

# PRINCIPIOS, GENERACIONES DE TC Y MODALIDADES DE EXPLORACIÓN

---

TM Daniel Castro Acuña, MSc

Hospital Clínico

Dpto. de Tecnología Médica

Universidad de Chile

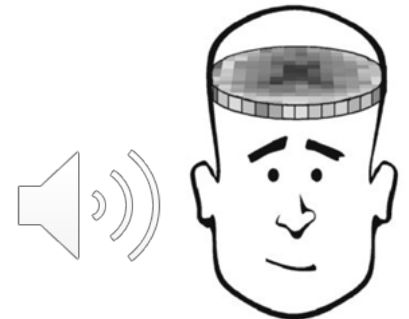
[dcastro@hcuch.cl](mailto:dcastro@hcuch.cl)



# ¿Qué se entiende por TC?

- La palabra tomografía proviene de las raíces griegas *tomos*, que significa “corte o segmento” y *graphia* que significa “representación gráfica”.
- El término *computada* o *computarizada* hace referencia a la utilización de ordenadores o computadoras para lograr la reconstrucción de la imagen.
  - En un comienzo se conocía como *Computed Assisted Tomography* (CAT)<sup>1</sup>.
  - En Estados Unidos es llamada en ocasiones *Computerized Axial Tomography* (CAT)<sup>2</sup>.

- Axial = Transversal: perpendicular al eje longitudinal del cuerpo.



# ¿Qué se entiende por TC?

- Definición:
- Es la representación en **imagen** de un corte o **sección** de un objeto mediante la utilización de ecuaciones **matemáticas** (algoritmos) adaptadas al procesamiento informático por un **computador** u ordenador.
- Se basa en el uso de un **haz de rayos X muy colimado** sobre el objeto, donde la radiación transmitida a través de este es medida por un **detector**, cuya respuesta es enviada a un computador<sup>2</sup>.



# Perspectiva histórica

- ¿Por qué es necesaria la tomografía computada?
- Antes de la aparición de la TC habían regiones del cuerpo humano que no eran accesibles a través de la radiología convencional (Ej. retroperitoneo, encéfalo).
- Limitaciones:
  1. Superposición de estructuras.
  2. Baja resolución de contraste.
  3. Solo entrega información en 2D.



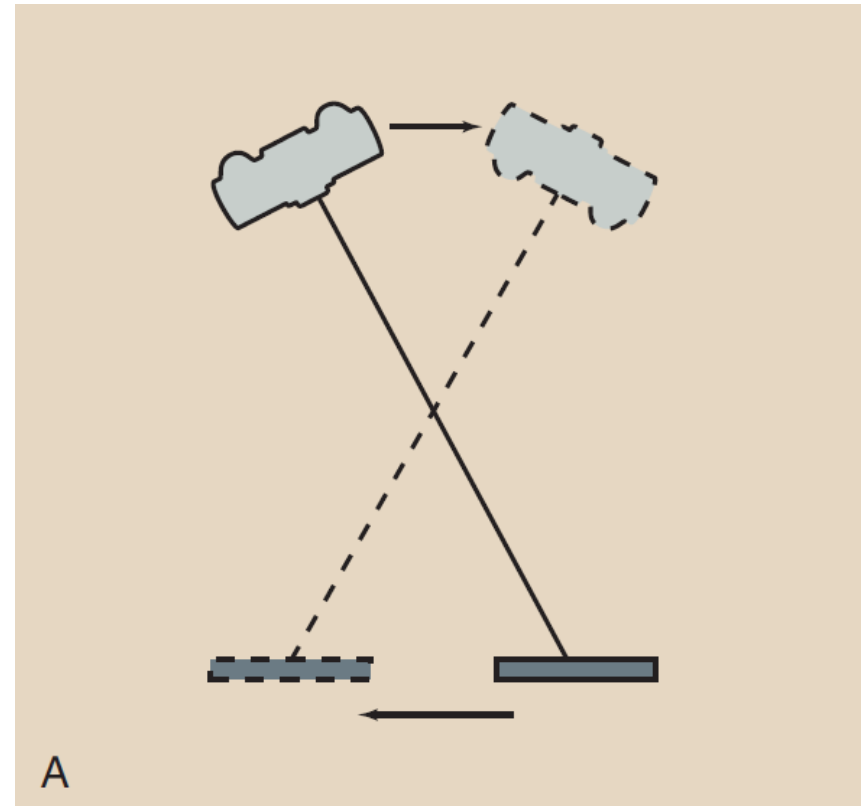
# Perspectiva histórica

- El primer intento de dar solución a estas limitaciones proviene de comienzos de la década del 20.
- En ese entonces es introducida la técnica de *tomografía* mediante el uso de equipos de rayos X por Bocage entre otros.
- El procedimiento más sencillo es conocido como *Tomografía Lineal*.

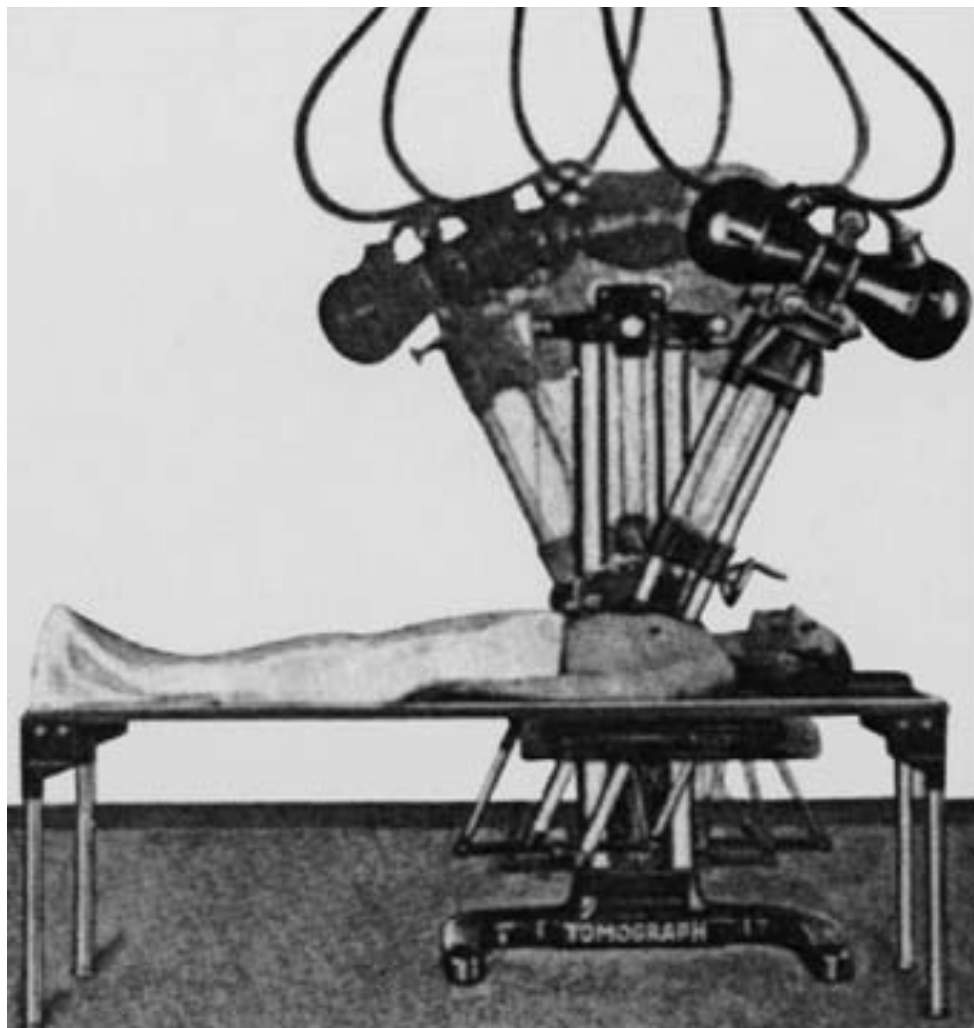


# Perspectiva histórica

- La técnica se basa en el **movimiento conjunto**, y en direcciones opuestas, del tubo de rayos X y el receptor de imagen.
- Este sincronismo se logra incorporando una **unión mecánica** entre ambos componentes.

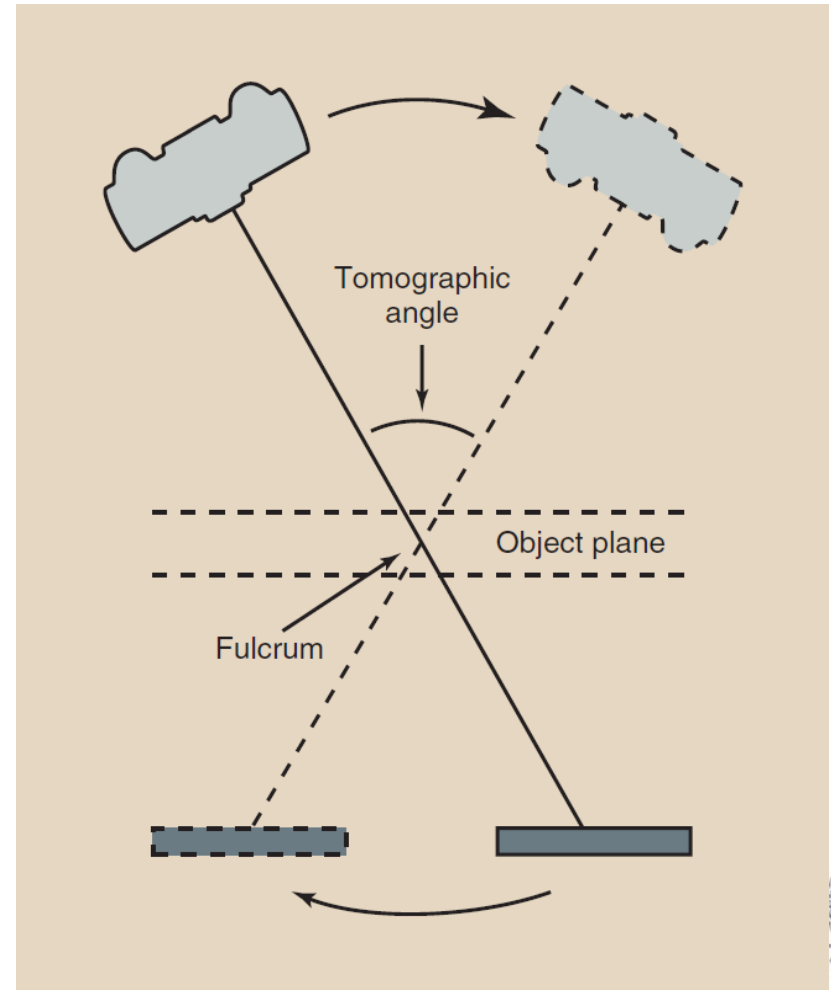


# Perspectiva histórica



# Perspectiva histórica

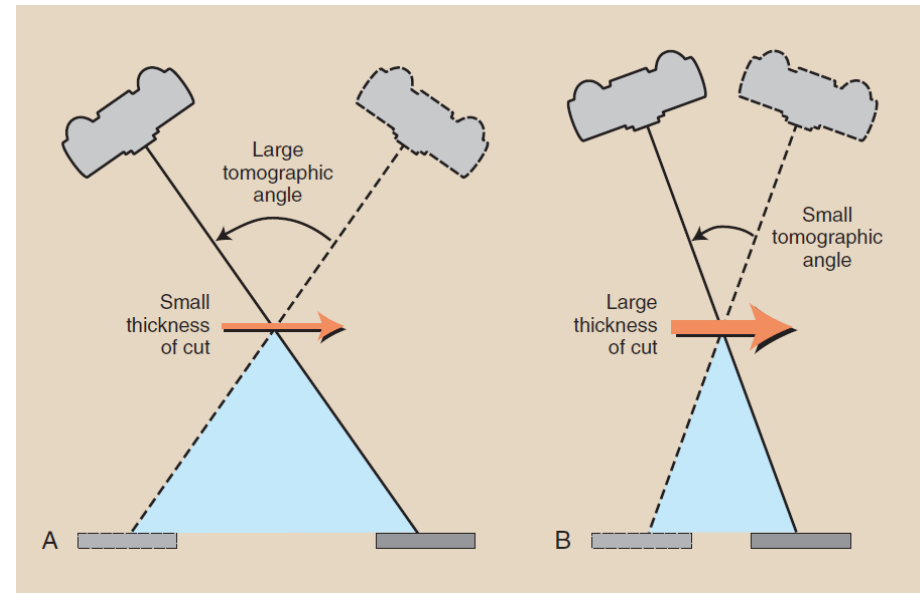
- Se genera un punto de apoyo o *fulcrum* que constituye el punto imaginario entorno al cual se mueve el tubo y receptor.
- En el plano que coincide con este punto la *imagen se representa sin movimiento*, mientras que los planos sobre y bajo este punto se *“borran”* debido al movimiento del sistema.
- Este punto se hace coincidir con el plano del objeto a estudiar.





# Perspectiva histórica

- El espesor del plano o corte desplegado en la imagen depende del ángulo que describa el tubo y receptor, llamado **Ángulo Tomográfico**.
- A medida que se aumenta el ángulo tomográfico, se logran espesores de corte más pequeños.



# Perspectiva histórica



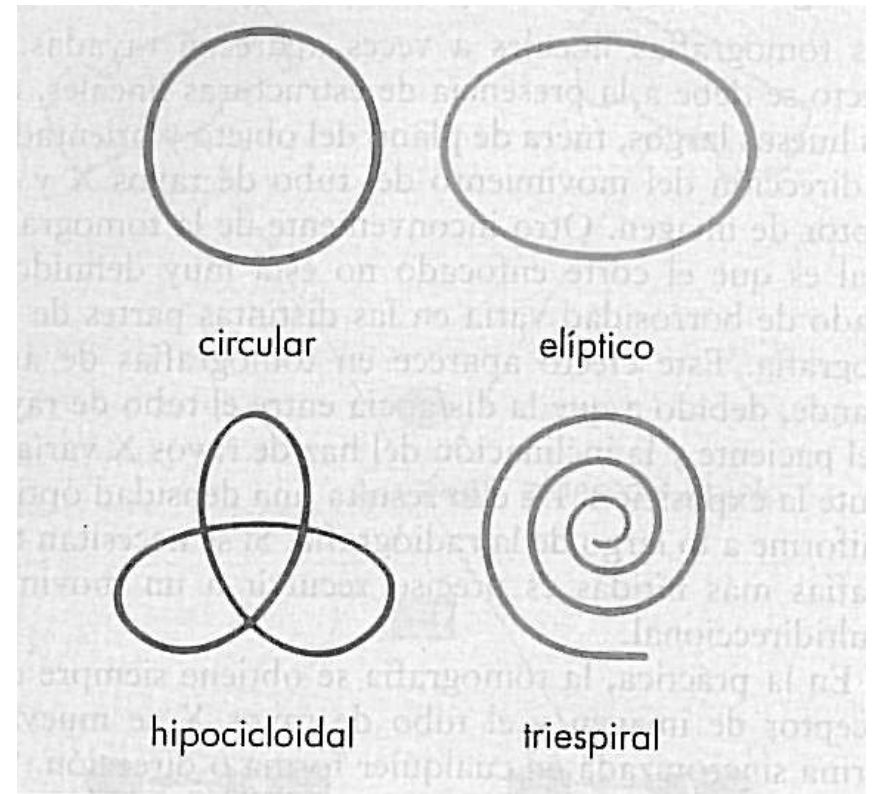
# Perspectiva histórica

- La tomografía lineal posee limitaciones:
  - Presencia de artefactos lineales (rayas) debido a estructuras lineales orientadas en la dirección del movimiento (Ej. Huesos largos) .
  - Mala definición del corte enfocado. El grado de borrosidad varía en distintas partes de la imagen (Ej. tomografías de ángulo grande).
  - Densidad óptica no uniforme a lo largo de la imagen.



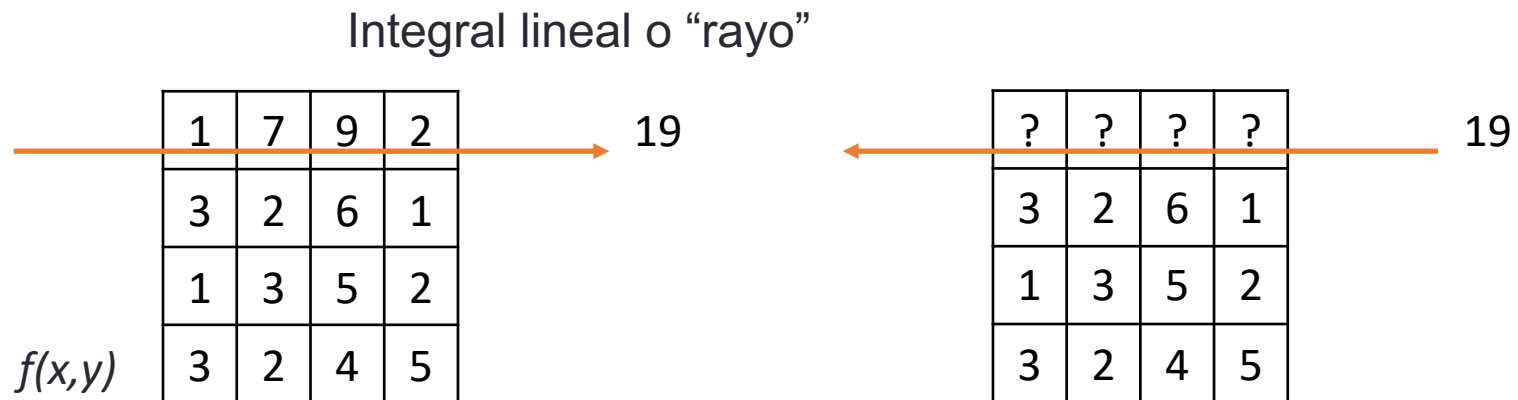
# Perspectiva histórica

- La solución parcial a estos inconvenientes la constituyó la *Tomografía Multidireccional*.
- Aunque producía imágenes de mejor calidad que la tomografía, fue reemplazada definitivamente por la TC y RM.



# Perspectiva histórica

- Las bases de la TC comienzan en 1917. El matemático austriaco Johann Radon presentó su trabajo que se sintetiza en la denominada Transformada de Radon.

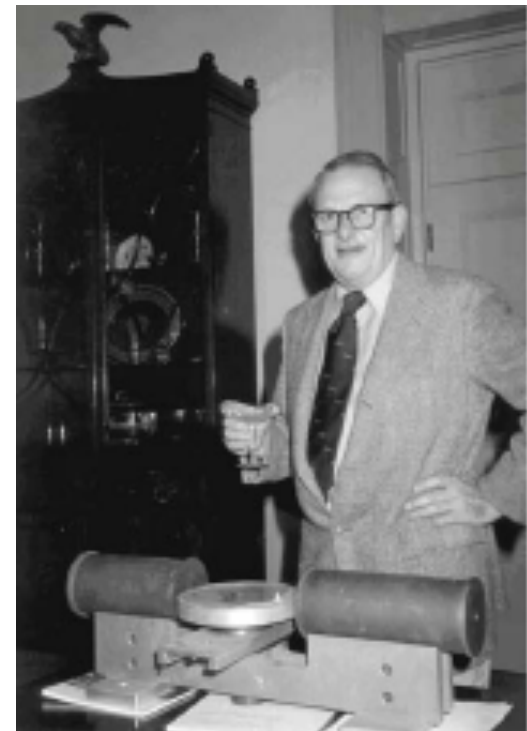


TR inversa permite “reconstruir” los valores de la trayectoria de la integral lineal



# Perspectiva histórica

- ¿Como se pueden obtener los valores de las integrales lineales al estudiar un objeto?
- Los primeros experimentos fueron realizados por el físico norteamericano de origen sudafricano *Allan McLeod Cormack*.
- Entre *1957* y *1963* desarrollo un método experimental para calcular las distribuciones de absorción de radiación en el cuerpo humano basado en mediciones de transmisión.



# Perspectiva histórica

- Cormack postulaba que para las aplicaciones radiológicas debiese ser **posible** desplegar inclusive las más **mínimas diferencias de absorción**, por ejemplo de distintas estructuras de tejido blando.
- Lamentablemente Cormack no pudo concretar sus estudios en la creación de un equipo de uso clínico.



# Perspectiva histórica

- Una exitosa implementación práctica de estos conceptos teóricos fue logrado en **1971** por el ingeniero inglés **Godfrey Newbold Hounsfield**, quien es reconocido históricamente como el inventor de la Tomografía Computada.
- Hounsfield trabajaba para la empresa británica **Electric and Musical Industries Ltd (EMI)**, que hasta ese entonces se dedicada a la manufactura de discos y componentes electrónicos.





# Perspectiva histórica



Primer prototipo creado por Hounsfield  
Fuente de  $^{241}\text{Am}$  (60 keV)

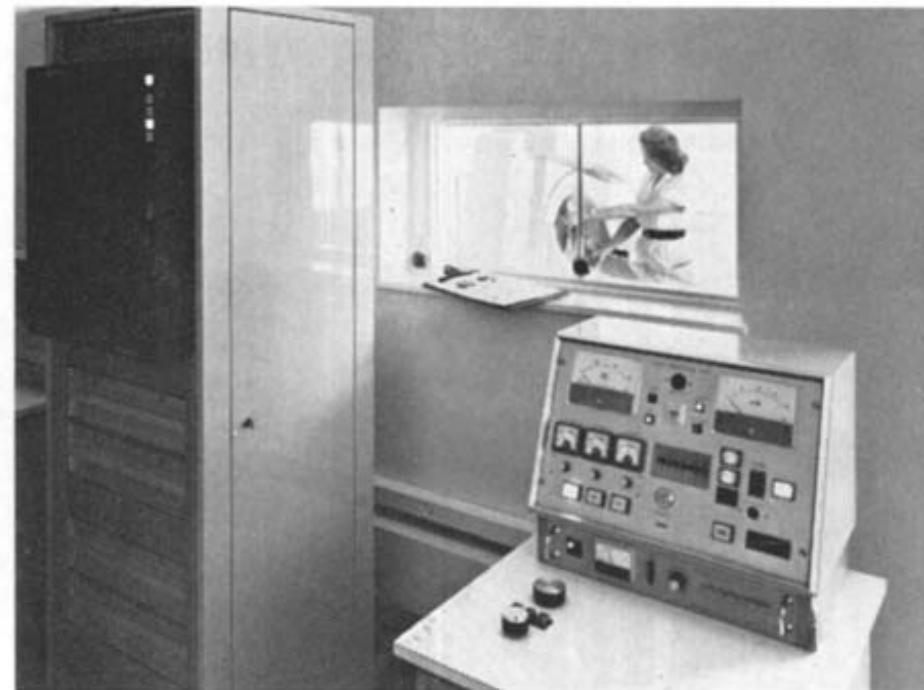


# Perspectiva histórica



- Se necesitó el desarrollo de la tecnología de los computadores modernos en la década del 60 para lograr el desafío.

## Mark I - EMI



# Perspectiva histórica

- En **1972**, junto al **Dr. James Ambrose**, condujo el primer examen clínico por TC en el hospital Atkinson Morley en Inglaterra.



# Perspectiva histórica

- En 1979 Hounsfield y Cormack recibieron el Premio Nobel de medicina por la invención de la TC.



# ¿QUÉ MIDE UN TC?

---



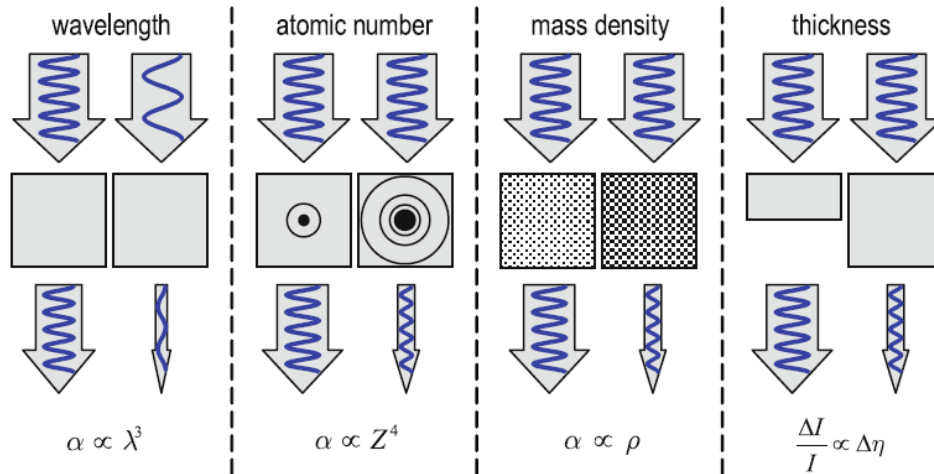
# ¿Qué mide un TC?

- Mide *perfiles de intensidad de radiación*, los que son capturados por un detector después de pasar a través de un objeto (valores de las integrales lineales de Radon).
- Cada perfil es el resultado de la interacción de un haz de radiación (rayos X) con el objeto a estudiar.
- Este perfil depende de varios factores, entre ellos:
  - Espesor del objeto.
  - Homogeneidad del objeto.
  - Características de atenuación del objeto.
  - La energía del haz de radiación.



# ¿Qué mide un TC?

- El resultado de las interacciones que experimente el haz con el objeto es lo que conocemos como **atenuación** o disminución de su intensidad (Nº de fotones).
- **ATENUACIÓN** = Absorción + Dispersión



# ¿Qué mide un TC?

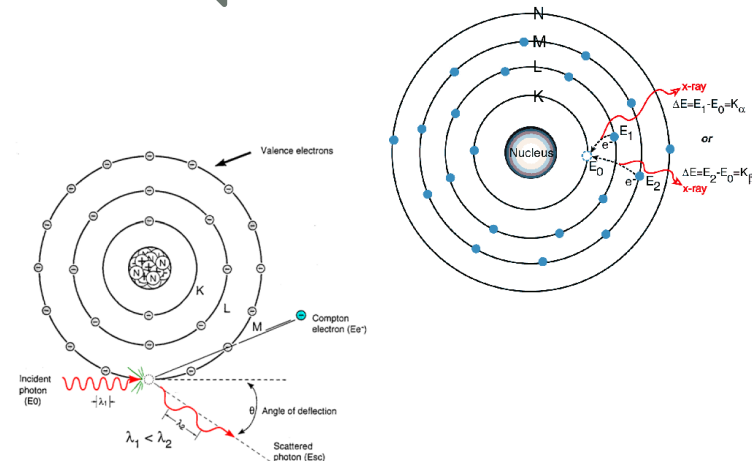
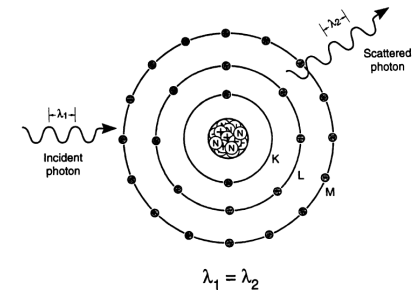
- Si trabajamos con ondas electromagnéticas, como los rayos X, sabemos que la atenuación se debe a procesos bien conocidos de interacción con la materia:

1. Dispersión Clásica ó *Rayleigh*.

2. Absorción o Efecto *Fotoeléctrico*.

3. Dispersión o Efecto *Compton*.

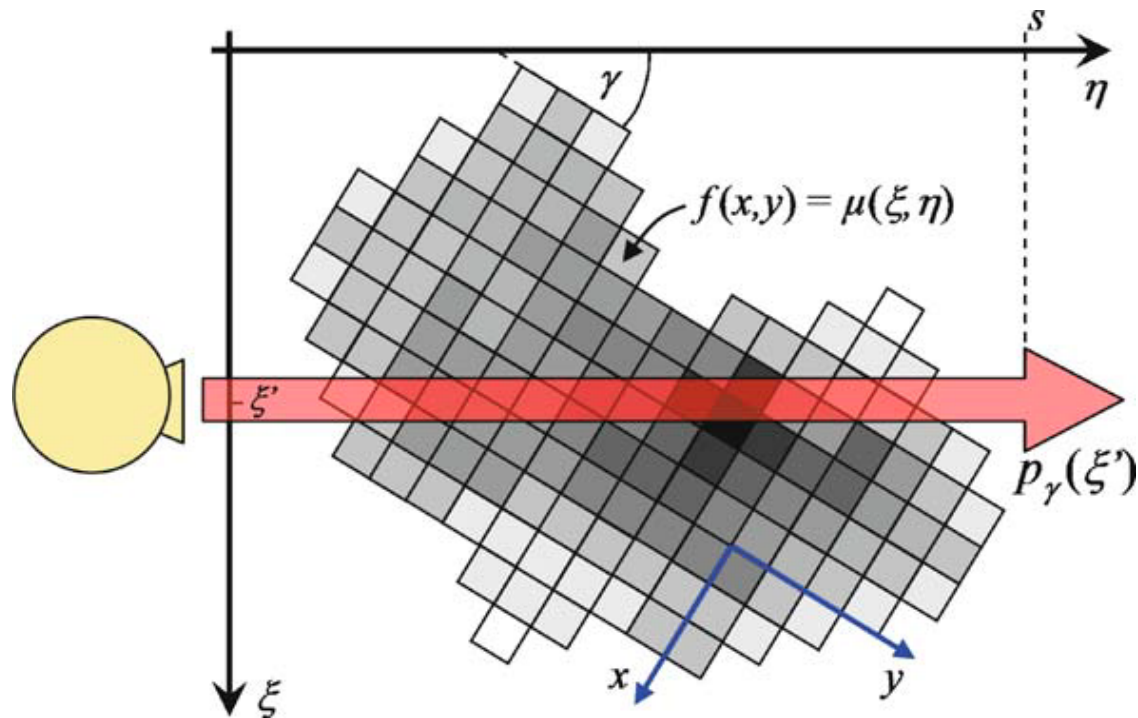
4. ~~Formación de Pares.~~





# ¿Qué mide un TC?

- El objetivo de la TC es obtener a través de la medición de estos perfiles la *distribución* de los coeficientes de atenuación lineal ( $\mu$ ) al interior de un objeto.



# ¿Qué mide un TC?

- Cuando hablamos de rayos X, sabemos que la atenuación de un haz de este tipo por un espesor de material  $x$  se rige por la *Ley de Atenuación Exponencial de Lambert - Beer*:

$$I(x) = I_0 * e^{-\mu * x}$$

$I_0$ :	Intensidad de la radiación que incide en el objeto.
$I(x)$ :	Intensidad de la radiación transmitida por el objeto.
$\mu$ :	Coefficiente de atenuación lineal.
$x$ :	Espesor del objeto.

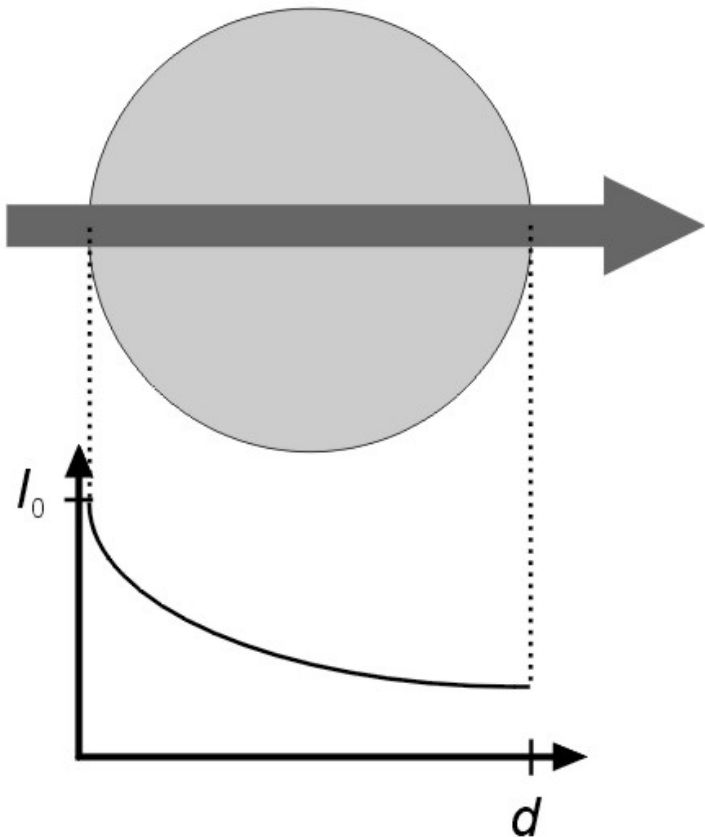


# ¿Qué mide un TC?



Objeto homogéneo, haz monoenergético

d=x



$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}$$

$$P = \ln \frac{I_0}{I} = \mu \cdot d$$

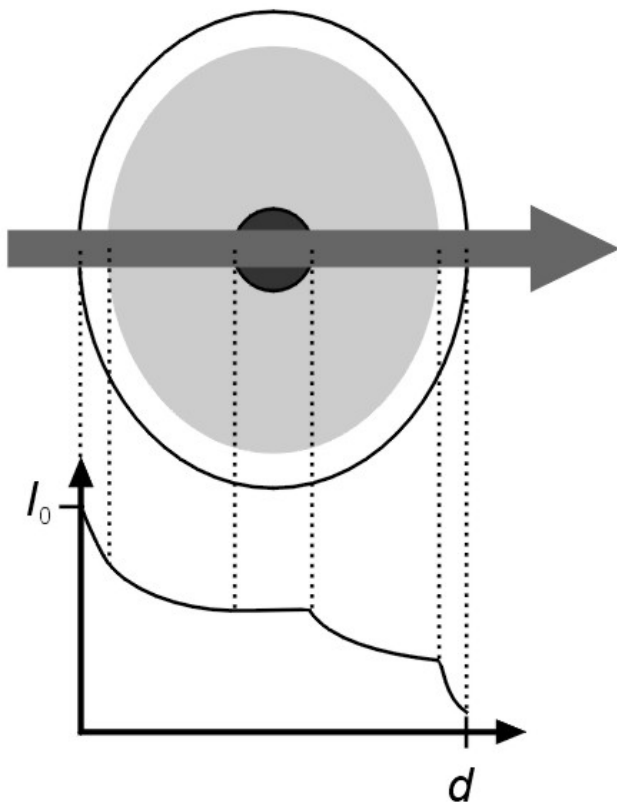
$$\mu = \frac{1}{d} \cdot \ln \frac{I_0}{I}$$



# ¿Qué mide un TC?



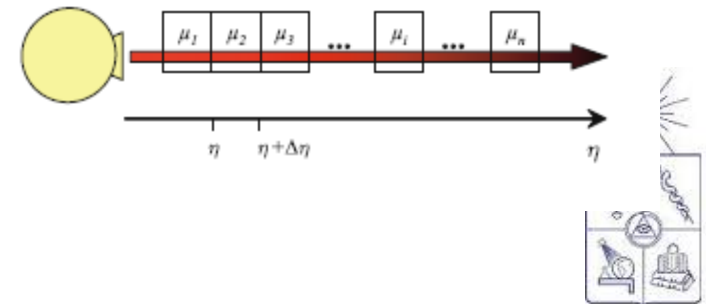
Objeto inhomogéneo, haz monoenergético



$$I = I_0 \cdot e^{-\mu_1 \cdot d_1 - \mu_2 \cdot d_2 - \mu_3 \cdot d_3 - \dots} =$$
$$= I_0 \cdot e^{-\left[\sum_{i=1}^n \mu_i d_i\right]} = I_0 \cdot e^{-\int_0^d \mu ds}$$

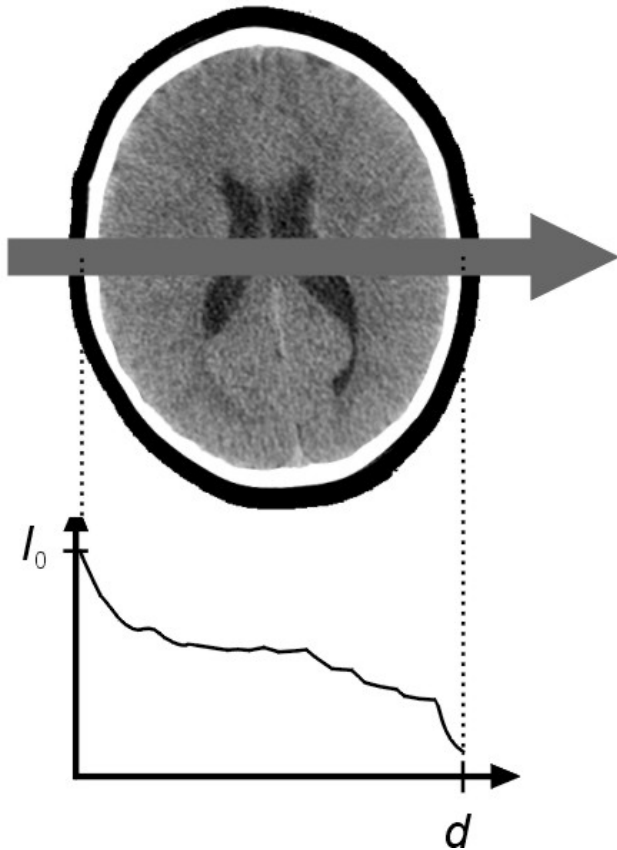
$$P = \ln \frac{I_0}{I} = \sum \mu_i d_i$$

$$\mu_i = ?$$



# ¿Qué mide un TC?

Objeto inhomogéneo, haz polienergético



$$I = \int_0^{E_{\max}} I_0(E) \cdot e^{-\int_0^d \mu(E) ds} dE$$

$$P = \ln \frac{I_0}{I}$$

$$\mu(x, y) = ?$$



VGA 2000

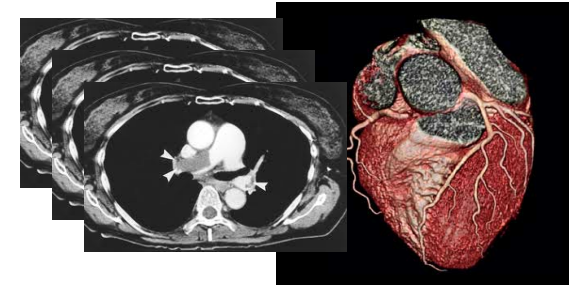
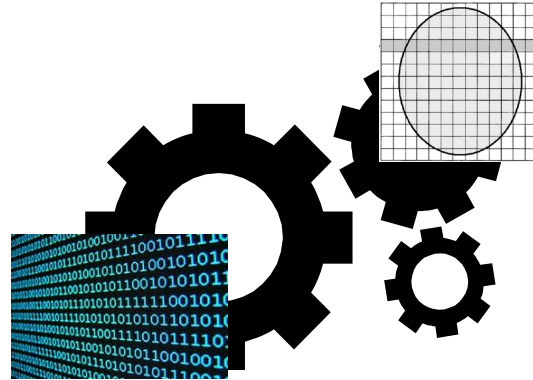
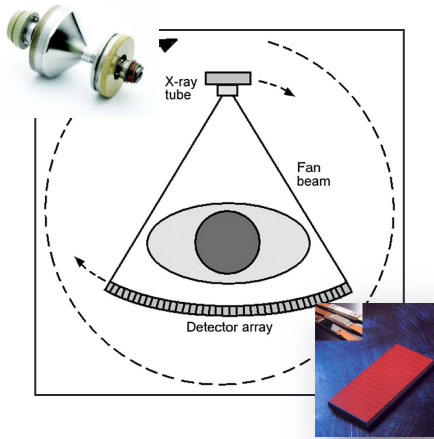


# ¿CÓMO OBTENEMOS UNA IMAGEN EN TC?

---



# Pasos en la obtención de una imagen en TC



Adquisición de  
Información  
(Data)



Reconstrucción



Despliegue,  
Manipulación,  
Transmisión y  
Almacenamiento



# ADQUISICIÓN DE LA DATA

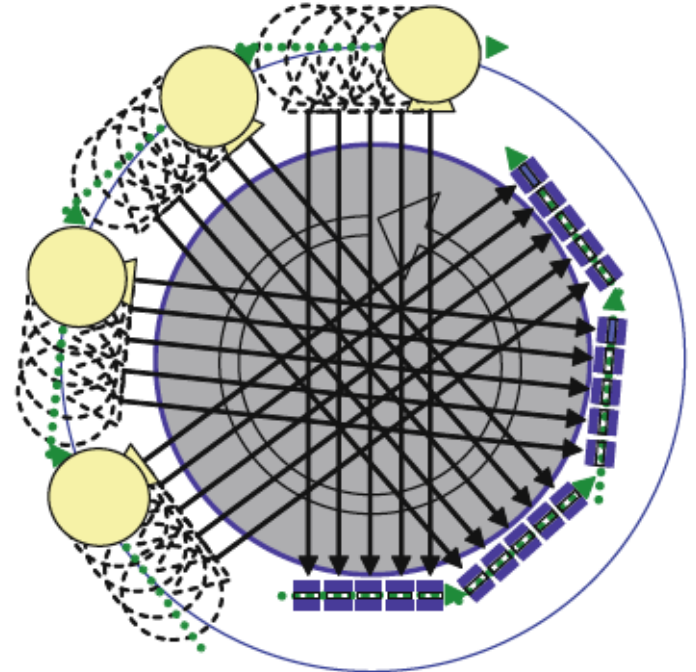
---



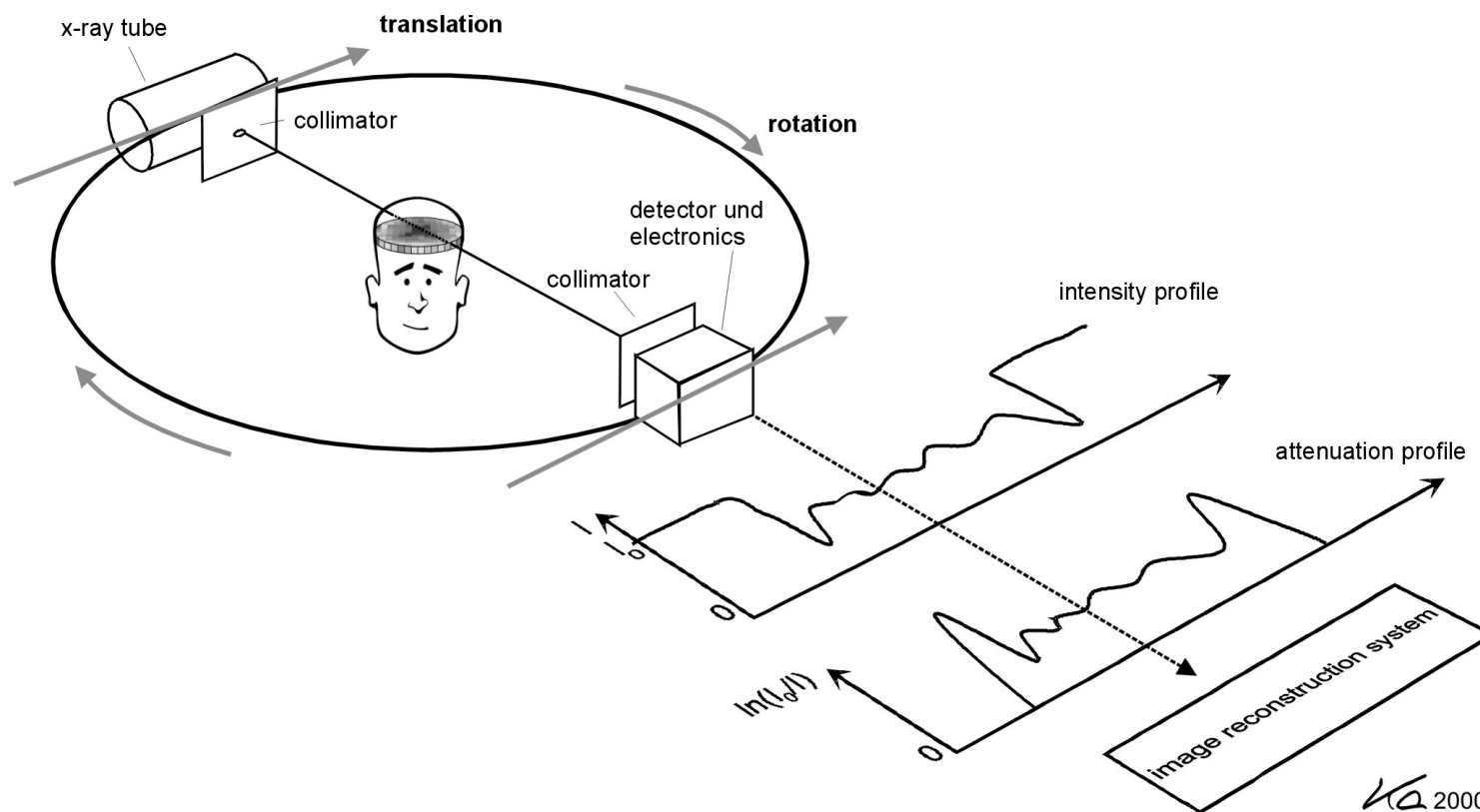


# Adquisición de la DATA

- Para construir una imagen es necesario tener un número suficientemente alto de *integrales de atenuación* o *proyecciones*.
- Para ello es necesario llevar a cabo mediciones en todas direcciones.
- Al menos en *180°* alrededor del objeto.



# ¿Qué mide un TC?

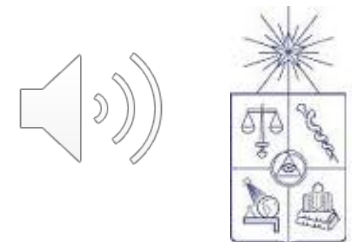


Va 2000



# Adquisición de la DATA

- Desde el punto de vista técnico básico es necesario contar con una **fuentes** de radiación ionizante, un **detector** y un sistema que permita **movilizar** estos componentes alrededor del objeto.
- La disposición de estos componentes describe lo que llamaremos **“Geometría de Detección”**.
- Durante la evolución de la TC, se utilizaron distintas geometrías de detección que dieron lugar a diferentes **Generaciones de Tomógrafos Computados**.

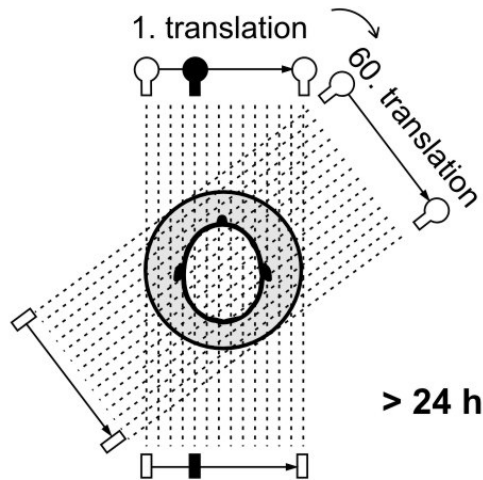


# Generaciones de TC

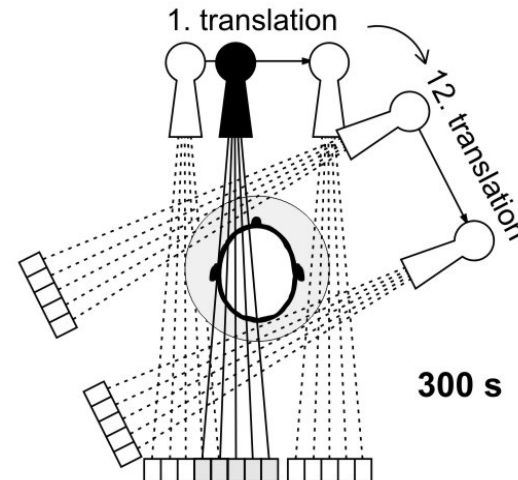


1° generación

pencil beam (1970)

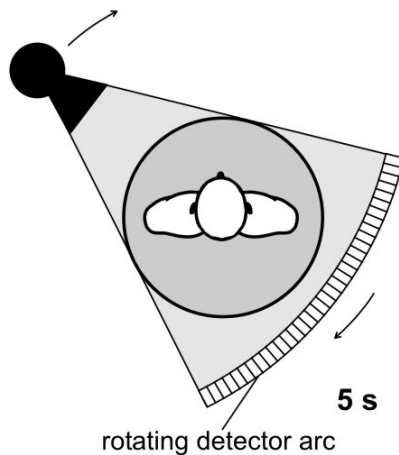


partial fan beam (1972)



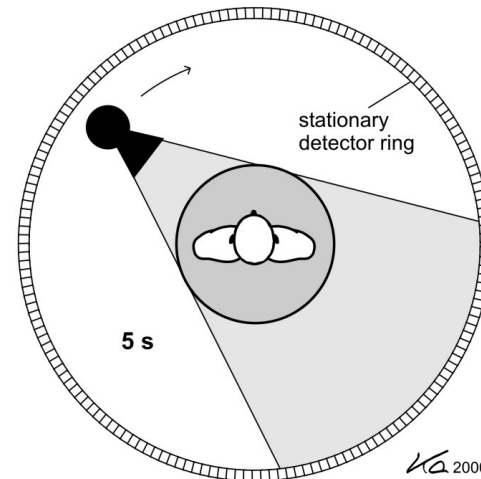
2° generación

fan beam (1976)



3° generación

fan beam (1978)



4° generación

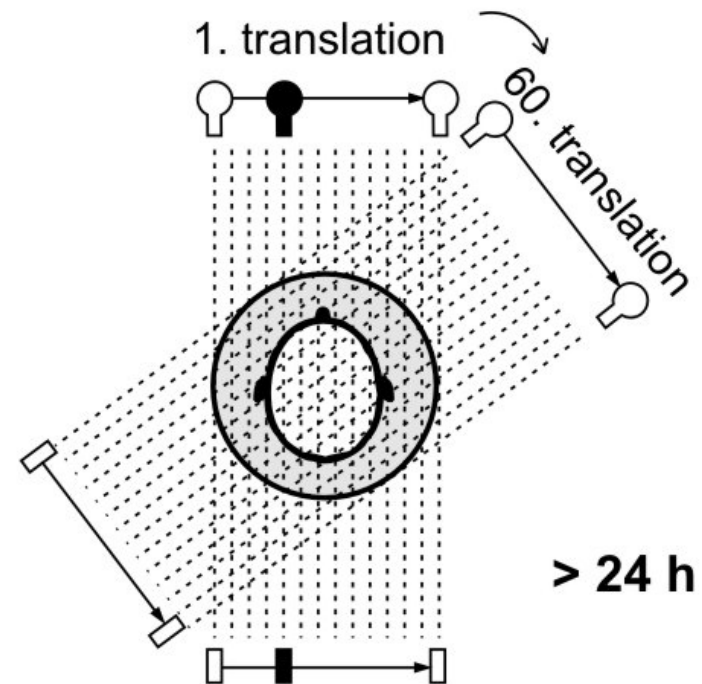


Va 2000

# 1º Generación

- 1969 → primer prototipo.
- Rectilinear Pencil Beam Scanning
- Rotación/translación.
- **Mark I** fabricado por Hounsfield en EMI en 1971, fue el 1º TC clínico diseñado para estudio de encéfalo.
- Adquiría 180 proyecciones cada 1º y 160 puntos de data (28.800 en total) para una matriz de 80 x 80.
- Demoraba 5 min por imagen, y hasta 35 min por estudio.

## pencil beam (1970)



# 1º Generación



Mark I – EMI

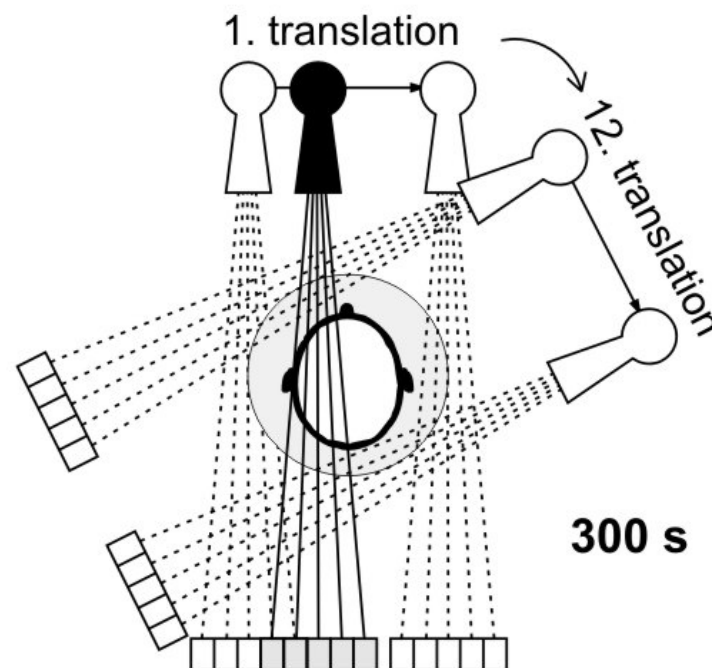


# 2º Generación



- 1972.
- Rectilinear Multiple Pencil Beam Scanning.
- Rotación/traslación.
- **Delta Scanner** fabricado por Ohio Nuclear.
- Primer intento de scanner para cuerpo, ACTA scanner.
- Reemplaza detector único por **array** o conjunto de detectores (30) y un haz de radiación en abanico ( $10^\circ$ ).
- 324.000 puntos de data.
- No hubo gran beneficio en el tiempo de obtención de la imagen debido al lento procesamiento computacional.

## partial fan beam (1972)

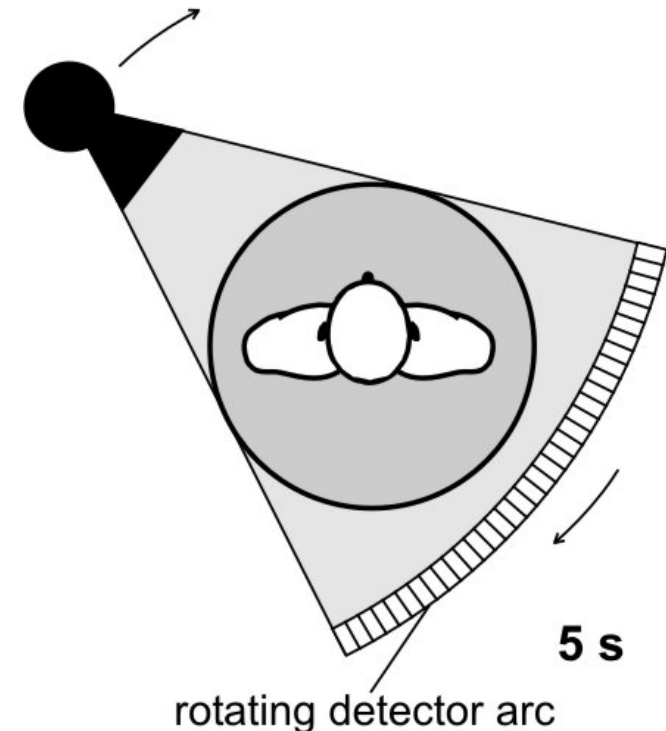


# 3º Generación



- 1976.
- Continuously Rotating Fan Beam Scanning.
- Rotación/rotación.
- GE elimina movimiento de traslación e incorpora la utilización de **detectores gaseosos** (600-800).
- Se utiliza un arco curvo de detectores (40°-60°).
- Fueron los primeros TC de cuerpo completo.

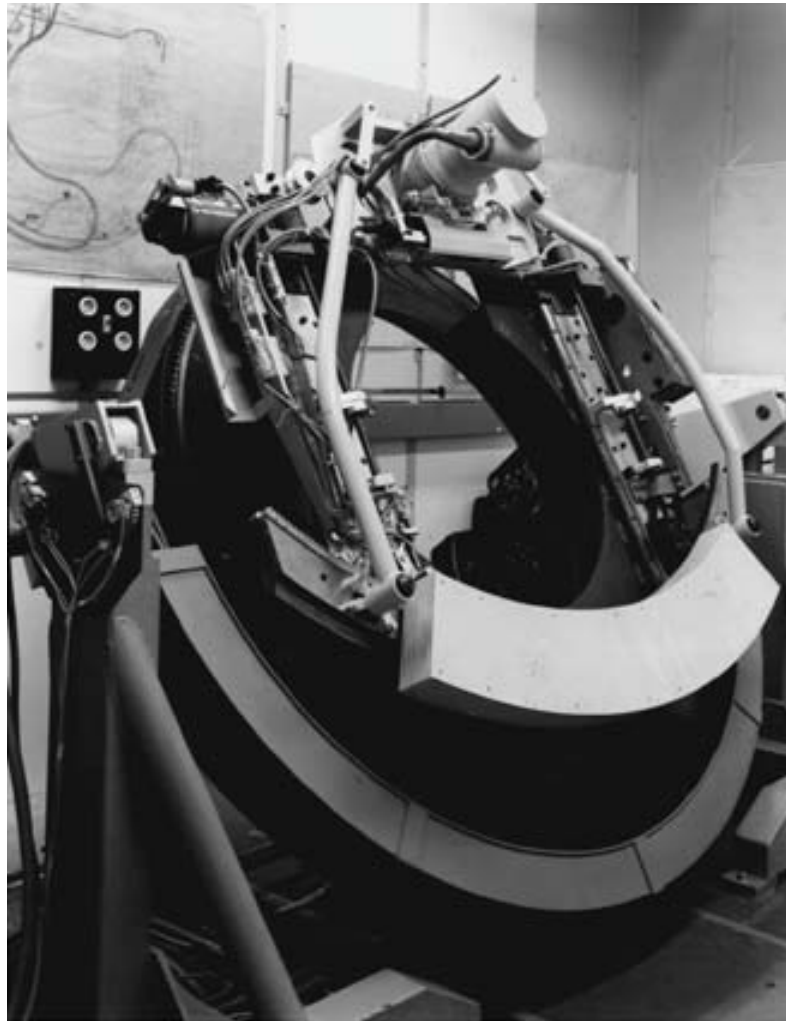
## fan beam (1976)





# 3º Generación

Modelo de laboratorio  
Philips Medical Systems



# 3º Generación



GE – Sytec 3000



# 3º Generación

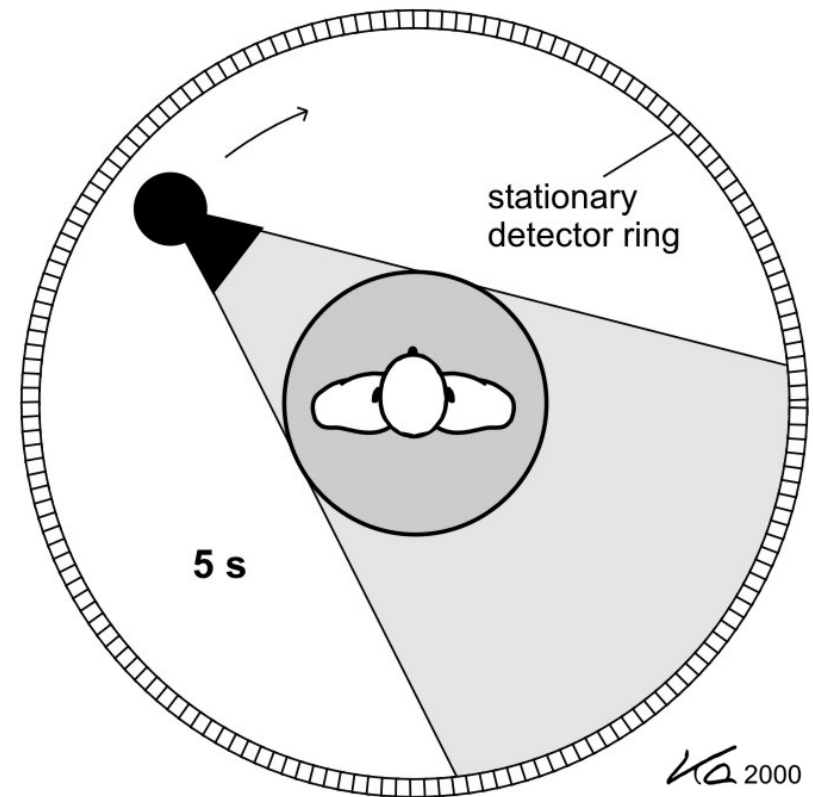
- Esta es la geometría que ha perdurado en el tiempo, y es utilizada en los tomógrafos modernos de hoy.



# 4º Generación

- 1978.
- Rotating Fan Beam within a Circular Detector Array.
- AS&E desarrolla un TC en base a un *anillo completo de detectores* en los 360° (>4000).
- No prosperó en el mercado.

fan beam (1978)

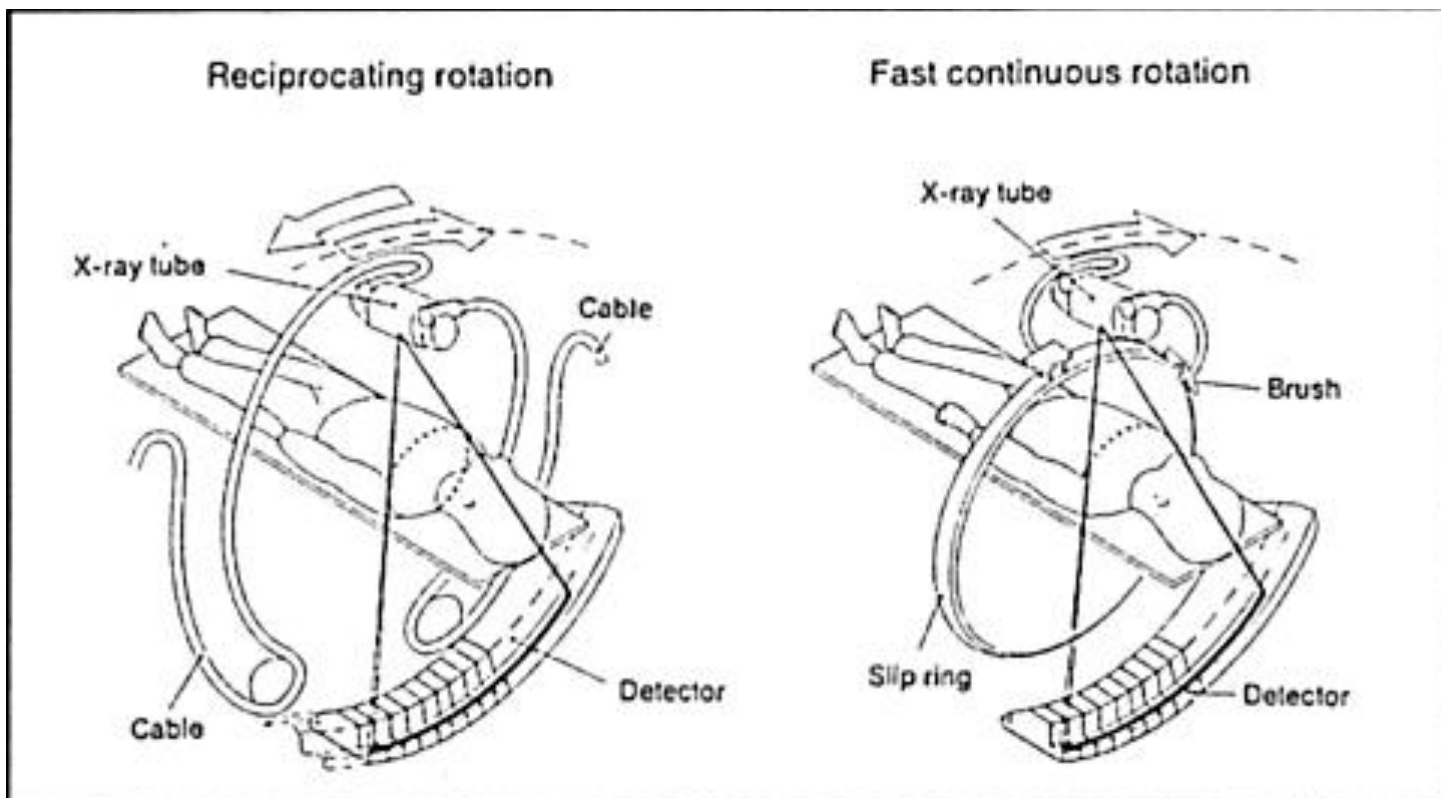


# Adquisición de la DATA

- Además de la rotación alrededor del objeto, es necesario que el sistema se **desplace** a lo largo de su **eje longitudinal** para generar distintos cortes.
- Actualmente hay 2 modalidades:
  - TC Secuencial o “Step & Shoot”.
  - TC Helicoidal o Espiral.



# Adquisición de la DATA



Secuencial

Helicoidal



# TC Secuencial

- En la TC secuencial el equipo adquiere la información de un corte con una rotación del sistema tubo-detector en **360°** alrededor del objeto.
- Para realizar el siguiente corte es necesario movilizar el soporte del objeto (camilla) y realizar una nueva rotación en sentido contrario a la anterior.



# TC Secuencial



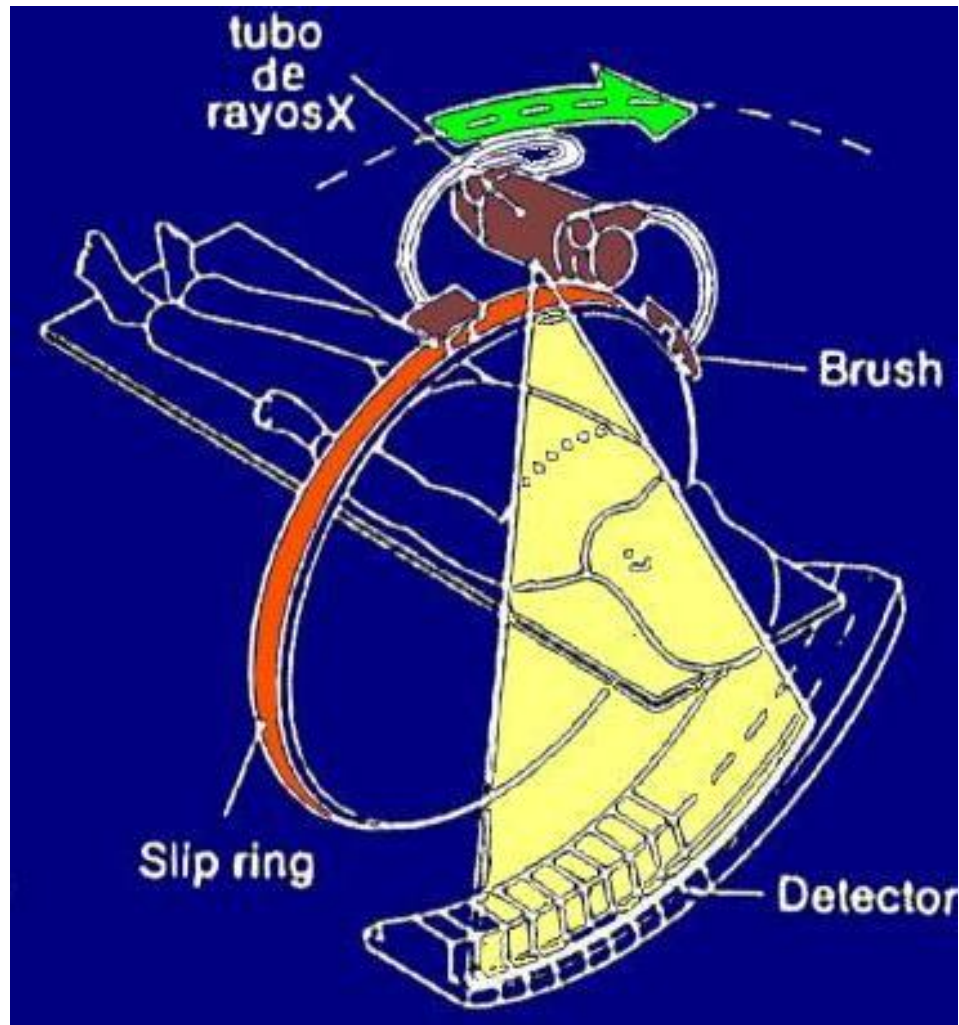


# TC Helicoidal

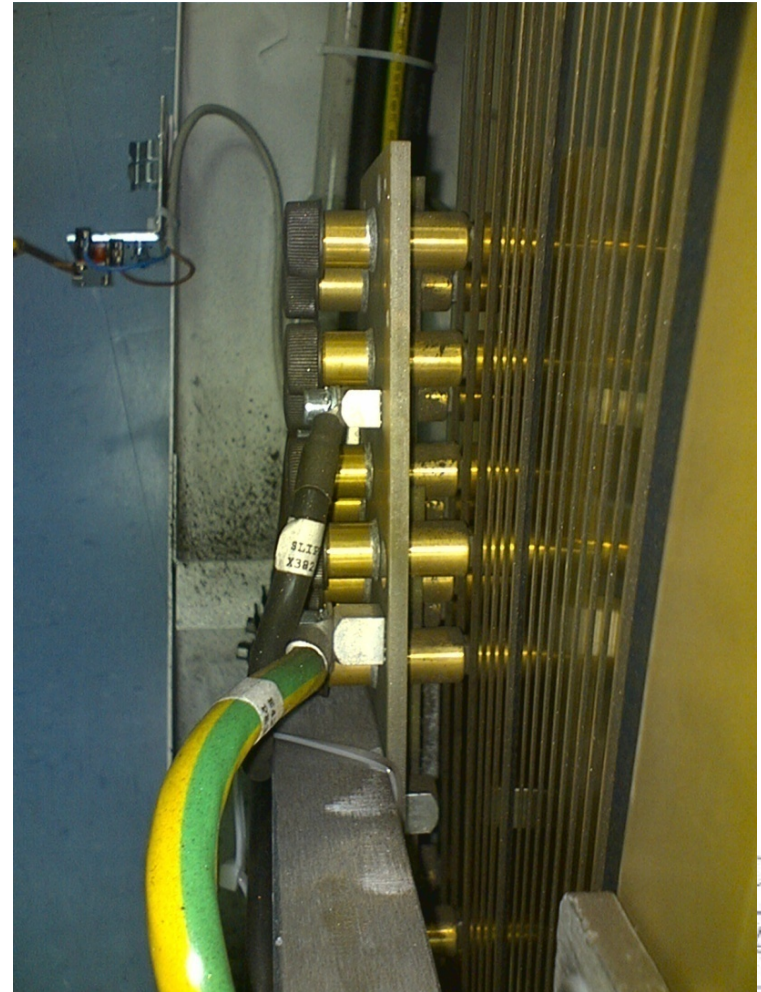
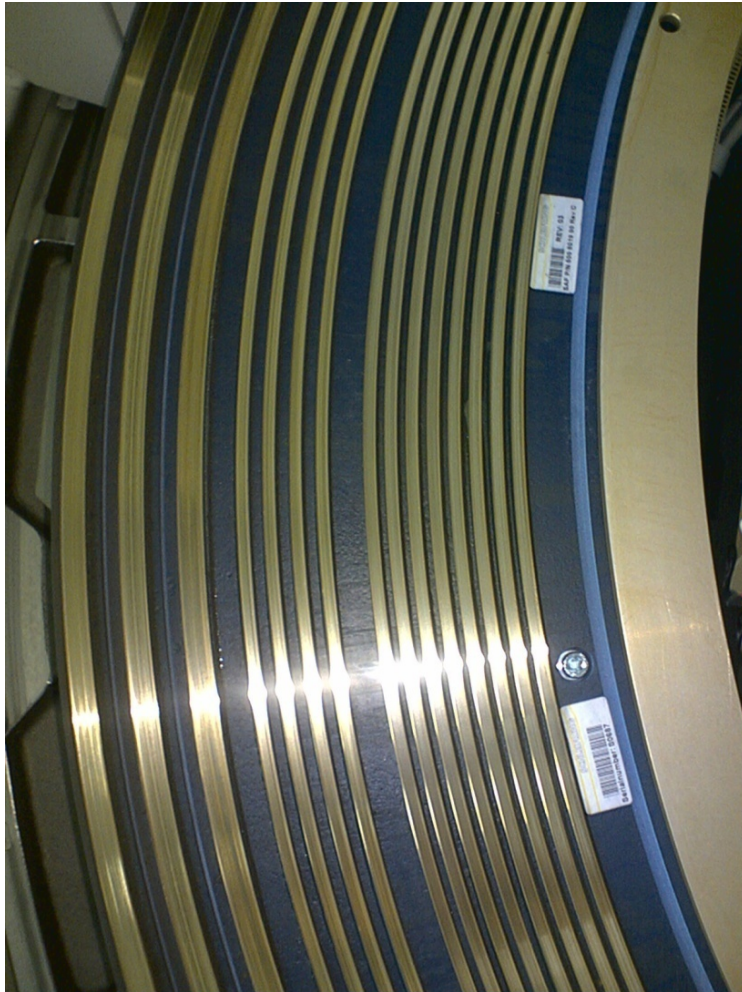
- 1986 → Toshiba desarrolla la tecnología denominada *Anillos Deslizantes* (Scanner TCT900).
- La tecnología consiste en un contacto en forma de cepillo que se desliza a través de un anillo conductor, permitiendo el paso de corriente.
- Permite tanto la alimentación del tubo de rayos X, como la transferencia de información para control y monitorización del funcionamiento del equipo.



# TC Helicoidal



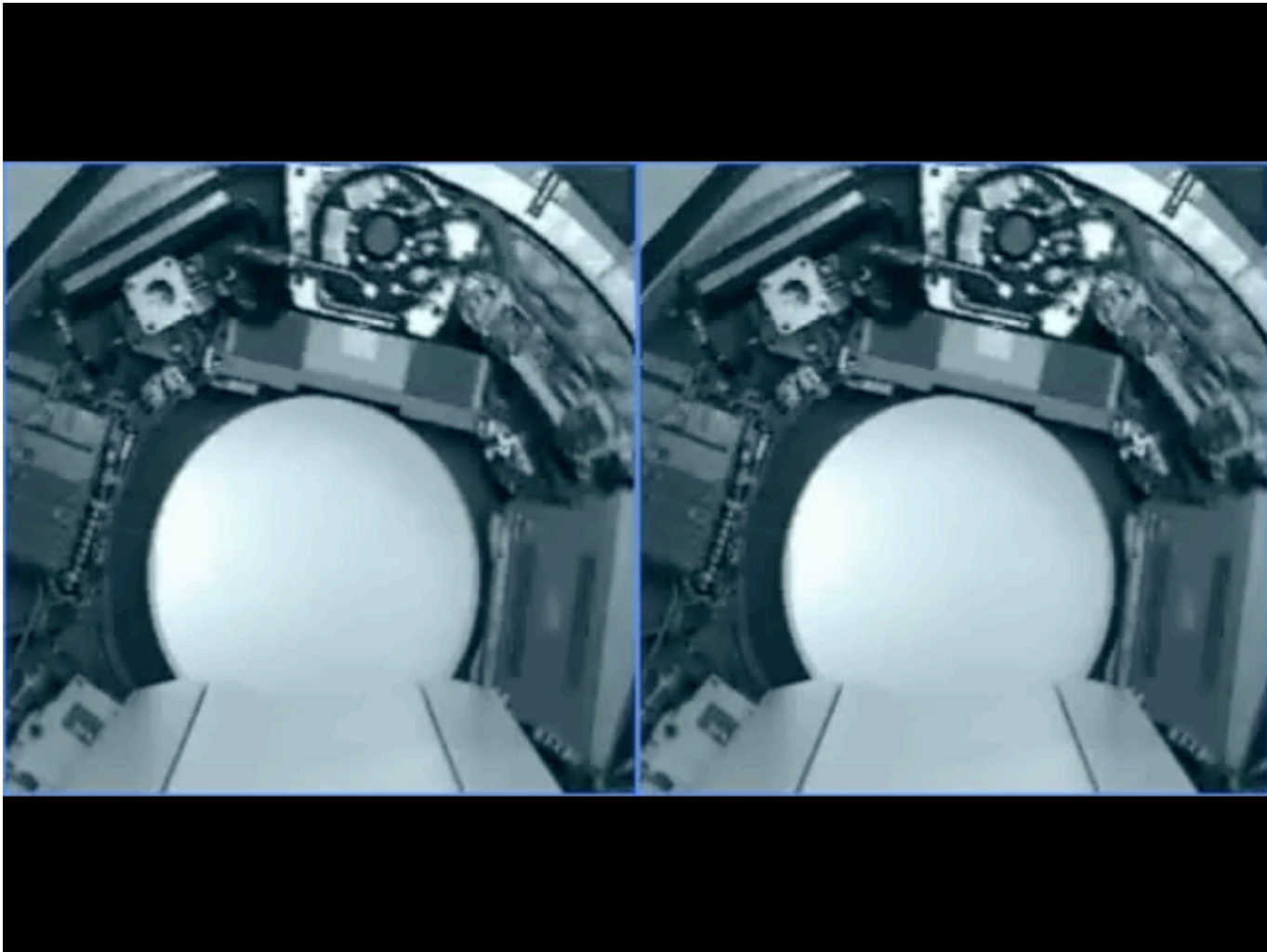
# TC Helicoidal



# TC Helicoidal



# TC Helicoidal



# El camino hacia MSCT

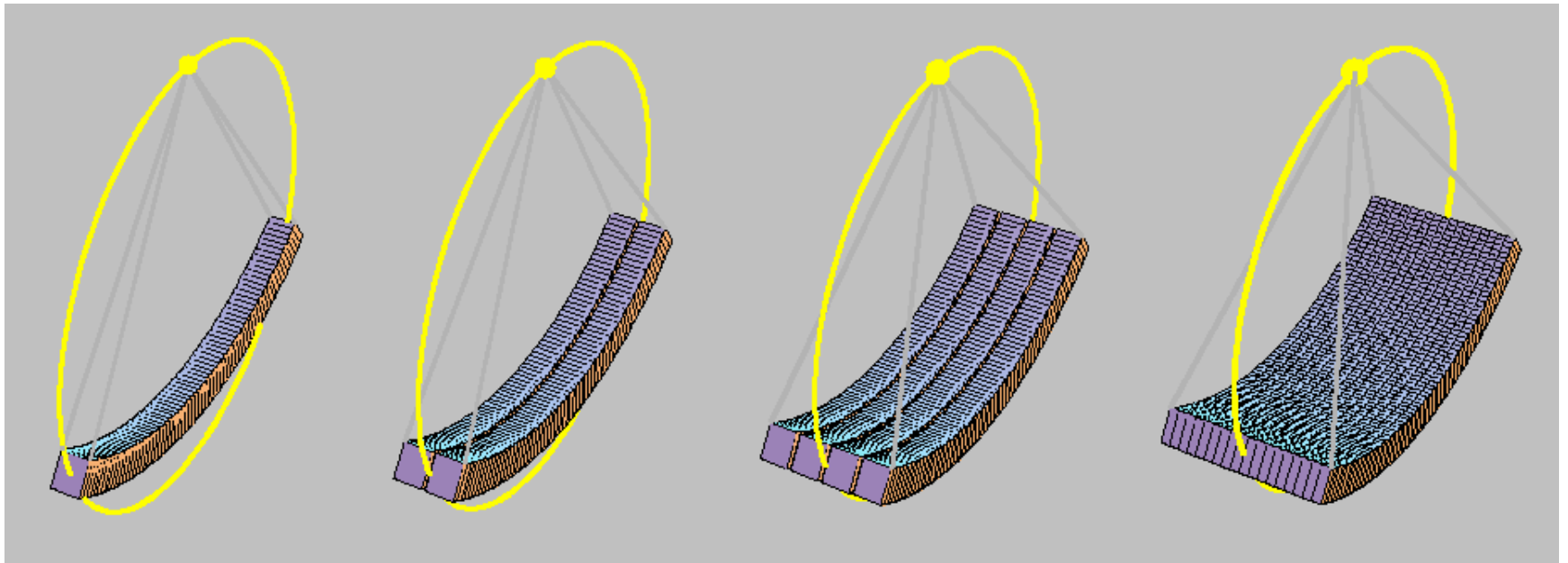
- CT Twin:
  - Equipo que puede adquirir 2 cortes simultáneos por cada rotación de 360° del sistema tubo-detector.
  - Para ello se disponen 2 filas de detectores contiguas a lo largo del eje Z.



Elscint - CT Twin  
(1992)

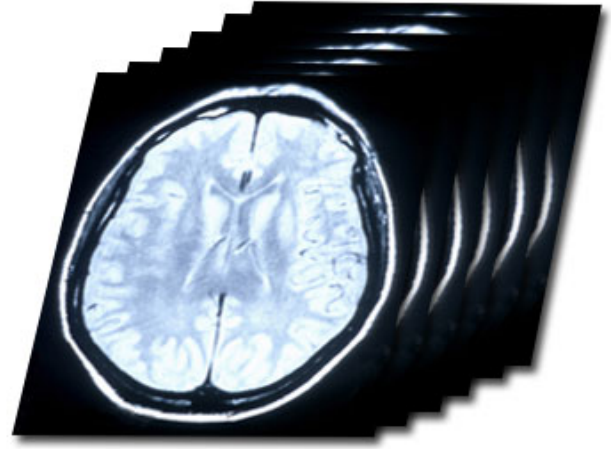


# El camino hacia multicorte





=





# Adquisición de la DATA

- Clasificación básica de los TC:
  1. Geometría de detección.
    - Generaciones de TC.
  2. Modalidad de barrido (scanning).
    - Secuencial o Helicoidal.
  3. N° de cortes por rotación.
    - Monocorte (singleslice) y Multicorte (multislice).





**CONTINUARÁ**

