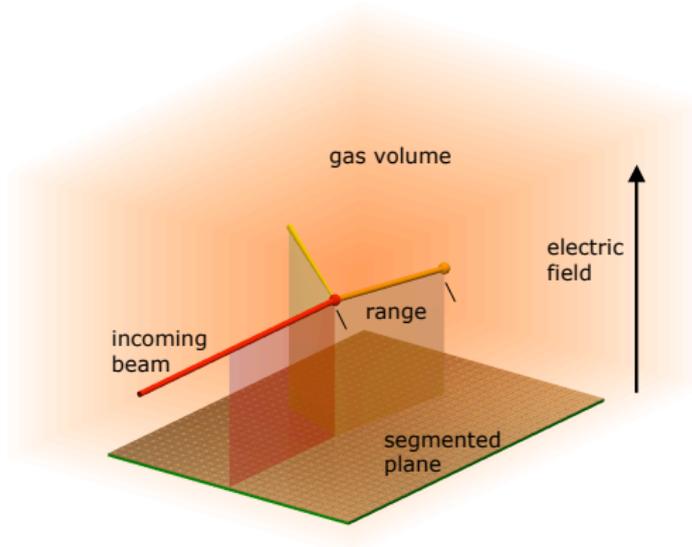
ACTAR (An ACtive TARget Detector) es un proyecto de investigación internacional en el que participan distintas instituciones de la Union Europea.

Se trata de un proyecto para desarrollar sistemas innovadores de detección de tipo blanco activo para estudiar la estructura de núcleos extremadamente exóticos por medio de reacciones directas de cinemática inversa.



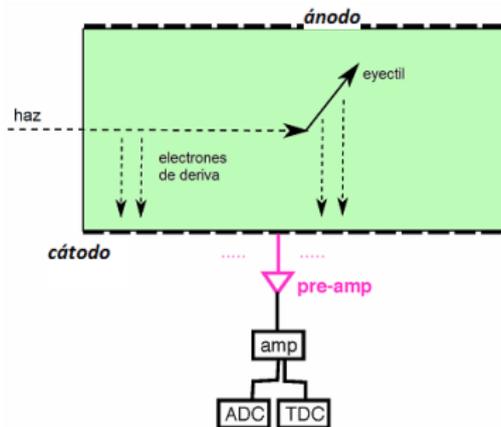
- **Reacciones directas.** Este tipo de reacciones tienen lugar en dos tiempos: el proyectil se acerca, interaccionando con el blanco, y emergen los productos. Son reacciones rápidas, donde el proyectil impacta en la superficie del núcleo, por lo que a veces también se las llama “superficiales” o “periféricas”.
- **Cinemática inversa.** Cuando se quieren estudiar núcleos inestables, debido a su corta vida media no se pueden producir blancos de estos núcleos, pues se desintegrarían antes de comenzar a medir. Sin embargo, es posible invertir el proceso y bombardear blancos estables con los núcleos radiactivos que se quieren estudiar. Esto es lo que se conoce como cinemática inversa.





**Figura:** ACTAR es un detector de blanco activo que esencialmente es una cámara de ionización gaseosa.





**Figura:** Cámara de ionización de geometría cubica. El haz entra en el volumen activo de la cámara e ioniza el gas, los electrones producidos derivan hacia el ánodo. Es posible que en la interacción con gas se produzca algun producto(eyectil)



Algunas características del blanco activo ACTAR se listan a continuación:

- Zona activa (gas).
- Campos Magnéticos externos.
- Amplificador tipo GEM (Gas Electron Multiplier).
- Plano catódico pixelado en pads.



# Actarsim

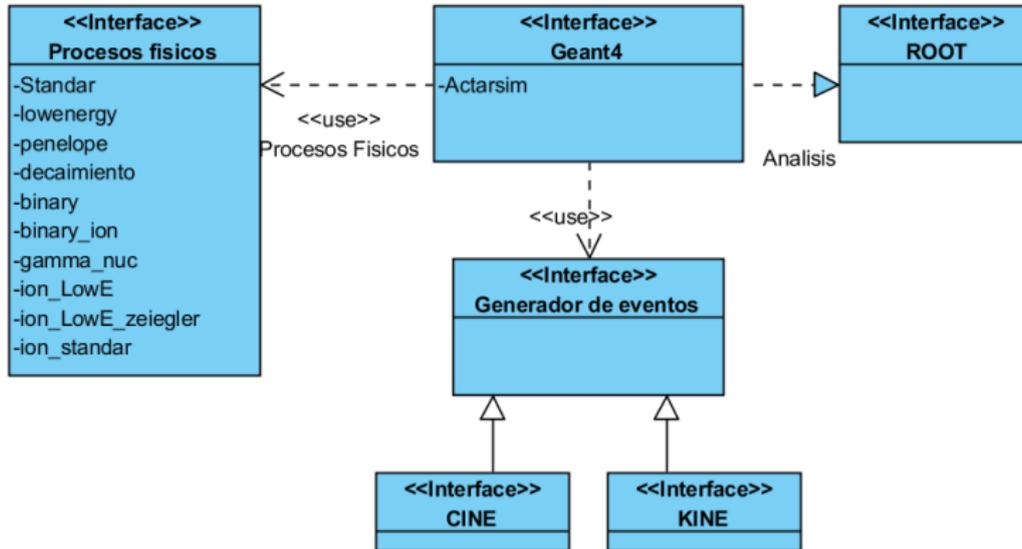


Figura: Diagrama del programa Actarsim



## Reacción ${}^8\text{Li} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^8\text{Li}^*$

Simulamos 1000 reacciones de la forma  ${}^8\text{Li} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^8\text{Li}^*$ , haces de  ${}^8_3\text{Li}$  en blancos de  ${}^4\text{He}$  mezclado con el isobutano en una cámara cuadrada de dimensiones  $1 \times 1 \times 2 \text{ m}^3$ , con  ${}^8_3\text{Li}^*$  dispersado en un estado de excitación de 1 MeV.



## Reacción ${}^8\text{Li} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^8\text{Li}^*$

Simulamos 1000 reacciones de la forma  ${}^8\text{Li} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^8\text{Li}^*$ , haces de  ${}^8_3\text{Li}$  en blancos de  ${}^4\text{He}$  mezclado con el isobutano en una cámara cuadrada de dimensiones  $1 \times 1 \times 2 \text{ m}^3$ , con  ${}^8_3\text{Li}^*$  dispersado en un estado de excitación de 1 MeV.

- **Procesos físicos:** Se agregan los procesos asociados a la interacción de las partículas que interaccionan.

```
/ActarSim/phys/addPhysics standard  
/ActarSim/phys/addPhysics decay  
/ActarSim/phys/addPhysics elastic  
/ActarSim/phys/addPhysics binary  
/ActarSim/phys/addPhysics binary_ion  
/ActarSim/phys/addPhysics gamma_nuc
```



## Geometría:

El código permite simular un volumen de gas con geometría de caja, es posible especificar las dimensiones de la cámara, dando los valores de la semilongitud de cada lado.

```
/ActarSim/det/setDetectorGeometry box  
/ActarSim/det/setXLengthGasBox 0.5 m  
/ActarSim/det/setYLengthGasBox 0.5 m  
/ActarSim/det/setZLengthGasBox 1 m
```

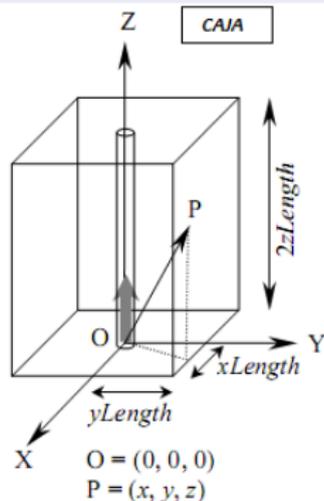


Figura: Posición de los ejes en la geometría de caja



Aislamiento para el haz, tubo de radio 50.001mm, radio interno 50mm y longitud 1m.

```
/ActarSim/det/setInnerRadiusBeamShieldTub 50 mm
```

```
/ActarSim/det/setRadiusBeamShieldTub 50.001 mm
```

```
/ActarSim/det/setLengthBeamShieldTub 1 m
```

**Materiales:** Gas isobutano en condiciones estandar ( $T = 273,15\text{ K}$  y  $P = 1\text{ atm}$ ) como gas de detección estándar. Este gas orgánico pesado se usa principalmente para obtener un poder de frenado alto. Además nuestro material universo es el vacío (galactic), y el material del tubo donde se encuentra el haz incidente es hierro.

```
/ActarSim/det/setGasMat isoC4H10STP
```

```
/ActarSim/det/setMediumMat Galactic
```

```
/ActarSim/det/setBeamShieldMat Iron
```



**Generacion de eventos:** Se puede controlar la generacion de eventos, en este caso sigue una reaccion calculada por KINE. La salida de KINE son los angulos y energías de ión incidente y dispersado despues de la interacción, que son utilizados como datos de entrada para el montecarlo realizado por Geant4.

```
/ActarSim/gun/reactionFromKine on  
/ActarSim/gun/Kine/randomTheta on  
/ActarSim/gun/Kine/randomThetaVal 0.0 180.0  
/ActarSim/gun/Kine/incidentIon 3 8 3 0.0  
/ActarSim/gun/Kine/targetIon 2 4 2 0.0  
/ActarSim/gun/Kine/scatteredIon 3 8 3 1.0  
/ActarSim/gun/Kine/recoilIon 2 4 2 0.0  
/ActarSim/gun/Kine/labEnergy 70 MeV
```



**Control de la salida**, para el  
almacenamiento de los datos en un  
archivo .root  
`/ActarSim/analControl/storeTracks on`  
`/ActarSim/analControl/storeTrackHisto`  
`on`  
`/run/beamOn 1000`

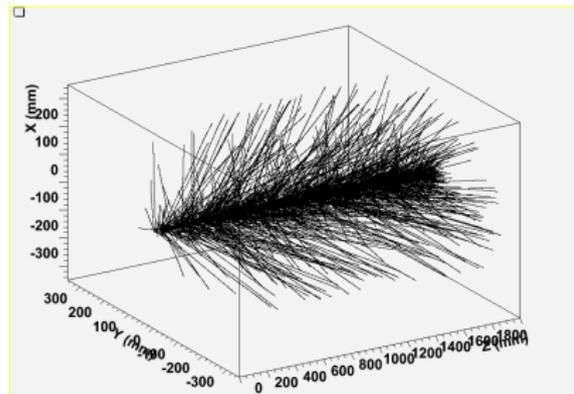


Figura: Geometria Caja



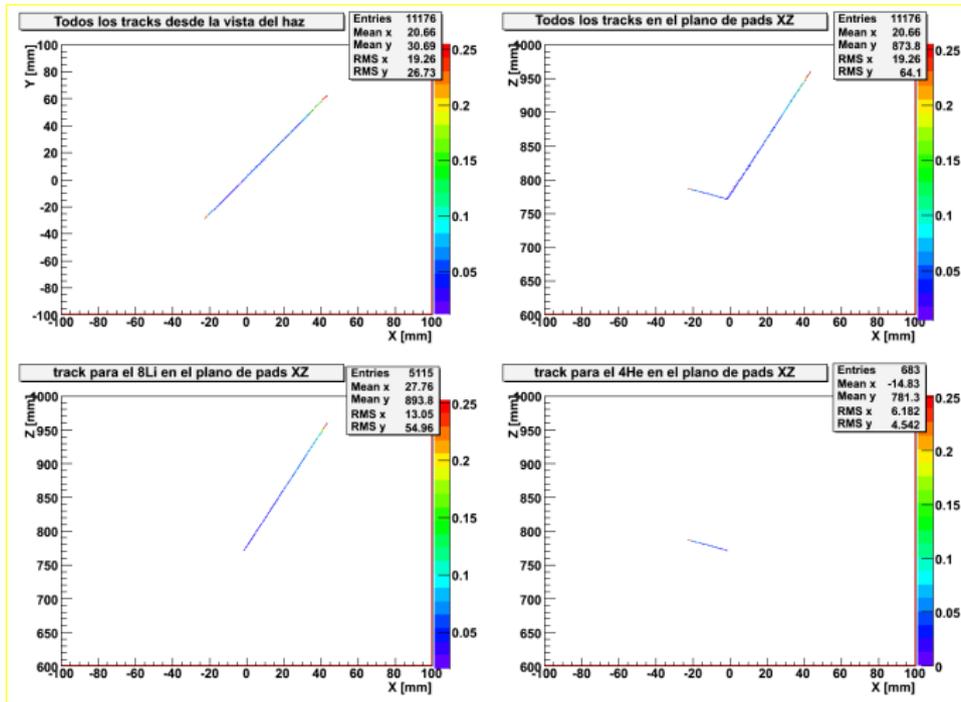


Figura: Track para un solo evento,



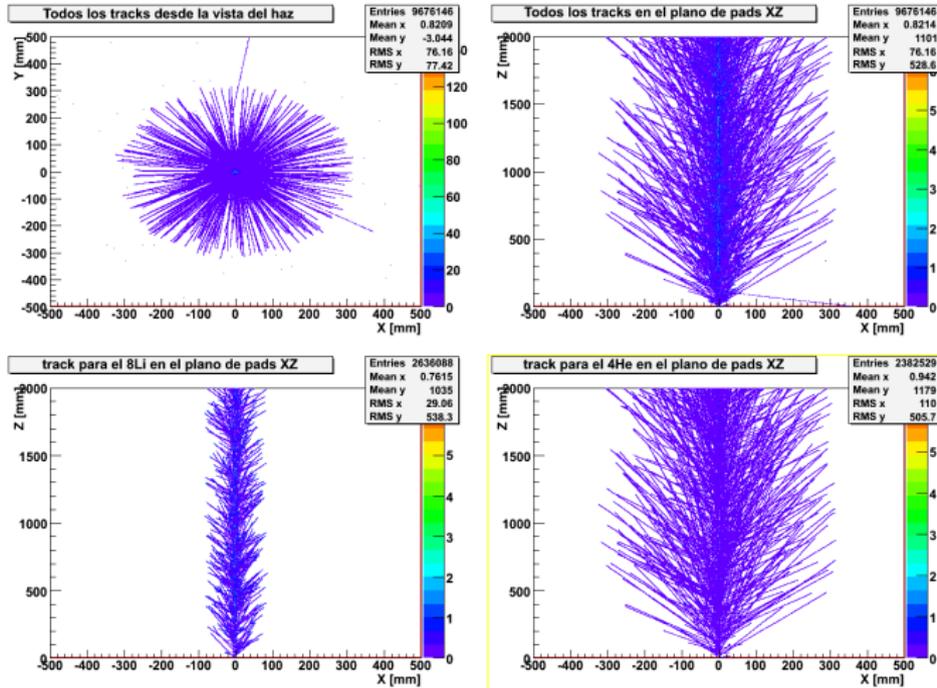


Figura: Tracks 1000 eventos



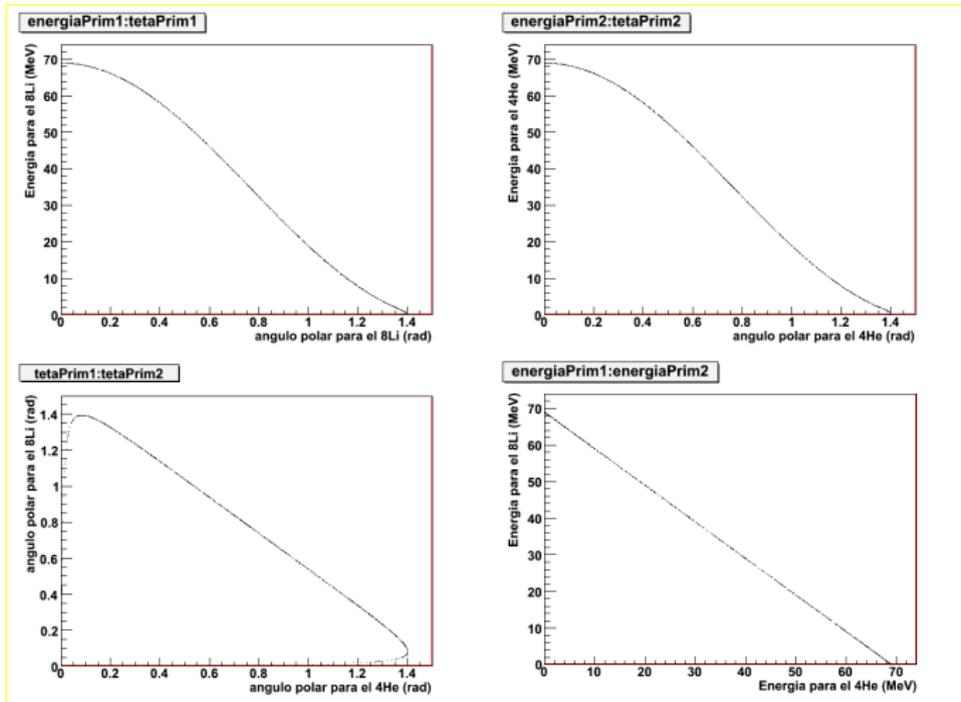


Figura: Cinemática de la reacción  ${}^8\text{Li} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^8\text{Li}^*$



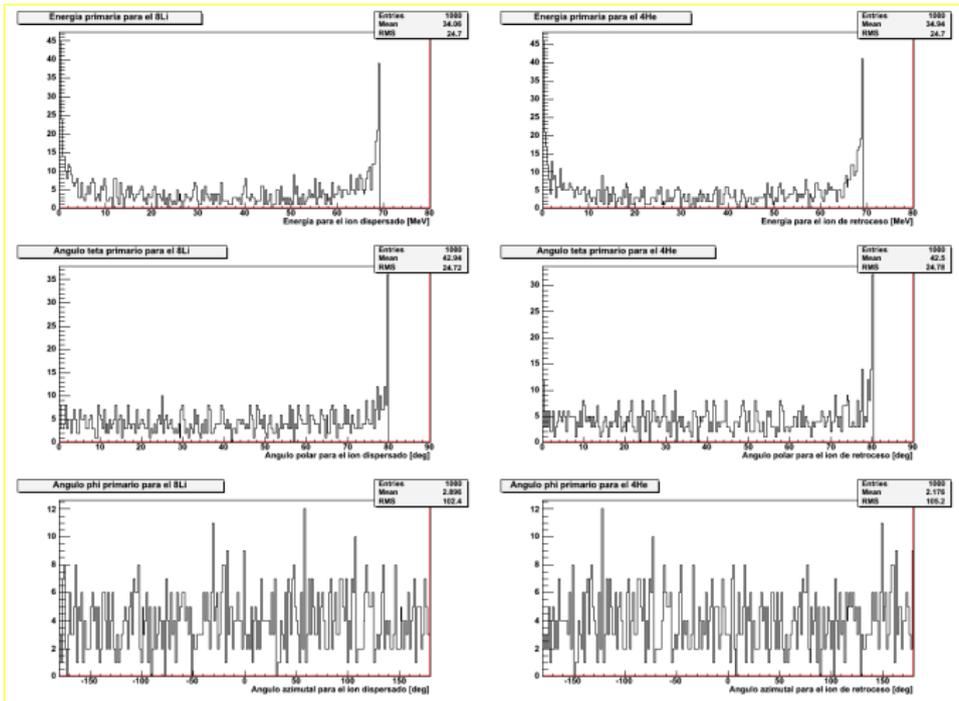


Figura: Histogramas de energía y ángulos  $\phi, \theta$  para el ion dispersado y el ion de retroceso.



# Reacción ${}^{78}\text{Ni} + d \rightarrow {}^{79}\text{Ni} + p$

## Condiciones de simulación

- Energía del haz incidente 780MeV.
- Geometría caja de  $50 \times 30 \times 50 \text{cm}^3$
- Gas deuterio a una presión de 400 mbar y temperatura 300K.
- Usamos el generador de eventos el programa Kine, la posición del vertice en  $(0, 0, 0)$ .

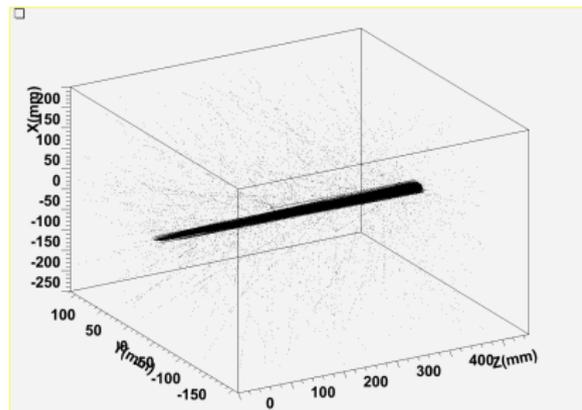


Figura: Geometría Caja



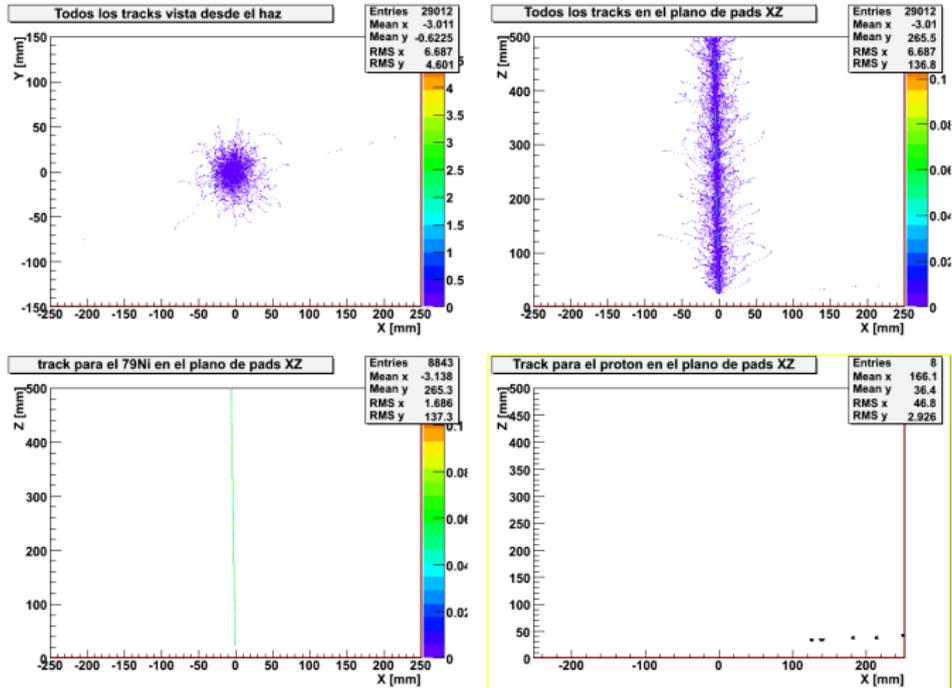


Figura: Track para un solo evento.



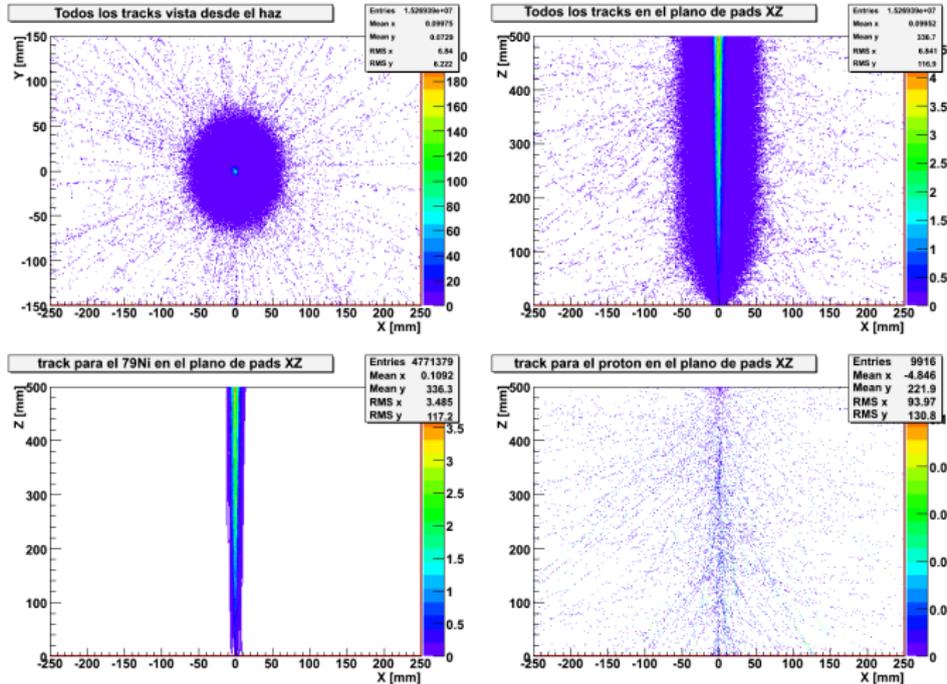


Figura: Tracks - 1000 eventos  ${}^{78}\text{Ni} + d \rightarrow {}^{79}\text{Ni} + p$ , se aprecia la salida del  ${}^{79}\text{Ni}$  hacia delante con ángulos muy pequeños y el protón en todas las



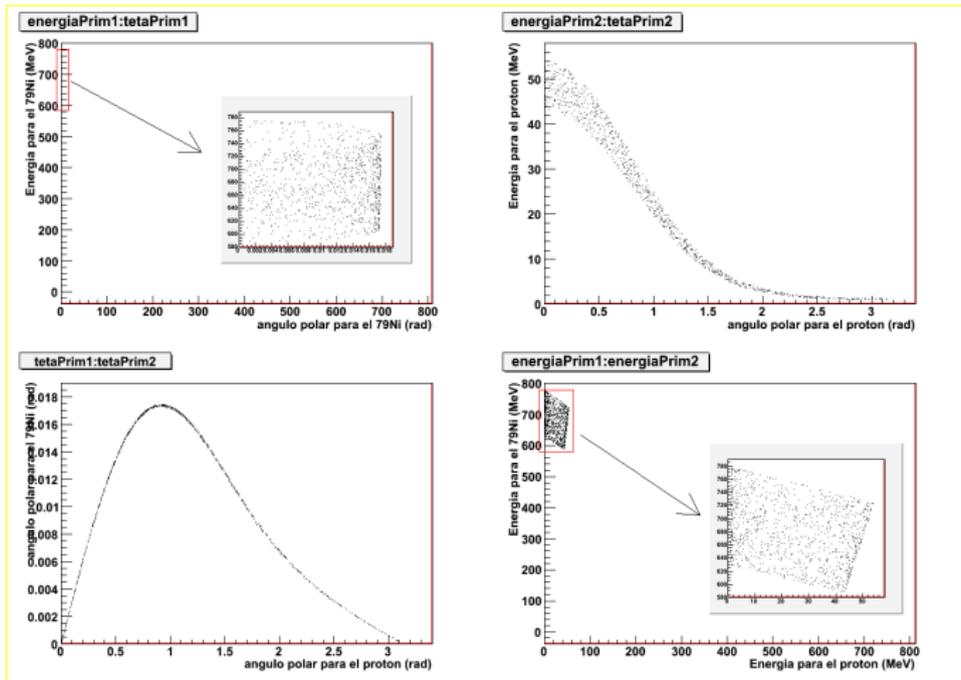


Figura: Cinemática de la reacción, El  ${}^{79}\text{Ni}$  sale a energías altas ( $580\text{MeV} < E_{{}^{79}\text{Ni}} < 780\text{MeV}$ ) y ángulos menores a  $1^\circ$ , mientras que el protón cubre energías menores ( $E_p < 55\text{MeV}$ )



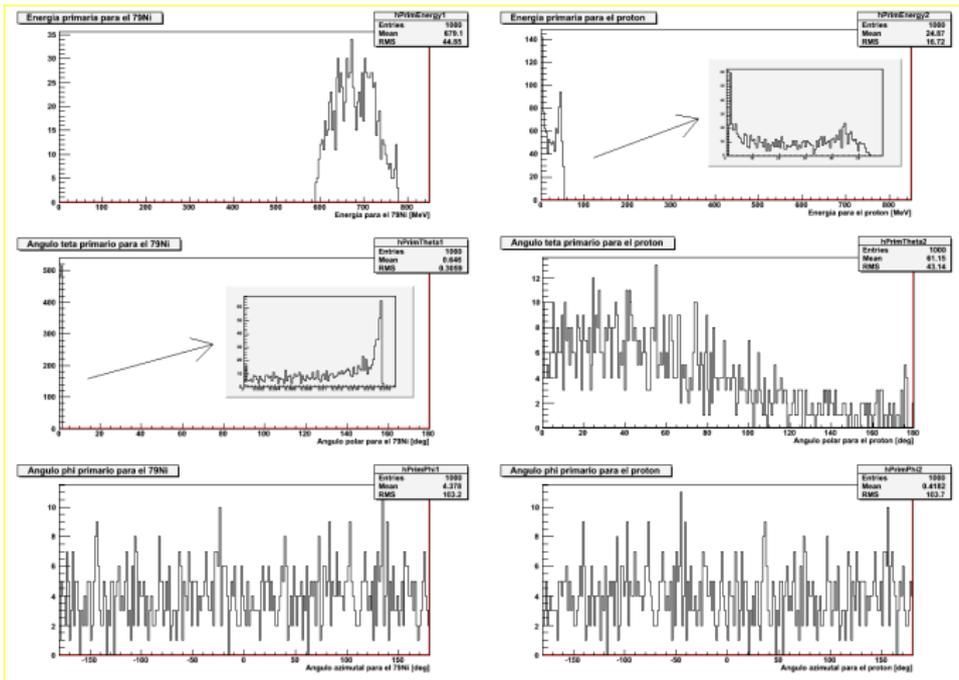


Figura: Histogramas de energía y ángulos  $\phi$ ,  $\theta$ , como se esperaba el ángulo azimutal cubre todo el rango aleatoriamente.



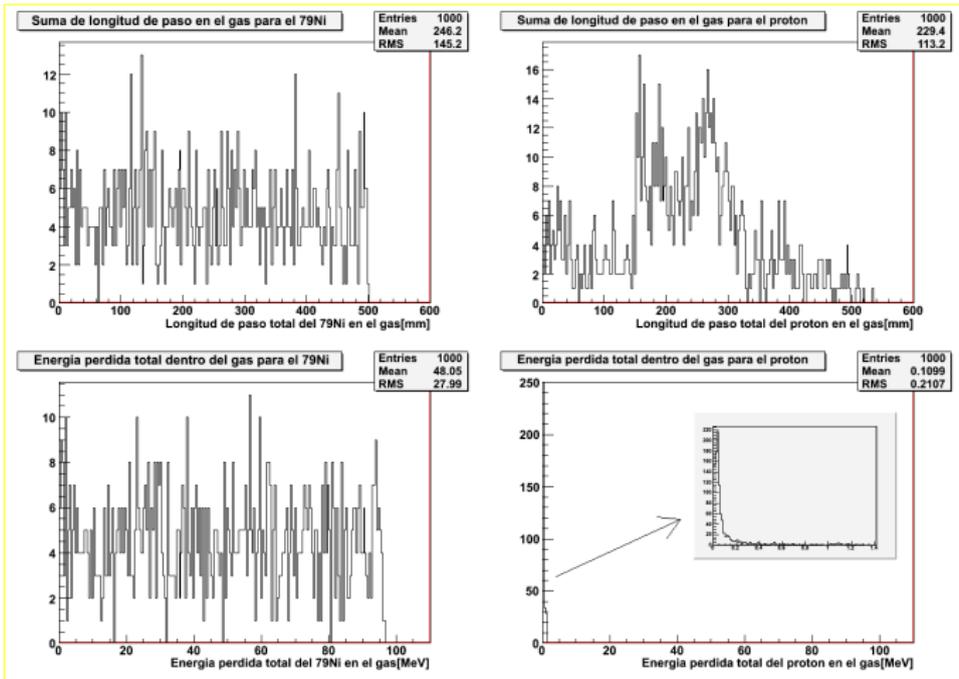


Figura: Energía depositada y longitud recorrido en el gas, a partir de estos valores es posible que algunos de los productos se detengan en el detector.



## Conclusiones

Se ha echo un estudio de dos reacciones a bajas energías en un detector gaseoso de tipo blanco activo, en el que el gas relleno actua al mismo tiempo como blanco y como medio detector. Para estos estudios se ha utilizado un código de simulación que utiliza las librerías de Geant4, con el que se ha simulado un volumen de gas de geometría caja y las interacciones de los productos con el gas. Para la generación de eventos usamos el programa Kine y se usa una interfaz con Root para el análisis de datos. Todo esto en un sólo código denominado Actarsim.



Una de las reacciones simuladas es la reacción  $^{78}\text{Ni} + d \rightarrow ^{79}\text{Ni} + p$ , la cinemática de esta reacción permite que los protones salgan en todo el espectro angular incluso hacia atrás con bajas energías ( $E_p < 55\text{MeV}$ ) y es posible que se detenga en el detector. Además la cinemática de ambos productos es claramente diferente el producto pesado  $^{79}\text{Ni}$  sale a energías muy altas ( $580\text{MeV} < E_{^{79}\text{Ni}} < 780\text{MeV}$ ) y ángulos menores a  $1^\circ$ , por lo que se espera que sea fácil distinguir a un núcleo de otro en cuanto a energía y el ángulo con lo que salen al producirse la reacción.



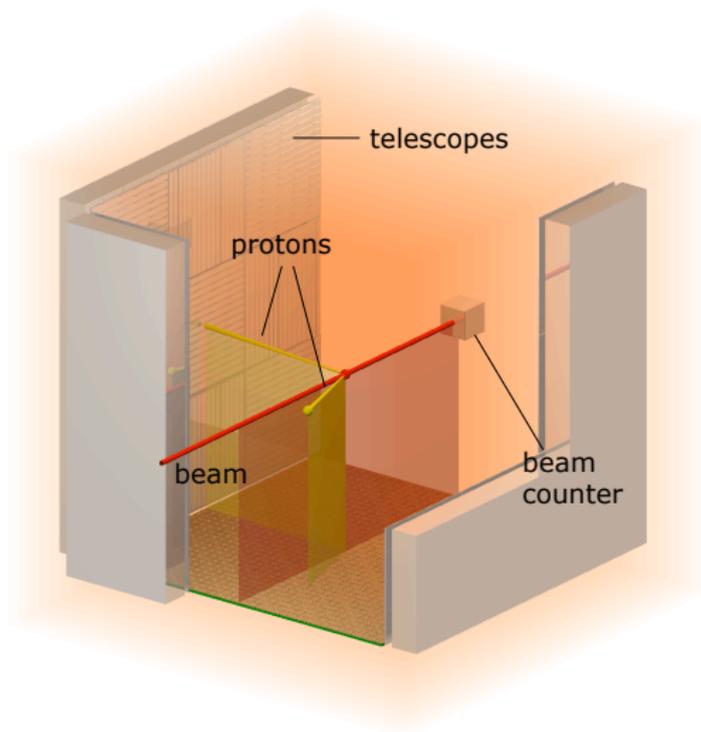


Figura:  $^{78}\text{Ni}(d, p)^{79}\text{Ni}$

