



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

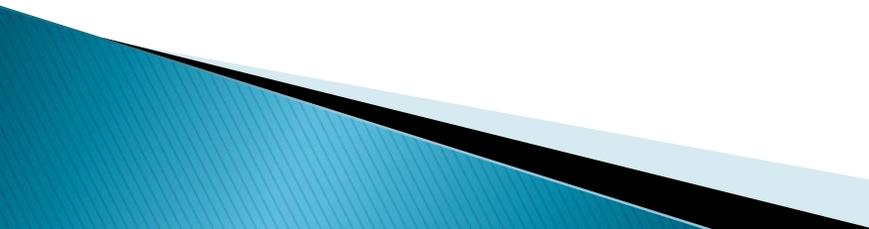
Departamento de Física Médica – T.R. Cumbres S.A.
Riobamba 1745 – Rosario – Argentina.

djmcdonnell@trcumbres.com

23, 24 y 25 de Octubre de 2019

AMA - Av. Santa Fe 1171 - Capital Federal

Revisaremos

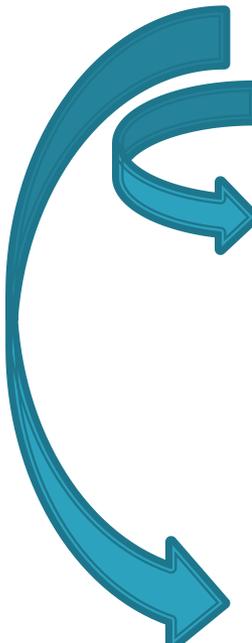
- ▶ Protección radiológica del paciente
 - ▶ Imágenes en Radioterapia
 - Modelado y Simulación
 - Control y Verificación
 - ▶ Errores
 - ▶ Estrategias y Soluciones
 - ▶ Ejemplos
- 

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

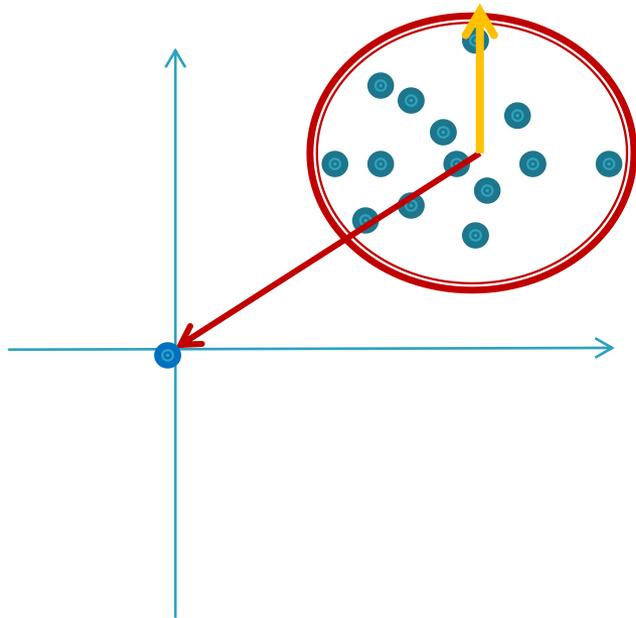


MV FBCT

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)

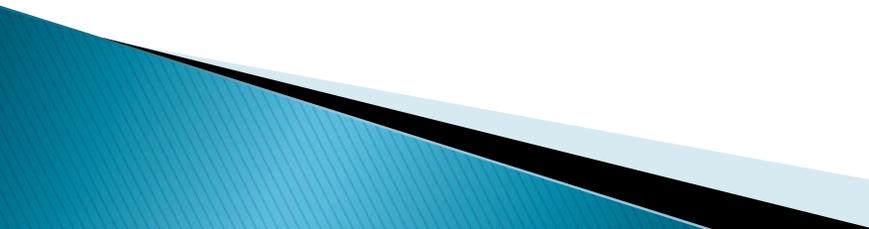
Margen del PTV = $2.5 \Sigma + 0.7 \sigma - 3 \text{ mm}$

Con Σ = desvío estándar del error sistemático
 σ = 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^{1,*}, Yang J², Song Y¹, Burman C¹, Chan P³, Li S³

¹ Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, New York, United States of America

² Monmouth Medical Center, Long Branch, United States of America

³ Temple University Hospital, Philadelphia, United States of America

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

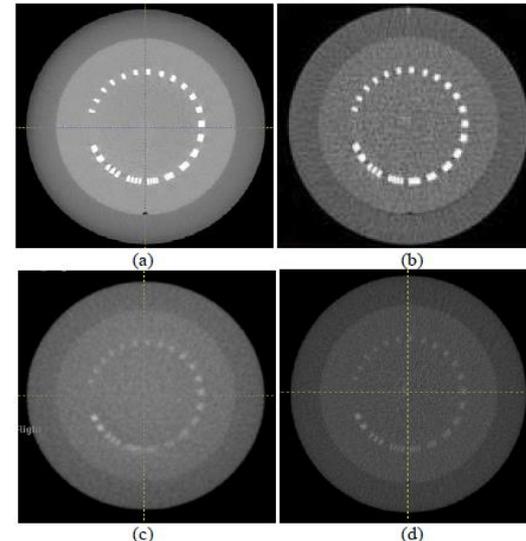


Table 1 Comparisons among two kV CBCT and two MV CBCT/FBCT systems

	Varian	Elekta	Siemens	Tomotherapy	CCT
Mechanical Adjustment					
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
Image Quality					
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
Resolution and Geometry					
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%
Imaging Time					
Imaging Time	2-min	2-min	3-min	3-min	< 1-min
Imaging Dose					
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)

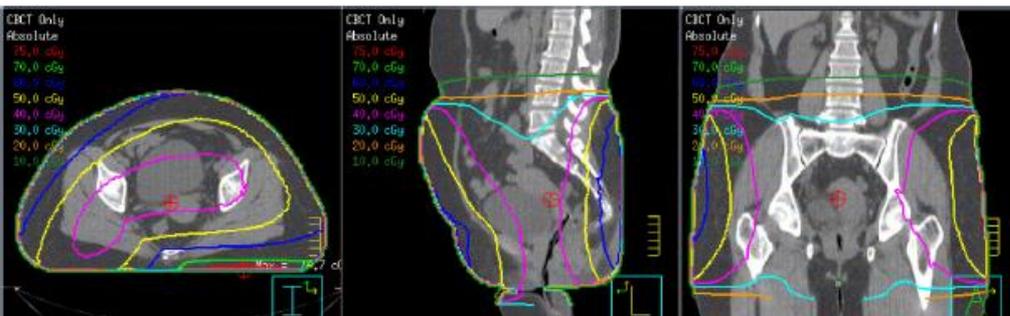


Table 2
Summary of CBCT dose measurements in/on patient.

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 ^{a,*}, Emiliano Spezi ^{b,c}

^a University of Minnesota, Minneapolis, MN, USA

^b School of Engineering, Cardiff University, Cardiff, Wales, UK

^c 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

