



## **7° Curso de Actualización en Protección Radiológica para Médicos Radioterapeutas**



**“Influencia de la complejidad tecnológica en la protección radiológica: Estimación de la dosis aportada por las imágenes al plan de tratamiento”**

**Ing. D.J. Mc Donnell**

Departamento de Física Médica – T.R. Cumbres S.A.  
Riobamba 1745 – Rosario – Argentina.

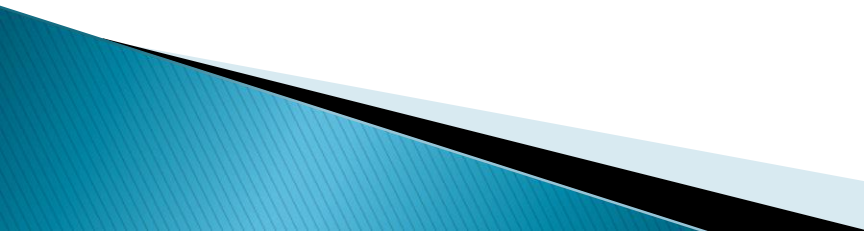
[djmcdonnell@trcumbres.com](mailto:djmcdonnell@trcumbres.com)

**23, 24 y 25 de Octubre de 2019**

**AMA - Av. Santa Fe 1171 - Capital Federal**



# Revisaremos

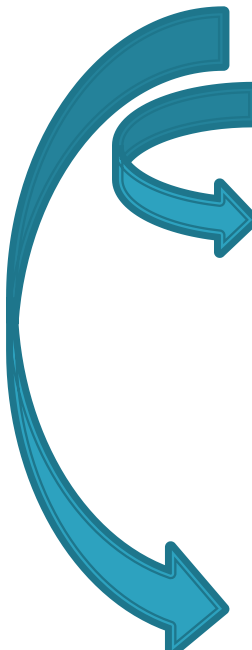
- ▶ Protección radiológica del paciente
  - ▶ Imágenes en Radioterapia
    - Modelado y Simulación
    - Control y Verificación
  - ▶ Errores
  - ▶ Estrategias y Soluciones
  - ▶ Ejemplos
- 

# Protección radiológica del paciente

- **Justificación de la práctica**
  - Confirma o modifica la actitud
- **Optimización**
  - Mínima dosis necesaria para asegurar el objetivo
- **Niveles de dosis de referencia**
  - Concepto dinámico
  - Reducción hasta el nivel óptimo
  - Calidad informativa de la imagen
  - Calidad terapéutica basada en la evidencia

# Proceso de la Radioterapia

## Imágenes

- 
- ▶ Modelar al paciente con PTV y OAR
  - ▶ Definir objetivos del plan de tratamiento
  - ▶ Desarrollar el plan para cumplirlos
  - ▶ Trasladar el plan a la máquina
  - ▶ Verificar y controlar para asegurar la implementación correcta

# Modelado y Simulación

## ▶ Simulación virtual

- TAC
- +RMI
- +PET
- + ...
- TPS



## ▶ Simulador

- Fluoroscopia
- Radiología



# Dosis por simulación

- ▶ Relevante para definir CTV y PTV
- ▶ **Justificada** ✓
- ▶ No modifica la dosis planificada
- ▶ **Optimización** de dosis disponible en el CT
- ▶ **Niveles de dosis de referencia:** Guía SAR

# Control de aplicaciones

- ▶ Controles geométricos y sin dosis
  - DFS – Coordenadas – Estereovisión – MRI – US
- ▶ Con dosis
  - Estéreo radiografías
  - Imágenes de portal
    - Exposición única
    - Exposición doble
    - Adquisición digital o películas
  - CT axial (KV ó MV)
    - CBCT
    - FBCT



# IGRT (Image Guided RT)

Ejemplos:



KV CBCT & MV BV



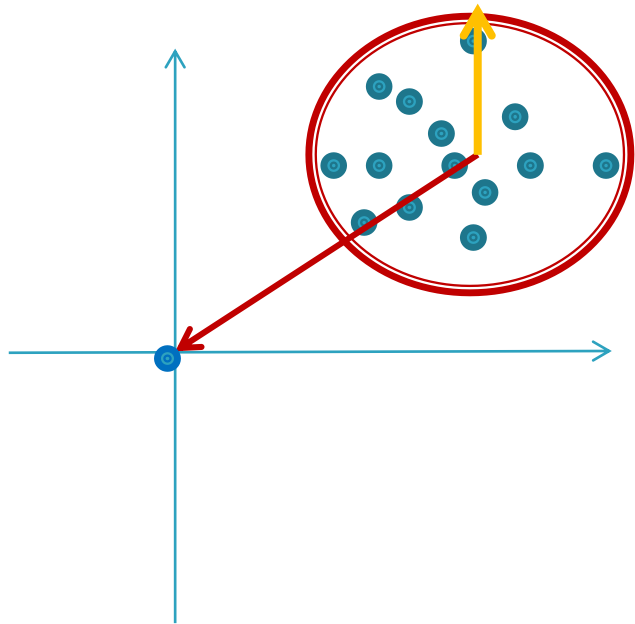
MV FBCT

MR / RT





# Objetivo



- ▶ Minimizar el error de localización
  - **Sistemático**
  - **Aleatorio**
- ▶ Maximizar la eficiencia
  - Escalado de dosis
  - Máximo TCP
- ▶ Minimizar la morbilidad
  - Mínimo NTCP
- ▶ Impacta en la definición del PTV
  - Institución dependiente

# Errores

- ▶ Sistemáticos
  - Desplazan la distribución de dosis
- ▶ Aleatorios
  - Esfuman los bordes y gradientes de dosis

Van Herk & al.

van Herk M, Remeijer P, and Lebesque J V, Inclusion of geometric uncertainties in treatment plan evaluation, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 52: 1407–1422 (2002)

Margen del PTV =  $2.5 \Sigma + 0.7 \sigma - 3 \text{ mm}$

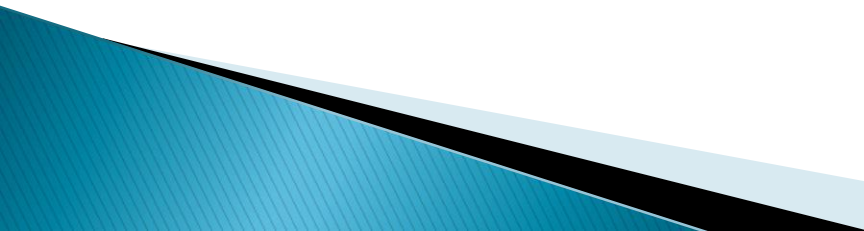
Con  $\Sigma$  = desvío estándar del error sistemático  
 $\sigma$  = desvío estándar de la variación aleatoria

# Justificación

- ▶ Es necesario para asegurar la calidad del tratamiento planificado
- ▶ IGRT importante en:
  - hipofraccionamiento
  - Pequeños PTV
  - Escalamiento de dosis críticos
- ▶ La discrepancia obliga a una corrección
- ▶ Es una práctica necesaria como parte del aseguramiento de calidad en Radioterapia
- ▶ **Justificada** ✓



# Optimización

- ▶ La utilización segura requiere entrenamiento multidisciplinar de todos los actores involucrados y procedimientos institucionales protocolizados.
  - ▶ Se debe utilizar una estrategia adecuada a la tecnología disponible, minimizando los riesgos.
  - ▶ Es un área en desarrollo y mejora continua.
  - ▶ Limitar la inclusión de los OAR al mínimo.
  - ▶ Planificar y considerar la dosis en los cálculos.
  - ▶ La técnica debe ser consistente con la calidad y cantidad de información necesaria.
  - ▶ IGRT es para guía y acción, no para registro documental.
- 

# Para verificación y control

- ▶ Posición del paciente y el PTV siempre tienen errores aleatorios y sistemáticos
- ▶ Una estrategia IGRT es necesaria
  - Opciones “on line” vs. “off line”
- ▶ Controles del primer día
- ▶ Controles periódicos (semanales)
- ▶ O control y corrección diaria ?
- ▶ Cómo incide el fraccionamiento?
- ▶ La dosis por imágenes afecta al plan ?

# Estrategias

- NAL – deBoer and Heijmen, 2001
  - **No Action Level**
  - 3 a 5 fracciones en observación
  - Promedio
  - Corrección definitiva
- SAL – Van Lin et al. 2001; Erridge et al. 2003
  - **Shrinking Action Level**
  - Mayor tolerancia a errores iniciales
  - Ajustes de tolerancia periódicos
- ART – Yan et al. 1997
  - **Adaptative RadioTherapy**
  - PTV y planificación sobre errores estadísticos poblacionales
  - Varias observaciones para personalizar el error y ajustar el modelo
  - Ajuste de PTV y plan
  - CBCT (Jaffray et al. 2000) – Tomotherapy (Mackie et al. 1993)

**Target and Critical Structure Definitions,  
Dose Prescription, and Reporting for IMRT**  
**James Balter, Ph.D.**  
Radiation Oncology Department  
University of Michigan  
AAPM 2003



# Hay dificultades ...

- ◉ Corrección sólo por ajuste inicial puede empeorar la predicción del error sistemático (Balter, 2003)
- ◉ Alta carga de trabajo tiende a control sólo durante el inicio.
- ◉ Disponibilidad de recursos técnicos y humanos
- ◉ La incerteza crece durante el tratamiento. Los datos de las tres primeras fracciones no son representativos. Se debe inmovilizar mejor y controlar a lo largo del tratamiento. (Bertelsen & al.)

**The representativeness of patient position during the first treatment fractions. Bertelsen A, Nielsen M, Westberg J, Jensen HR, Brink C.** Radiofysisk Laboratorium, Odense Universitetshospital, Odense C, Denmark.  
Acta Oncol. 2009;48(2):259-66.

# Niveles de dosis de referencia

La calidad de la imagen está asociada a la dosis aplicada y la tecnología utilizada

Energía

Resolución espacial

Relación señal-ruido (SNR)

Linealidad

Contraste

Función de modulación de transferencia (MTF)

Modality	Isocentre Dose (cGy)
MV EPID	1 – 10
kV imaging	0.2 – 8
kV CBCT	1 – 3

# Evaluation of imaging performance of major image guidance systems

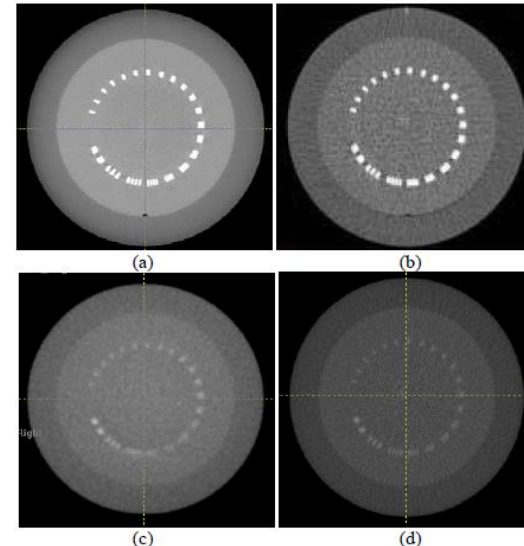
Chan MF<sup>1,\*</sup>, Yang J<sup>2</sup>, Song Y<sup>1</sup>, Burman C<sup>1</sup>, Chan P<sup>3</sup>, Li S<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, New York, United States of America

<sup>2</sup> Monmouth Medical Center, Long Branch, United States of America

<sup>3</sup> Temple University Hospital, Philadelphia, United States of America

Received 6 August 2010; received in revised form 12 January 2011; accepted 13 January 2011



**Table 1** Comparisons among two kV CBCT and two MV CBCT/FBCT systems

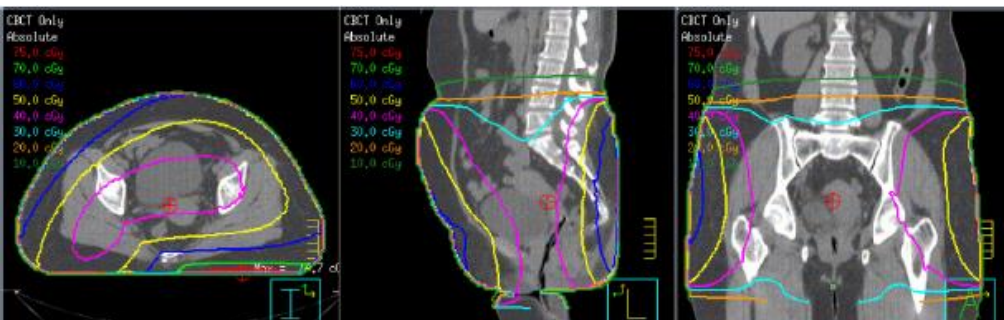
	Varian	Elekta	Siemens	Tomotherapy	CCT
<b>Mechanical Adjustment</b>					
kV Source Position	< 1 mm	< 1 mm	NA	NA	< 1 mm
kV Detector Position	< 1 mm	< 1 mm	NA	NA	NA
MV Detector Position	< 1 mm	< 1 mm	< 1 mm	< 1 mm	NA
<b>Image Quality</b>					
High Resolution	8-11 lp/cm	8-10 lp/cm	4-5 lp/cm	3-5 lp/cm	8-12 lp/cm
Low Contrast	0.3%	0.9%	1%	3%	0.1%
Spatial Linearity	< 1 mm	< 1 mm	< 1 mm	< 1 mm	< 1 mm
<b>Resolution and Geometry</b>					
Sensitometry	< 2%	< 3%	< 20%	< 13%	< 0.5%
Average Pixel Values	991±7.2	936±13.3	1061±28.2	1080±29.8	999.6±4.0
Image Noise	0.7%	1.4%	2.7%	2.8%	0.4%
Uniformity	0.27%	0.44%	3.6%	0.26%	0.12%
<b>Imaging Time</b>					
Imaging Time	2-min	2-min	3-min	3-min	< 1-min
<b>Imaging Dose</b>					
Imaging Dose	1-4 cGy	0.3-4 cGy	3-16 cGy	1-3 cGy	0.2-4 cGy

Elekta CBCT provided faster image reconstruction, Varian CBCT had relatively lower image noise, and Tomotherapy had the best uniformity.



# Dosis (por fracción)

- Rx Portal ECL: (8UM) 7cGy
- EPID (aSi): < 3 cGy (fn < 1.5 pl/mm)
- MV / KV CBCT:~ 3 cGy en isocentro (mayor en piel)



**Table 2**  
Summary of CBCT dose measurements in/on patient.

Kilovoltage CBCT	Manufacturer	kVp	mAs/acquisition	Dosimeter	Dose/fraction (cGy) & location
Islam [20]	Elekta XVI	120	2	MOSFET	1.12–1.84 (skin)
Amer [21]	Elekta XVI	100	0.1	TLD	0.12 (skin)
		120	0.4		0.6–1.1 (skin)
		130	1.2		2.2–3.5 (skin)
Walter [46]	Elekta XVI	120	1	Chamber	1.72 (avg.) (rectum)
Wen [22]	Varian OBI	125	2	TLD	2.3–6.1 (skin)
Jeng [47]	Elekta XVI	120	1	TLD	2.86 (avg.) (rectum)
Marinello [27]	Varian OBI	125	2	TLD	5.8–7.3 (skin, AP/PA) 3.4–4.5 (skin, lateral)

Physica Medica 31 (2015) 647–658

Contents lists available at ScienceDirect



Physica Medica

journal homepage: <http://www.physicamedica.com>



Review paper

Imaging dose from cone beam computed tomography in radiation therapy



Parham Alaei <sup>a,\*</sup>, Emiliano Spezi <sup>b,c</sup>

<sup>a</sup> University of Minnesota, Minneapolis, MN, USA

<sup>b</sup> School of Engineering, Cardiff University, Cardiff, Wales, UK

<sup>c</sup> Velindre Cancer Centre, Cardiff, Wales, UK

# Es importante

- ▶ La única estrategia que corrige errores sistemáticos y aleatorios es “on line”
- ▶ Las incertezas intra e inter fracción no son iguales
- ▶ Hipofraccionamiento sin IGRT adecuada tiene riesgo muy alto
- ▶ Optimizar la inmovilización
- ▶ Estudiar el error sistemático
- ▶ Protocolizar la definición de PTV
- ▶ Elegir posiciones repetibles simples
- ▶ Control inicial y periódico
  - Elegir la estrategia consistente y sustentable
  - Sumar la dosis aportada por cada imagen al plan

# Ejemplo: EPID MV

- Tratamiento:
  - $D_p = 70\text{Gy} / 35 \text{ fr} / 2\text{Gy/fr} / 7 \text{ semanas}$
  - 5 campos diarios, dos portales a controlar
- 3 imágenes de portal por semana (doble)
  - Dosis en PTV por control:
    - $(7\text{cGyx}3\text{x}7\text{semx}2\text{portales}) 294 \text{ cGy} (4.2\% D_p)$
    - **Dosis fuera de PTV:**
      - $(6\text{cGyx}3\text{x}7\text{semx}2\text{portales}) 252 \text{ cGy} (!!!)$
- 3 imágenes de portal por semana (simple), 4 con doble en todo el tratamiento
  - Dosis en PTV por control:
    - $(7\text{cGyx}3\text{x}7\text{semx}2\text{portales}) 294 \text{ cGy} (4.2\% D_p)$
    - **Dosis fuera de PTV:**
      - $(6\text{cGyx}4\text{frx}2\text{portales}) 48 \text{ cGy}$

# Ejemplo: CBCT

- Tratamiento:
  - $D_p = 70\text{Gy} / 35 \text{ fr} / 2\text{Gy/fr} / 7 \text{ semanas}$
  - Control “on line” diario
- Dosis por CBCT RX
  - Dosis en PTV:
    - (3cGyx35fr) 105 cGy
  - Dosis fuera de PTV:
    - (3cGyx35fr) 105 cGy central
    - (7cGyx35fr) 245 cGy piel

**Muchas gracias por su atención**

