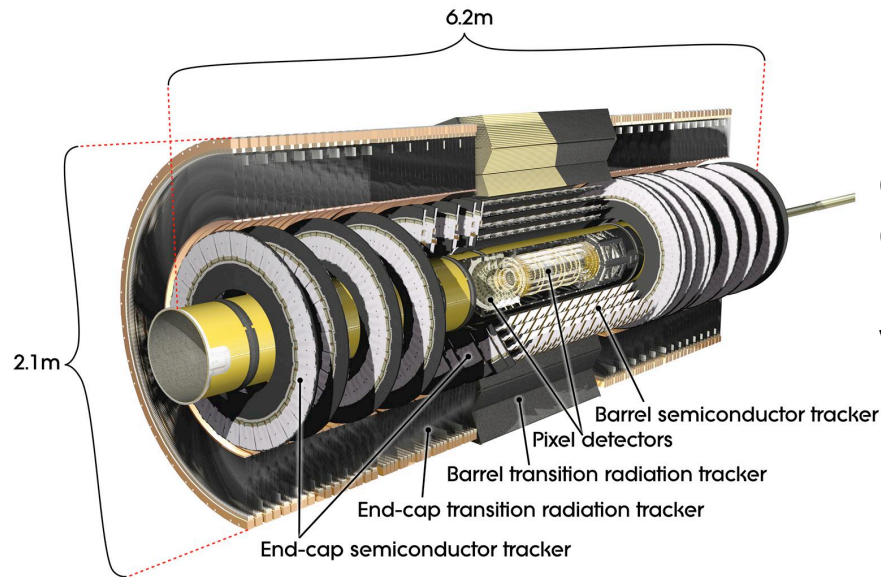


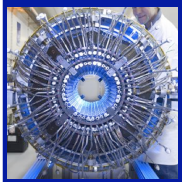
## Alineamiento del detector de trazas de ATLAS: método del algoritmo GlobalChi2

-Regina Moles Valls -  
IFIC - Universitat de València


# Detector Interno



El **Detector Interno** de ATLAS es el detector más cercano al haz de protones. Se encarga de la medida del momento de las partículas cargadas, de los parámetros de la traza y de la reconstrucción de vértices primarios y secundarios.

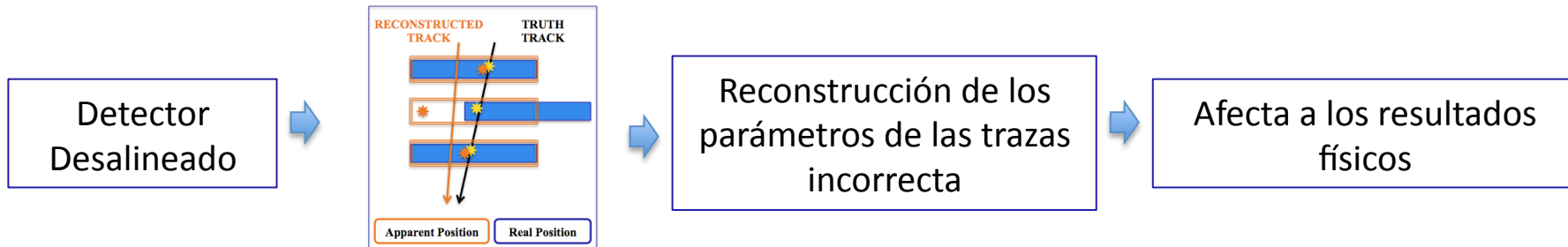
	<b>Detector de Píxeles</b> <i>Detectores de píxeles</i>
<b>Tamaño del elemento</b>	50x400 $\mu\text{m}^2$
<b>Resolución</b>	14 $\mu\text{m}$ ( $R\phi$ ) , 115 $\mu\text{m}$ (z)
<b>Módulos</b>	1744
<b>Layout</b>	3 capas (barril <b>(B)</b> ) 2x3 discos (end-cap <b>(EC)</b> )

	<b>Detector SCT</b> (SemiConductor Tracker) <i>Detectores de micro-bandas</i>
<b>Tamaño del elemento</b>	pitch: $\sim 80 \mu\text{m}$
<b>Resolución</b>	23 $\mu\text{m}$ ( $R\phi$ ) , 580 $\mu\text{m}$ (z)
<b>Módulos</b>	4088
<b>Layout</b>	4 capas <b>(B)</b> 2x9 discos <b>(EC)</b>

	<b>Detector TRT</b> (Transition Radiation Tracker) <i>Tubos de deriva</i>
<b>Tamaño del elemento</b>	Diámetro: 4mm Longitud:144cm (barril)
<b>Resolución</b>	130 $\mu\text{m}$ ( $R\phi$ )
<b>Módulos</b>	176
<b>Layout</b>	73 capas in 3 anillos <b>(B)</b> 2x160 planos in 40 estructuras de ensamblaje <b>(EC)</b>

# Motivaciones del Alineamiento

El ***alineamiento*** de un detector consiste en determinar la posición y la orientación de sus componentes.



La estrategia de alineamiento para el ID de ATLAS combina diferentes fuentes de información:

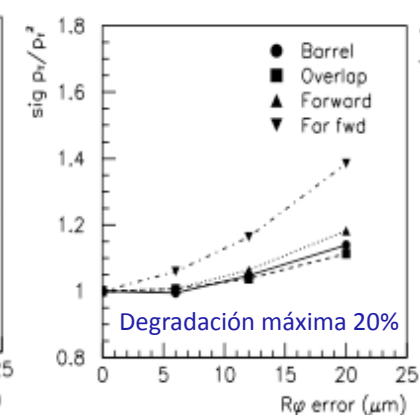
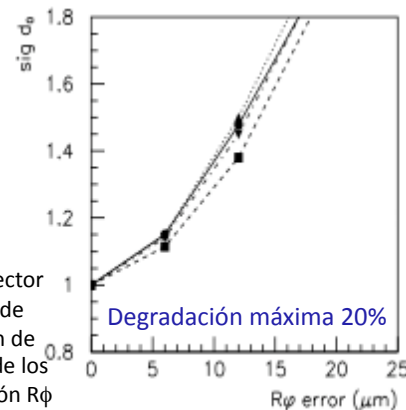
- Medidas de la posición y orientación de las estructuras realizadas durante el ensamblaje del detector.
- FSI (*Frequency Scanning Interferometry*): El SCT está equipado con un sistema de monitorización láser.
- **Algoritmos de alineamiento con trazas**

*Las constantes de alineamiento deben conocerse con una precisión tal que no degrade los parámetros de las trazas mucho mas allá de la resolución intrínseca de los detectores si queremos conseguir los objetivos de ATLAS (degradación en resolución menor del 20%)*

Los desalineamientos de la tabla satisfacen los requerimientos:

Dirección	Pixel's		SCT	
	B	EC	B	EC
$R\phi$ ( $\mu\text{m}$ )	7	7	12	12
Z ( $\mu\text{m}$ )	20	100	50	200

La resolución del Detector Interno para muones de 100GeV como función de los desplazamientos de los módulos en la dirección  $R\phi$



# Algoritmos de Alineamiento

Los algoritmos de alineamiento se basan en la minimización del  $\chi^2$  construido con la información de los residuos. El  $\chi^2$  es una función implícita de los parámetros de alineamiento y este es mínimo cuando el detector está alineado.

## RESIDUO:

Los residuos son la distancia entre el punto medido y el punto extrapolado:

$$r = \text{hit}_{\text{medido}} - \text{hit}(\pi, a)_{\text{extrapolado}}$$

$\pi$  : parámetros de las trazas       $a$  : parámetros de alineamiento

## $\chi^2$ DEFINITION:

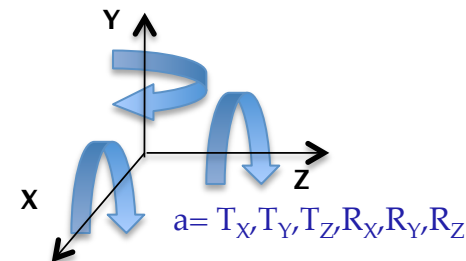
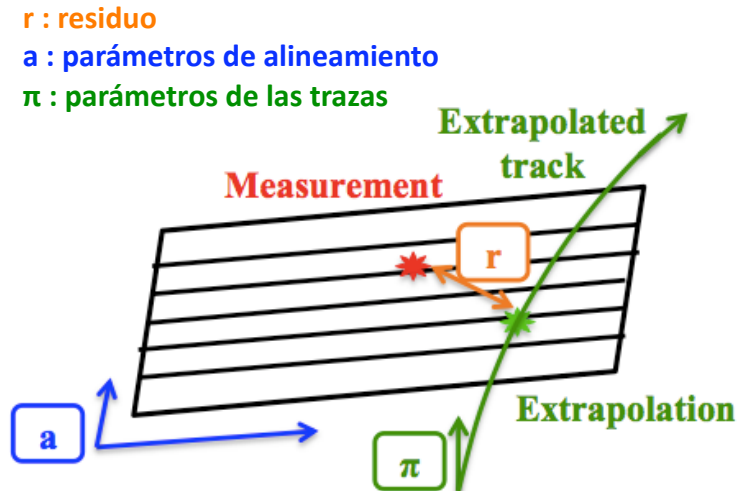
$$\chi^2 = \sum_{\text{Tracks}} r^T(\pi, a) V^{-1} r(\pi, a) + \text{restricción}$$

$r$  : los residuos dependen de los parámetros de las trazas ( $\pi$ ) y de los parámetros de alineamiento ( $a$ )

## $\chi^2$ MINIMIZATION:

$$\frac{d\chi^2}{da} = 0$$

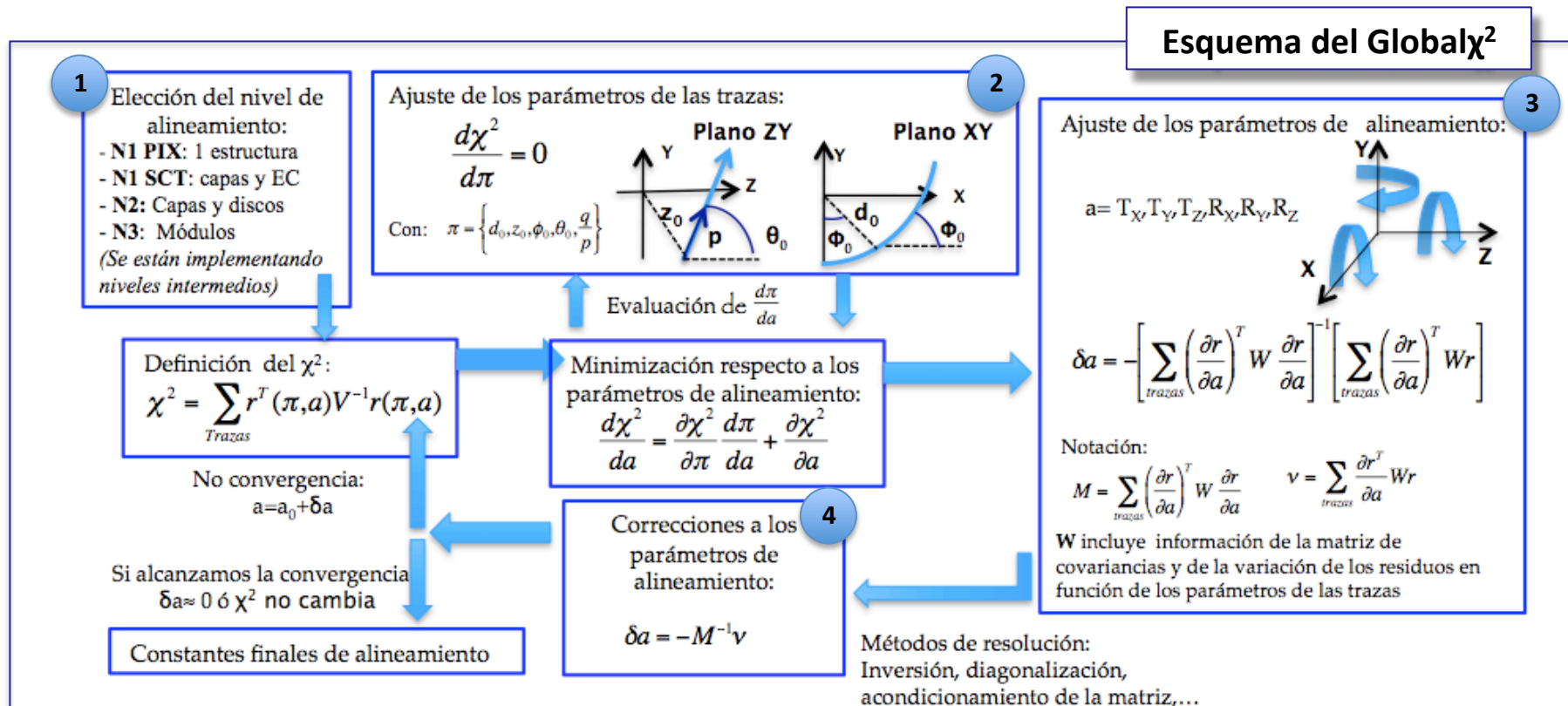
Los algoritmos minimizan el  $\chi^2$  respecto a los parámetros de alineamiento para encontrar la geometría real del detector



# Algoritmo Global $\chi^2$

El **Global $\chi^2$**  es uno de los algoritmos de alineamiento para el sistema de silicio del detector Interno de ATLAS (*Pixel* y *SCT*).

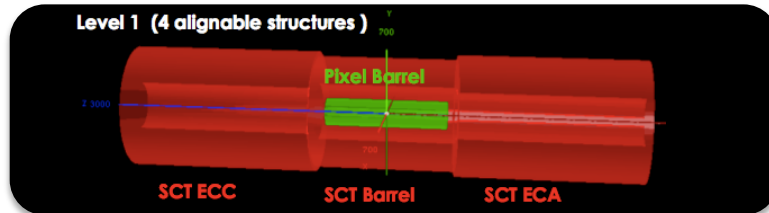
- Se basa en la minimización de una función de  $\chi^2$
- Usa residuos biased (todos los hits intervienen en la reconstrucción de la traza)
- Tiene en cuenta la correlación entre módulos
- Genera un matriz enorme (35k  $\times$  35k) que debemos invertir para resolver el sistema



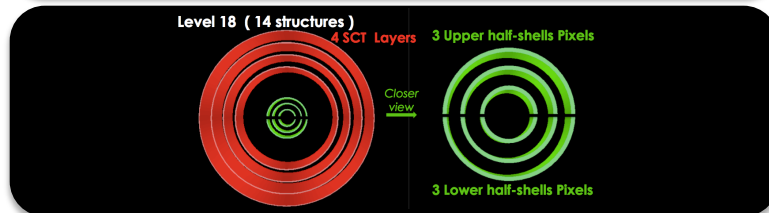
# Niveles de alineamiento

1

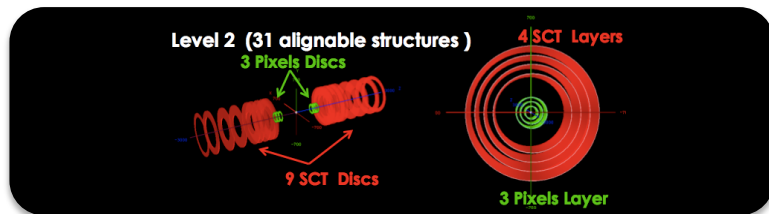
Existen diferentes niveles de alineamiento atendiendo a las fases de ensamblaje del detector.



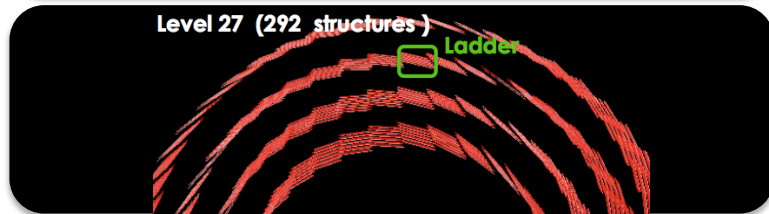
- **Nivel 1** → 4 estructuras (24 DoFs)
- PIX: Detector completo (1 estructura × 6DoFs)
- SCT: Barril + 2 EC ( End-Caps) (3 estructuras × 6 DoFs)



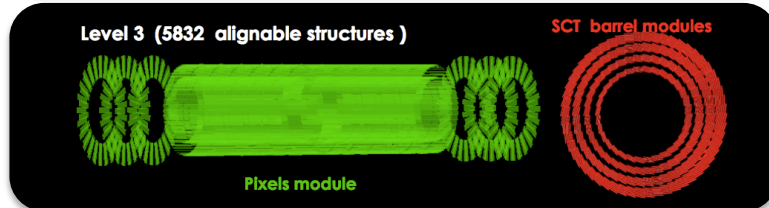
- **Nivel 1.8** → 14 estructuras ( 84 DoFs)
- PIX: 3\*2 semi-capa de la zona barril + EC
- SCT: 4 capas en la zona barril + 2 EC



- **Nivel 2** → 31 estructuras (186 DoFs)
- PIX: 3 capas en la zona barril + 2\*3 discos en la zona EC
- SCT: 4 capas en la zona barril + 2\*9 discos en la zona EC



- **Nivel 2.7** → 292 estructuras (1752DoFs)
- PIX: 112 ladders en la zona barril + 2 EC
- SCT: 176 ladders en la zona barril + 2 EC



- **Nivel 3** → 5832 estructuras (34992 DoFs)
- PIX: 1456 módulos + 2\*144 módulos en la zona EC
- SCT: 2112 módulos + 2\*988 módulos en la zona EC

# Ajuste de los parámetros de la traza

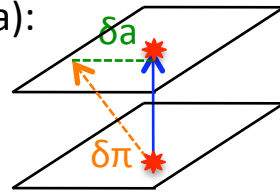
2

Definimos el  $\chi^2$  en función de los residuos:

$$\chi^2 = \sum_{\text{Trazas}} r^T(\pi, a) V^{-1} r(\pi, a)$$

Minimización del  $\chi^2$  respecto a los Parámetros de alineamiento (a):

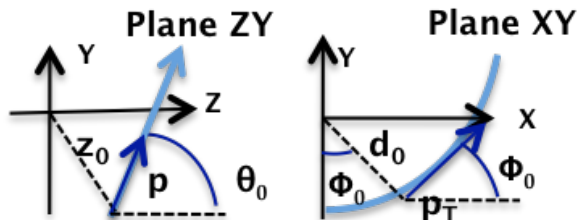
$$\frac{d\chi^2}{da} = \frac{\partial\chi^2}{\partial\pi} \frac{d\pi}{da} + \frac{\partial\chi^2}{\partial a}$$



El término  $\frac{d\pi}{da}$  no nulo introduce las correlaciones entre estructuras.

Ajuste de los parámetros de la traza (evaluación de  $\frac{d\pi}{da}$ )

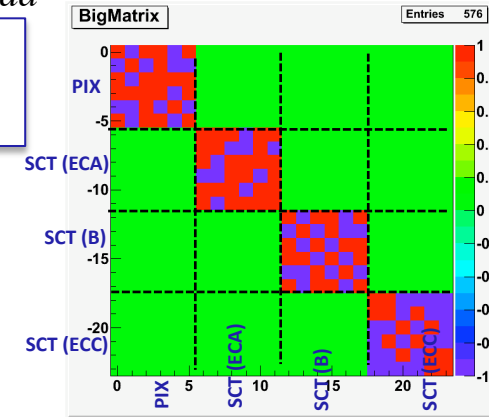
$$\frac{d\chi^2}{d\pi} = \frac{\partial\chi^2}{\partial\pi} = 0 \quad \text{Con: } \pi = \left\{ d_0, z_0, \phi_0, \theta_0, \frac{q}{p} \right\}$$



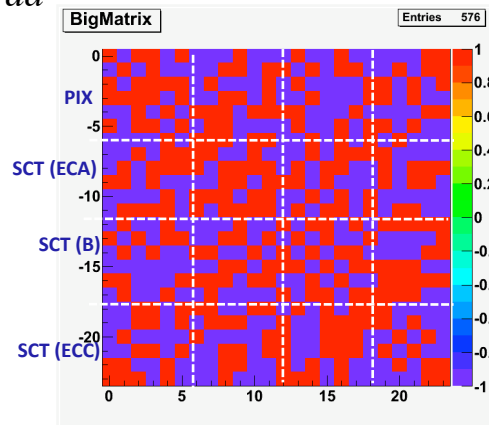
Expresión y representación de la matriz

$$\left[ \sum_{\text{trazas}} \left( \frac{\partial r}{\partial a} \right)^T W \frac{\partial r}{\partial a} \right]$$

$\frac{d\pi}{da} = 0$  Aproximación Local



$\frac{d\pi}{da} \neq 0$  Aproximación Global



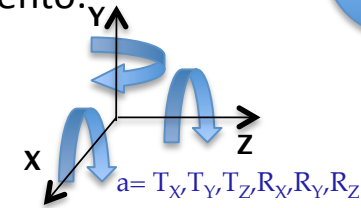
La aproximación Global genera una matriz mucho más densa, por tanto la inversión de esta resulta mucho más compleja. (Técnicas de diagonalización, mayor consumo de CPU,...)

# Ajuste de los parámetros de alineamiento

3,4

Debemos minimizar la expresión del  $\chi^2$  respecto a los parámetros de alineamiento:

- Translación en el eje x, y, z ( $T_x, T_y, T_z$ )
- Rotación alrededor del eje x, y, z ( $R_x, R_y, R_z$ )

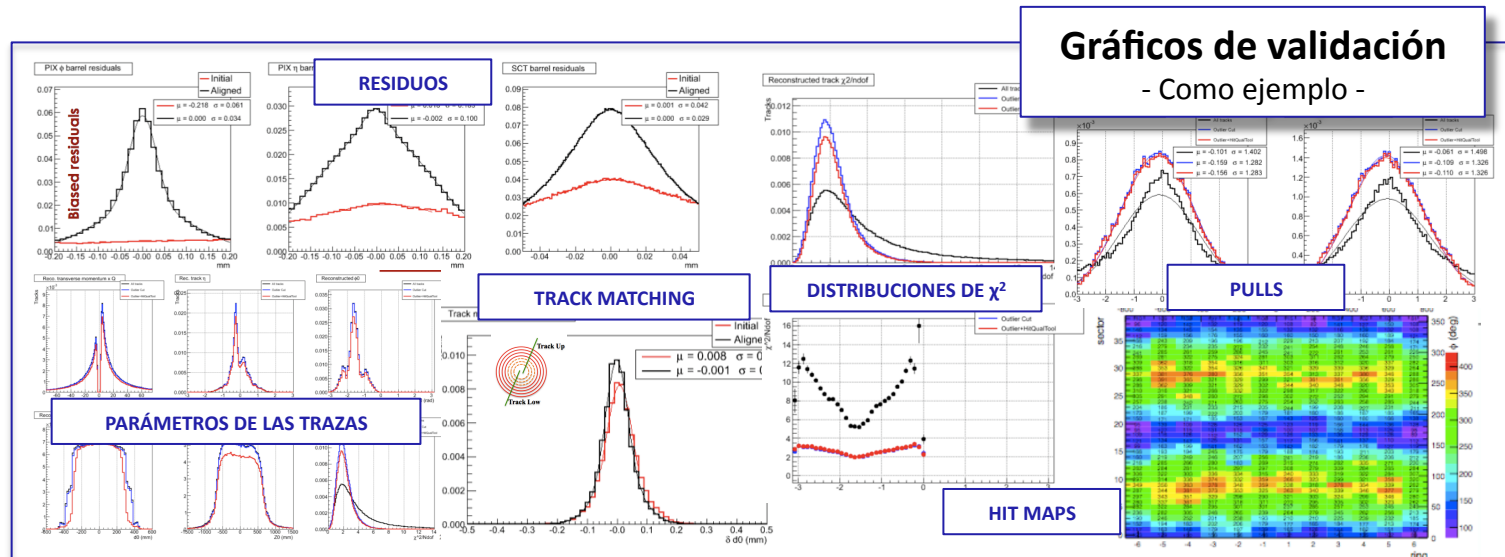


Manipulación de las expresiones para obtener las correcciones a las constantes de alineamiento:

$$\delta a = - \left[ \sum_{\text{trazas}} \left( \frac{\partial r}{\partial a} \right)^T W \frac{\partial r}{\partial a} \right]^{-1} \left[ \sum_{\text{trazas}} \left( \frac{\partial r}{\partial a} \right)^T W r \right] \quad \text{donde: } M = \sum_{\text{trazas}} \left( \frac{\partial r}{\partial a} \right)^T W \frac{\partial r}{\partial a}, \quad v = \sum_{\text{trazas}} \frac{\partial r}{\partial a} W r$$

**W** incluye información de la matriz de covariancias y de la variación de los residuos en función de los parámetros de las trazas.

Una vez obtenemos las constantes de alineamiento del detector debemos validarlas.



# Definición del $\chi^2$ - Restricciones

El algoritmo Global $\chi^2$  permite introducir restricciones externas como términos aditivos a la definición del  $\chi^2$ :

- Parámetros de la trazas:  $\chi^2 = \sum_{\text{Trazas}} r(\pi, a)^T V^{-1} r(\pi, a) + \sum_{\text{Trazas}} R(\pi)^T S^{-1} R(\pi)$
- Parámetros de alineamiento:  $\chi^2 = \sum_{\text{Trazas}} r^T(\pi, a) V^{-1} r(\pi, a) + R^T(a) G^{-1} R(a)$

Ejemplo: Alineamiento de los end-caps del SCT.

Motivación: Se ha observado que la posición en z de los discos del SCT no converge



Se ha implementado una restricción (en los parámetros de alineamiento) para alinear los discos.

$$\chi^2 = \sum_{\text{Trazas}} r^T(\pi, a) V^{-1} r(\pi, a) + R^T(a) G^{-1} R(a)$$

Definición de  $\chi^2$  común                      Término restrictivo

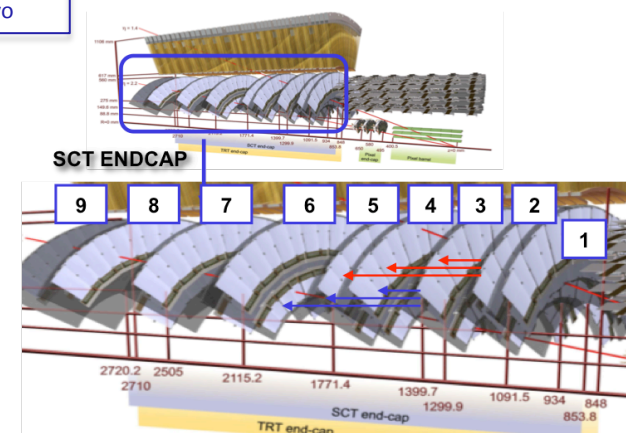
**Residual vector R:**

$$R = \begin{pmatrix} T_{Z_{ECC1}} - T_{Z_{ECC2}} \\ T_{Z_{ECC1}} - T_{Z_{ECC3}} \\ T_{Z_{ECC1}} - T_{Z_{ECC4}} \\ \dots \\ T_{Z_{ECC2}} - T_{Z_{ECC3}} \\ T_{Z_{ECC2}} - T_{Z_{ECC4}} \\ \dots \\ T_{Z_{ECA1}} - T_{Z_{ECA2}} \\ \dots \\ T_{Z_{ECA2}} - T_{Z_{ECA3}} \\ \dots \\ T_{Z_{ECA8}} - T_{Z_{ECA9}} \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{ECC} \\ \text{ECA} \end{matrix}$$

**Covariance matrix G:**

Covariance matrix of the residuals R:

$$G^{-1} = [1/\sigma_{Tz}^2]$$

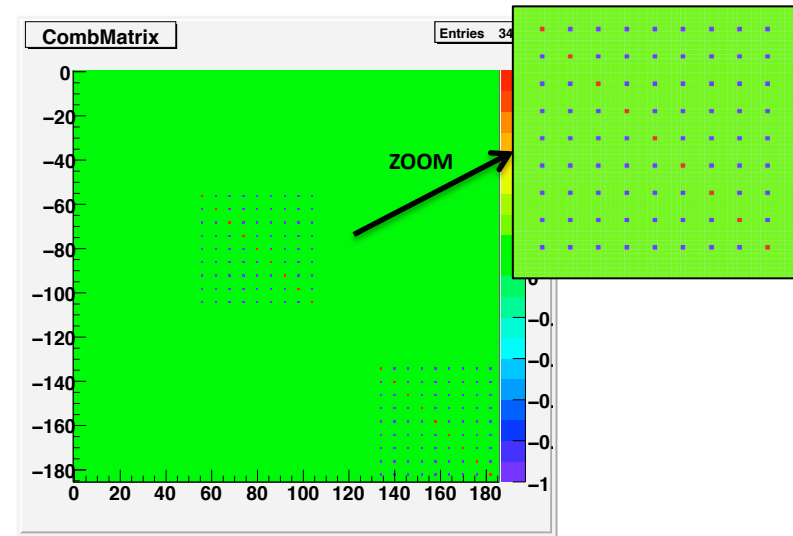


# Definición del $\chi^2$ - Restricciones

Ejemplo: Alineamiento de los end-caps del SCT

$$\chi^2 = \sum_{\text{Trazas}} r^T(\pi, a) V^{-1} r(\pi, a) + R^T(a) G^{-1} R(a)$$

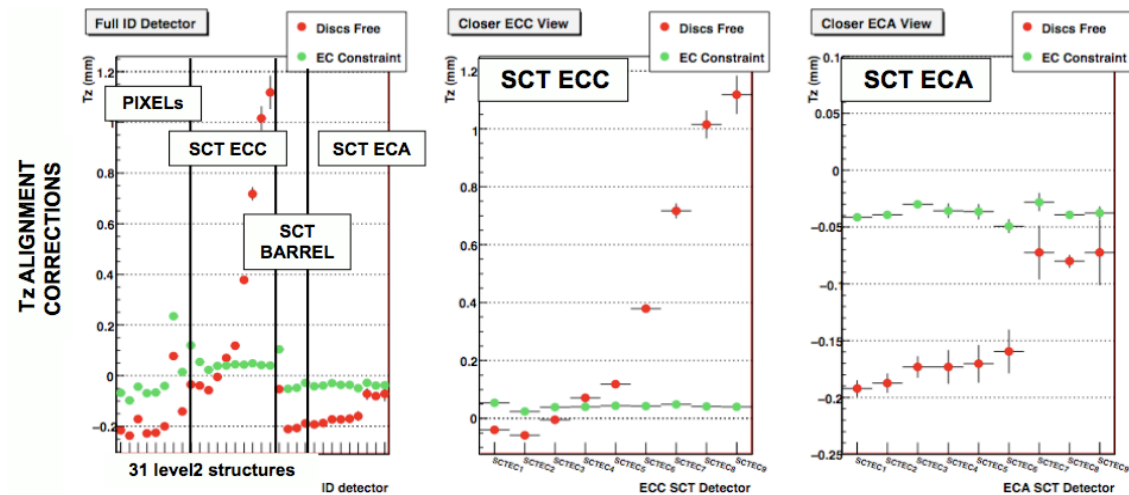
*Trazas*
Definición de  $\chi^2$  común
Término restrictivo



**Matriz del término restrictivo.**  
 Los elementos no nulos corresponden a elementos relacionados con los discos del SCT.

## TEST DEL ALINEAMIENTO DE LOS END-CAPS UTILIZANDO UNA MUESTRA SIMULADA DE RAYOS CÓSMICOS CON DESALINEAMIENTOS CSC:

- Nivel 1 corregido
- Nivel 2 y 3 desalineado
- Los desalineamientos a nivel 2 para la coordenada Tz son cero
- **Discos Libres:** Obtenemos resultados NO FÍSICOS
- **Aplicando Restricciones en el EC:**  
 $\sigma_{Tz} = 10\mu\text{m}$
- Los mismos resultados han sido observados utilizando multimuones y rayos cósmicos reales

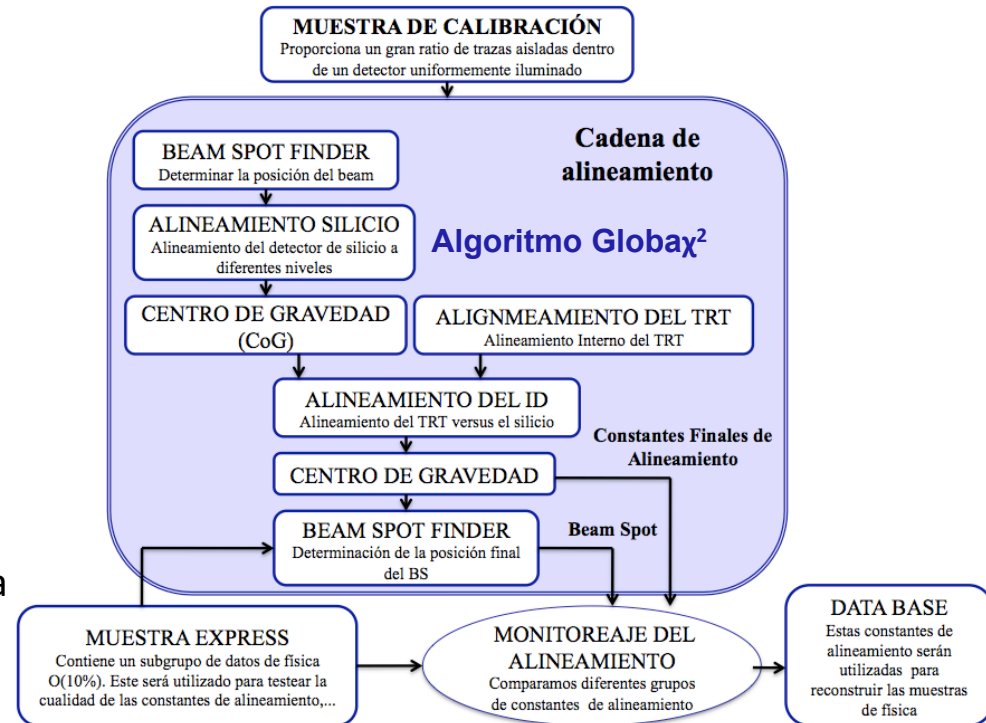


# Ejercicios FDR (*Full Dress Rehearsal*)

El algoritmo  $\text{Global}\chi^2$  ha sido testeado utilizando datos simulados y rayos cósmicos. Los resultados han sido satisfactorios y por tanto el  $\text{Global}\chi^2$  ha sido incluido como algoritmo de alineamiento de los detectores de silicio dentro de la cadena general de alineamiento.

Durante el 2008 se han realizado los ejercicios **FDR** para testear la cadena offline de la toma de datos:

- El  $\text{Global}\chi^2$  ha sido incluido
- Debe proporcionar un set de constantes cada 24h
- Se ha desarrollado un software común que conecta todos los pasos de forma automática
- Se utilizo una muestra combinada:
  - 1M de trazas (piones aislados) con una distribución de  $p_T=[10-50]$  GeV/c
  - 15k eventos de cósmicos



Cadena offline de toma de datos en la que está incluida la cadena de alineamiento del detector Interno de ATLAS.

***Los ejercicios han permitido determinar que la cadena de alineamiento del Detector Interno está lista para las primeras colisiones.***

# Sumario

Se ha presentado el algoritmo de alineamiento Global $\chi^2$  para los detectores de silicio del Detector Interno de ATLAS:

- Se basa en la información de los residuos
- Minimiza la expresión de  $\chi^2$  respecto a los parámetros de alineamiento.
  - El método global introduce la minimización respecto a los parámetros de las trazas.
- Permite introducir restricciones como términos aditivos a la definición del  $\chi^2$ .
- Podemos obtener las constantes de alineamiento correctas ( posición y orientación de los componentes del detector).

Los diferentes tests realizados por el algoritmo Global $\chi^2$  han sido satisfactorios dentro de la colaboración. Por tanto, el Global $\chi^2$  está listo para los primeros datos!!