



Trabajo para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados

PENELOPET: UN ENTORNO DE SIMULACIÓN MONTE CARLO PARA LA TOMOGRAFÍA POR EMISIÓN DE POSITRONES

Autor: *Samuel España Palomares*

Tutor: *José Manuel Udías Moinelo*

**Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear
Universidad Complutense de Madrid**

Valencia, 8 de Septiembre de 2006

CURSOS DE DOCTORADO DE FÍSICA NUCLEAR

- ES

- RE

- FÍS

- FÍS

- FÍS



- FÍSICA NUCLEAR A ENERGÍAS INTERMEDIAS

PARTICIPACION EN PROYECTOS DE INVESTIGACION

- Consorcio para el Desarrollo de Tecnología Avanzada de Imagen Médica. - ***Ministerio de Industria (CENIT)***
- Modelización de detectores de alta resolución para PET. Métodos de reconstrucción estadísticos de alto rendimiento - ***Instituto de Salud Carlos III (FIS)***

PUBLICACIONES

TÍTULO: FIRST: “Fast Iterative Reconstruction Software for (PET) Tomography”

AUTORES: : J.L. Herraiz, *S. España*, J.J. Vaquero, M. Desco, J.M. Udias

PUBLICACIÓN: Phy Med Biol, Vol 51 (2006) 4547- 4565

TÍTULO: “Full 3D-OSEM reconstruction with compressed response of the system”

AUTORES: J. L. Herraiz, *S. España*, J. J. Vaquero, M. Desco, J. M. Udias

PUBLICACIÓN: Conference Nucl Sci Symp Conf Rec, 2004 IEEE, Vol 5

TÍTULO: “Statistical Reconstruction Methods in PET: Resolution Limit, Noise and Edge Artifacts”

AUTORES: JL Herraiz, *S España*, JM Udias , JJ Vaquero, M. Desco

PUBLICACIÓN: Nucl Sci Symp Conf Rec, 2005 IEEE, Vol 4, 5 pp.

TÍTULO: “Quasi pseudo-inverse reconstruction for rotating PET scanners”

AUTORES: Sanchez-Gonzalez, J *España, S.*; Abella, M.; Vaquero, J.J.; Lage, E.; Pascau, J.; Desco, M.

PUBLICACIÓN: Nucl Sci Symp Conf Rec, 2005 IEEE, Vol 5, 2704 - 2707

PROPUESTAS TÉCNICAS

ALBA -
investi
gamma
Barcelo

R3B - T
Comiss

ELISe -
Constr
setup.



de
rayos
ción de

uction,

e ELISe

PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS

•**CONGRESO:** *Medical Imaging Conference 2004*

CENTRO: *Roma*

TÍTULO DE LA PRESENTACIÓN: *Full 3D-OSEM Reconstruction with Compressed Response of the System.*

AUTORES: *J.L.Herraiz, S. España, J.M.Udías, J.J.Vaquero, M.Desco*

TIPO DE PRESENTACIÓN: *Poster*

FECHAS: *16-23 Octubre 2004*

•**CONGRESO:** *Medical Imaging Conference 2005*

CENTRO: *Fajardo (Puerto Rico)*

TÍTULO DE LA PRESENTACIÓN: *Statistical Reconstruction Methods in PET: Resolution Limit, Noise and Edge Artifacts.*

AUTORES: *J.L.Herraiz, S. España, J.M.Udías, J.J.Vaquero, M.Desco*

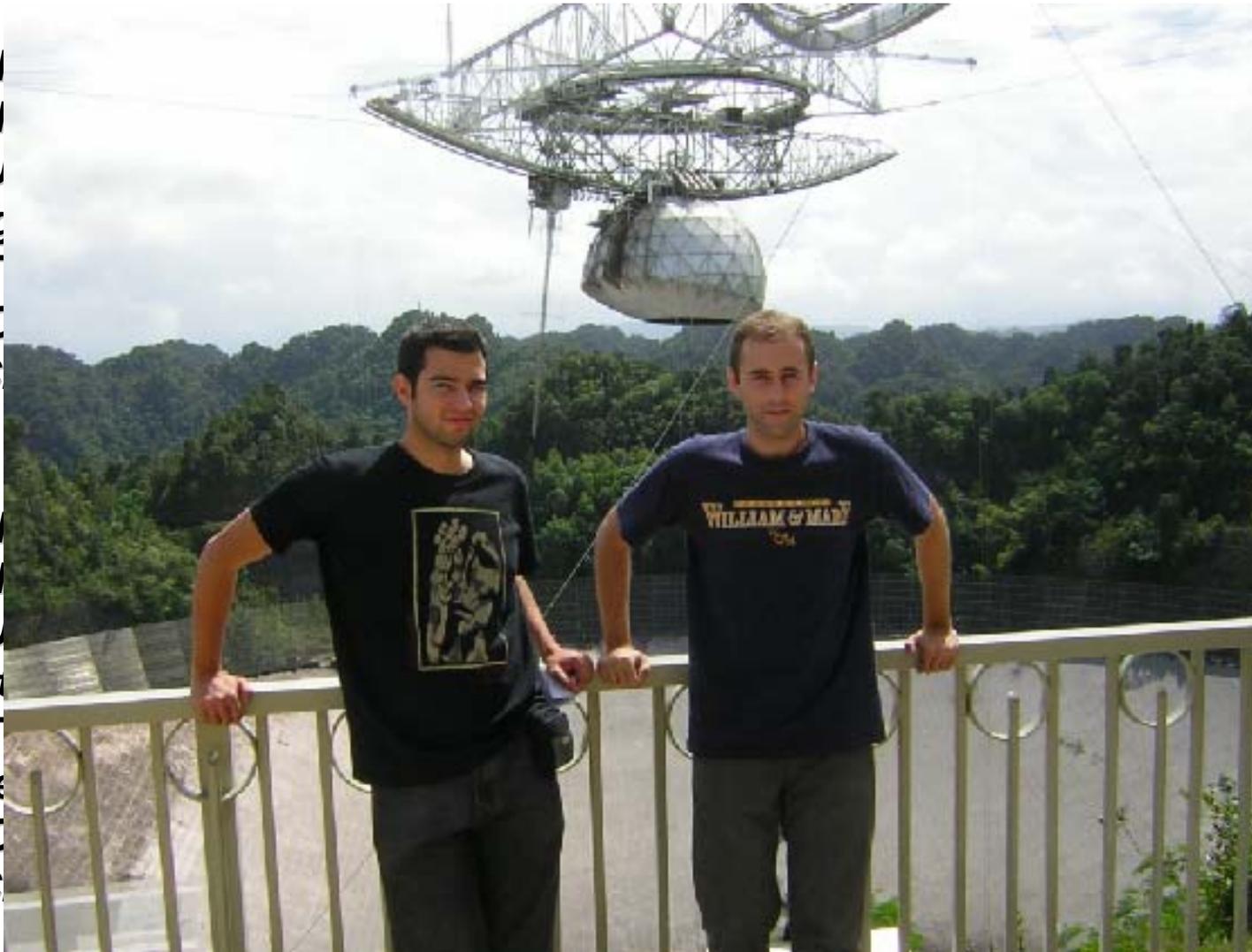
TIPO DE PRESENTACIÓN: *Poster*

FECHAS: *23-29 Octubre 2005*

PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS

•CON
CEN
TÍTU
Imag
AUT
TIPC
FEC

•CON
CEN
TÍTU
rota
AUT
Lage
TIPC
FEC



ción de

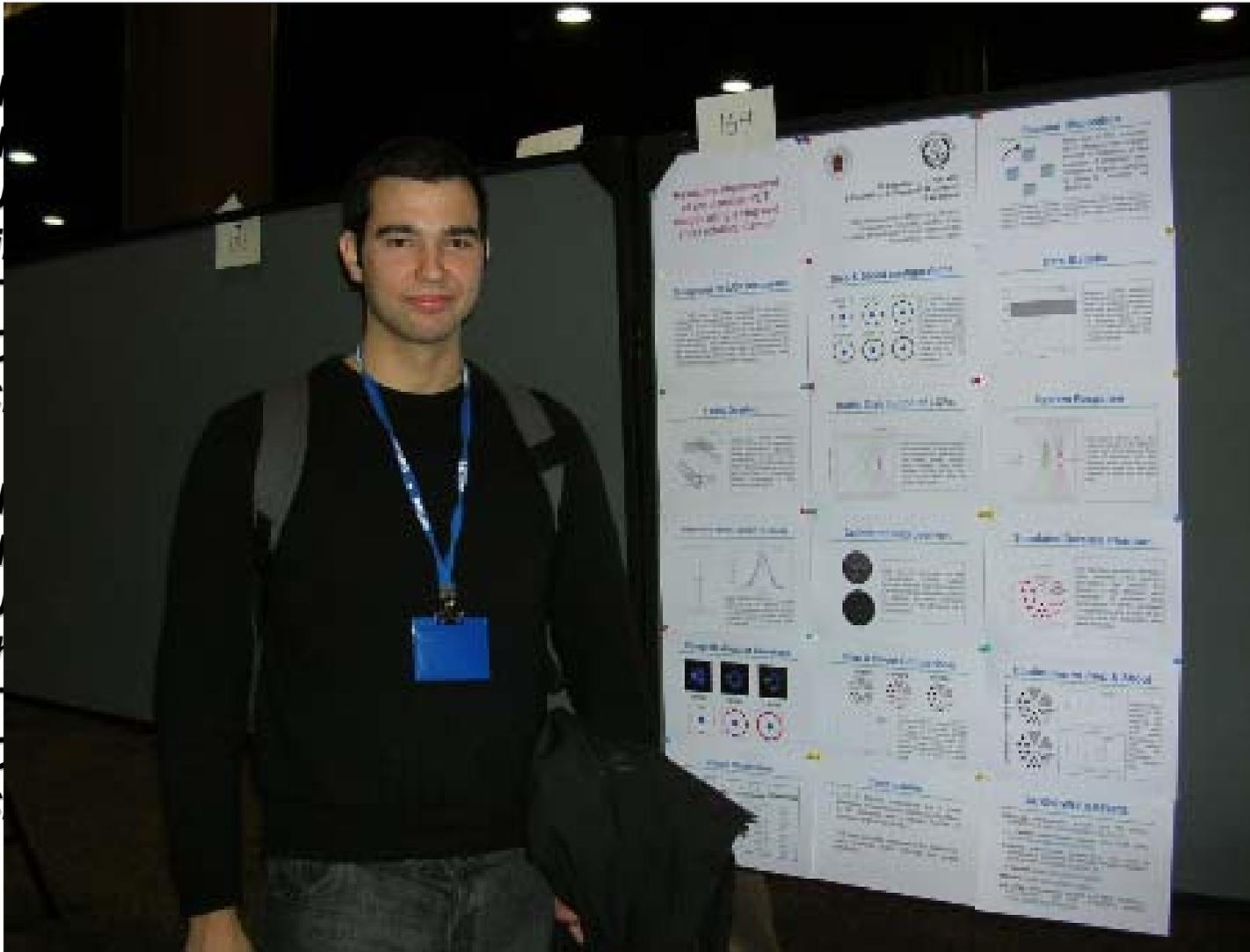
tion for

J.J.;

PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS

•CONGRESO
CENTRO
TÍTULO
Optimización
AUTOMÁTICA
TIPO
FEC

•CONGRESO
CENTRO
TÍTULO
Métodos
AUTOMÁTICOS
TIPO
FEC



2006

2006

PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS

•**CONGRESO:** *Accademy of Molecular Imaging. Annual Conference 2006*

CENTRO: *Orlando (USA)*

TÍTULO DE LA PRESENTACIÓN: *Resolution Improvement of small animal PET images using a step and shoot rotating scanner.*

AUTORES: *J.L.Herraiz, S. España, J.J.Vaquero, M.Desco, J.M.Udías*

TIPO DE PRESENTACIÓN: *Poster*

FECHAS: *25-29 Marzo 2006*

•**CONGRESO:** *Euromedim 2006*

CENTRO: *Marsella (Francia)*

TÍTULO DE LA PRESENTACIÓN: *Study of randoms-induced artefacts in several small animal PET scanners.*

AUTORES: *J.L.Herraiz, S. España, J.J.Vaquero, M.Desco, J.M.Udías*

TIPO DE PRESENTACIÓN: *Poster*

FECHAS: *9-12 Mayo 2006*

PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS

•CON
CENT
TÍTUL
appli
AUTOC
TIPO
FECH

•CON
CENT
TÍTUL
Of Pe
Radi
AUTOC
TIPO
FECH



olution
et

PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS

•C
CE
TÍ
me
AU
TI
FE

•C
CE
TÍ
Si
AU
TI
FE



da en
s

CO

PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS

•**CONGRESO:** *Medical Imaging Conference 2006*

CENTRO: *San Diego (EEUU)*

TÍTULO DE LA PRESENTACIÓN: *Normalization in 3D PET: Dependence on the Activity Distribution of the Source*

AUTORES: *E. Vicente, J.L.Herraiz, S. España, J.M.Udías, J.J.Vaquero, M.Desco*

TIPO DE PRESENTACIÓN: *Poster*

FECHAS: *29 Octubre – 4 Noviembre 2006*

•**CONGRESO:** *Medical Imaging Conference 2006*

CENTRO: *San Diego (EEUU)*

TÍTULO DE LA PRESENTACIÓN: *Optimal and Robust Filter for PET Data Based on the System Response Matrix*

AUTORES: *J.L.Herraiz, S. España, J.M.Udías, J.J.Vaquero, M.Desco*

TIPO DE PRESENTACIÓN: *Poster*

FECHAS: *29 Octubre – 4 Noviembre 2006*

BECAS DISFRUTADAS

• BECA DE LA FUNDACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA DEL HOSPITAL GREGORIO MARAÑÓN

1-AGOSTO-2003 – 31-DICIEMBRE-2004

• BECA DE LA FUNDACIÓN GENERAL DE LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE

1-ENERO-2005 – 31-DICIEMBRE-2006

1. Introducción al PET

2. Simulador PENELOPE

3. Características de PeneloPET

4. Resultados de Simulaciones

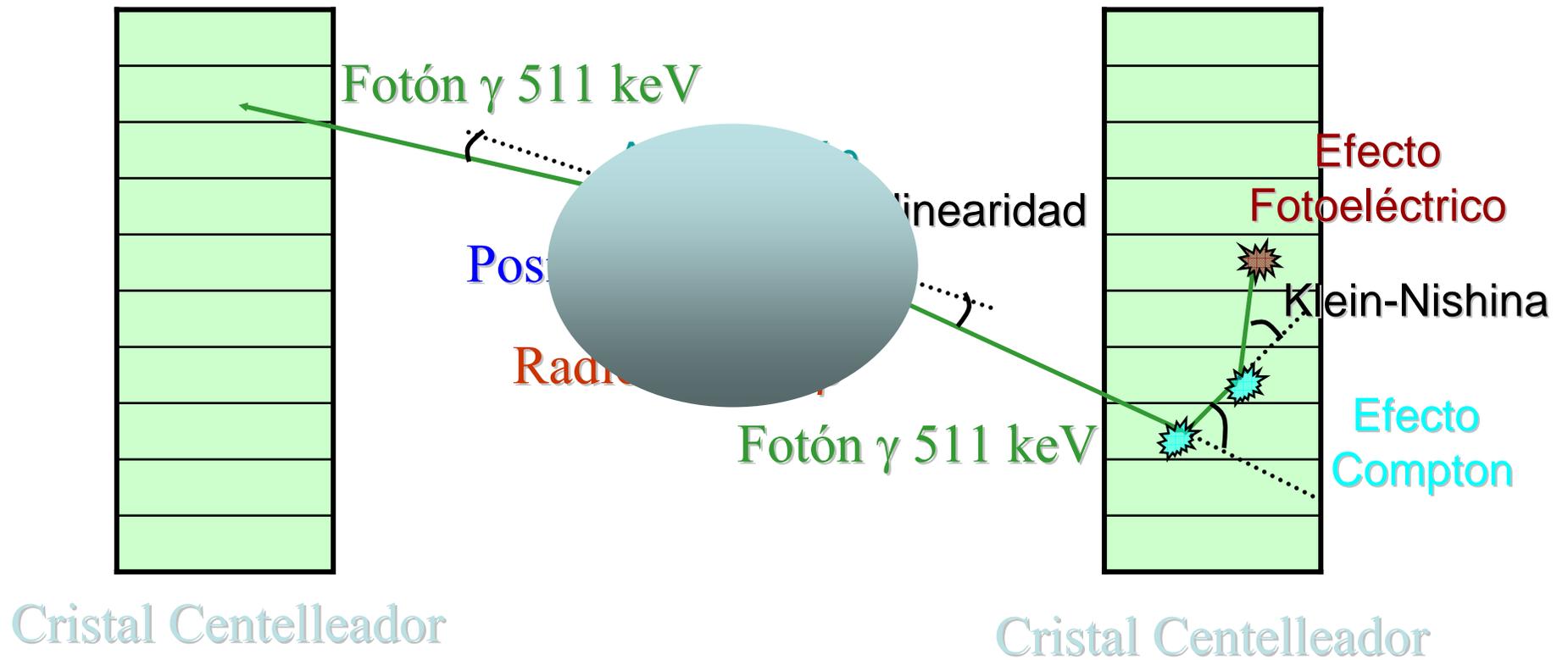
1. Introducción al PET

2. Simulador PENELOPE

3. Características de PeneloPET

4. Resultados de Simulaciones

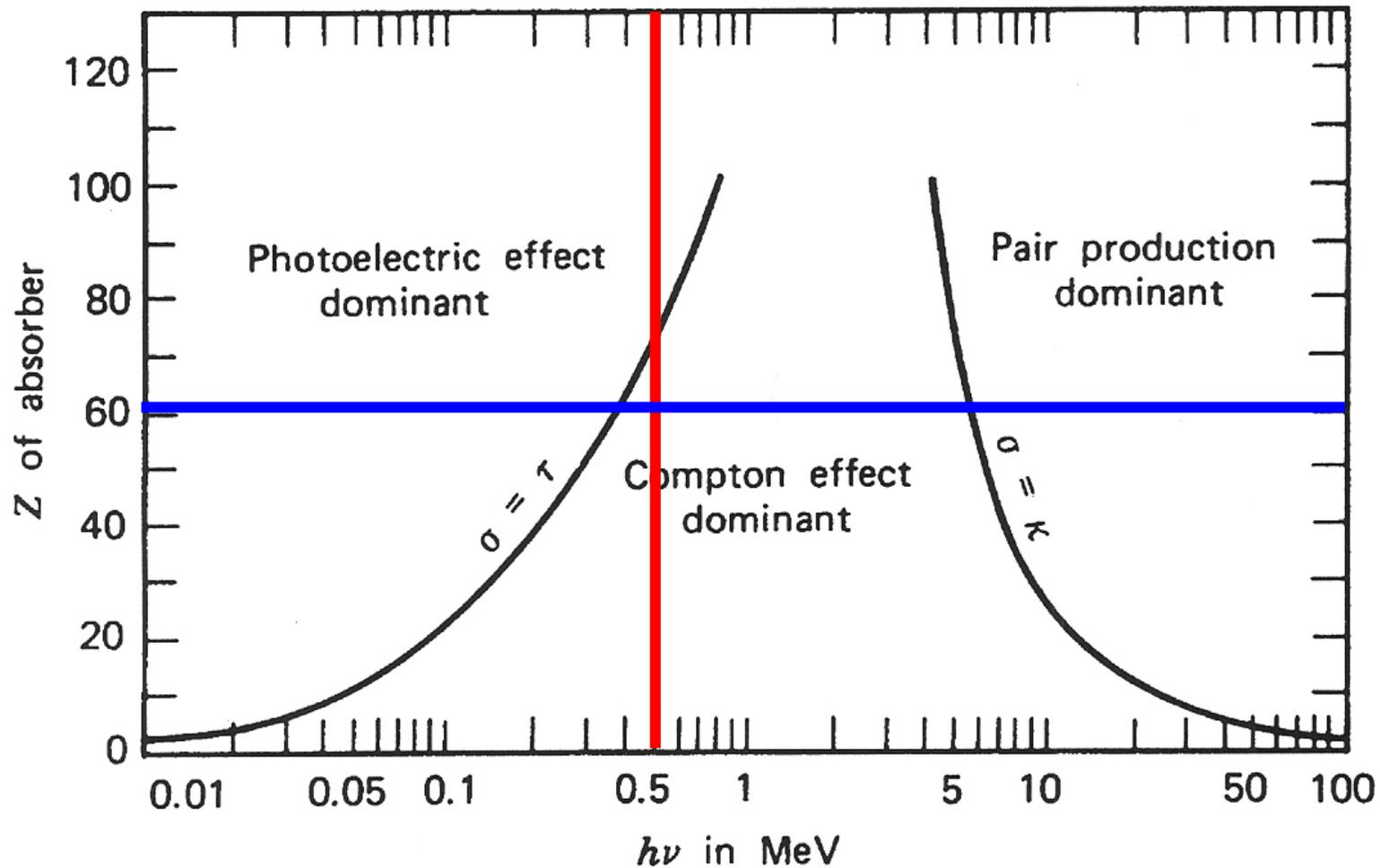
LA FÍSICA DEL PET



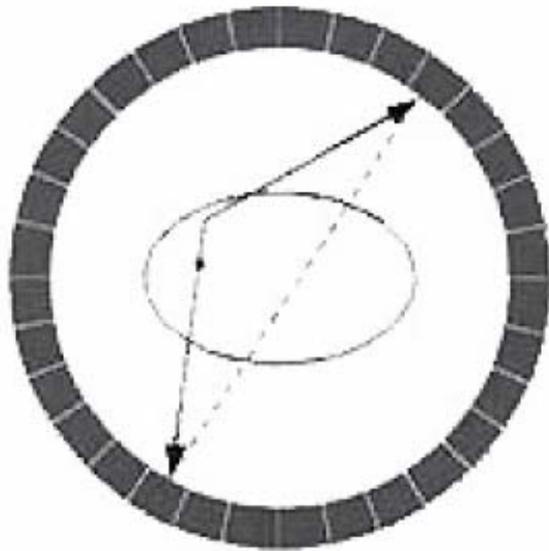
CENTELLEADORES

	NaI	BaF₂	BGO	LSO	GSO
Z efectivo	51	54	74	66	59
Coeficiente atenuación lineal (cm⁻¹)	0.34	0.44	0.92	0.87	0.62
Índice de refracción	1.85	---	2.15	1.82	1.85
Producción de luz [%NaI:TI]	100	5	15	75	41
Longitud de Onda (nm)	410	220	480	420	430
Constante decaimiento (nS)	230	0.8	300	40	56
Fragilidad	Sí	Sí	No	No	No
Higroscópico	Sí	No	No	No	No

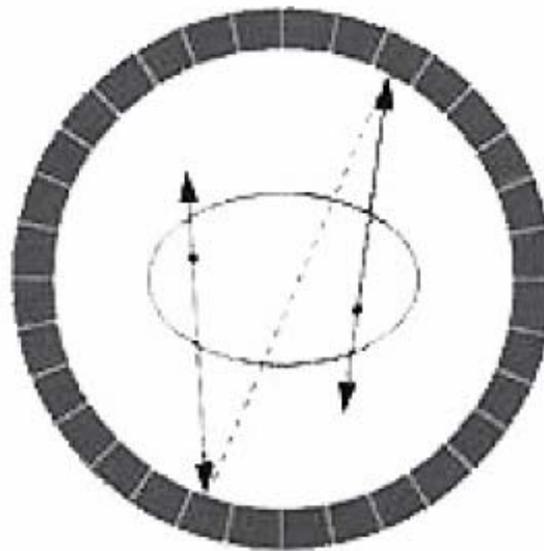
INTERACCIÓN RADIACIÓN- MATERIA



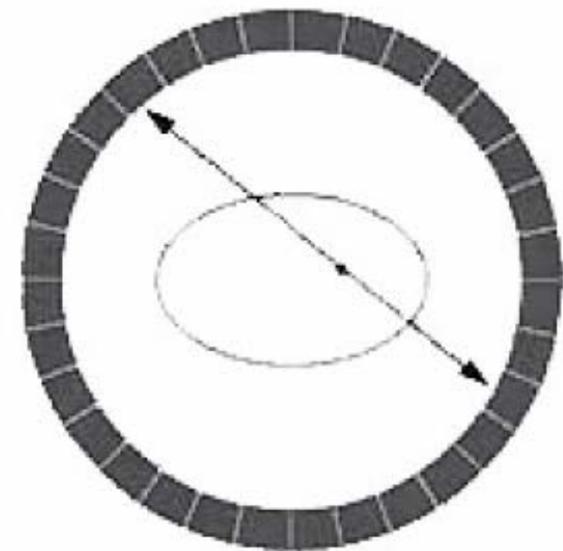
TIPOS DE COINCIDENCIAS



**Coincidencia de
Dispersión**



**Coincidencia
Aleatoria**



**Coincidencia
Verdadera**

1. Introducción al PET

2. Simulador PENELOPE

3. Características de PeneloPET

4. Resultados de Simulaciones

PENELOPE

Nuclear Energy Agency, NEA-OECD



www.nea.fr

Autores:

Francesc Salvat

José M. Fernández-Varea

Facultad de Física

Universidad de Barcelona

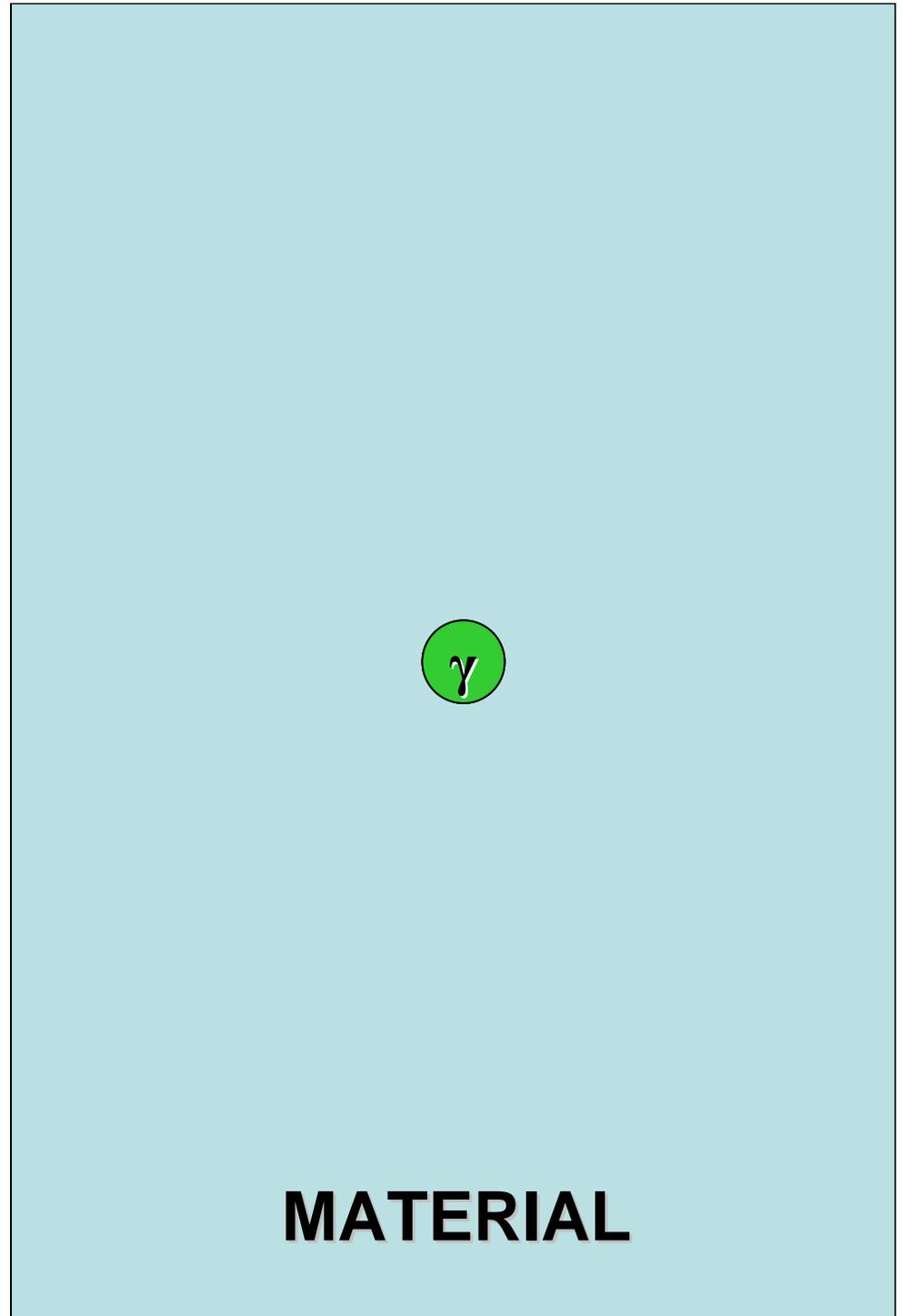
Josep Sempau

Instituto de Técnicas Energéticas

Universidad Politécnica de Cataluña.



VACIO



MATERIAL

1. Introducción al PET

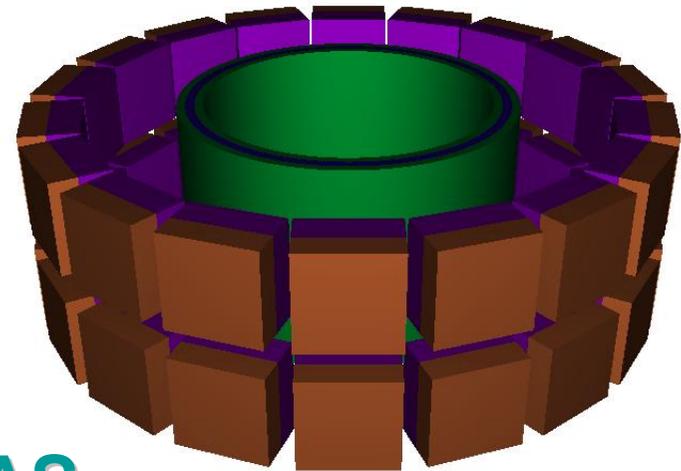
2. Simulador PENELOPE

3. Características de PeneloPET

4. Resultados de Simulaciones

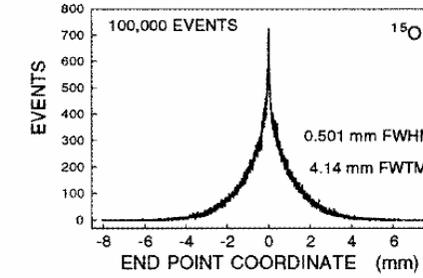
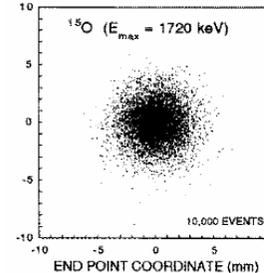
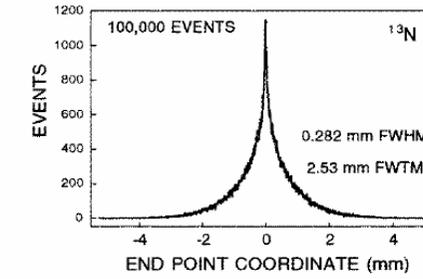
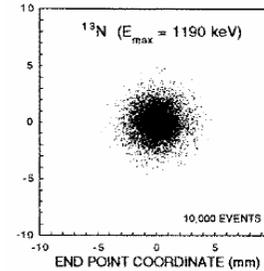
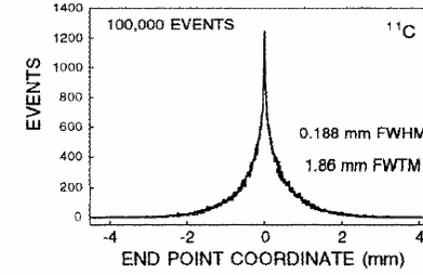
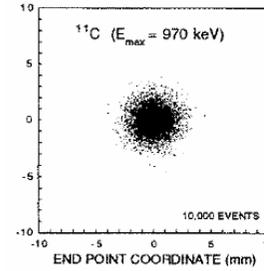
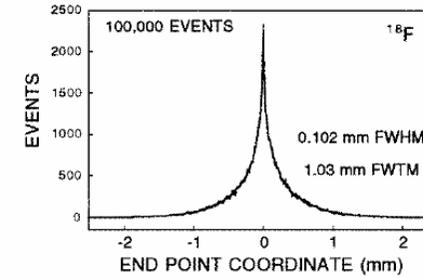
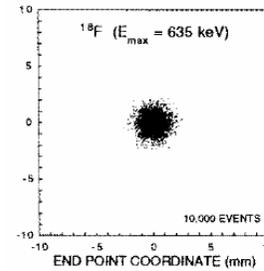
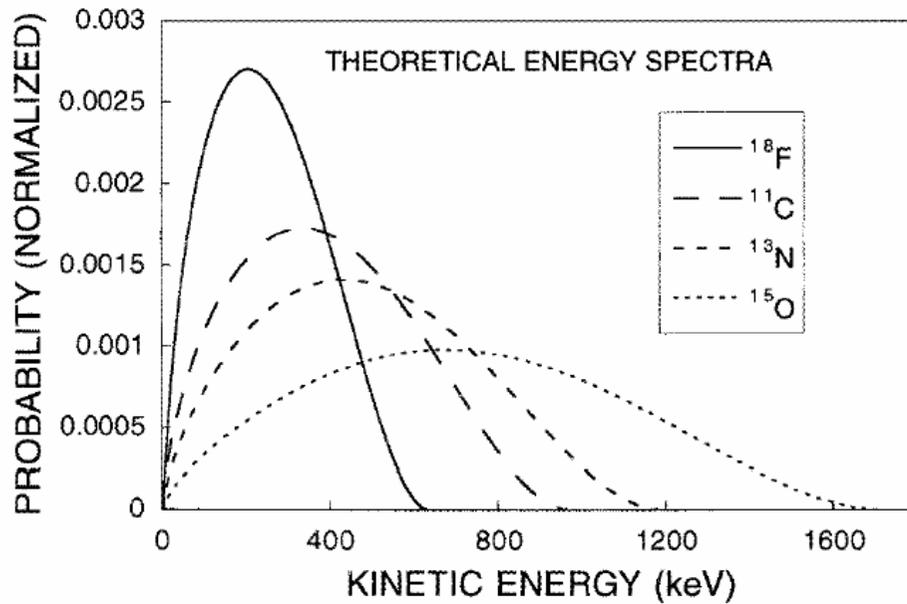
Penelo *PET*

- GEOMETRÍA
- RANGO DEL POSITRÓN
- NO-COLINEARIDAD
- RESOLUCIÓN EN ENERGÍA
- RESOLUCIÓN TEMPORAL
- COINCIDENCIAS ALEATORIAS
- TIEMPO MUERTO
- APILAMIENTO

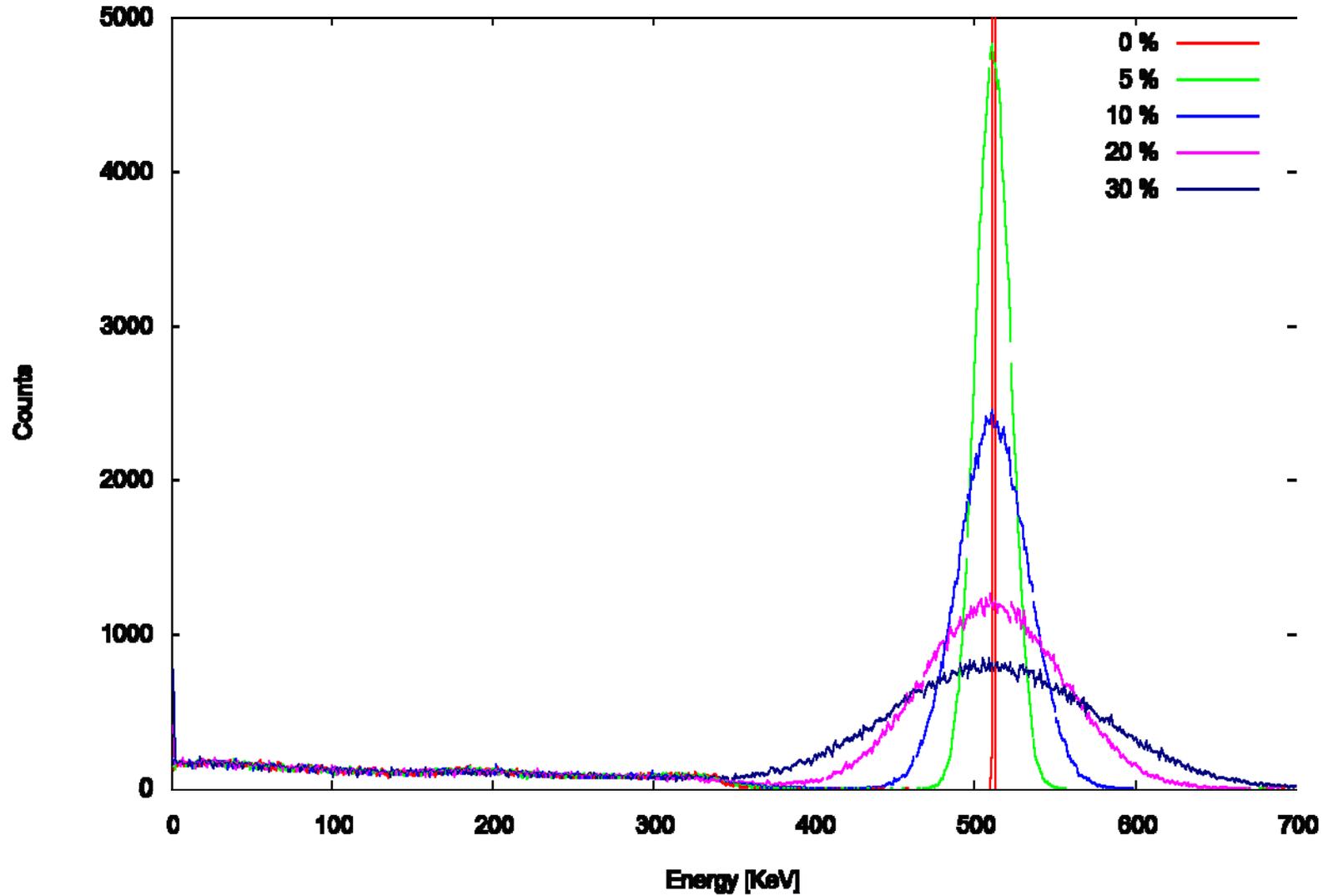


-
-

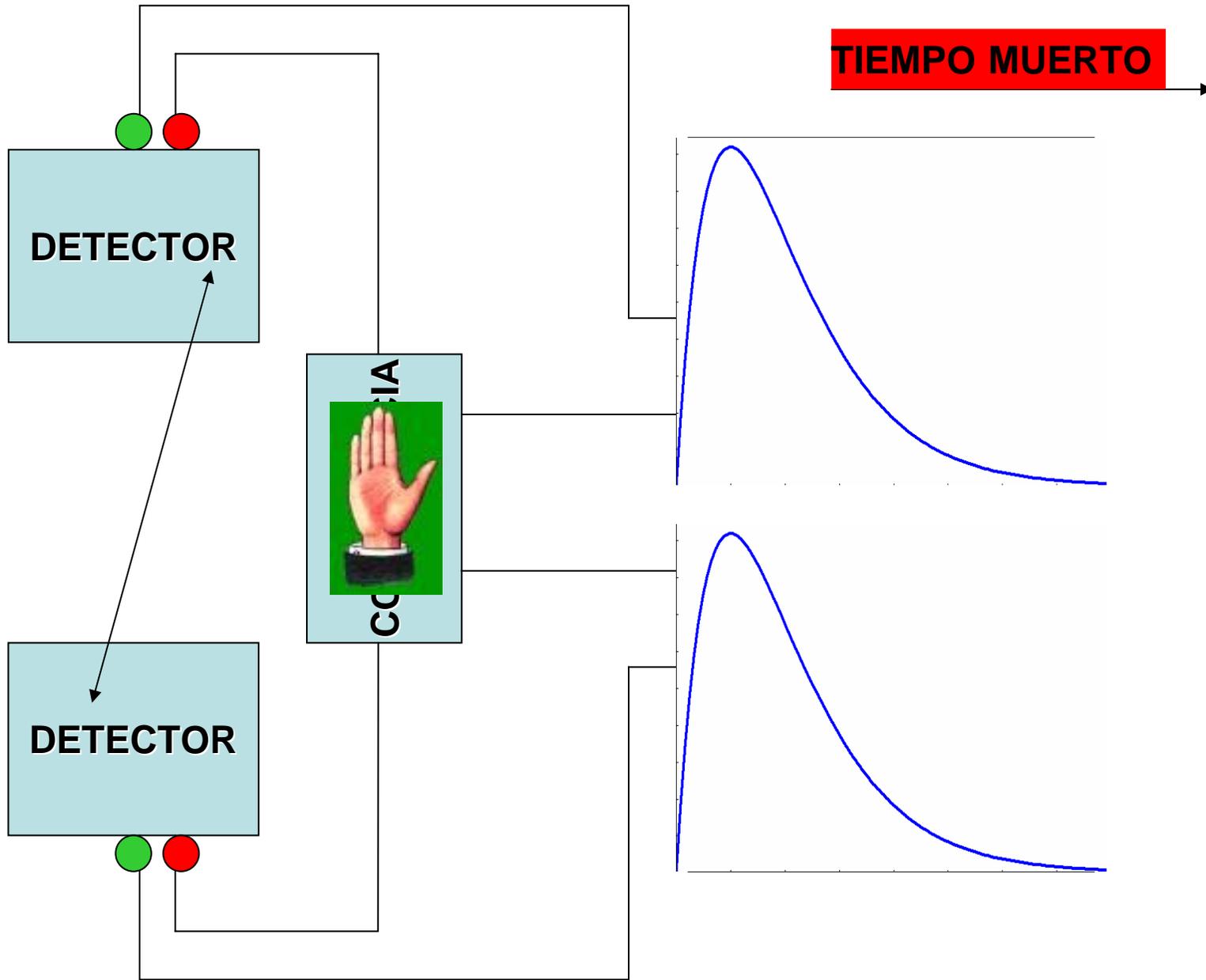
RANGO DEL POSITRÓN



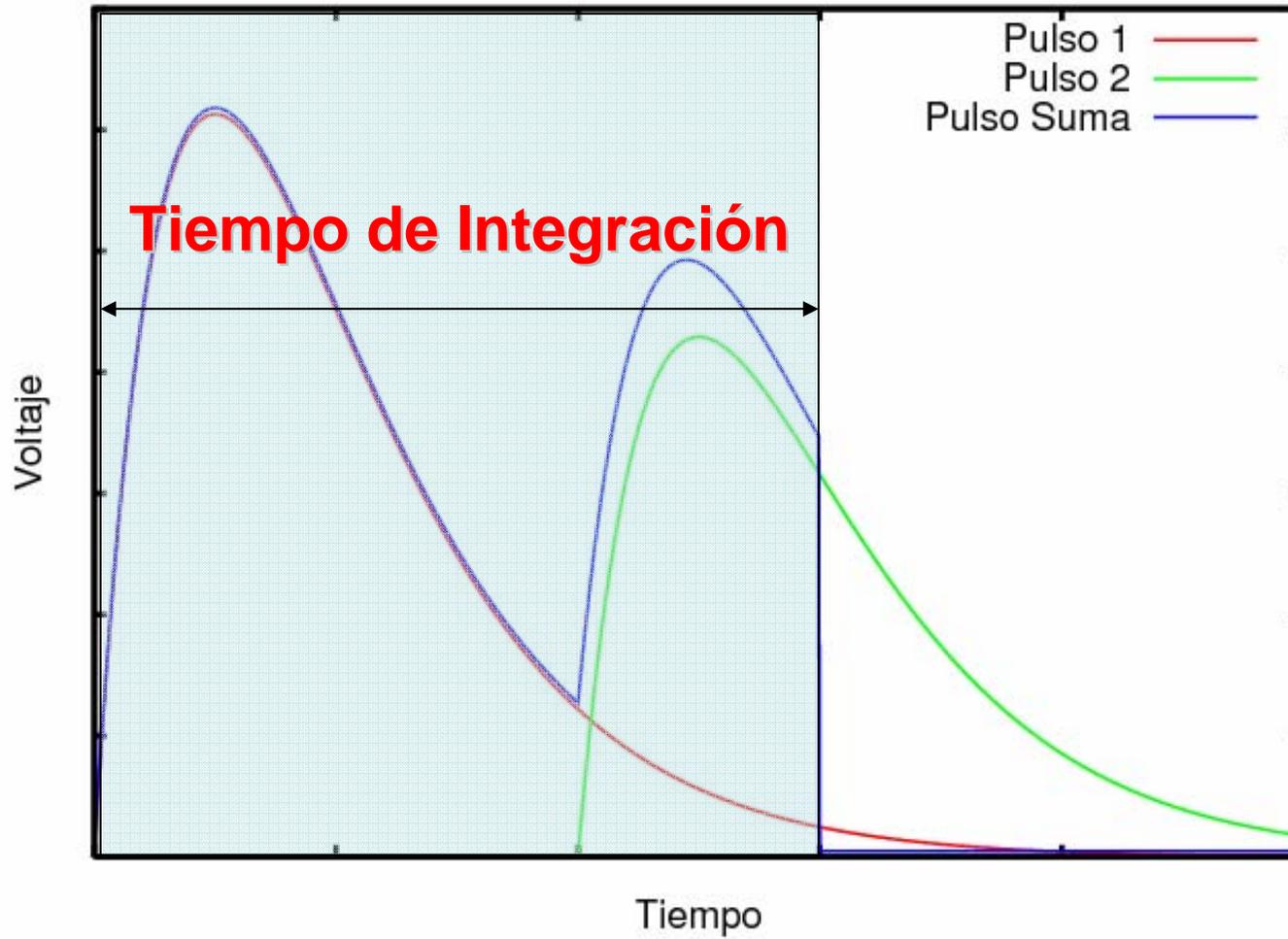
RESOLUCIÓN EN ENERGÍA



TIEMPO MUERTO



APILAMIENTO



1. Introducción al PET

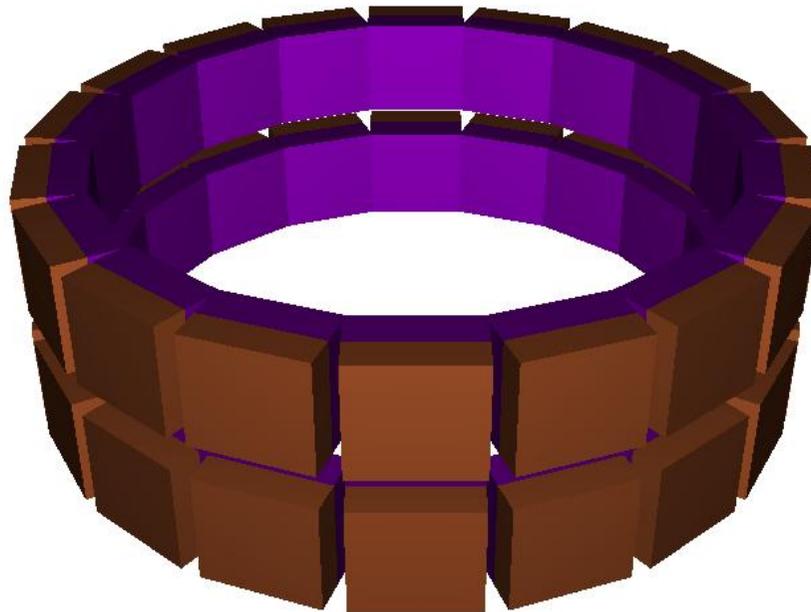
2. Simulador PENELOPE

3. Características de PeneloPET

4. Resultados de Simulaciones

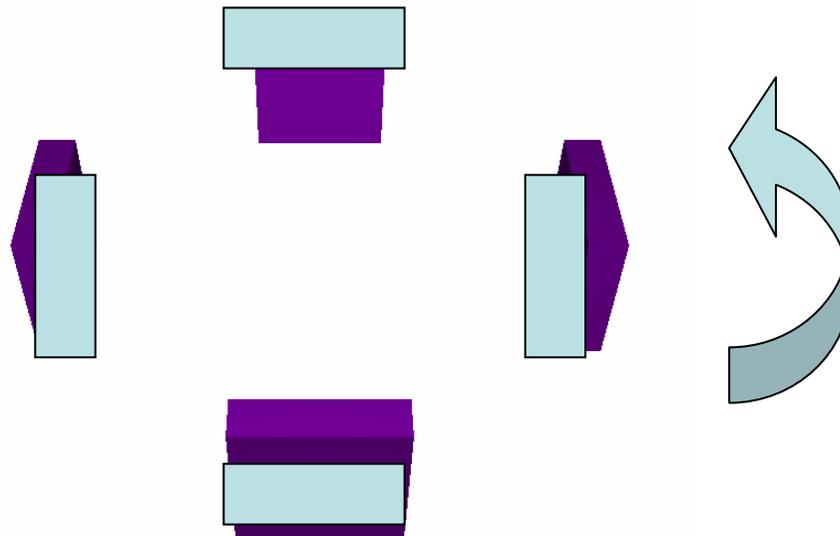
eXplore Vista (GE)

Diámetro	11.8 cm
FOV Axial	4.8 cm
Número de módulos detectores	36 PMT's
Número de cristales	12168
Tamaño del cristal	1.55 mm x (7, 8) mm
Número de líneas de coincidencia	28.8 x 10⁶

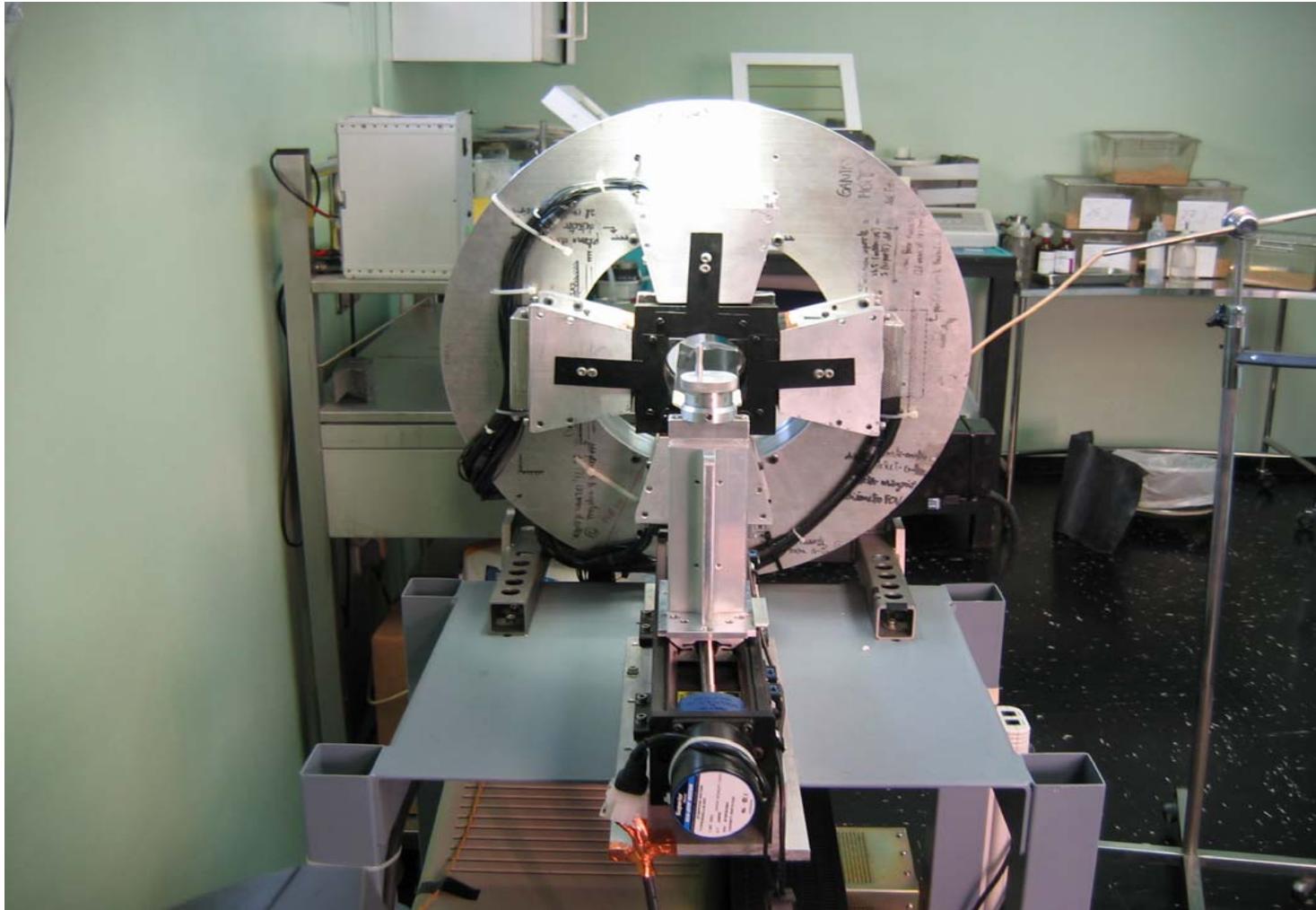


rPET (LIM-HGGM)

Diámetro	16.0 cm
FOV Axial	4.8 cm
Número de módulos detectores	4 PMT's
Número de cristales	3600
Tamaño del cristal	1.60 mm x 12 mm
Número de líneas de coincidencia	1.62×10^6



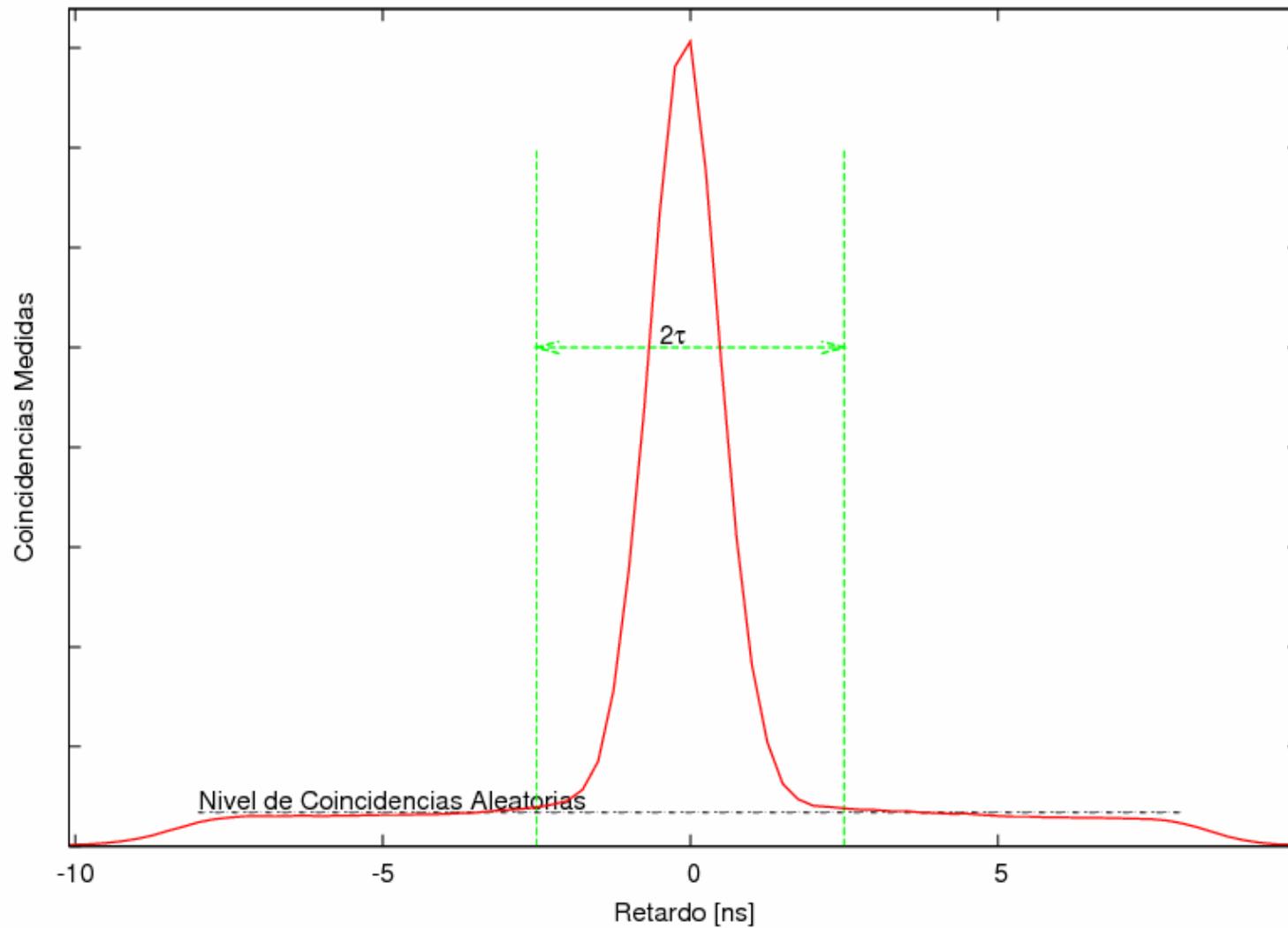
rPET (LIM-HGGM)



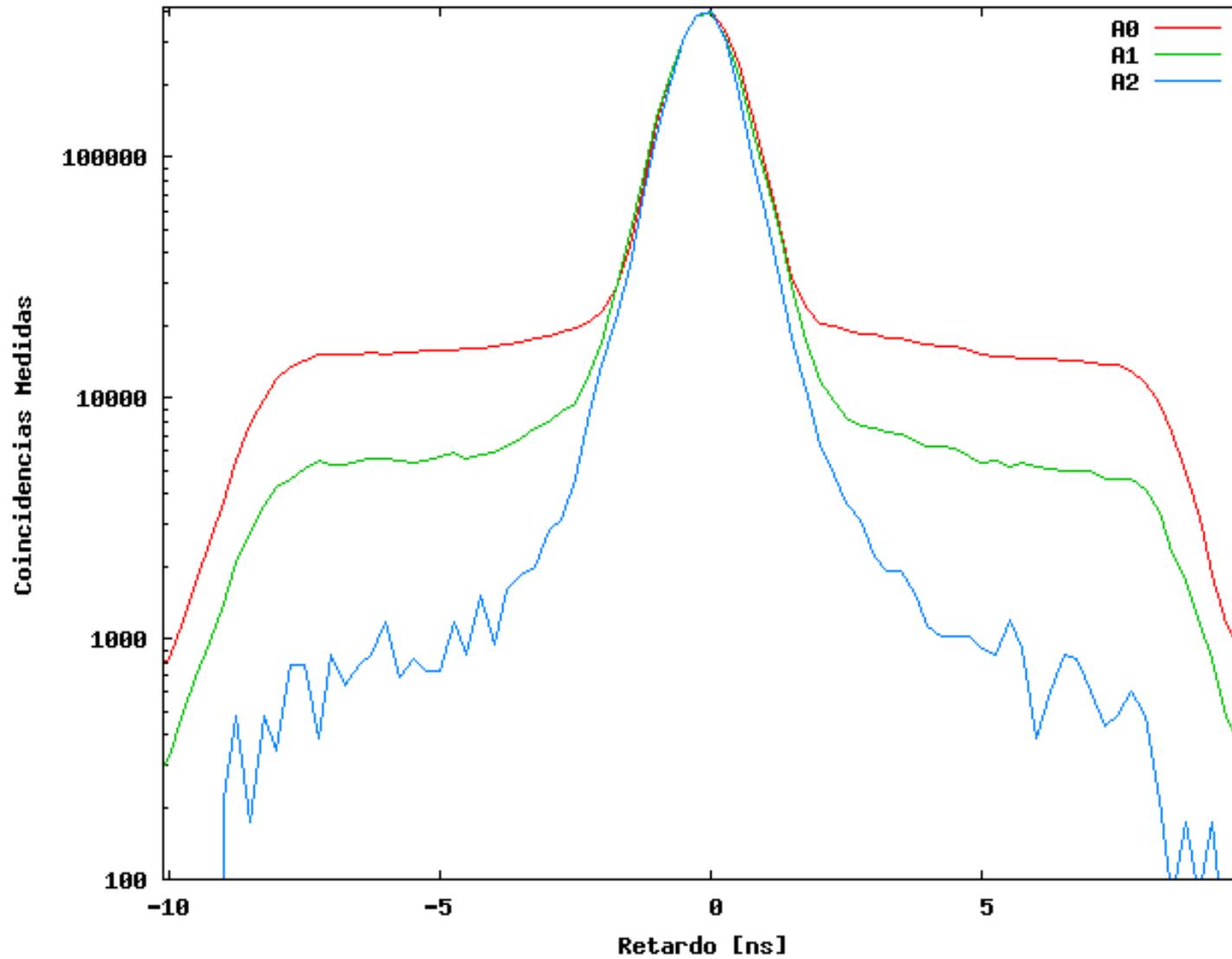
- **CORRECCIONES SOBRE LOS DATOS**
- **RECONSTRUCCIÓN. RESPUESTA DEL SISTEMA**
- **MEJORAS EN EL PROCESO DE ADQUISICIÓN**
- **DISEÑO DE NUEVOS ESCÁNERES**

➤ **CORRECCIONES SOBRE LOS DATOS**

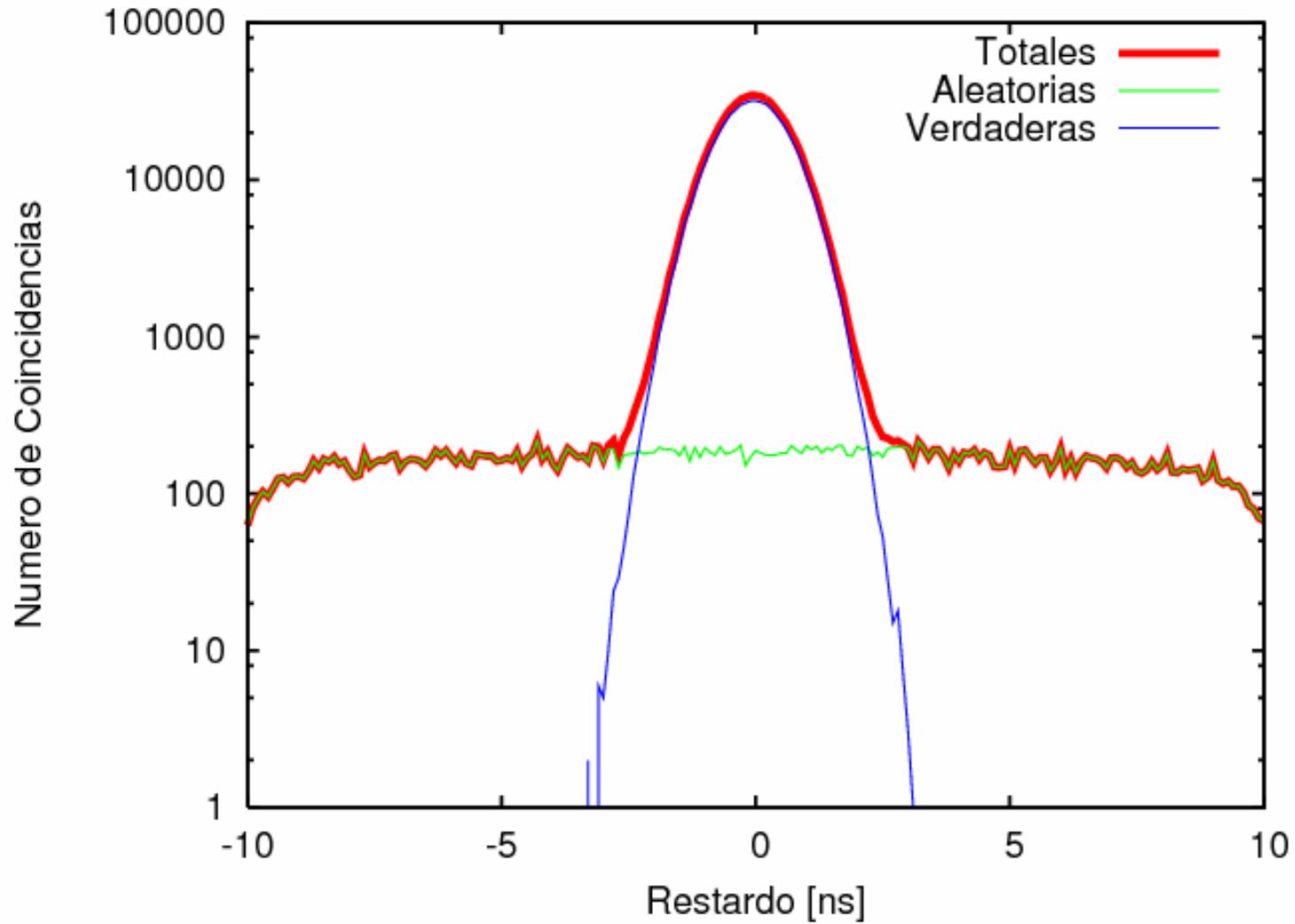
COINCIDENCIAS ALEATORIAS



COINCIDENCIAS ALEATORIAS

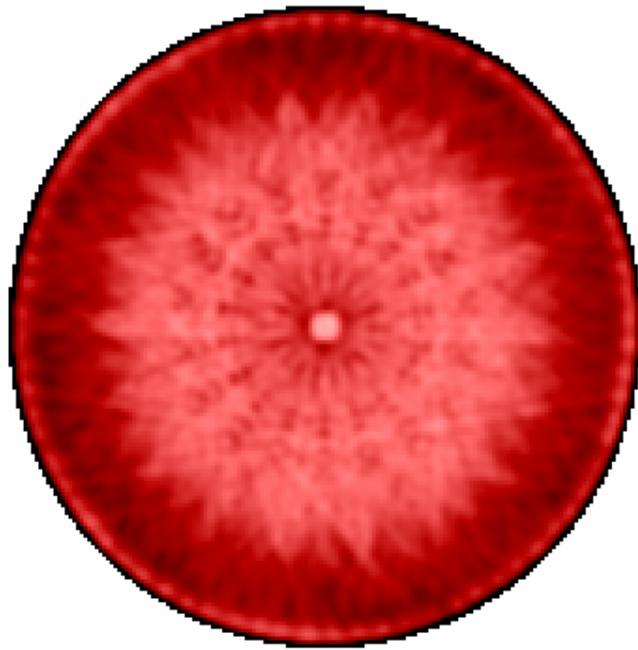


COINCIDENCIAS ALEATORIAS

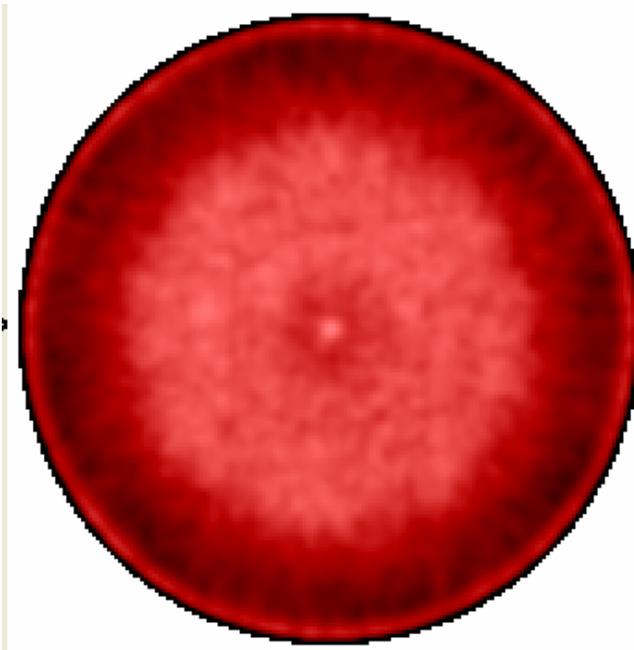


COINCIDENCIAS ALEATORIAS

CILINDRO UNIFORME

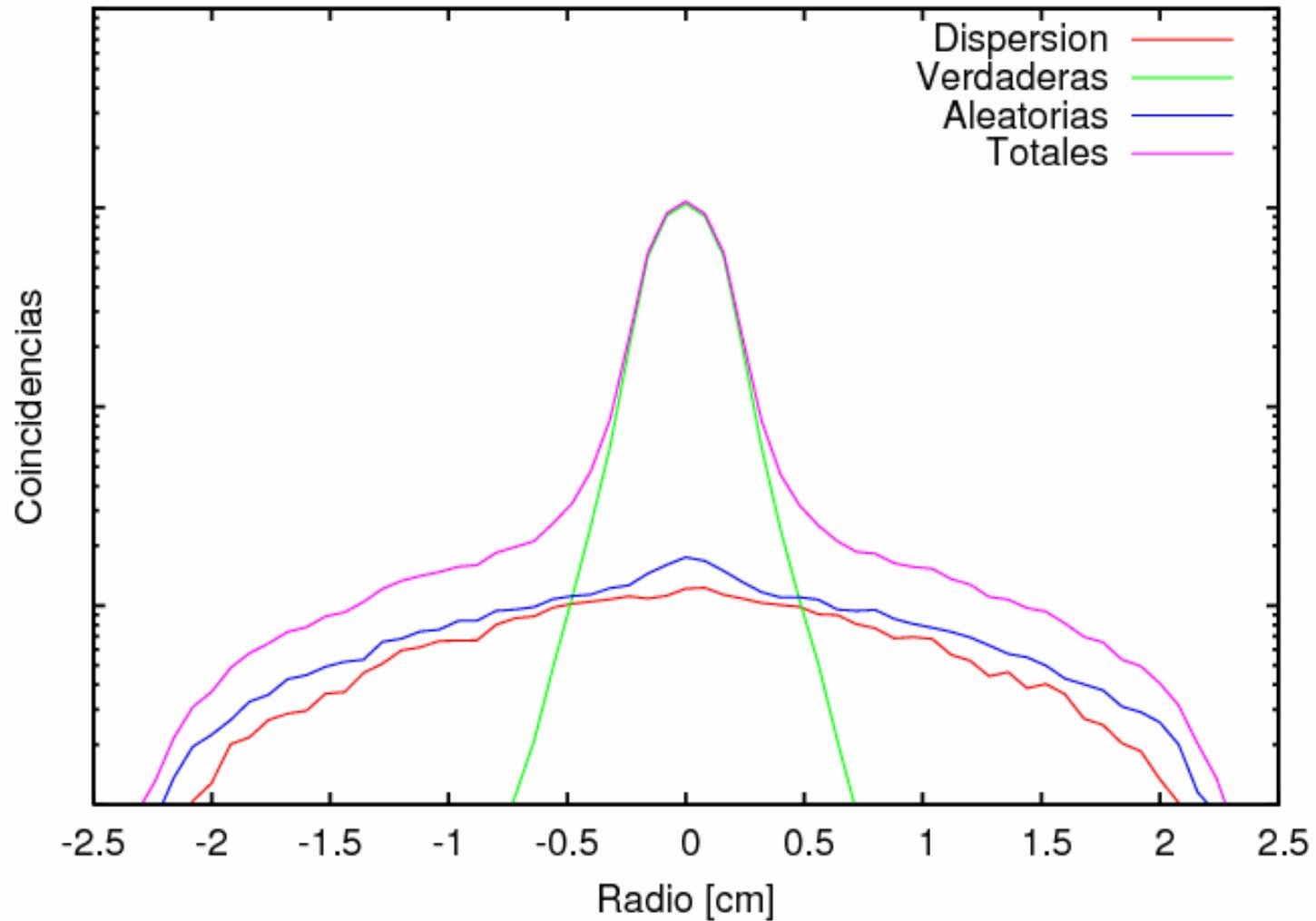


**ALTA ACTIVIDAD
ARTEFACTOS**



BAJA ACTIVIDAD

COINCIDENCIAS DE DISPERSIÓN



CORRECCIONES

$$f(t) = \underbrace{T_0 \exp(-\lambda t)}_{\text{Trues}} + \underbrace{R_0 \exp(-2\lambda t)}_{\text{Randoms}} \rightarrow \text{Coincidencias Sin Tiempo Muerto}$$

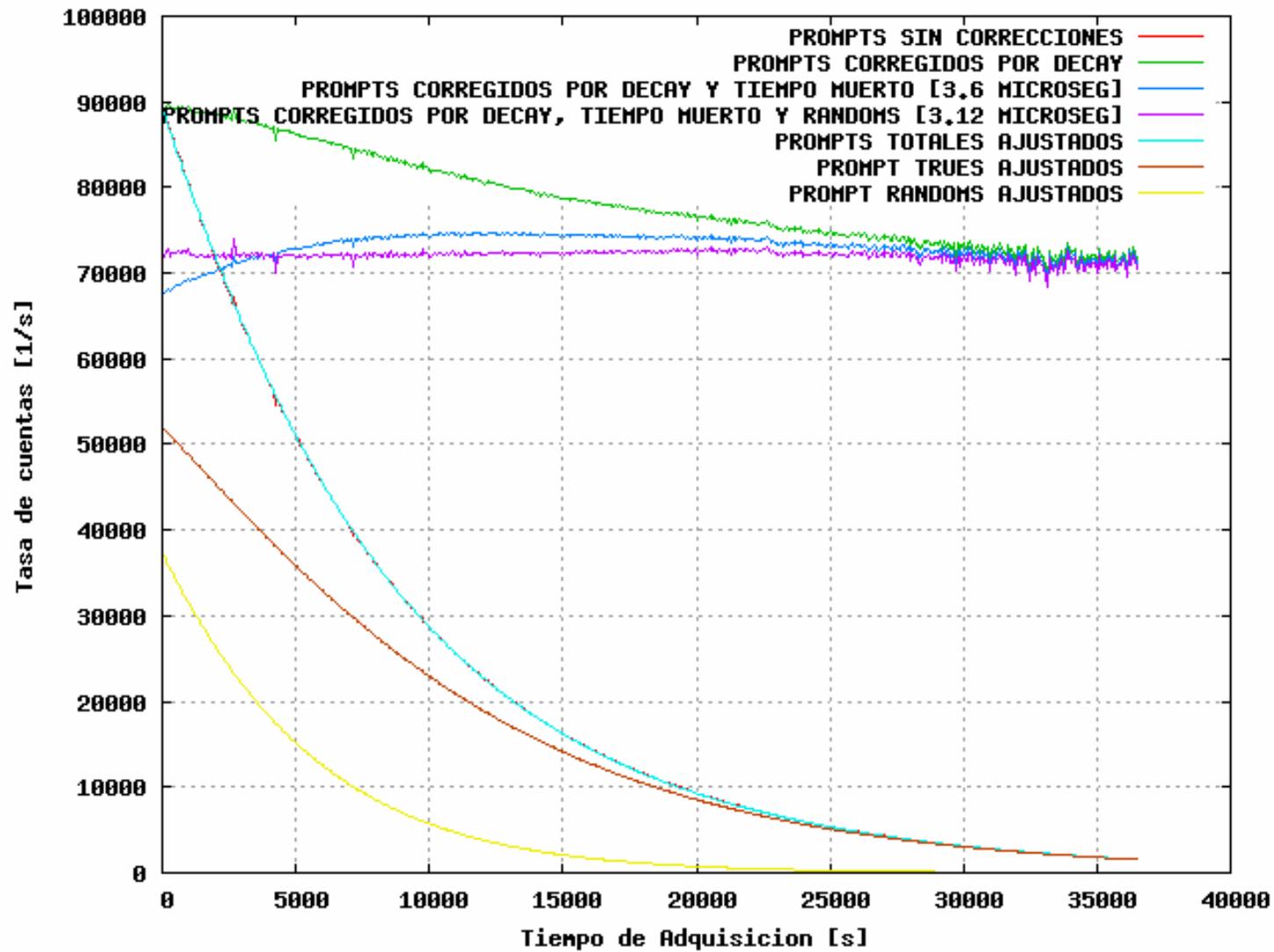
$$g(t) = f(t) \frac{1}{\underbrace{1 + f(t)\tau}} \rightarrow \text{Coincidencias Medidas}$$

Pérdidas por Tiempo Muerto Detector

La corrección debe normalizar la adquisición entera al valor de coincidencias Trues en el instante inicial (T_0)

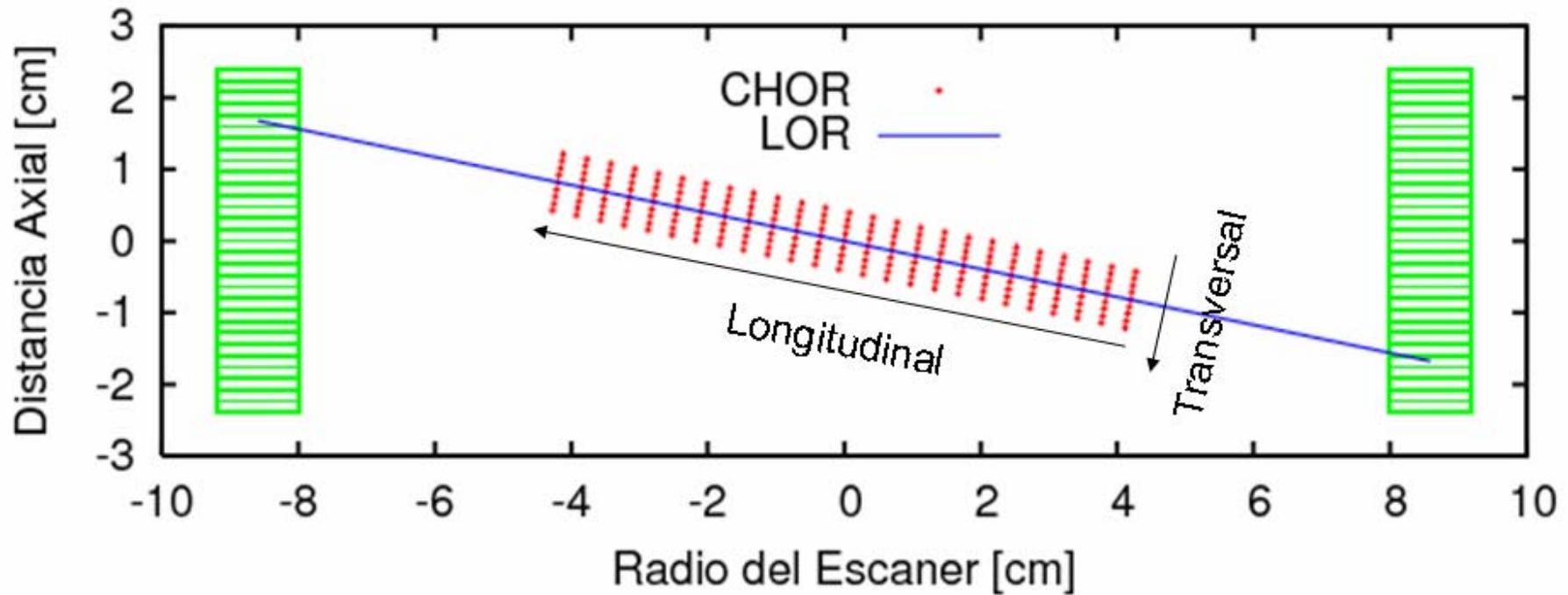
$$T_0 = \left[\underbrace{g(t) \frac{1}{1 - g(t)\tau}}_{\text{T. Muerto Detector}} - \underbrace{R_0 \exp(-2\lambda t)}_{\text{Randoms}} \right] \underbrace{\exp(\lambda t)}_{\text{Decay}}$$

CORRECCIONES

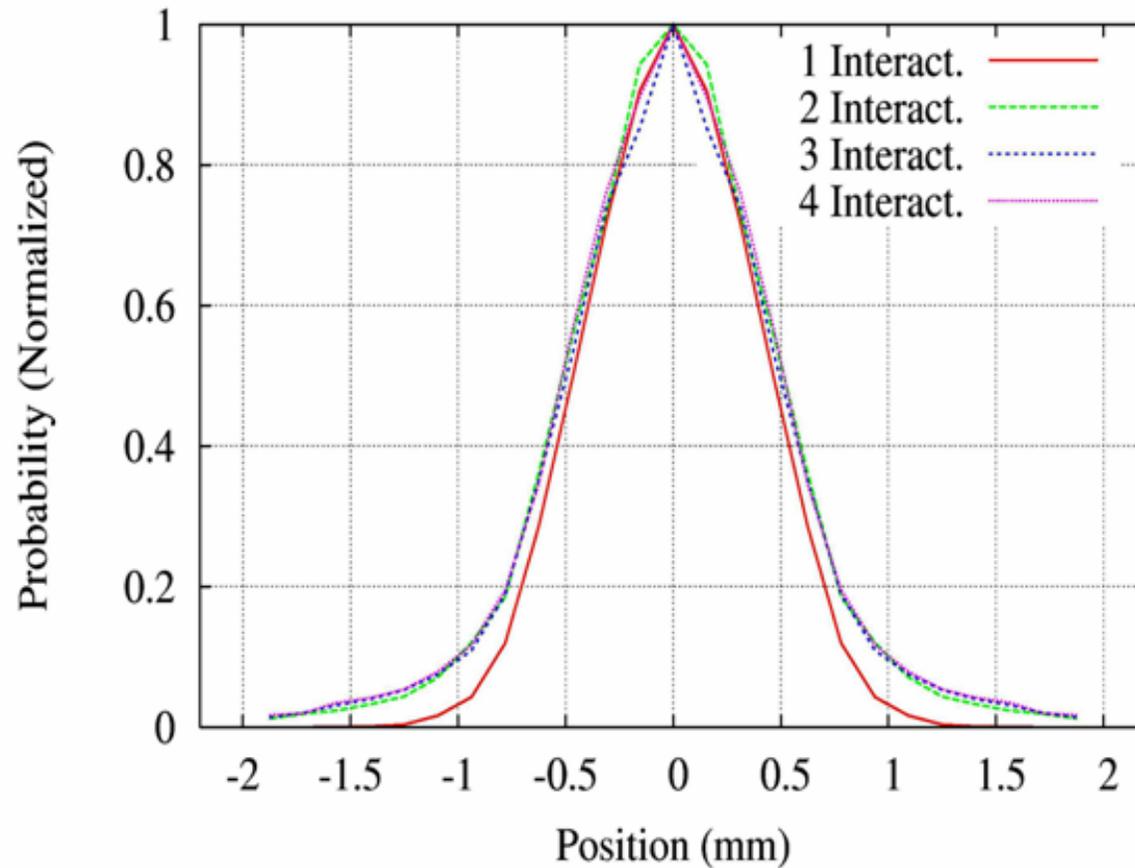
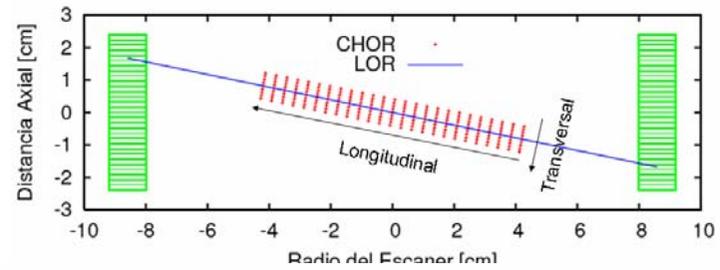


➤ **RECONSTRUCCIÓN.
RESPUESTA DEL
SISTEMA**

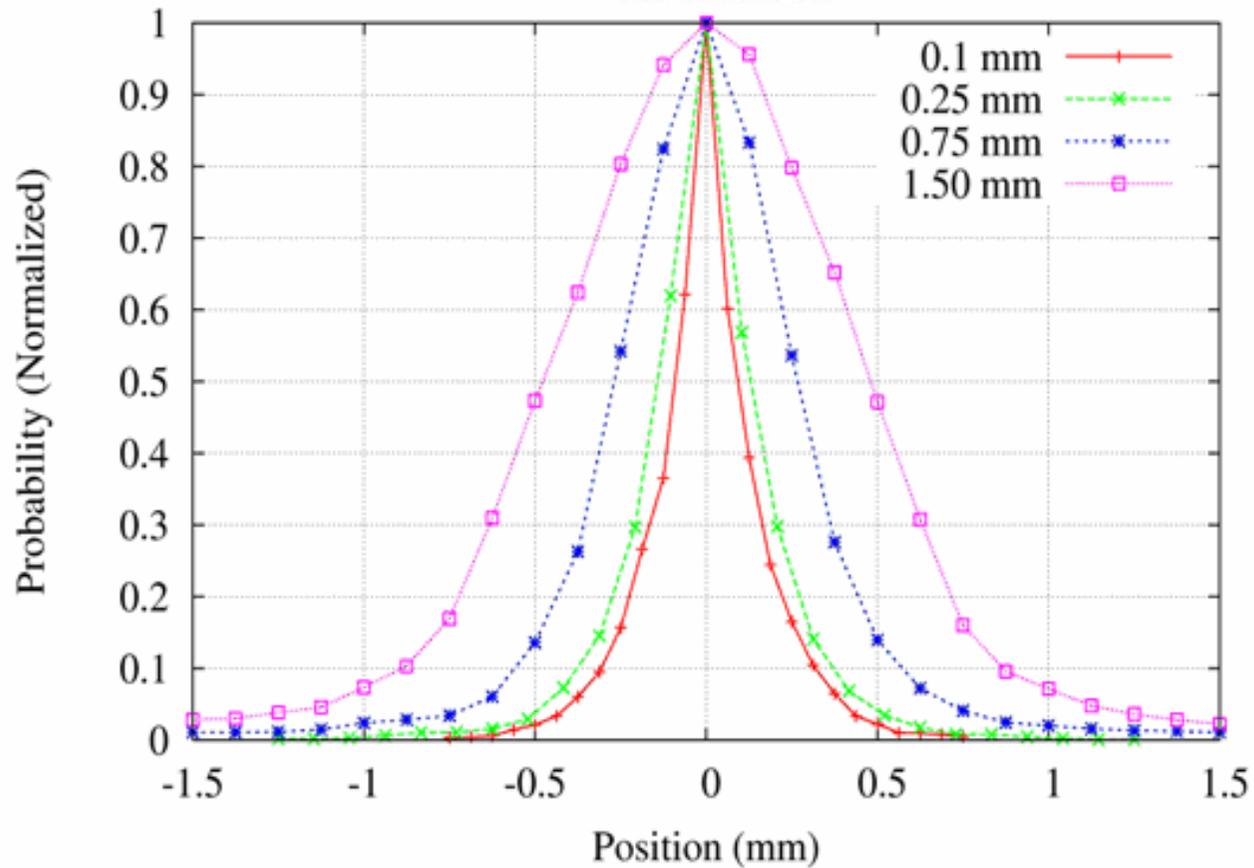
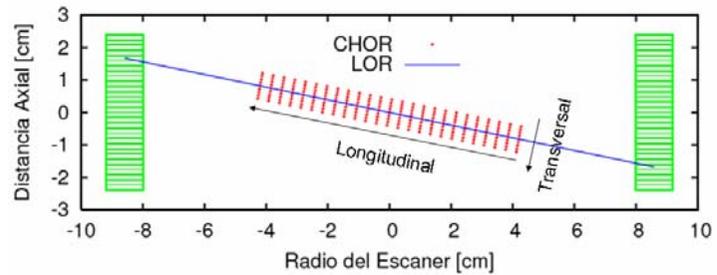
CÁLCULO DE LA MRS



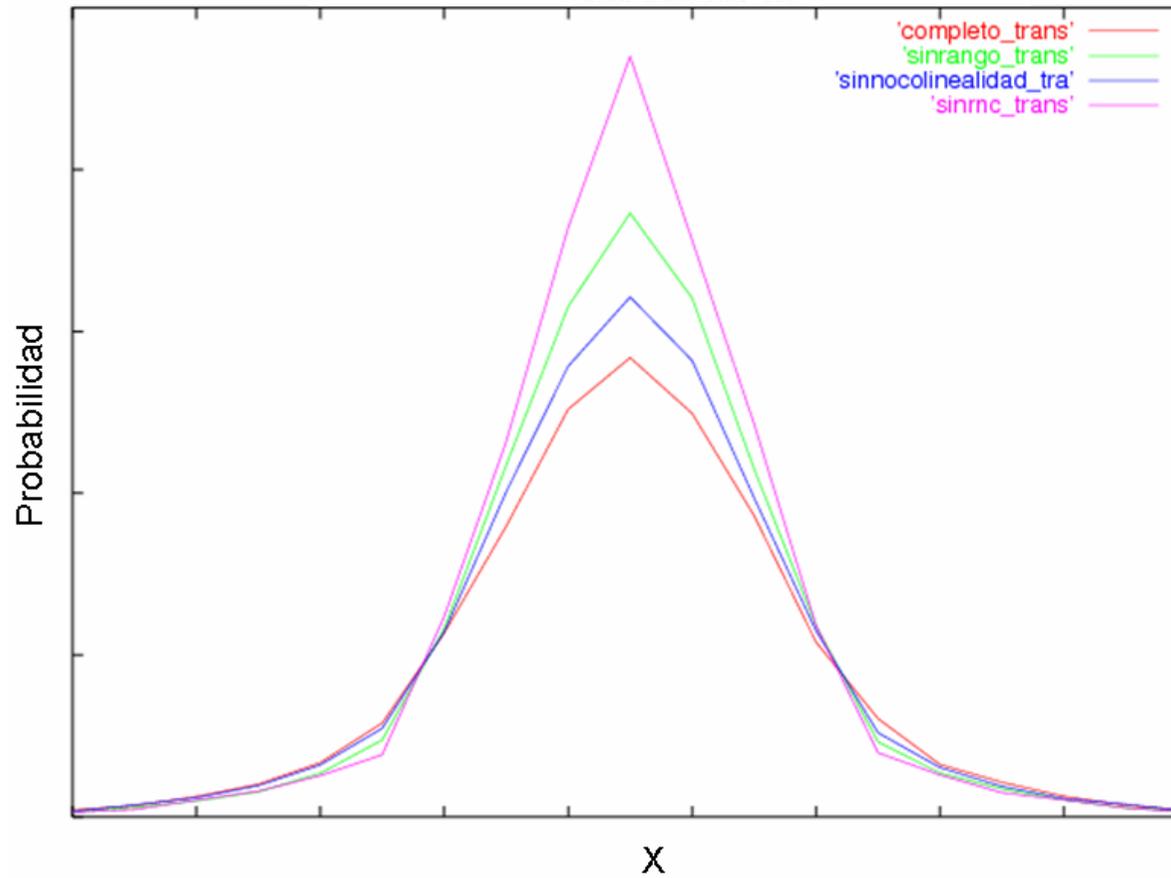
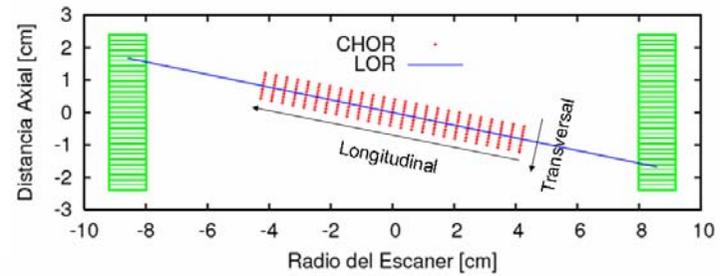
NÚMERO DE INTERACCIONES



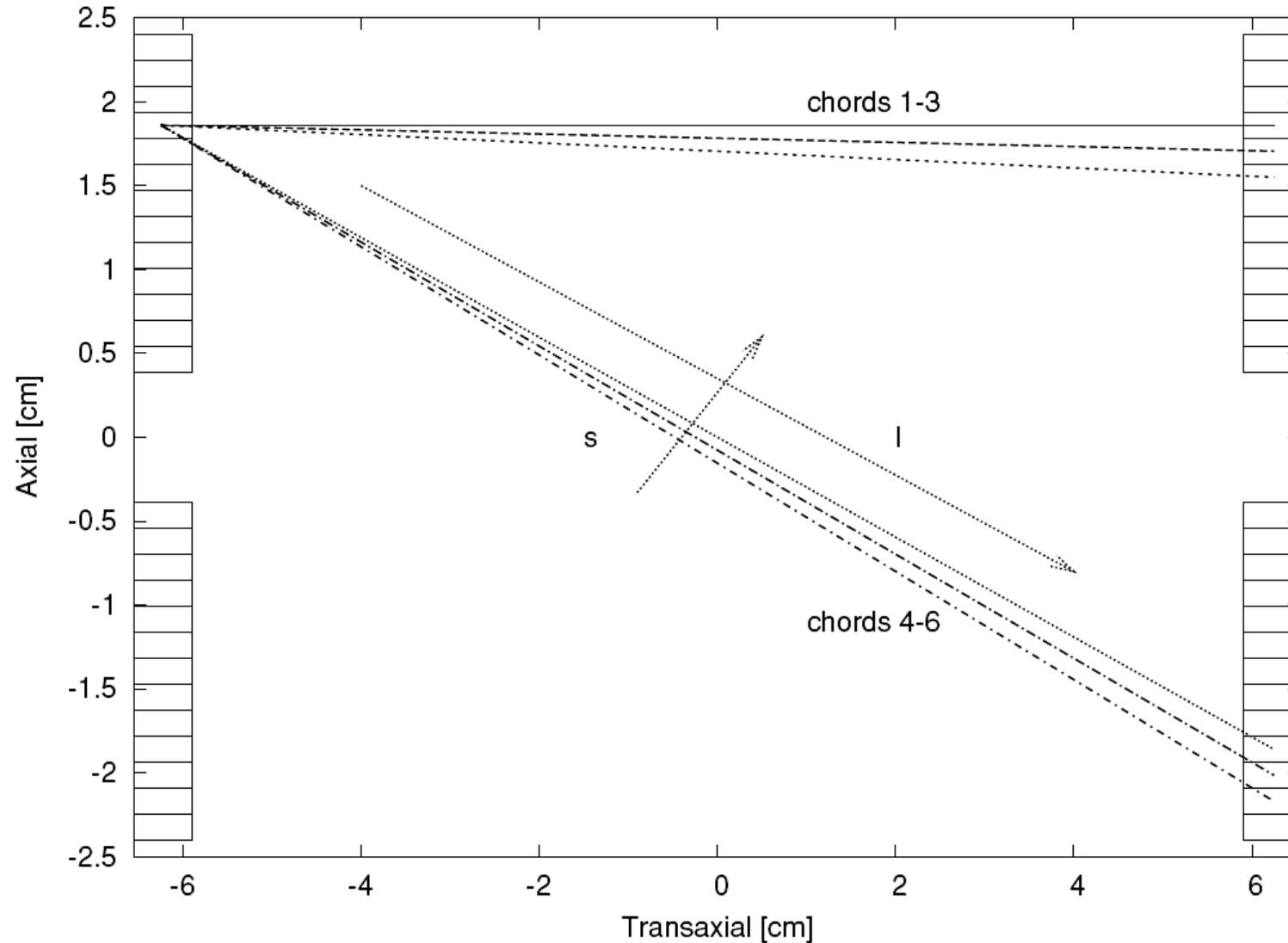
TAMAÑO DEL CRISTAL

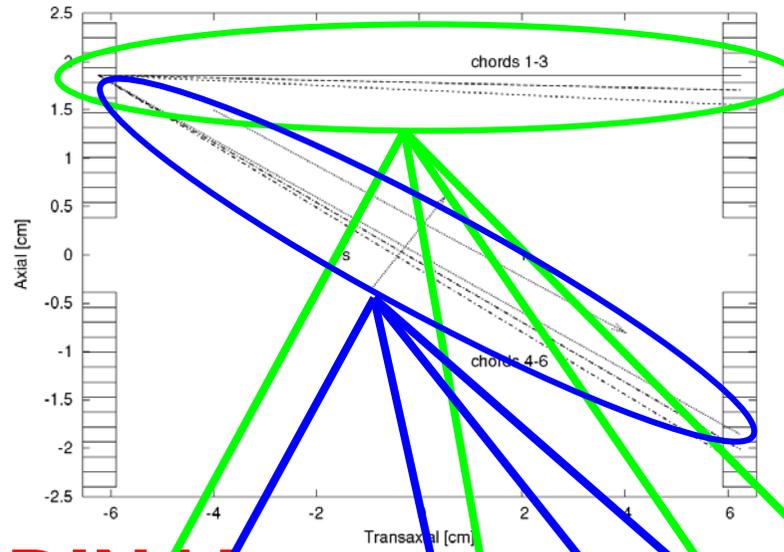


RANGO Y NO-COLINEARIDAD



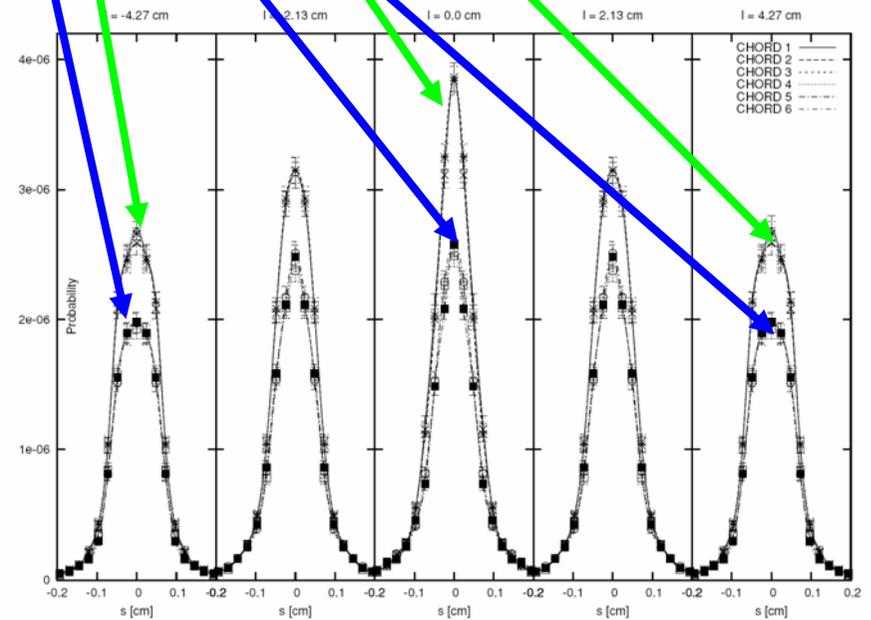
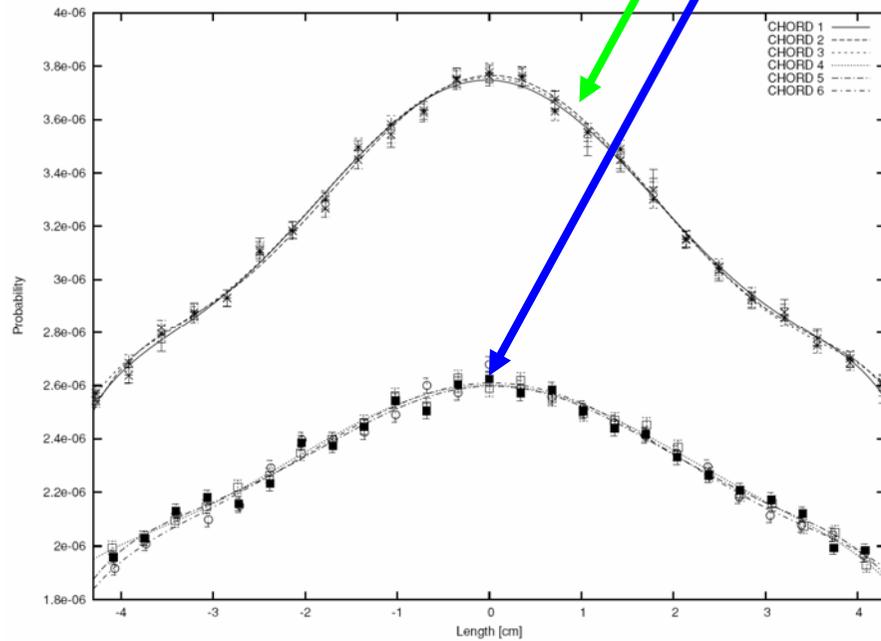
COMPRESIÓN DE LA MRS MEDIANTE QUASI-SIMETRÍAS

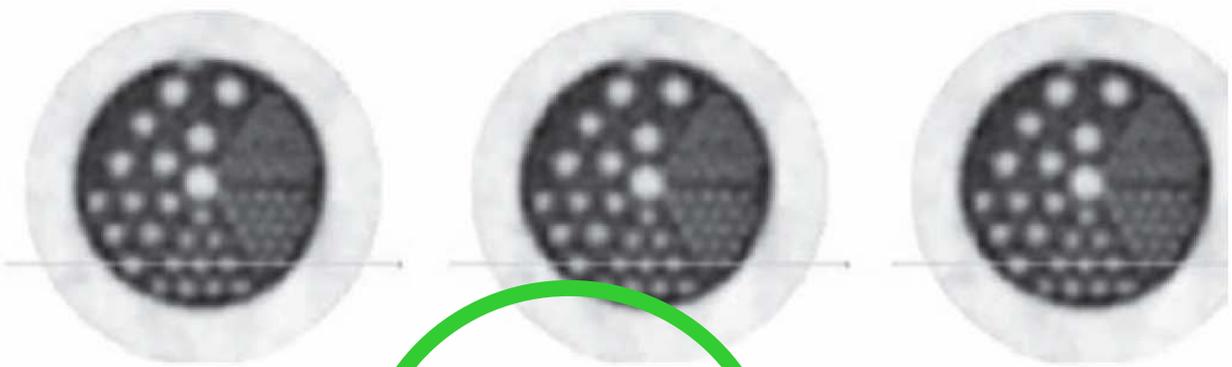
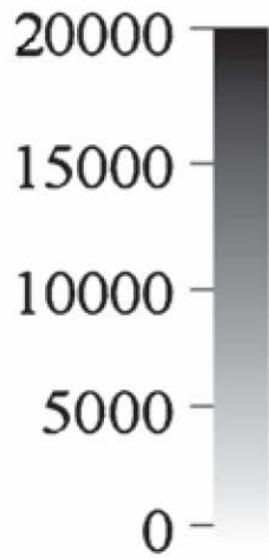




LONGITUDINAL

TRANSVERSAL



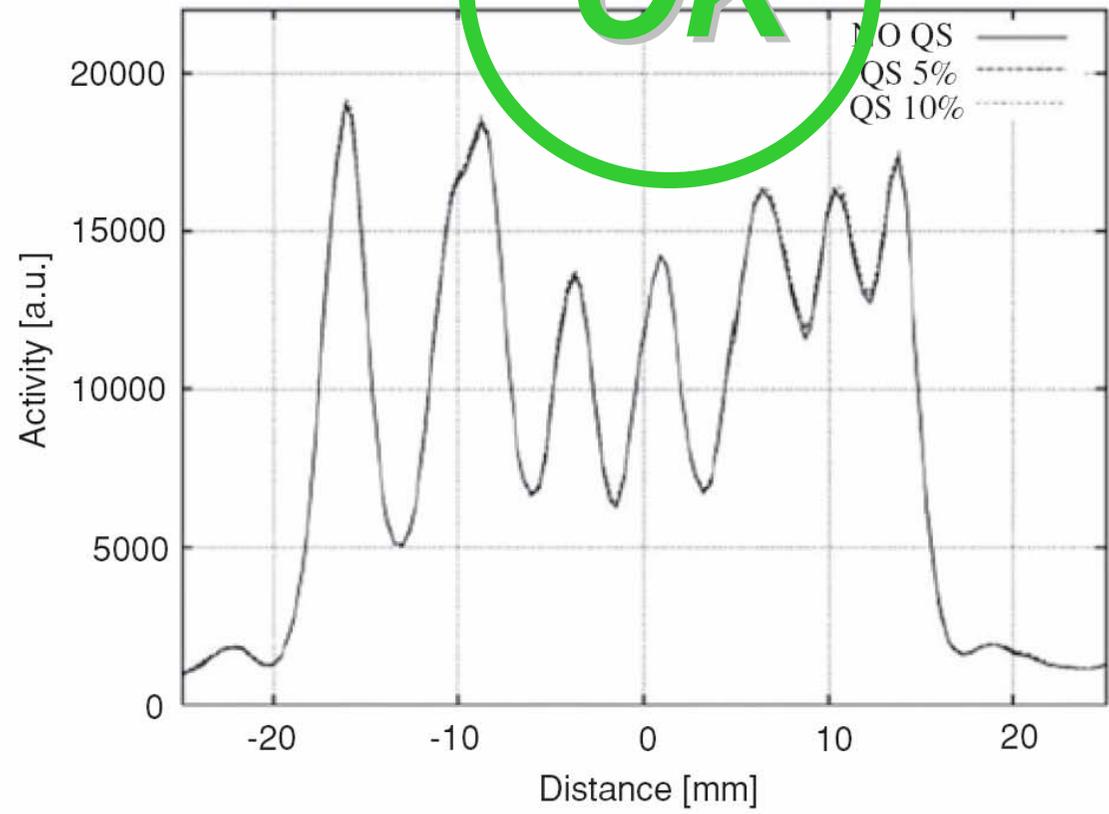


SIN COMPRESIÓN

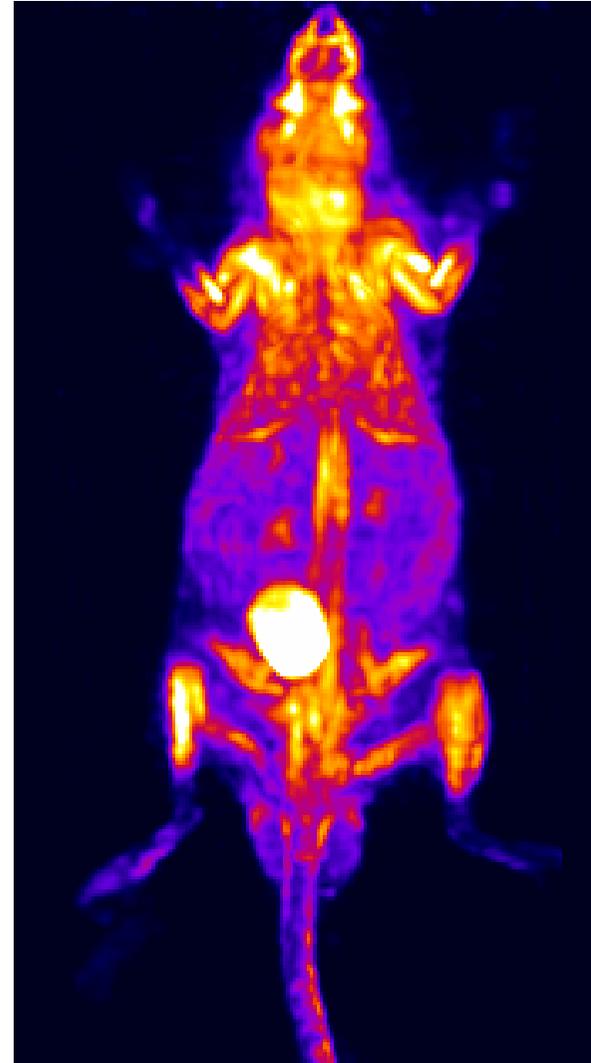
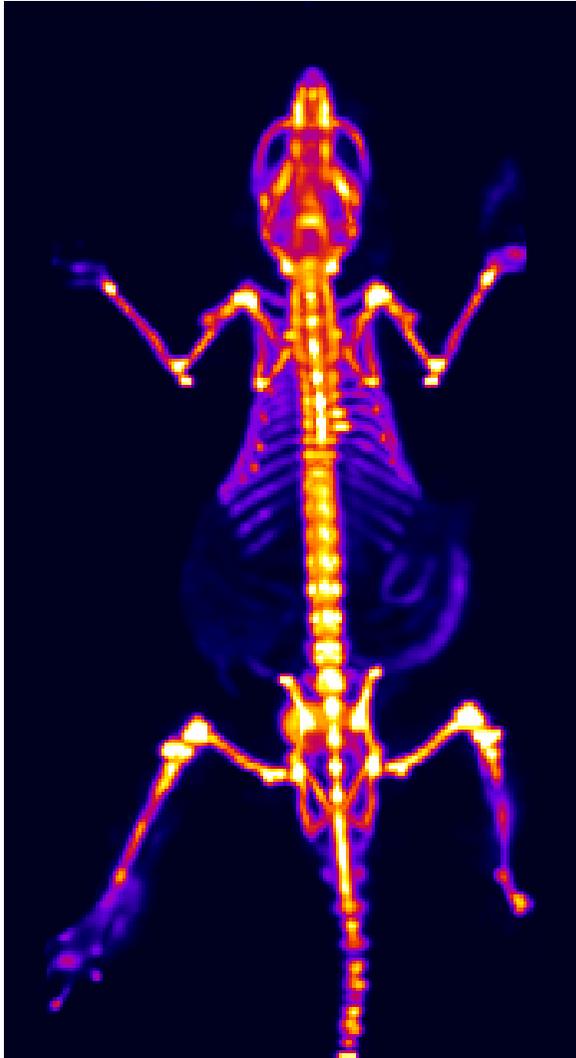
COMPRESIÓN

**DOBLE
COMPRESIÓN**

OK

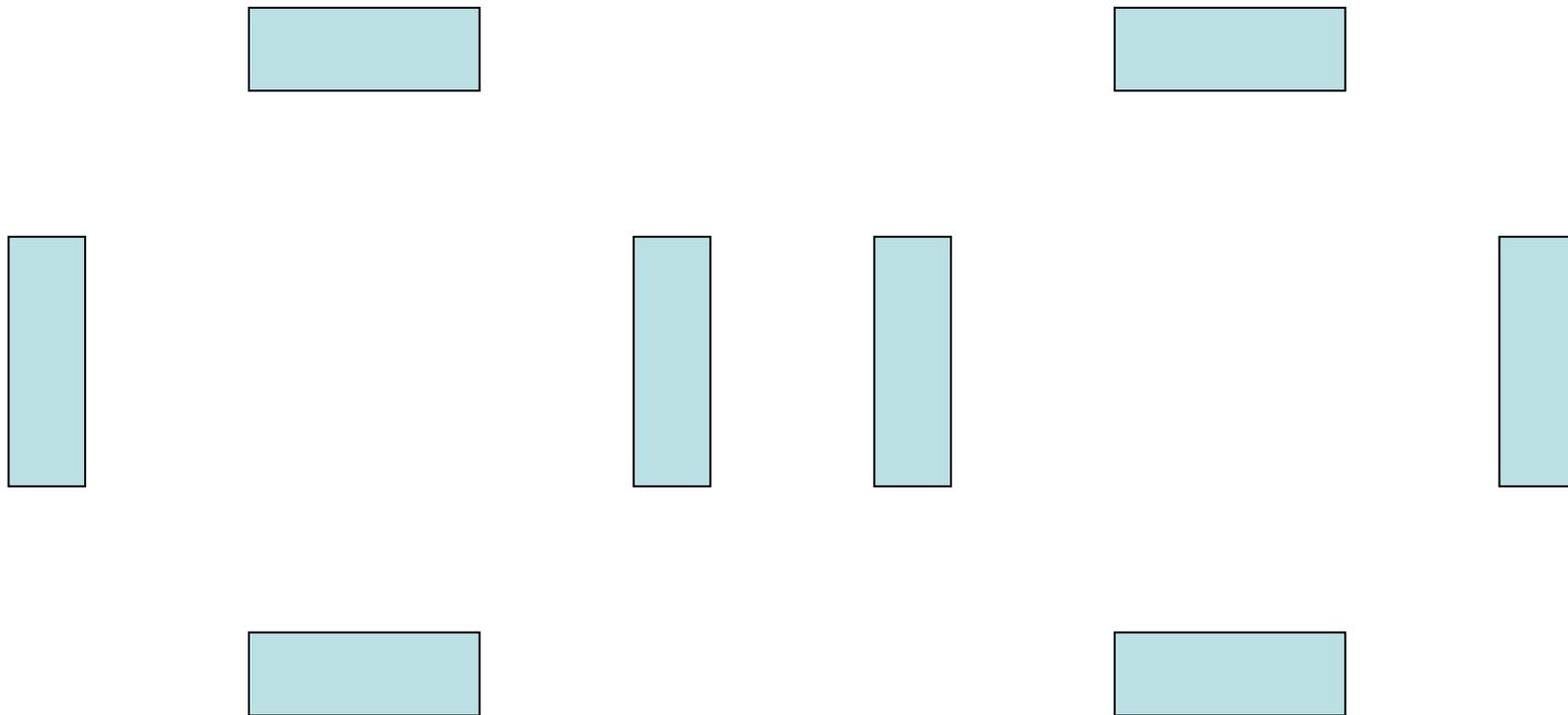


RECONSTRUCCIÓN OSEM-3D



➤ **MEJORAS EN EL
PROCESO DE
ADQUISICIÓN**

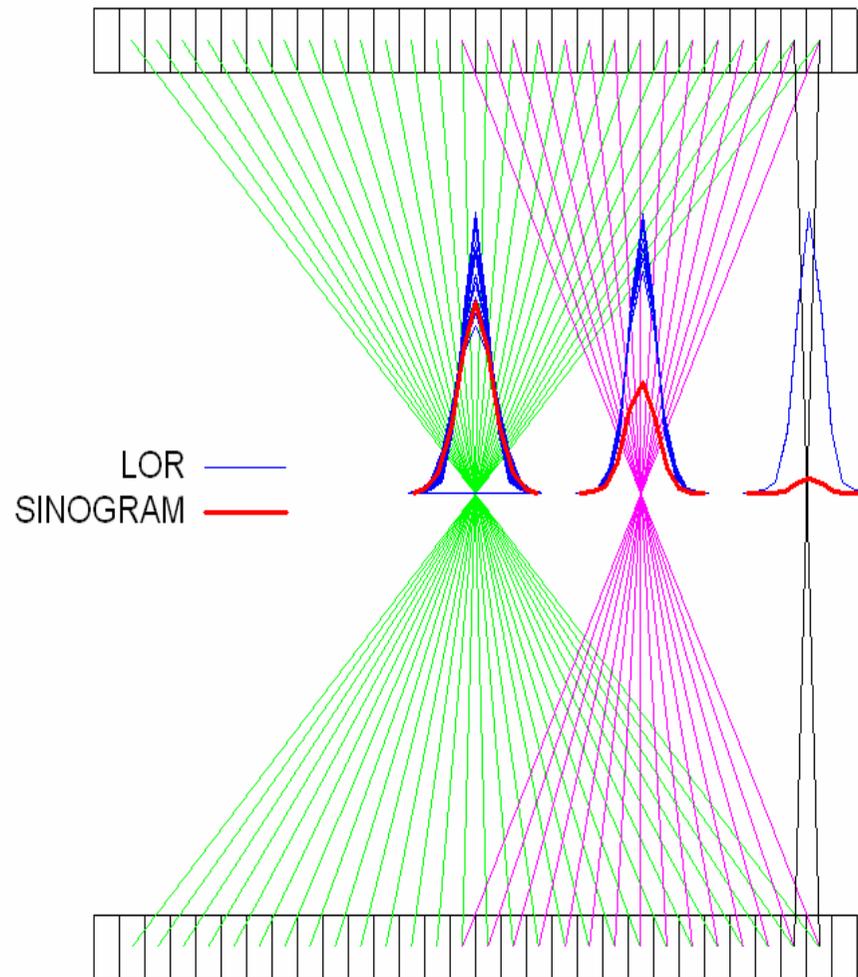
ROTACIÓN CONTINUA VS CON PARADAS



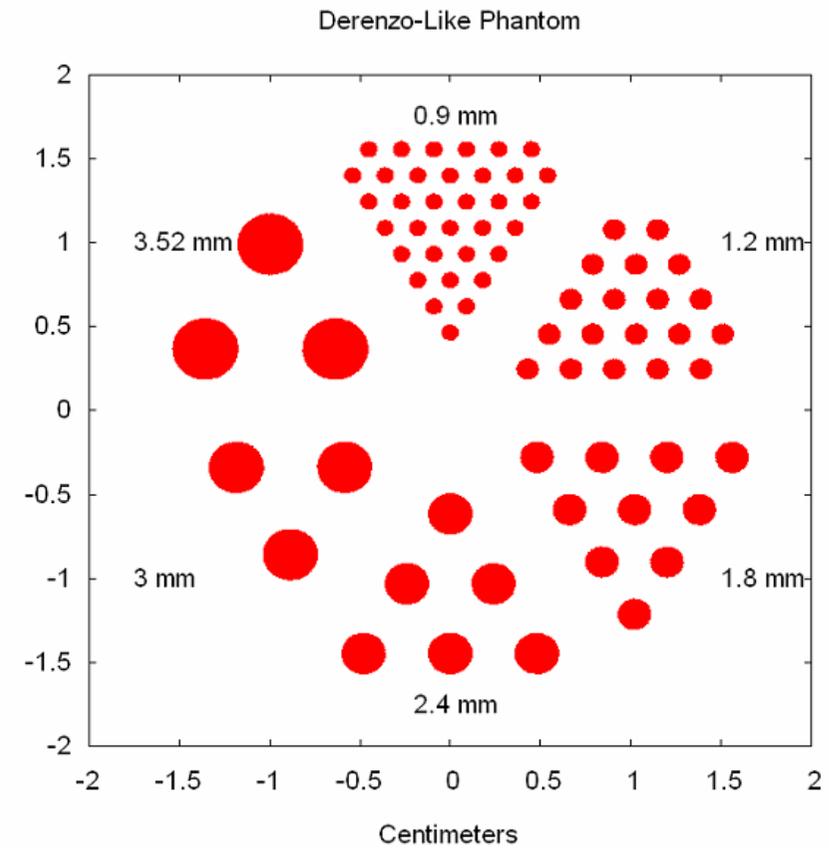
CONTINUA

CON PARADAS

ROTACIÓN CONTINUA vs CON PARADAS

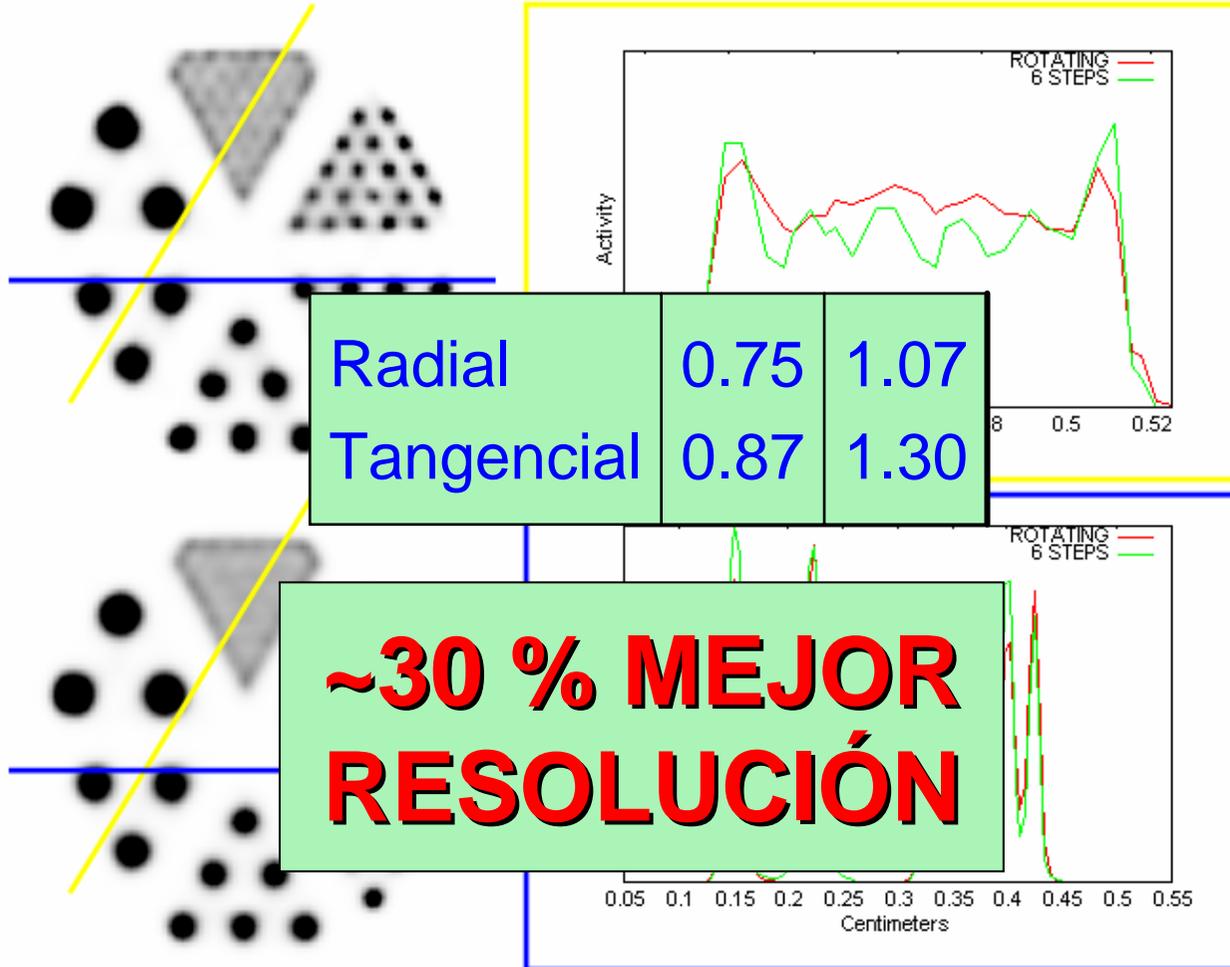


ROTACIÓN CONTINUA vs CON PARADAS



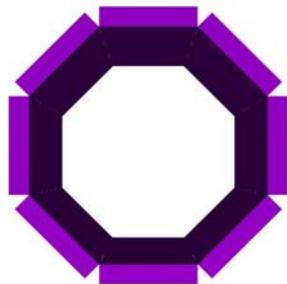
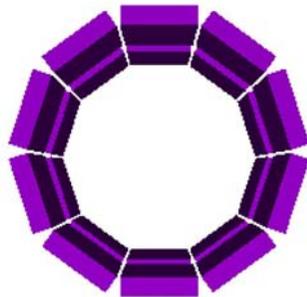
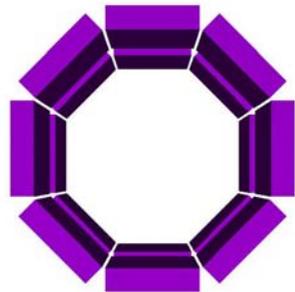
ROTACIÓN CONTINUA vs CON PARADAS

CONTINUOUS
STEP & SHOOT

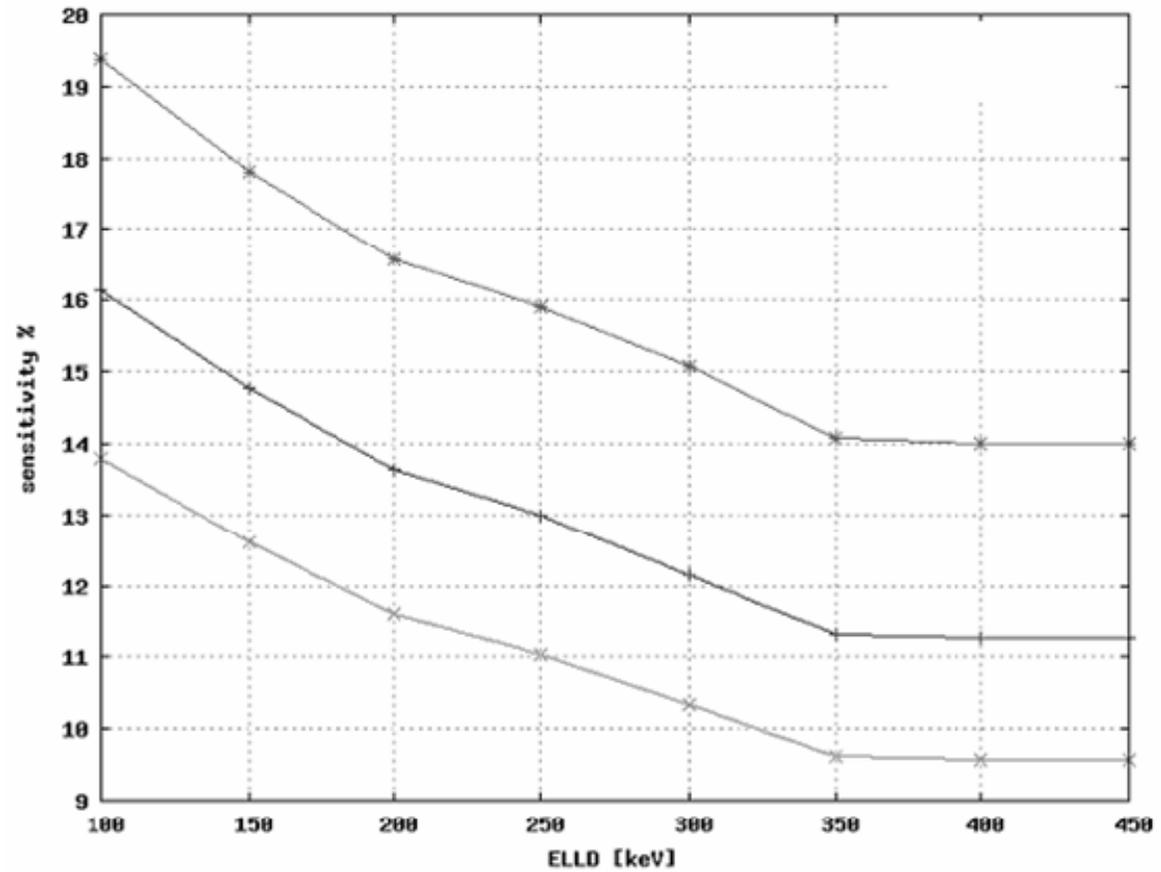


➤ **DISEÑO DE NUEVOS
ESCÁNERES**

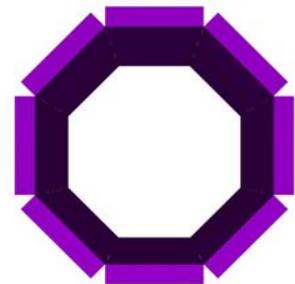
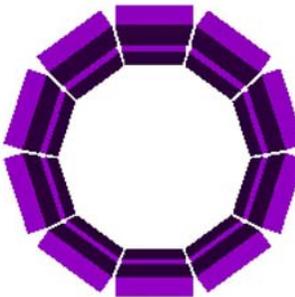
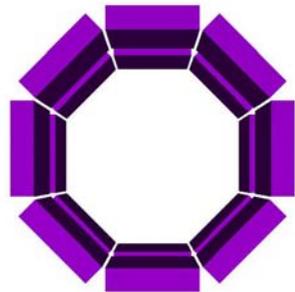
DISEÑO DE UN ESCÁNER



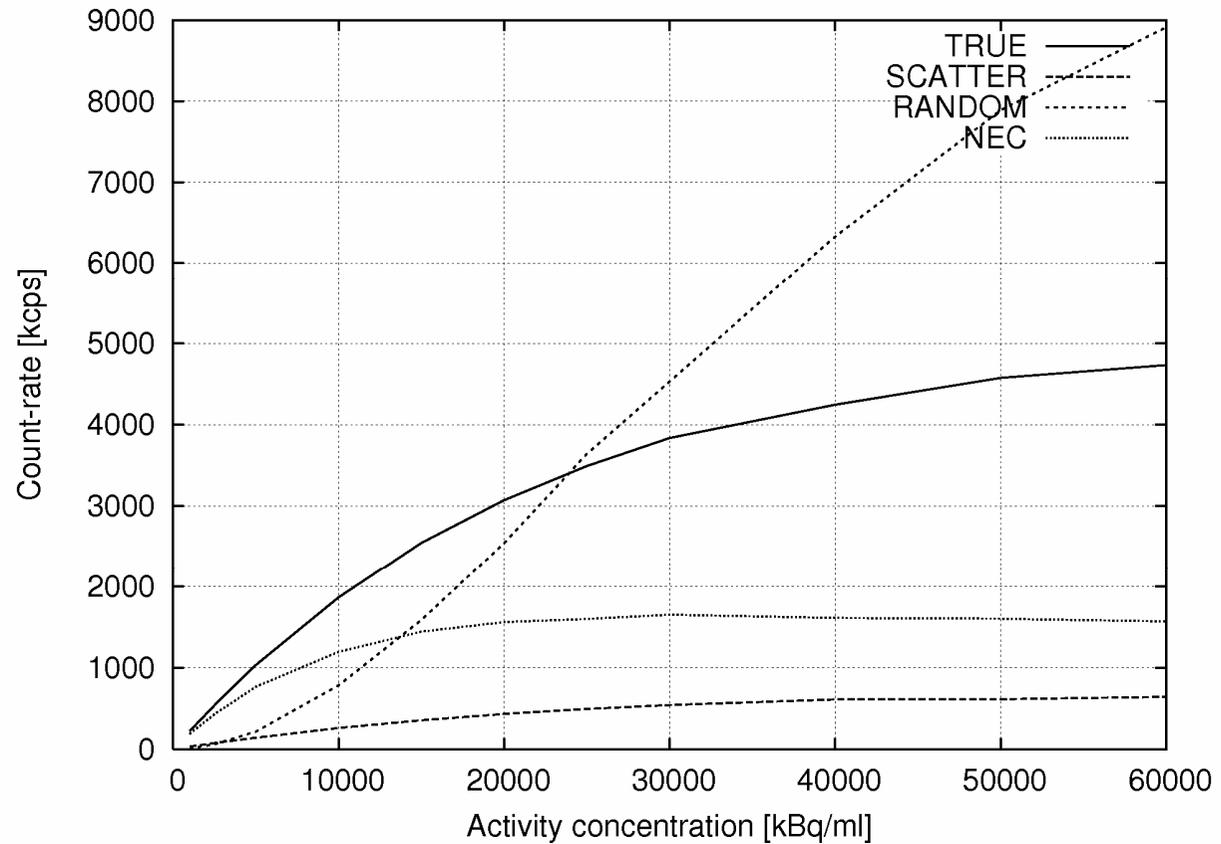
SENSIBILIDAD



DISEÑO DE UN ESCÁNER



CURVA NEC



A photograph of a person in a swimming pool with a large, pixelated overlay of Jerry the mouse from Tom and Jerry. Jerry is sitting on a red surfboard, and a stream of yellow and pink confetti is falling from his hand. The background shows a clear blue sky and a distant island.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN