

Florianópolis, 18 de agosto 2022

Automação e Inteligência Artificial no delineamento de estruturas

Daniel Venencia, PhD – Físico Medico

Instituto Zunino– Fundación Marie Curie, Córdoba, ARGENTINA

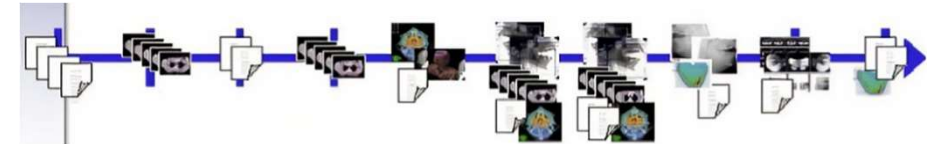
dvenencia@institutozunino.org



Conflictos de interés

- Recibo apoyo económico de Brainlab para asistir a este Congreso
- Esta presentación esta basada en nuestra experiencia Institucional únicamente mediante el uso de sistemas propios, Brainlab (iPlan – Elements) y Varian (Eclipse)
- Acuerdo de trabajo con Court Lab / MD Anderson Cancer Center USA work in progress

Delineación de estructuras



- La Radioterapia 3D aumento en forma exponencial el proceso de delineación
- Requiere
 - Aproximación multidisciplinaria
 - Múltiples modalidades de imágenes
 - Fusiones
 - Vinculación con otros tratamientos
 - Etc.

Fecha y hora de Última actualización: 05/08/2021 16:24 Actualizar

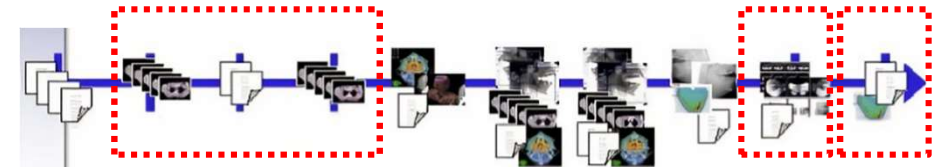
HC	PACIENTE	INICIO	TAC	AUTOSEG	DIBUJO	PLANIF	ACEPTACION	CALIDAD	INGRESO	Tecnica	EQUIPO
12/08	05/08			OM - MJ						IMRT	NOVALIS I
09/08	03/08			OM - MJ						SBRT+CB	NOVALIS I...
10/08	04/08			OM - MJ						SBRT+CB	NOVALIS I...
06/08	02/08							OM - NP		IMRT (Con Gati...	NOVALIS I...
11/08	04/08				PM - CS					simRT	NOVALIS II
11/08	05/08			PM - CP						IMRT (Con Gati...	NOVALIS II
11/08	05/08			PM - NP						IMRT (Con Gati...	NOVALIS I...
11/08	04/08							PM - FB		IMRT	NOVALIS III
12/08	05/08			PM - CP						IMRT (Con Gati...	NOVALIS I...
09/08	04/08							PM - MJ		SBRT	NOVALIS III
10/08	04/08							PM - FM		IMRT (Con Gati...	NOVALIS I...
09/08	05/08			VV - DV						SBRT (Con Ga...	NOVALIS I...
09/08	05/08			VV - DV						SBRT (Con Ga...	NOVALIS I...
10/08	03/08			VV - DV						SBRT+CB	NOVALIS I...
12/08	04/08			SZ - CS						IMRT	NOVALIS I...
12/08	05/08			SZ - NP						IMRT	NOVALIS II
11/08	04/08							SZ - FB		IMRT	NOVALIS III
06/08	04/08							SZ - FM		simRT	NOVALIS III

Ordenar por: MEDICO RESPONSABLE Buscar

Responsabilidades

- MEDICA: GTV y CTV
- DOSIMETRISTA / MEDICA: OARs (requiere aprobación medica)
- FISICA / DOSIMETRISTA / MEDICA: PTVs, PRVs, ITV, verificación de fusión, análisis de imágenes (4DCT, ventana gating, PET, RNM, tractografía, etc..)
- FISICA / DOSIMETRISTA: Estructuras de planificación

Delineación de estructuras



- La Radioterapia 3D aumento en forma exponencial el proceso de delineación
- Requiere
 - Aproximación multidisciplinaria
 - Múltiples modalidades de imágenes
 - Fusiones
 - Vinculación con otros tratamientos
 - Etc.
- Etapas que requieren delineación
 - Preparación para planificación
 - Planificación
 - Intra tratamiento (Offline / Online)
 - Post tratamiento (Seguimiento)

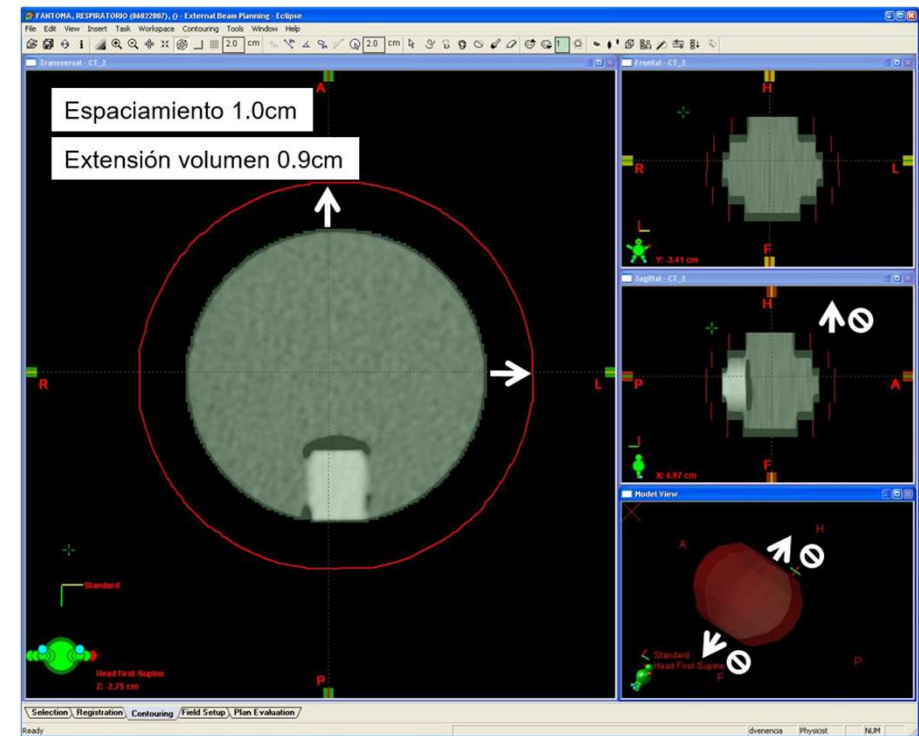
Fecha y hora de Última actualización: 05/08/2021 16:24 Actualizar

HC	PACIENTE	INICIO	TAC	AUTOSEG	DIBUJO	PLANIF	ACEPTACION	CALIDAD	INGRESO	Tecnica	EQUIPO
12/08	05/08	OM - MJ								IMRT	NOVALIS I
09/08	03/08	OM - MJ								SBRT+CB	NOVALIS I...
10/08	04/08	OM - MJ								SBRT+CB	NOVALIS I...
06/08	02/08							OM - NP		IMRT (Con Gati...	NOVALIS I...
11/08	04/08					PM - CS				simRT	NOVALIS II
11/08	05/08					PM - CP				IMRT (Con Gati...	NOVALIS II
11/08	05/08					PM - NP				IMRT (Con Gati...	NOVALIS I...
11/08	04/08							PM - FB		IMRT	NOVALIS III
12/08	05/08					PM - CP				IMRT (Con Gati...	NOVALIS I...
09/08	04/08							PM - MJ		SBRT	NOVALIS III
10/08	04/08							PM - FM		IMRT (Con Gati...	NOVALIS I...
09/08	05/08					VV - DV				SBRT (Con Ga...	NOVALIS I...
09/08	05/08					VV - DV				SBRT (Con Ga...	NOVALIS I...
10/08	03/08					VV - DV				SBRT+CB	NOVALIS I...
12/08	04/08					SZ - CS				IMRT	NOVALIS I...
12/08	05/08					SZ - NP				IMRT	NOVALIS II
11/08	04/08							SZ - FB		IMRT	NOVALIS III
06/08	04/08							SZ - FM		simRT	NOVALIS III

Ordenar por: MEDICO RESPONSABLE Buscar

Resolución de imágenes

- Variación del volumen
- Irregularidad
- Etc...



CT 5mm - #44



CT 2mm - #102



CT 1mm - #216



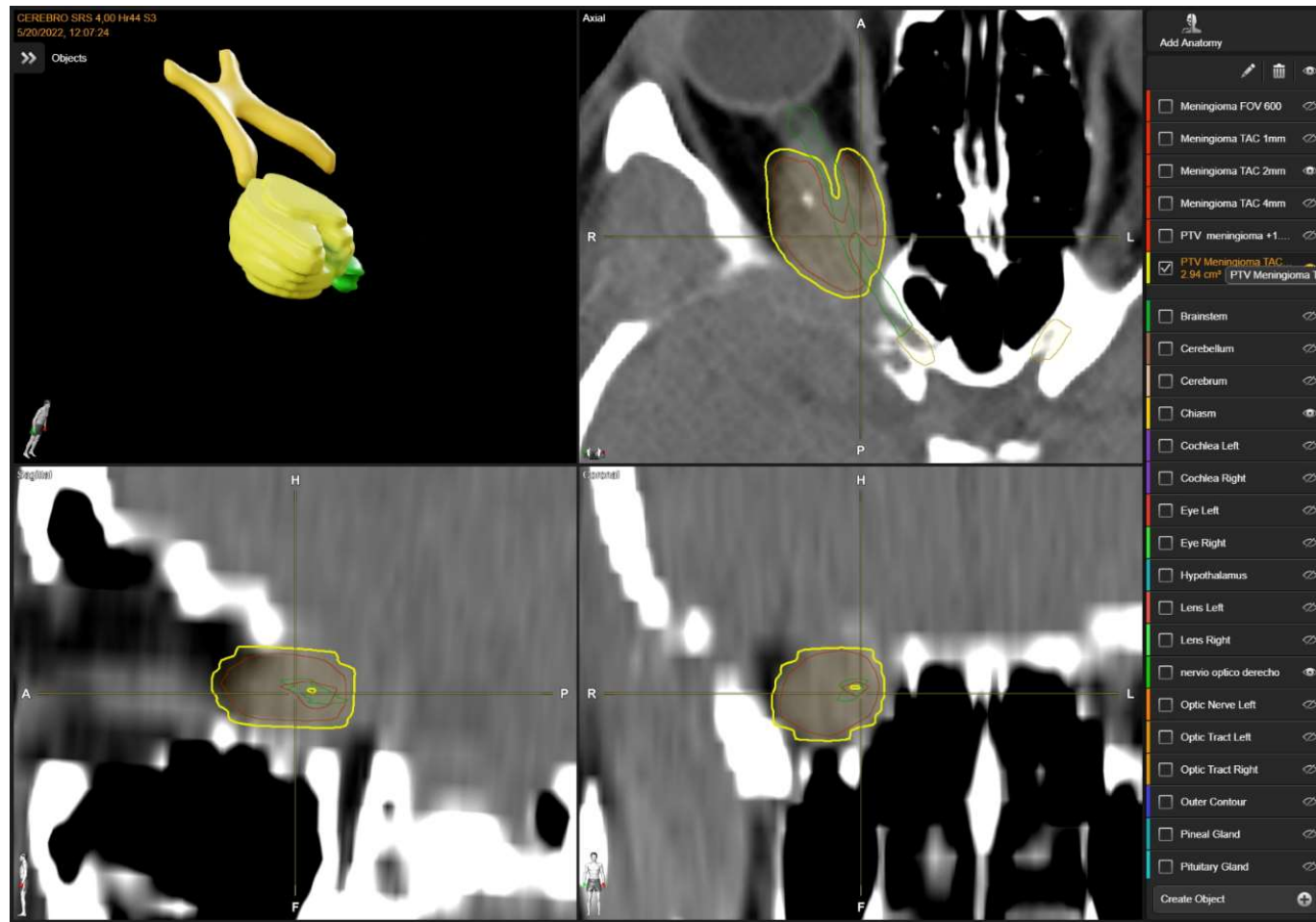
CT 0.5mm - #431

TAC

- Estudio de referencia
 - **Espaciamiento**
 - FOV
 - Movimiento

PTV Meningioma (1mm) 3.04cc

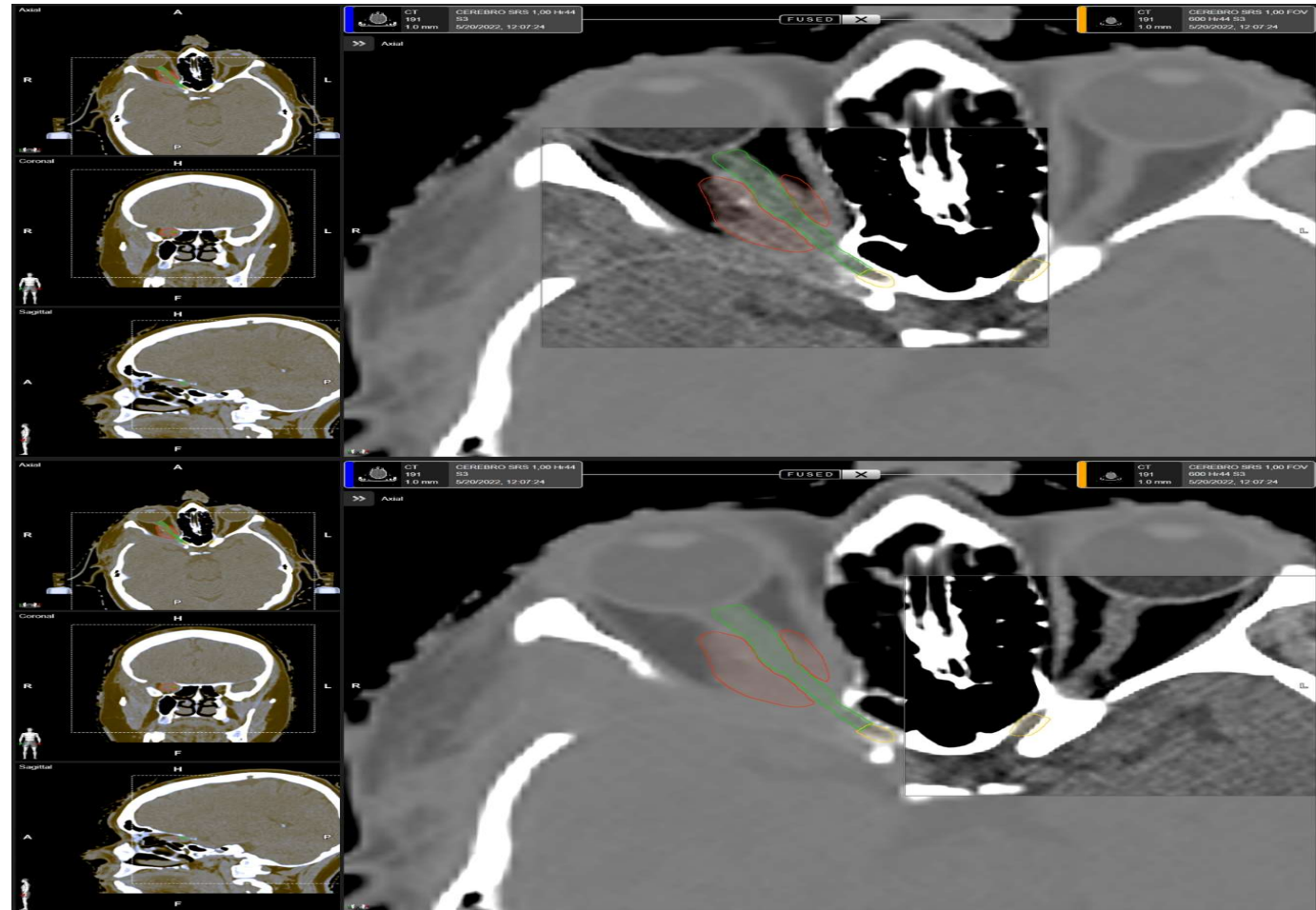
PTV Meningioma (2mm) 2.94cc



Meningioma TAC 1mm

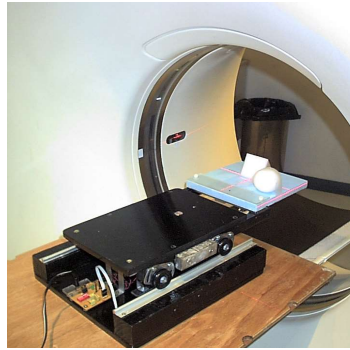
TAC

- Estudio de referencia
 - Espaciamiento
 - **FOV**
 - Movimiento



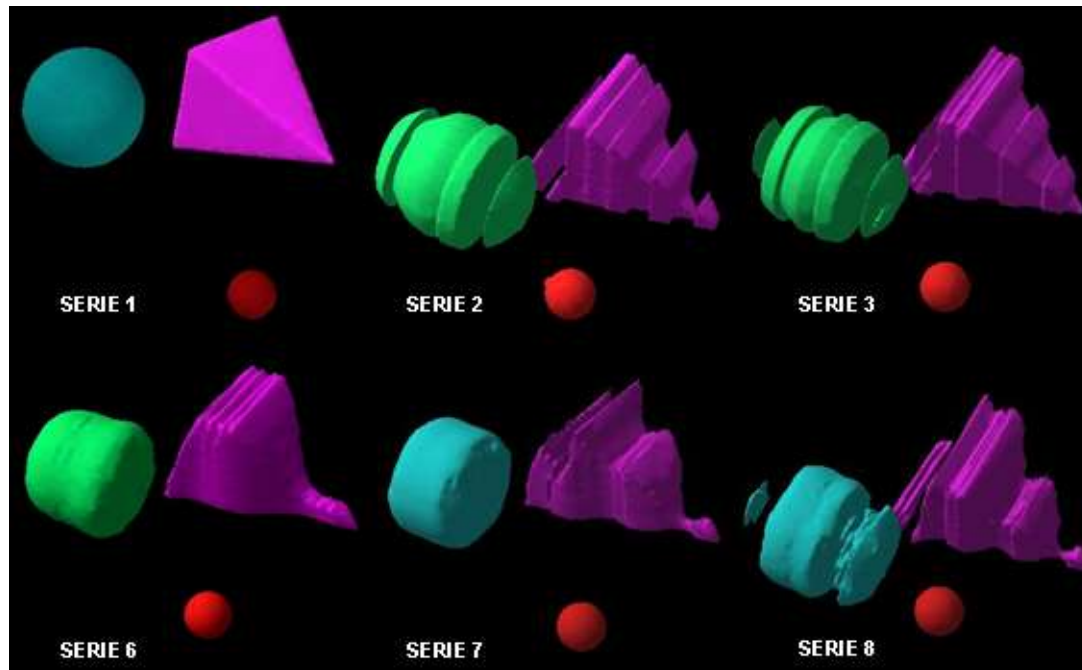
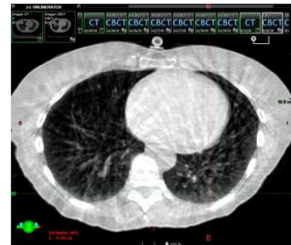
TAC

- Estudio de referencia
 - Espaciamiento
 - FOV
 - Movimiento



AXIAL Series							
	Movement	Slice thickness (mm)	kV	mA	FOV (mm)	Matrix	Rotation time (sec.)
REFERENCE	NO	1.25	80	80	240	512x512	0.5
Serie 2	YES	idem	idem	idem	idem	idem	idem
Serie 3	YES						0.8
Serie 4	YES						2.0

HELICOIDAL Series								
	Movement	Slice thickness (mm)	kV	mA	FOV (mm)	Matrix	Rotation time (sec.)	Table speed (mm/rot.)
Serie 5	YES	1.25	80	80	240	512x512	0.5	6.25
Serie 6	YES	idem	idem	idem	idem	idem	0.8	Idem
Serie 7	YES	idem	idem	idem	idem	idem	1.0	Idem
Serie 8	YES	idem	idem	idem	idem	idem	Idem	16.75



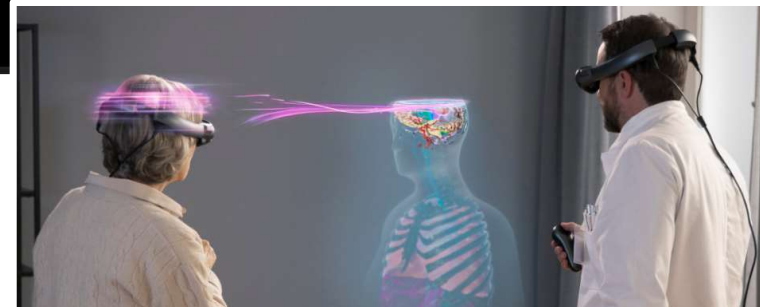
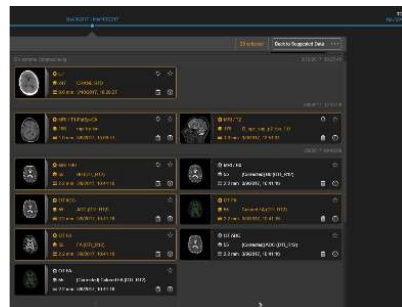
Visualización imágenes

- Múltiples Sets de datos
 - Tipos de imágenes / reconstrucciones
 - Resolución / Formato
 - Línea temporal
 - Imágenes de múltiples Instituciones
- Realidad aumentada
- Realidad virtual



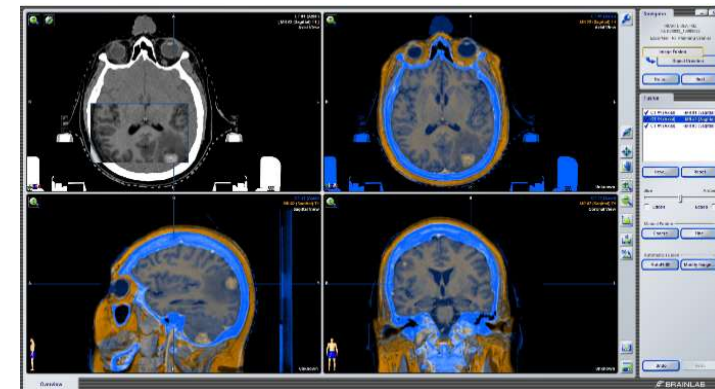
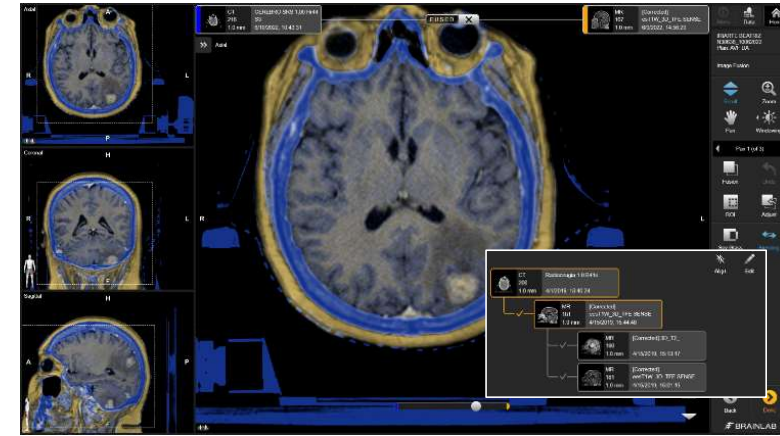
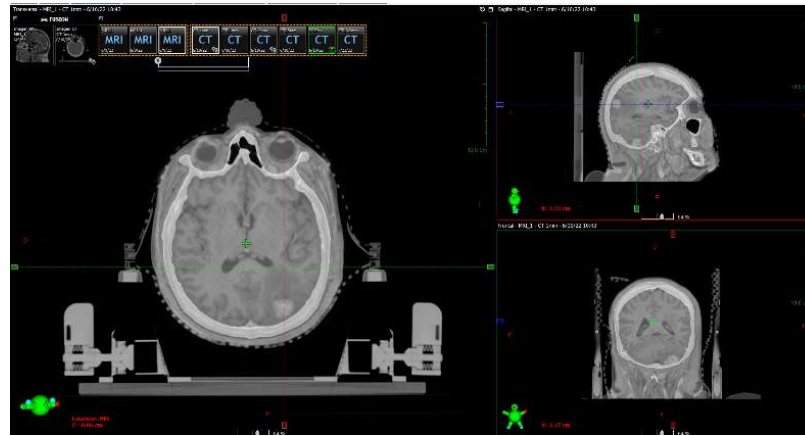
*If you can't see it, you can't hit it.
If you can't hit it, you can't cure it.*

Jake Van Dyk



Fusión imágenes

- Manual
- Información mutua
- Idénticos
- Marcas
- Superficies
- Etc...



Fusión con corrección por distorsión

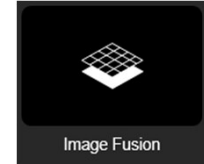
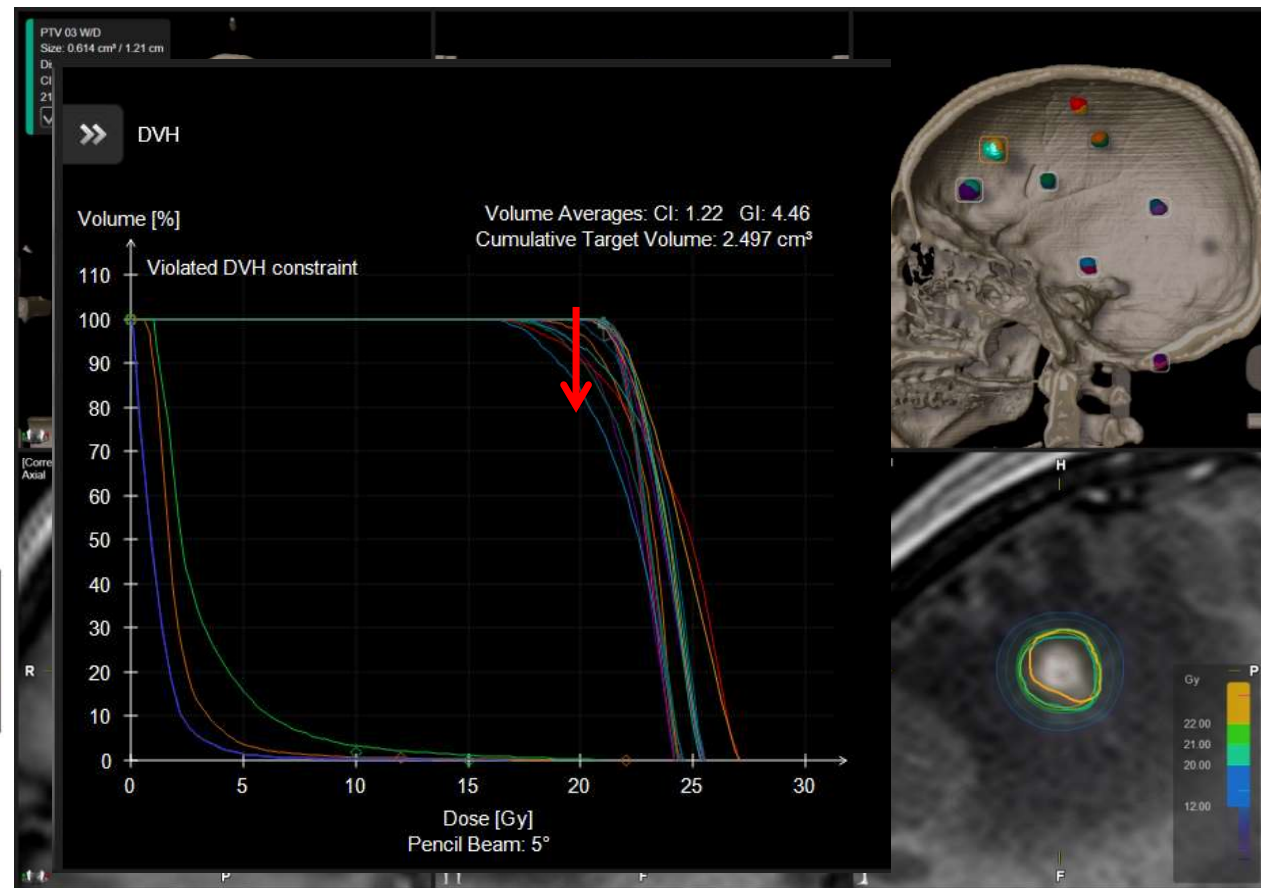
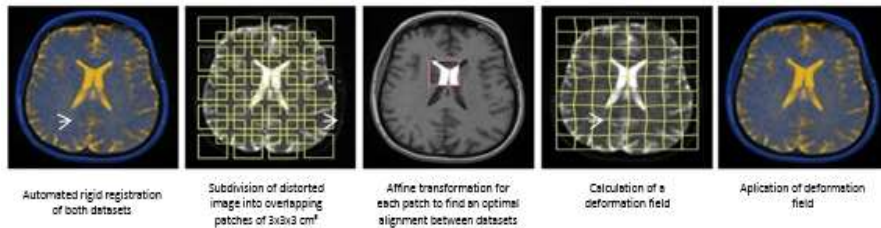


Image Fusion

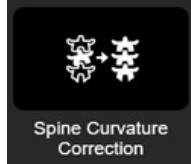
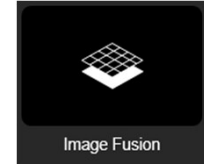


Distortion Correction Cranial

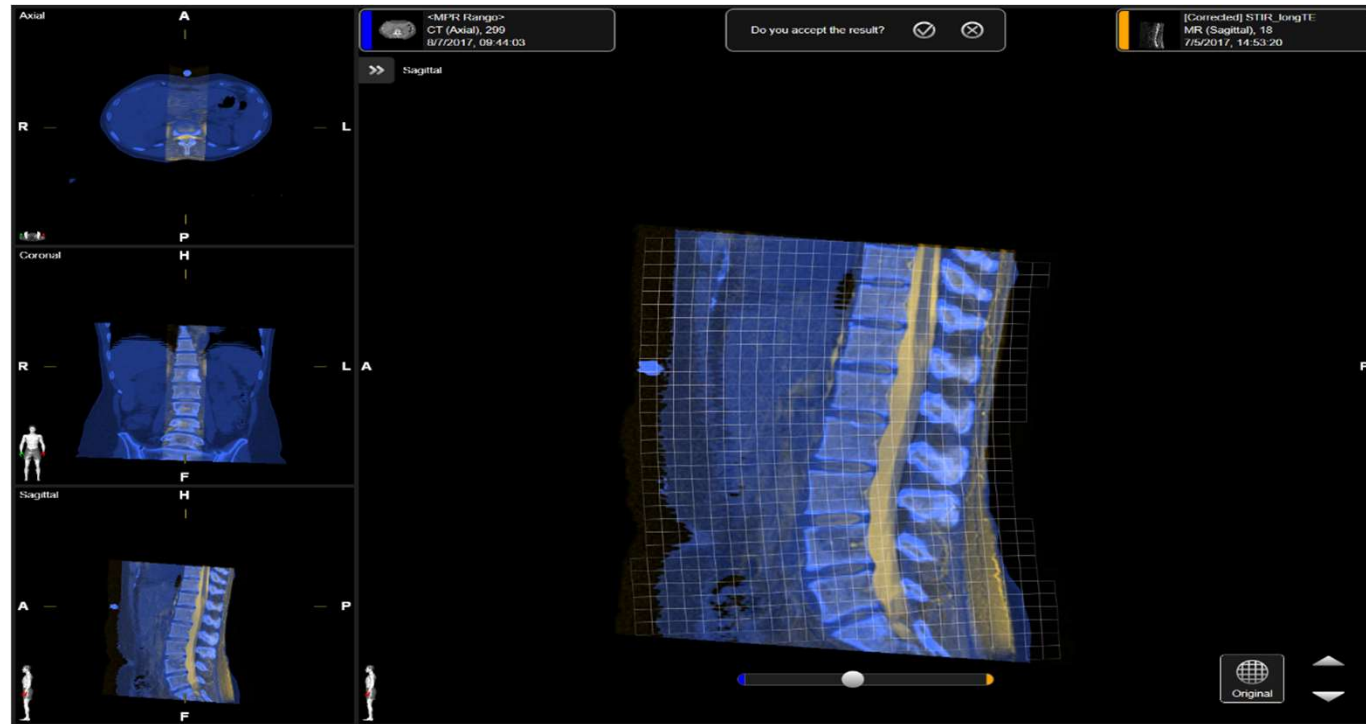
- Distorsiones geométricas MRI
- Corrección por distorsión craneal
 - Fusión rígida
 - Subdivisión de la imagen distorsionada en múltiples regiones
 - Alineación de cada región
 - Cálculo de la matriz de deformación
 - Aplicaciones de la transformación



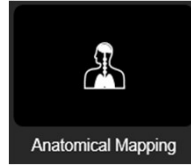
Fusión con corrección por deformación



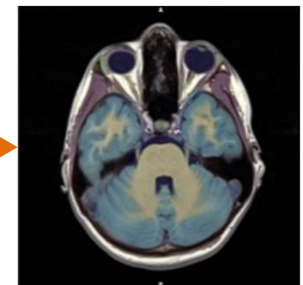
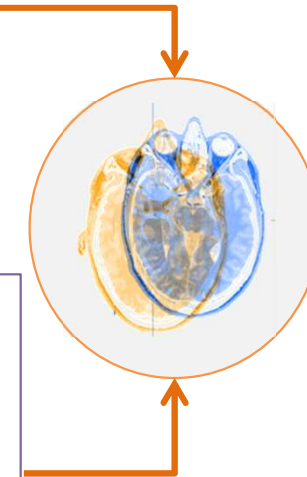
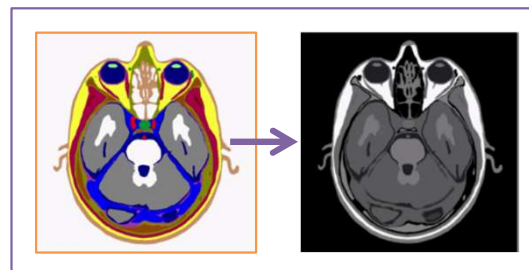
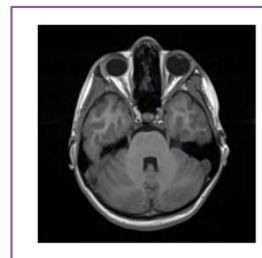
- Deformación por variación de posicionamiento
- Deformación elástica de tejidos blandos



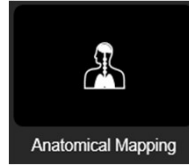
Delimitación de volúmenes - OARs



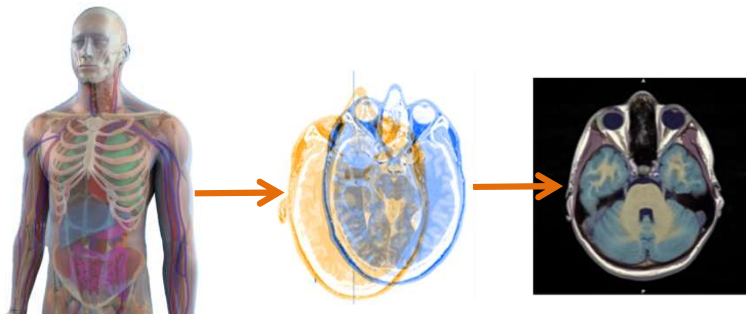
- Existen múltiples soluciones comerciales que asisten la delimitación de los OARs
- Proceso automático
 - Servidor dedicado (hardware)
 - Inicia segmentación de OARs una vez que las imágenes son exportadas
 - Crea OARs automáticamente
 - Registra y adapta datos del paciente a modelo sintético de cuerpo



Delimitación de volúmenes - OARs



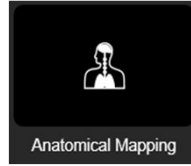
- Variabilidad intra observador
- Necesidad de Protocolos Institucionales
- **Tiempo – Eficiencia**
 - Sistemas inteligentes. Visibles aun con alteraciones
 - Equipo de trabajo / Dosimetrista



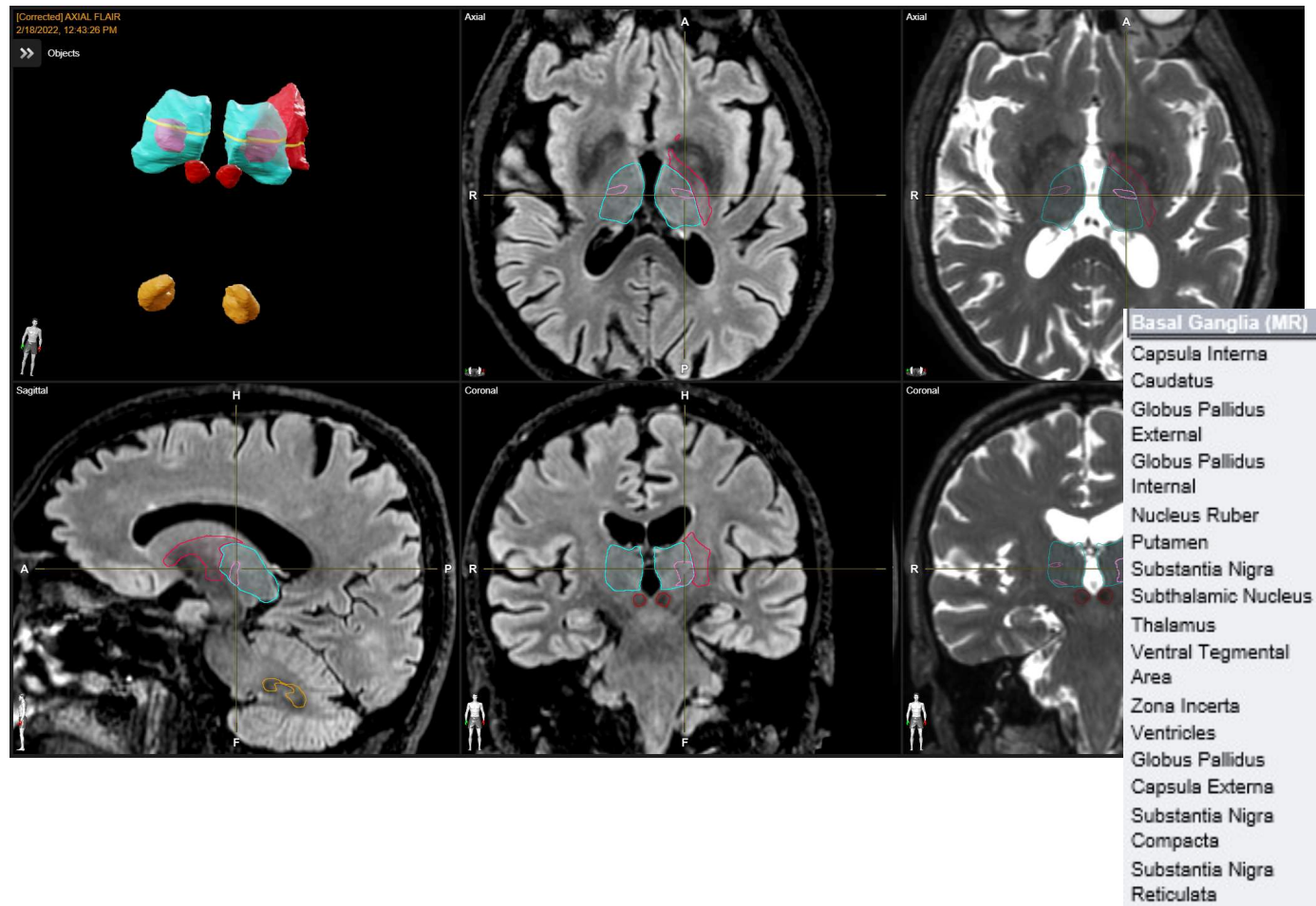
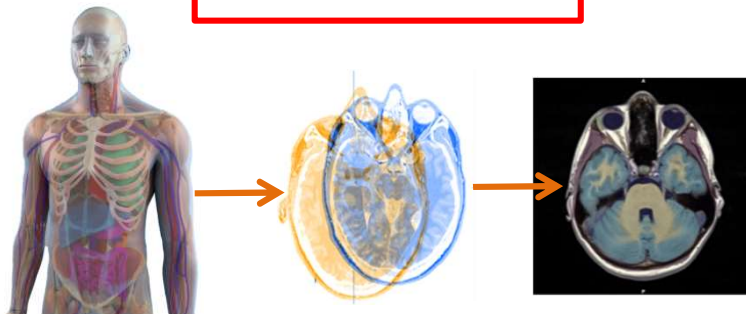
Elements Segmentation

Cranial (MR)	Head and Neck (CT)	Thoracic (CT)	Spine (CT)	Pelvic (CT)
- Brainstem - Optic Nerve - Chiasm - Optic Tract - Eyes - Lens - Whole Brain - Cochlea - Hippocampus - Cerebellum - Temporal Lobe - Cerebrum - White Matter - Gray Matter - Hypothalamus - Putamen - Corpus Callosum - Pineal Gland - CSF - Caudatus - Ventricles - Geniculate Body - Globus Pallidus - Pituitary Gland - Capsula Externa - Capsula Interna - Amygdala - Thalamus - Vessel - Central Sulcus	- Brainstem - Whole Brain - Manubrium - Cricoid Cartilage - Cochlea - Eye - Lens - Lymph Level - Lymph Node - Lymph Level 1A - Lymph Level 1B - Lymph Level 2 - Lymph Level 3 - Lymph Level 4 - Lymph Level 5 - Lymph Level 6 - Lymph Node RCL - Lymph Node RP - Lymph Node RST - Parotid Gland - Sternocleidomastoid Muscle - Mandible	- Aorta - Heart - Kidney - Lung - Liver - Esophagus - Ribs - Clavicle - Sternum - Trachea	- Spinal Canal - Spinal Cord - Spine - All Single Vertebra	- Prostate - Bladder - Rectum - Hip Joint - Seminal Vesicle - Penile Bulb

Delimitación de volúmenes – OARs / Núcleos

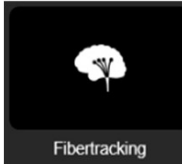
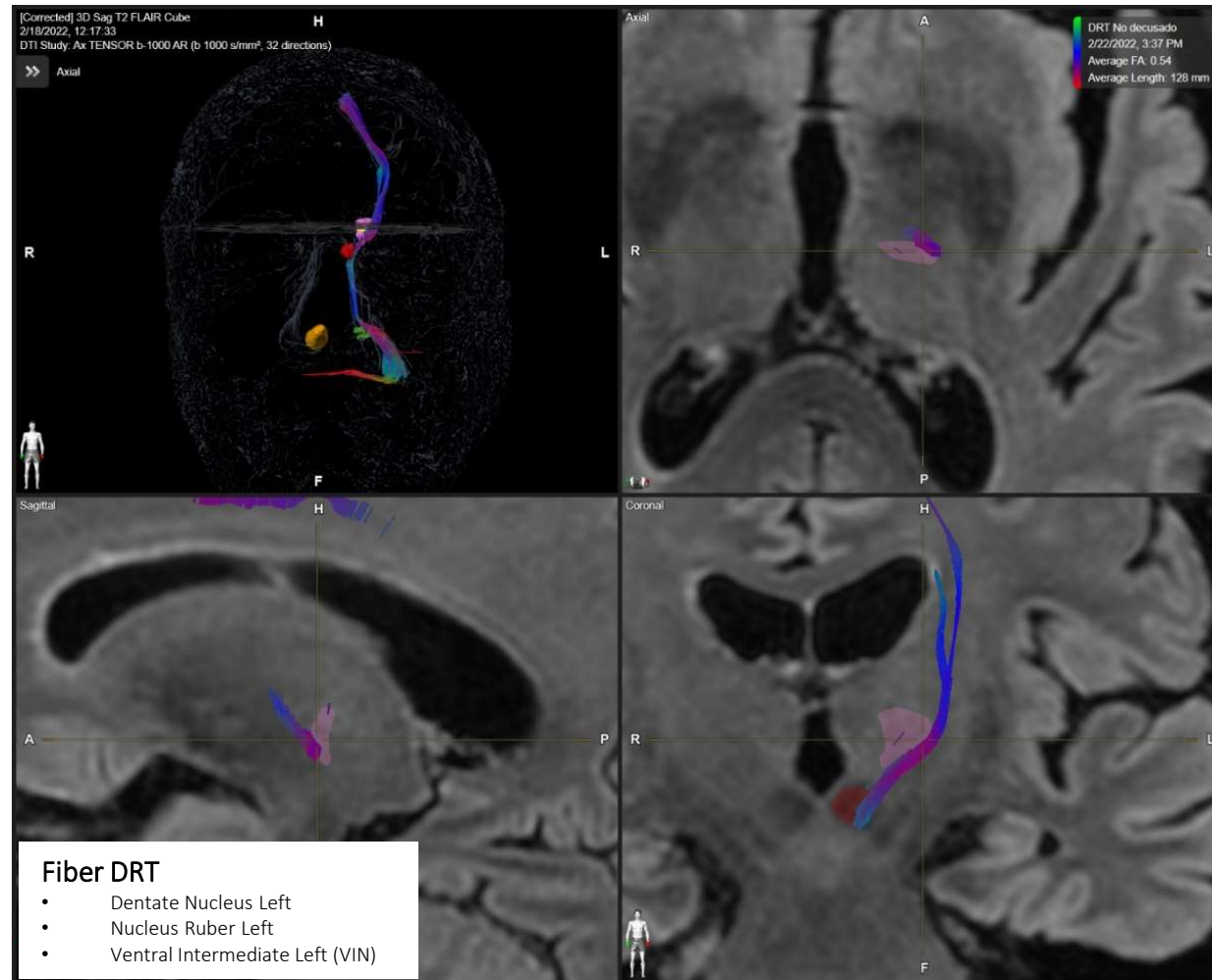


- Variabilidad intra observador
- Necesidad de Protocolos Institucionales
- **Tiempo – Eficiencia**
 - Sistemas inteligentes. Visibles aun con alteraciones
 - Equipo de trabajo / Dosimetrista
 - **Volúmenes no visibles**



Delimitación de volúmenes

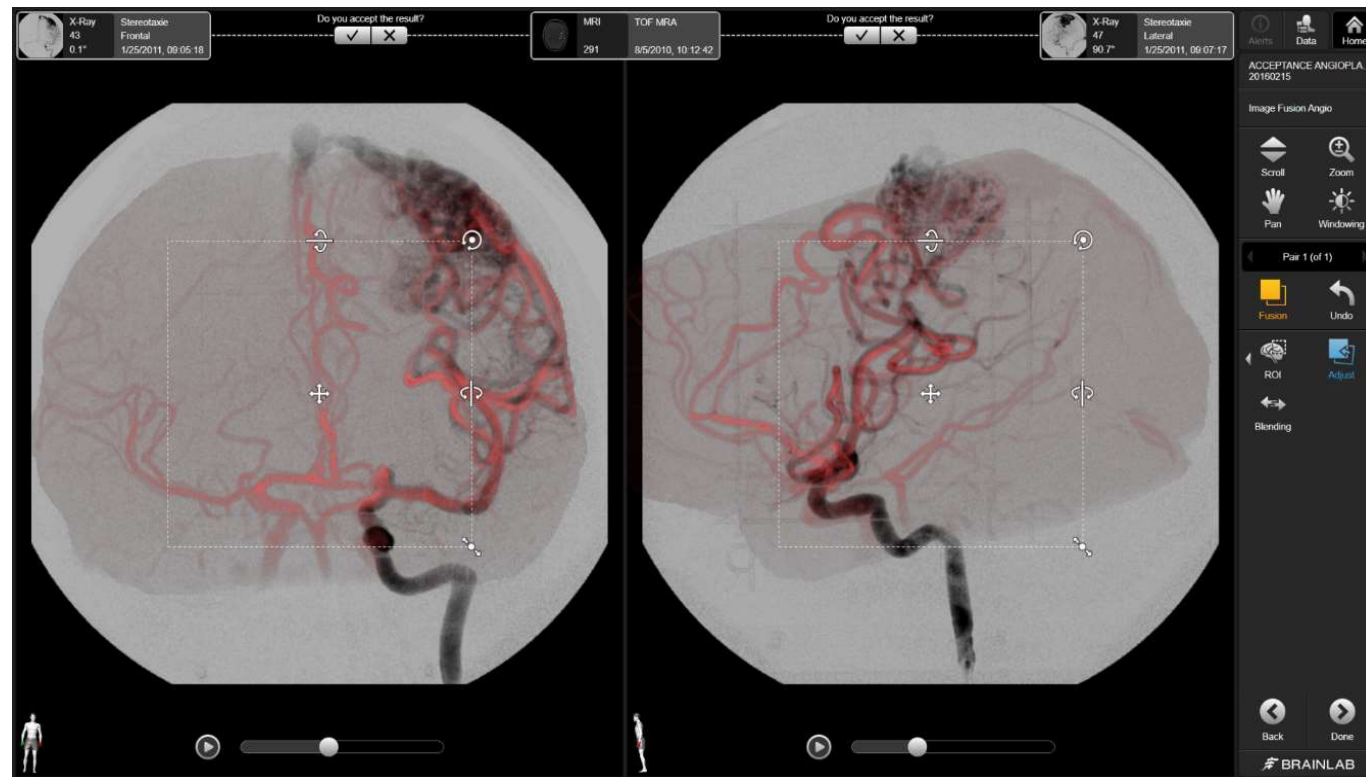
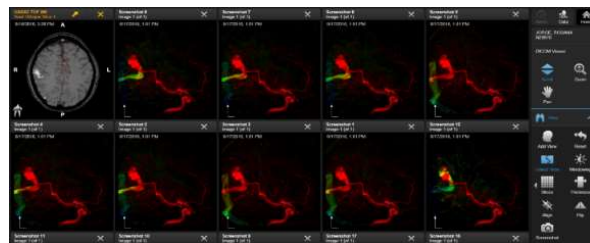
- Variabilidad intra observador
- Necesidad de Protocolos Institucionales
- **Tiempo – Eficiencia**
 - Sistemas inteligentes. Visibles aun con alteraciones
 - Equipo de trabajo / Dosimetrista
 - Volúmenes no visibles
- **Fibras nerviosas**
 - Imágenes DTI (DSI)
 - Anisotropía de difusión
 - OAR / Target



Delimitación de volúmenes – AVM



- Variabilidad intra observador
- Necesidad de Protocolos Institucionales
- **Tiempo – Eficiencia**
 - Sistemas inteligentes. Visibles aun con alteraciones
 - Equipo de trabajo / Dosimetrista
 - Volúmenes no visibles
- MAV - Volúmenes visibles 2D -> 3D

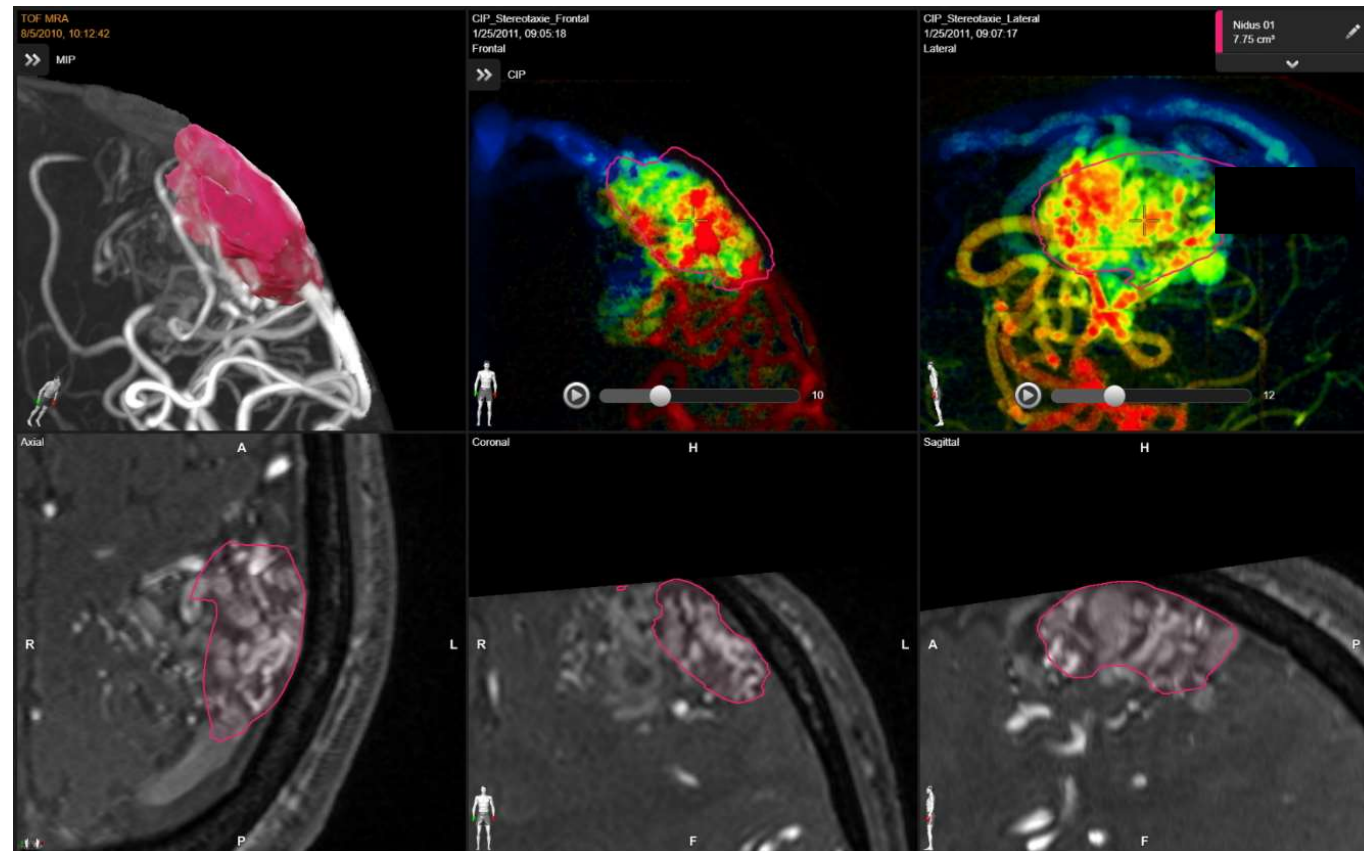
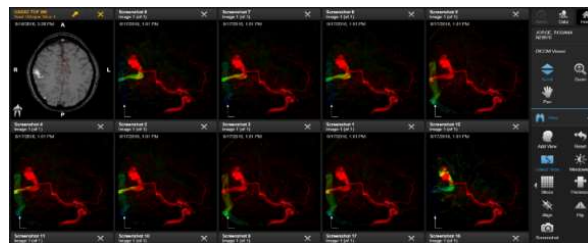


Fusión entre imágenes angiografías 2D y estructura vascular por RNM

Delimitación de volúmenes – AVM



- Variabilidad intra observador
- Necesidad de Protocolos Institucionales
- **Tiempo – Eficiencia**
 - Sistemas inteligentes. Visibles aun con alteraciones
 - Equipo de trabajo / Dosimetrista
 - Volúmenes no visibles
- MAV – Volúmenes visibles 2D -> 3D

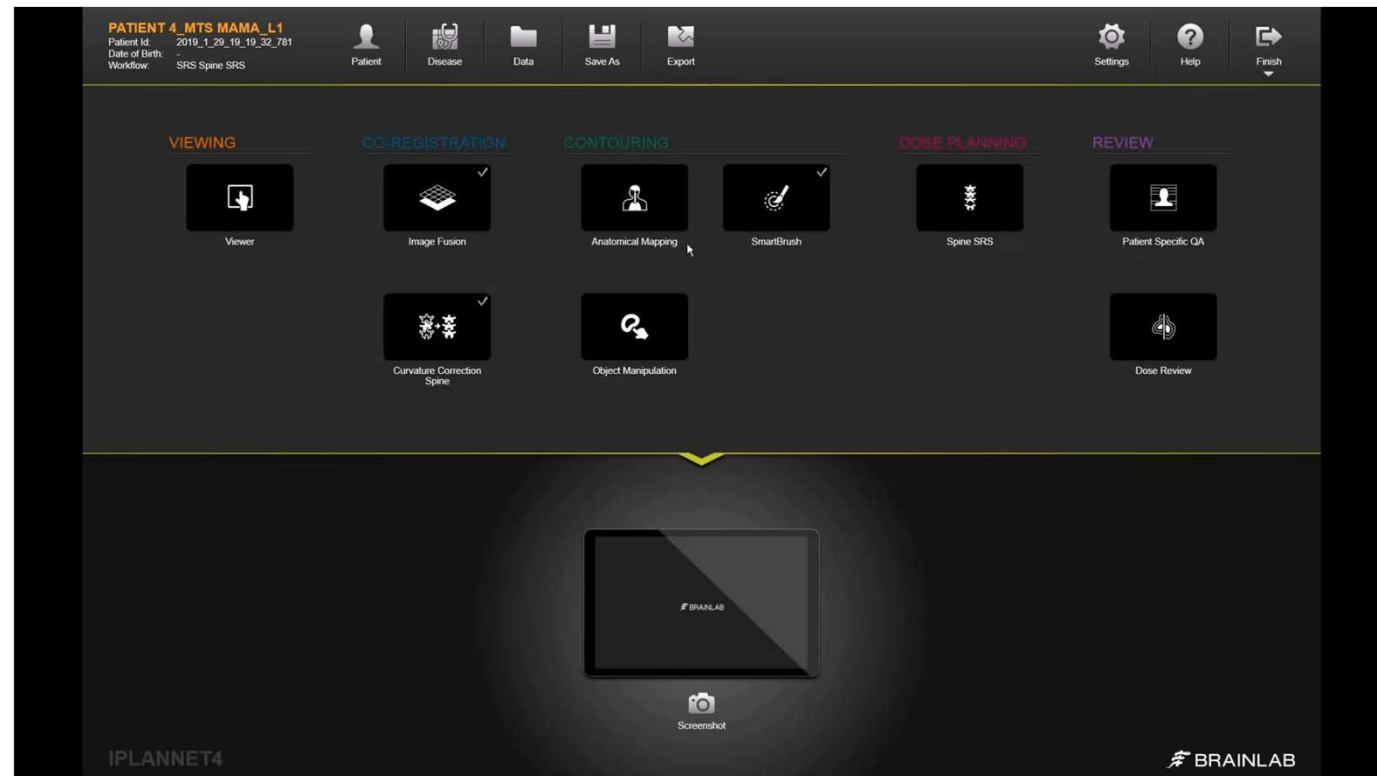


Detección automática de nido MAV por RNM

Delimitación de volúmenes – GTV / CTV

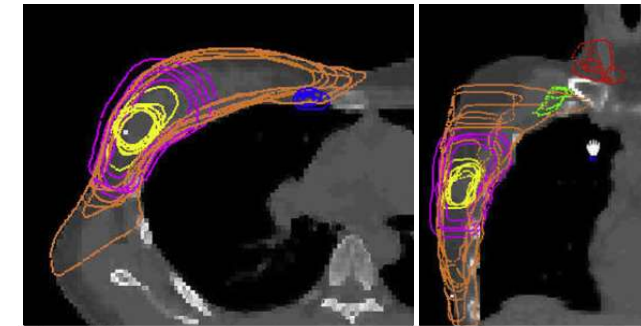
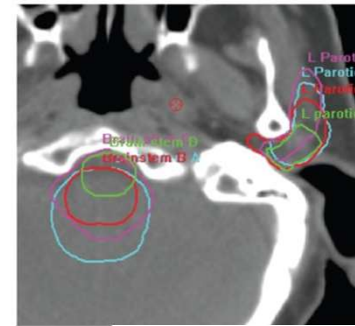
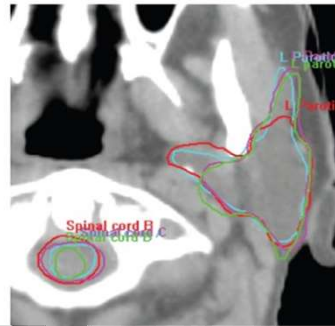


- Variabilidad intra observador
- Necesidad de Protocolos Institucionales
- **Tiempo – Eficiencia**
 - Sistemas inteligentes. Visibles aun con alteraciones
 - Equipo de trabajo / Dosimetrista
 - Volúmenes no visibles
- GTV SmartBrush – CTV automático (Consenso)
- Cuerpos vertebrales - Medula



Delimitación de volúmenes – GTV / CTV / OARs

- Variabilidad observador
- Consensos internacionales
 - Ejemplo Mama



Breast Cancer Atlas for Radiation Therapy Planning: Consensus Definitions

RTOG
RADIATION THERAPY
ONCOLOGY GROUP

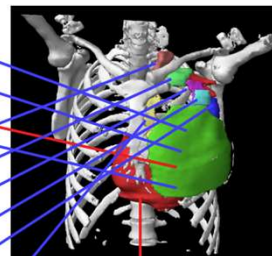
Presentation of the ESTRO consensus guideline

With the contribution of the members of the project on volume delineation in breast cancer:

- Philip Poortmans, Tilburg (NL)
- Birgitte Offersen, Aarhus (DK)
- Youlia Kirova, Paris (F)
- Liesbeth Boersma, Maastricht (NL)
- Marianne Aznar, Copenhagen (DK)
- Sandra Hol, Tilburg (NL)
- Albert Biete Sola, Barcelona (E)

Created with
nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional/

- Breast
- Boost
- **PBI**
- Thoracic wall
- LN supraclavicular
- LN axilla level III
- LN axilla level II
- LN axilla Rotter
- LN axilla level I
- LN internal mammary



Created with
nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional/

Delimitación de volúmenes – GTV / CTV / OARs

- Variabilidad observador
- Consensos internacionales
- Consenso Institucional
 - Ejemplo Mama



2º Taller Internacional Multidisciplinario de Cáncer de Mama

"De la práctica a las bases teóricas"

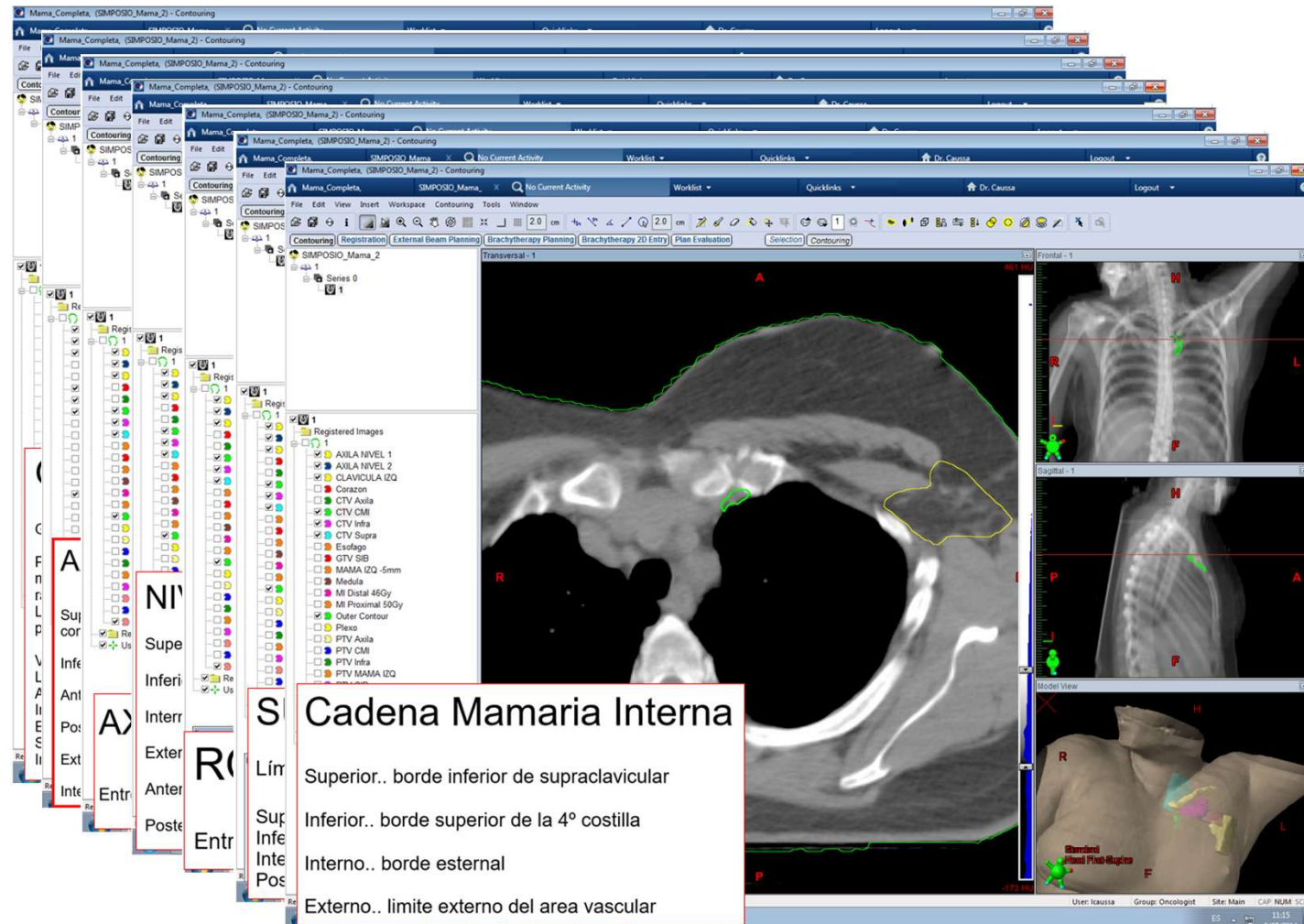
18, 19 y 20 de Junio de 2017
Sheraton Córdoba Hotel



Instituto Nacional de Cancerología-ALATRO

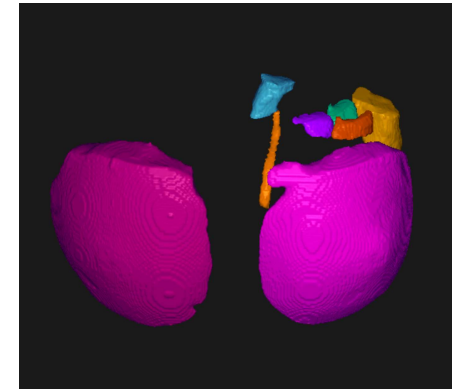
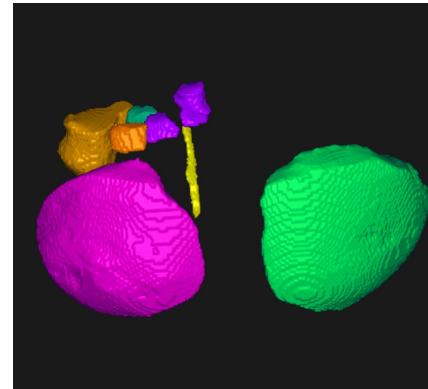
Cáncer de Mama – Taller Teórico-Práctico

Colombia, 27 de septiembre de 2014
Directora: Rosalba Ospino (Colombia)



Delimitación de volúmenes – Breast lymph nodes (CTV)

- Acuerdo con Court LAB MD Anderson
 - RPA: servicio WEB automático para la obtención de contornos automáticos
- Creación de un sistema automático de contornos de regiones ganglionares en Mama
- # Pacientes ~ 40 (modelo) / 10 (test)



Radiation Planning Assistant Dashboard							
✓ Review ✕ Delete							
Show All							
Drag a column header and drop it here to group by that column							
Status	MRN	Patient Name	Treatment	Task	CT Scan	Service Form	Date Submitted
Processing	CW01	01,CW	Chest Wall - Tangents & Sclo	Planning			2020-Jun-13 21:04
Complete - RPA plan	CW01	01,CW	Chest Wall - Tangents & Sclo	Planning			2020-Jul-28 22:39
Complete - RPA plan	GYN01	01,GYN	Cervix - 4-Field Box (Bone)	Planning			2020-Jul-27 15:40
Complete - RPA plan	GYN01	01,GYN	Cervix - 4-Field Box (Bone)	Planning			2020-Aug-06 08:36
Complete - RPA plan	GYN01	01,GYN	Cervix - 4-Field Box (Bone)	Planning			2020-Aug-13 21:30
Processing	GYN01	01,GYN	Cervix - 4-Field Box (Bone)	Planning			2020-May-26 18:05
Complete - RPA plan	GYN01	01,GYN	Cervix - 4-Field Box (Bone)	Planning			2020-Aug-13 20:53

• ROIs:

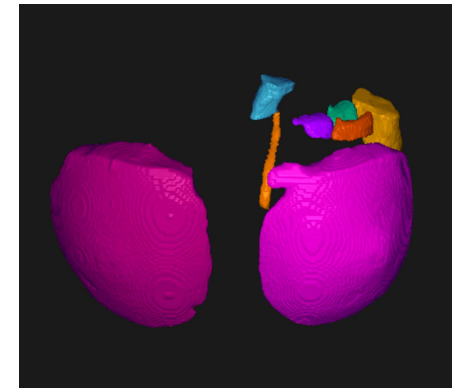
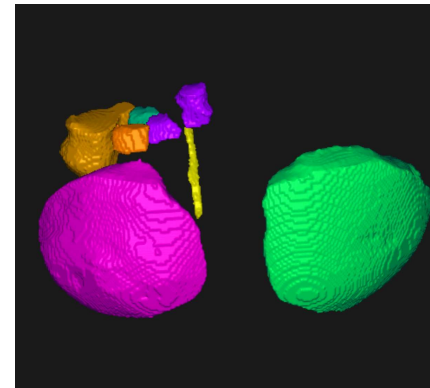
- CTV_Mama (Breast Right)
- Mama_I (Breast Left)
- CTV_GL_Axila_1 (LN Ax 1)
- CTV_GL_Axila_2 (LN Ax 2)
- CTV_GL_Axila_3 (LN Ax 3)
- CTV_GL_CMI (IMC)
- CTV_GL_Rotter
- CTV_GL_Supra (SCV)

• ROIs:

- CTV_Mama (Breast Left)
- Mama_D (Breast Right)
- CTV_GL_Axila_1 (LN Ax 1)
- CTV_GL_Axila_2 (LN Ax 2)
- CTV_GL_Axila_3 (LN Ax 3)
- CTV_GL_CMI (IMC)
- CTV_GL_Rotter
- CTV_GL_Supra (SCV)

Delimitación de volúmenes – Breast lymph nodes (CTV)

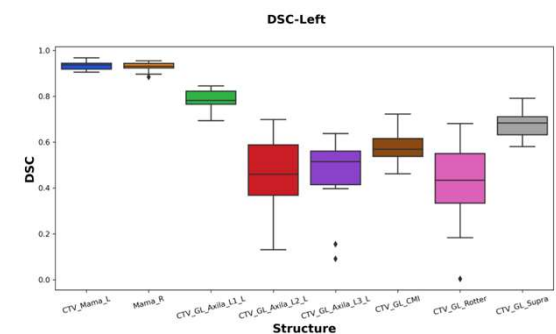
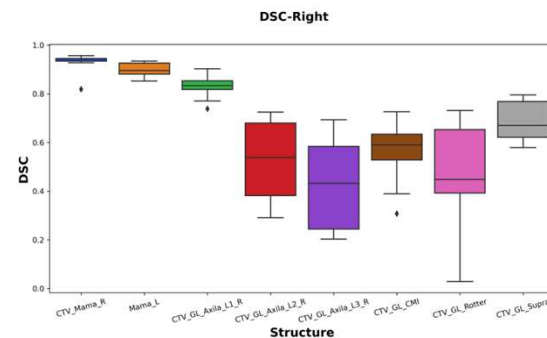
- Acuerdo con Court LAB MD Anderson
 - RPA: servicio WEB automático para la obtención de contornos automáticos
- Creación de un sistema automático de contornos de regiones ganglionares en Mama
- # Pacientes ~ 40 (modelo) / 10 (test)
- DSC (Dice Similarity Coefficient)
- .



$$DSC = \frac{2|A \cap B|}{|A| + |B|}$$

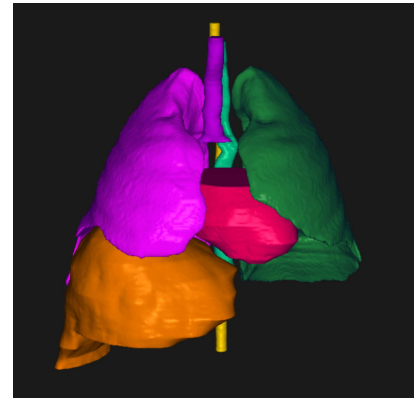
A ground truth
 B prediction

TP
FP
FN

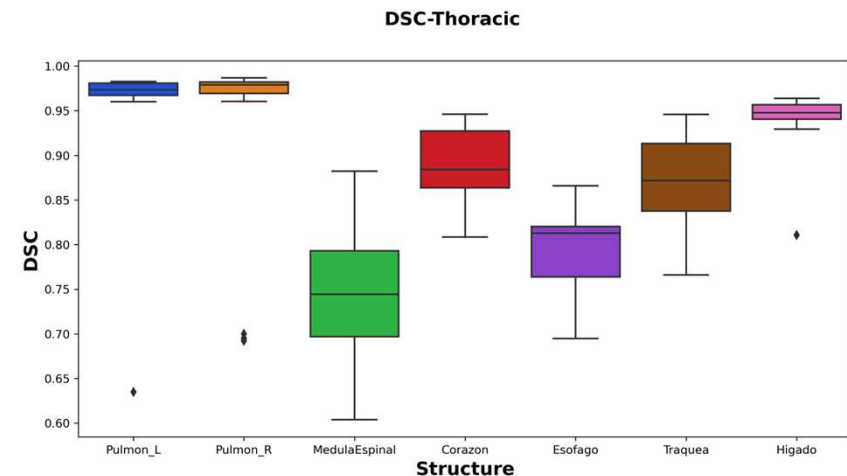


Delimitación de volúmenes – Breast lymph nodes (CTV)

- Acuerdo con Court LAB MD Anderson
 - RPA: servicio WEB automático para la obtención de contornos automáticos
- Creación de un sistema automático de contornos de regiones ganglionares en Mama
- # Pacientes ~ 40 (modelo) / 10 (test)
- DSC (Dice Similarity Coefficient)
- Otros
 - MSD (Mean surface distance)
 - HD - Hausdorff distance (MAX distance between contours)



- ROIs:
 - Pulmon (Lungs)
 - MedulaEspinal (Spinal Cord)
 - Corazon (Heart)
 - Esofago (Esophagus)
 - Traquea (Trachea)
 - Hgado (Liver)



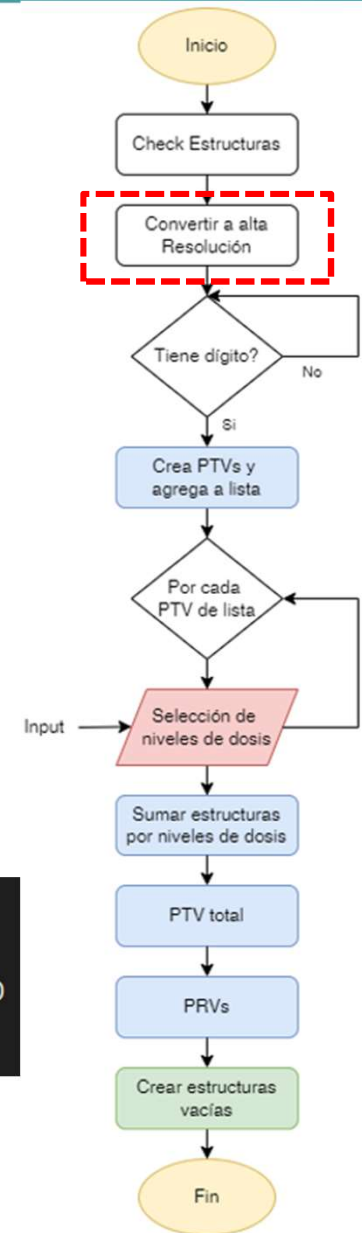
Volúmenes de planificación - Automatización

- Diagrama de flujo
 - Tares repetitiva**
 - Nomenclatura
 - Proceso
- Diseñar el algoritmo
- Escribir el código
 - SCRIPT



```

//---CONVERT TO HIGH RESOLUTION---//
foreach (Structure estructuras in ss.Structures)
{
    if (estructuras.IsHighResolution == false && estructuras.CanConvertToHighResolution())
    { estructuras.ConvertToHighResolution(); }
}
    
```



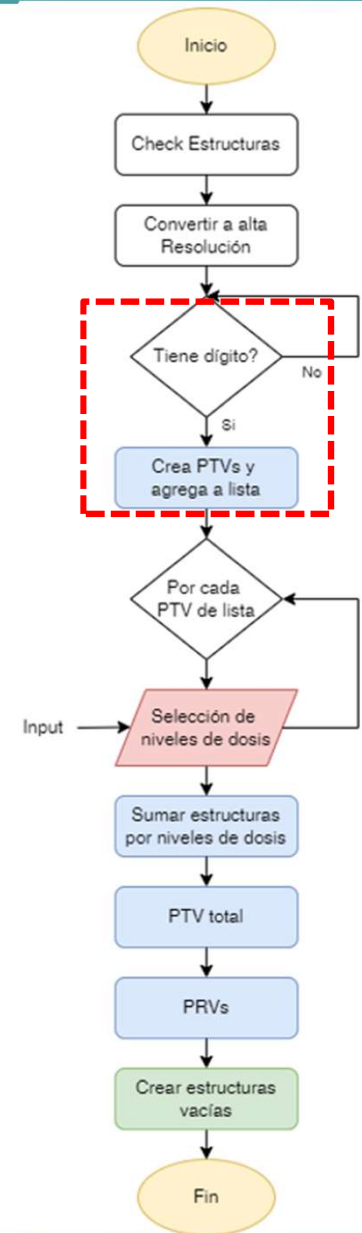
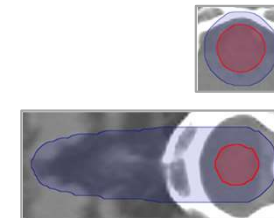
Volúmenes de planificación – Automatización

- Diagrama de flujo
 - Tares repetitiva
 - Nomenclatura
 - Proceso
- Diseñar el algoritmo
- Escribir el código
 - SCRIPT



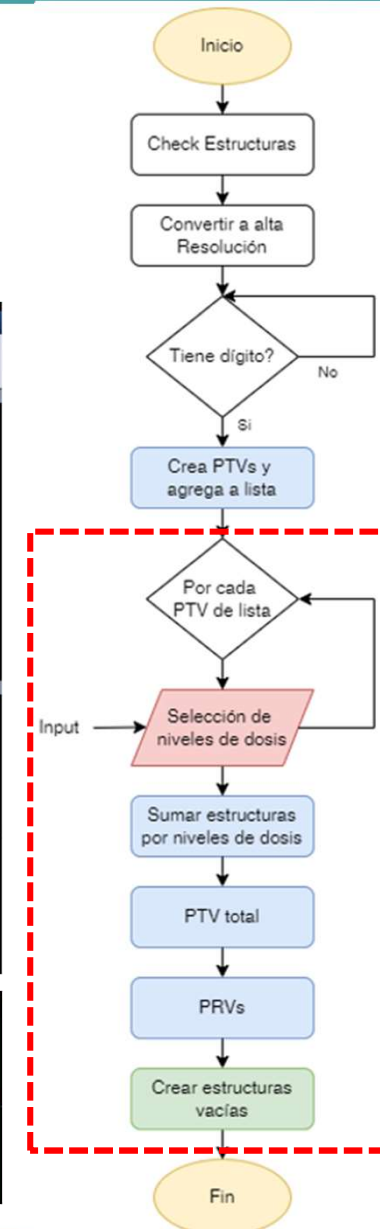
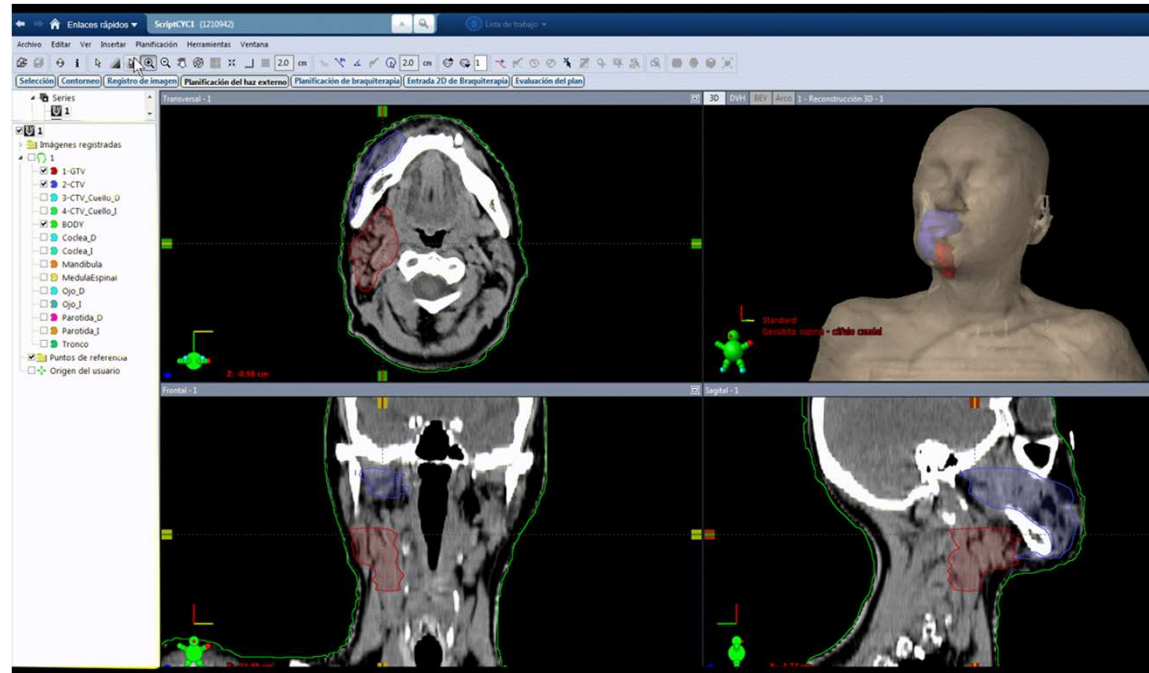
```
public SegmentVolume Margin(double marginInMM)
```

```
public SegmentVolume AsymmetricMargin(AxisAlignedMargins margins)
```



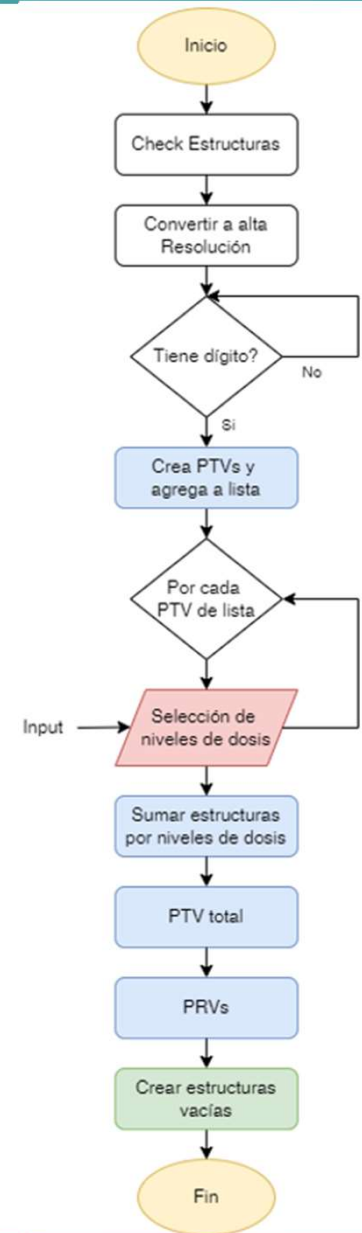
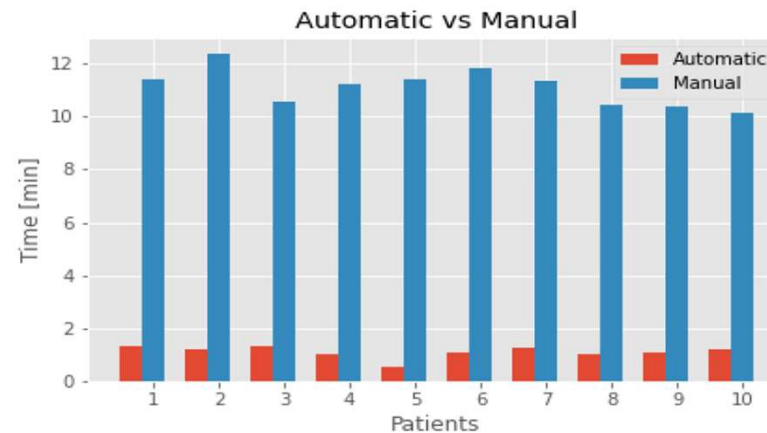
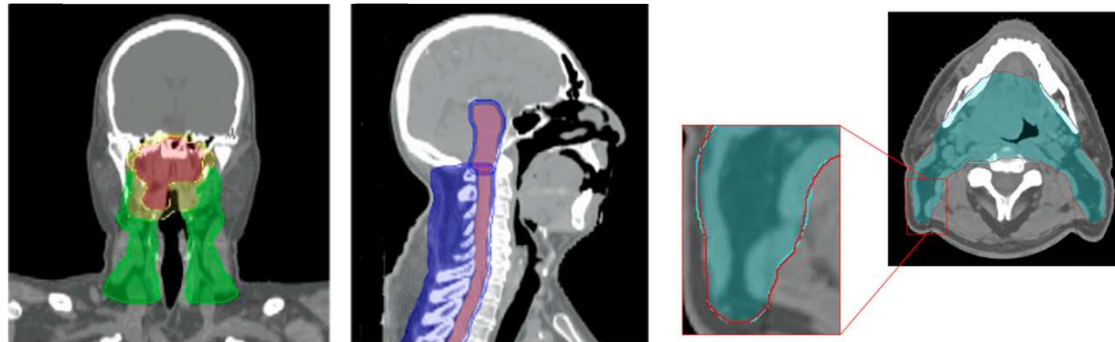
Volúmenes de planificación – Automatización

- Diagrama de flujo
 - Tares repetitiva
 - Nomenclatura
 - Proceso
- Diseñar el algoritmo
- Escribir el código
 - SCRIPT



Volúmenes de planificación – Automatización

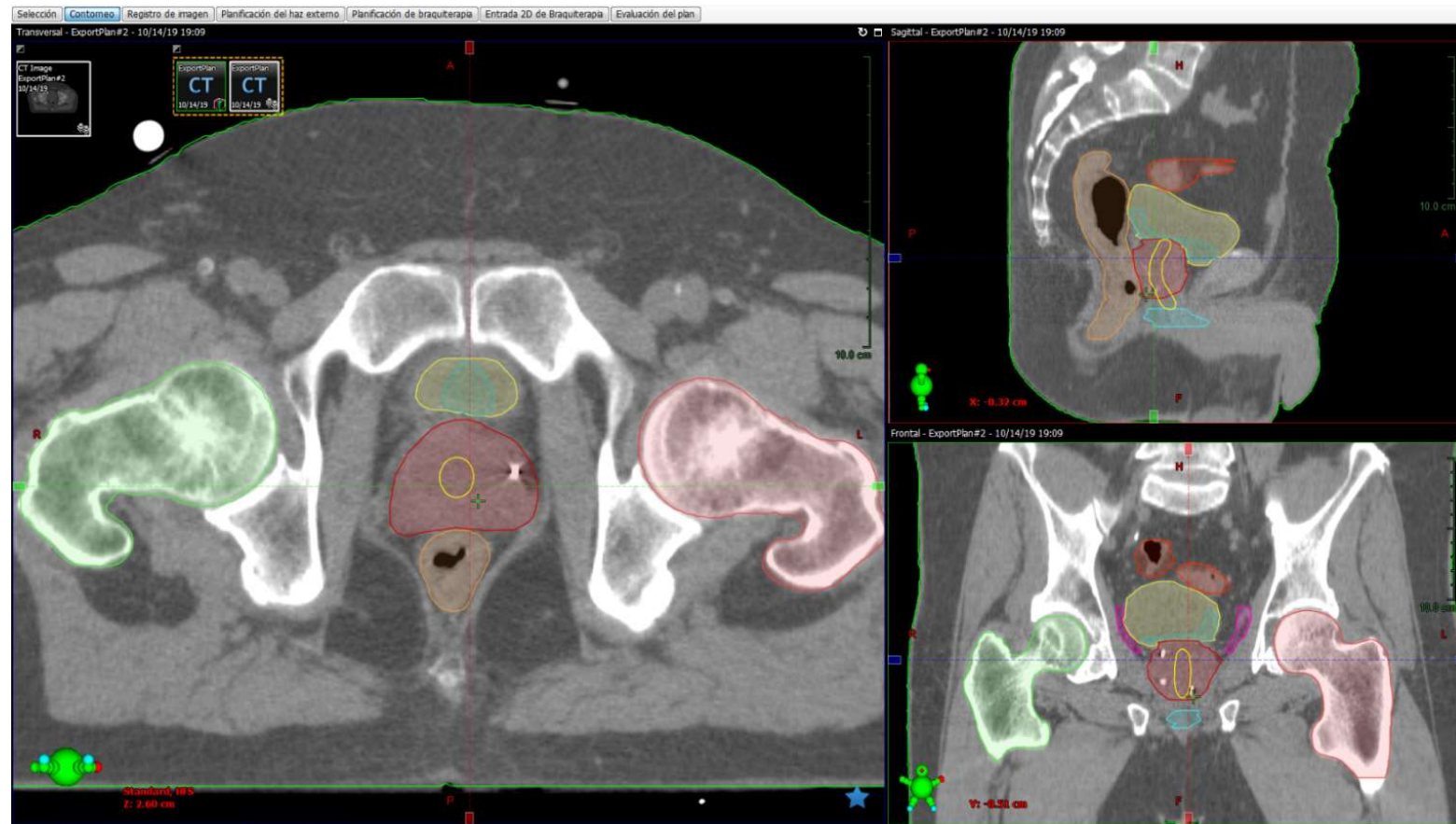
- Diagrama de flujo
 - Tares repetitiva
 - Nomenclatura
 - Proceso
- Diseñar el algoritmo
- Escribir el código
 - SCRIPT
- Verificación



Volúmenes de planificación – Automatización Próstata

Contornos manuales

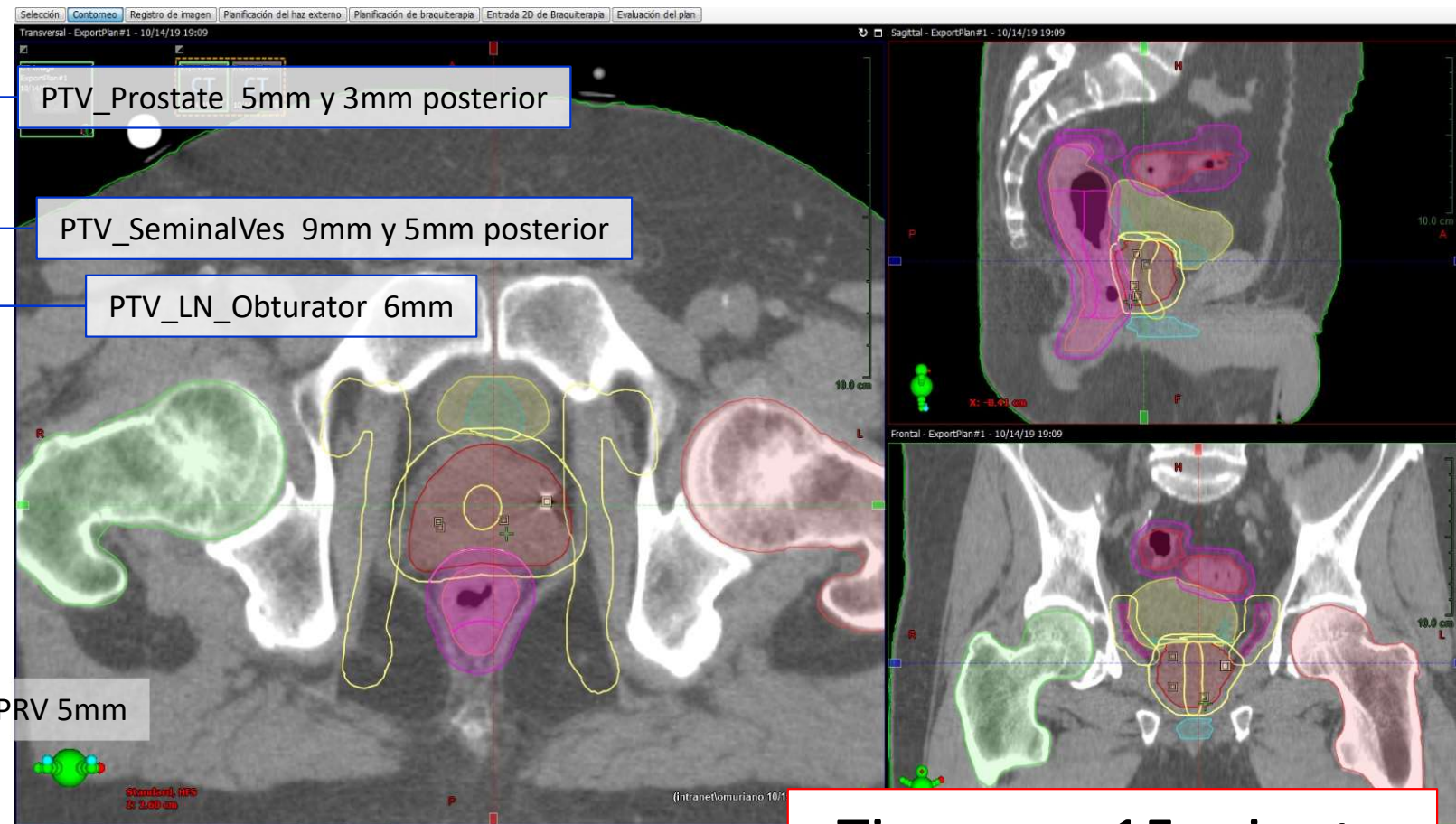
- CTV_Prostate
- GTV_SIB
- CTV_SeminalVes
- CTV_LN_Pelvis
- Rectum
- Bladder
- FemoralJoint_L/R
- Bowel
- Colon
- Urethra
- Trigone
- PenileBulb
- Bones



Volúmenes de planificación – Automatización Próstata

Contornos generados

- PTV_High_4000
- PTV_Prostate
- **PTV_SIB**
- **PTV_Mid_2750**
- **PTV_SeminalVes**
- **PTV_Low_2500**
- **PTV_LN_Obturator**
- PTV_Total!
- PTV_RectumPRV05!
- PTV_Trigone!
- PTV_Urethra!
- PTV-PRVs!
- Rectum_A
- Rectum_P
- Rectum_PRV05
- Colon_PRV05
- Bowel_PRV05
- Marcador#

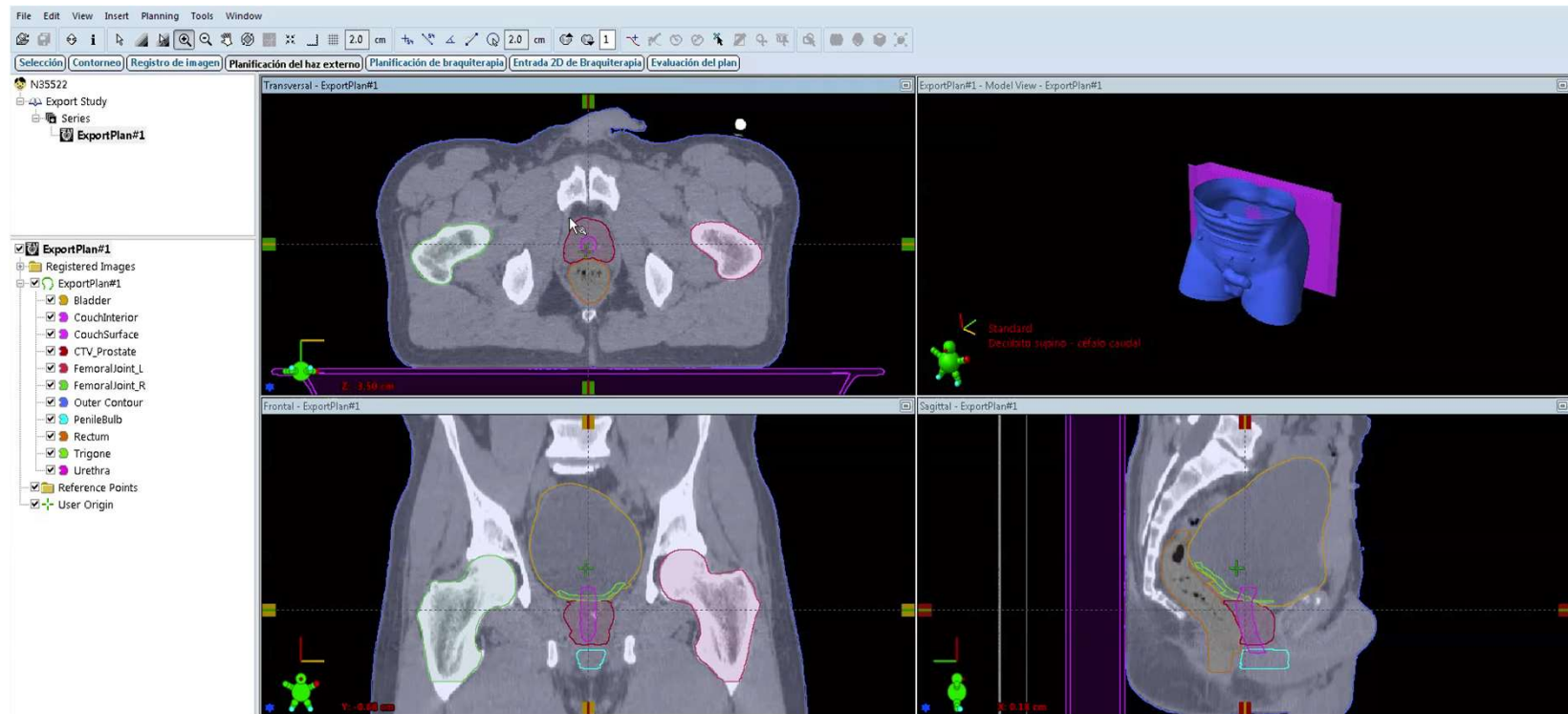


Tiempo ~ 15 minutos

Volúmenes de planificación – Automatización Próstata

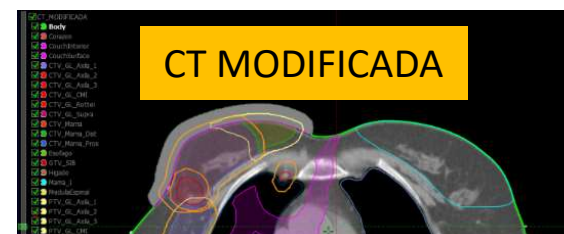
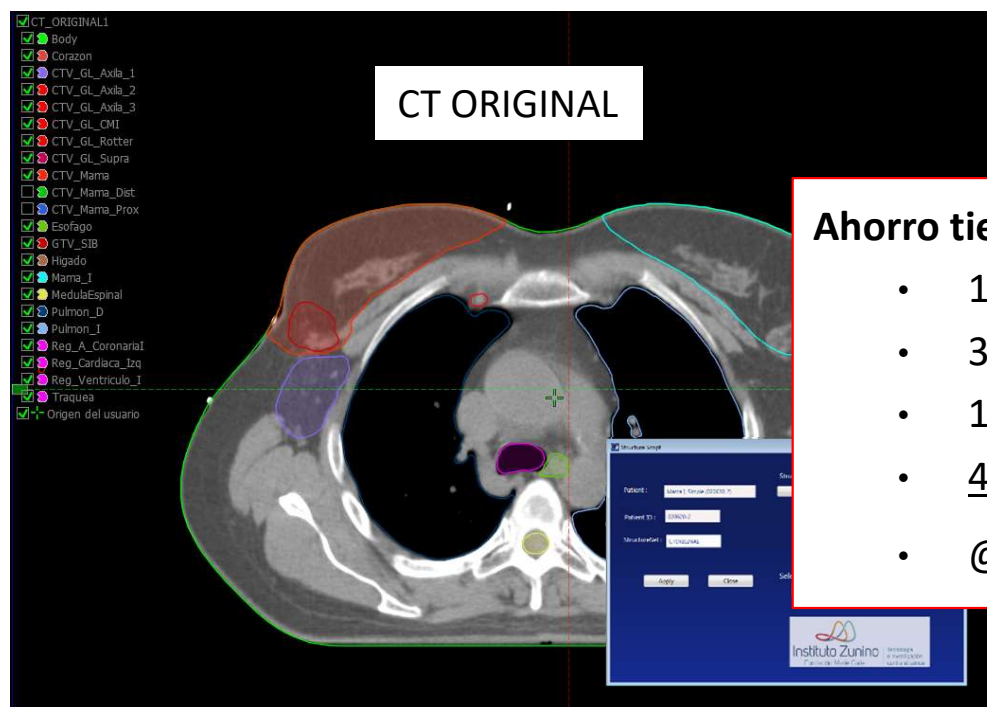
Contornos generados

- PTV_High_4000
- PTV_Prostate
- **PTV_SIB**
- PTV_Mid_2750
- PTV_SeminalVes
- PTV_Low_2500
- PTV_LN_Obturator
- PTV_Total!
- PTV_RectumPRV05!
- PTV_Trigone!
- PTV_Urethra!
- PTV-PRVs!
- Rectum_A
- Rectum_P
- Rectum_PRV05
- Colon_PRV05
- Bowel_PRV05
- Marcador#



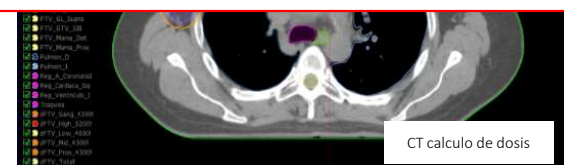
Tiempo **15 segundos!**

Volúmenes de planificación – Automatización Mama



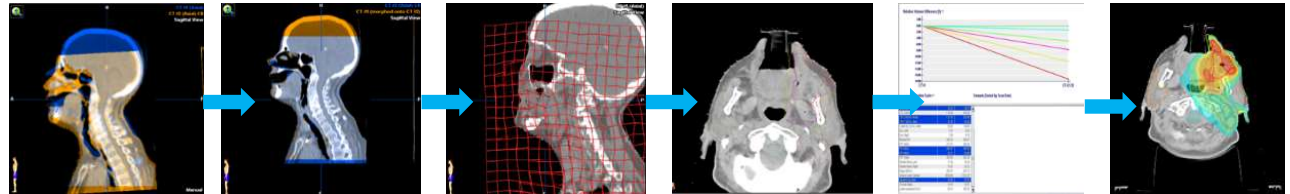
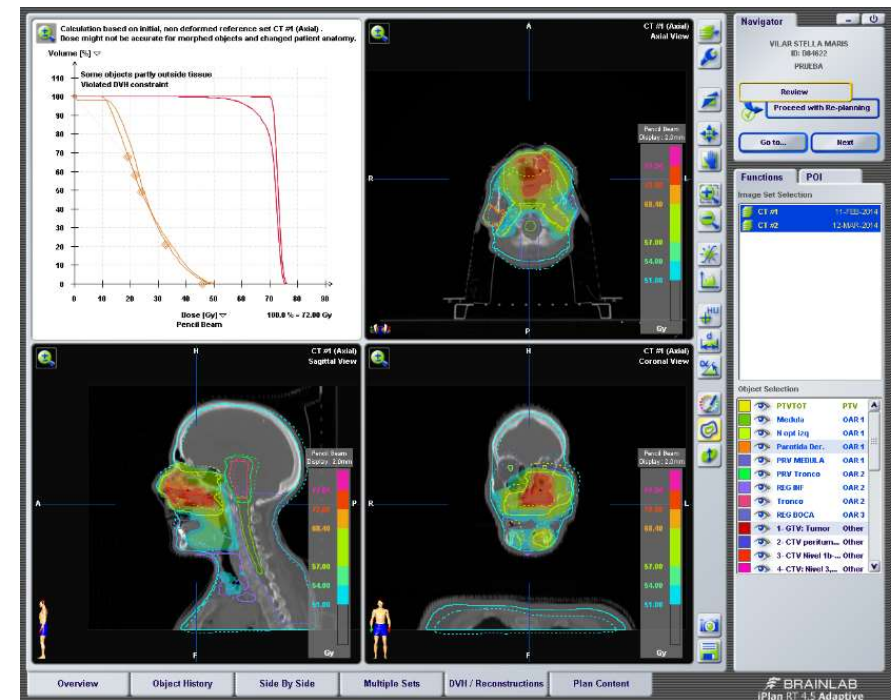
Ahorro tiempo

- 10 minutes / plan
- 3 planes / día = 15 planes / semana
- 1 año (50 semanas)
- 4 usuarios
- @ $10 * 15 * 50 * 4 = 30000 \text{ min} = \underline{\underline{15 \text{ días}}}$



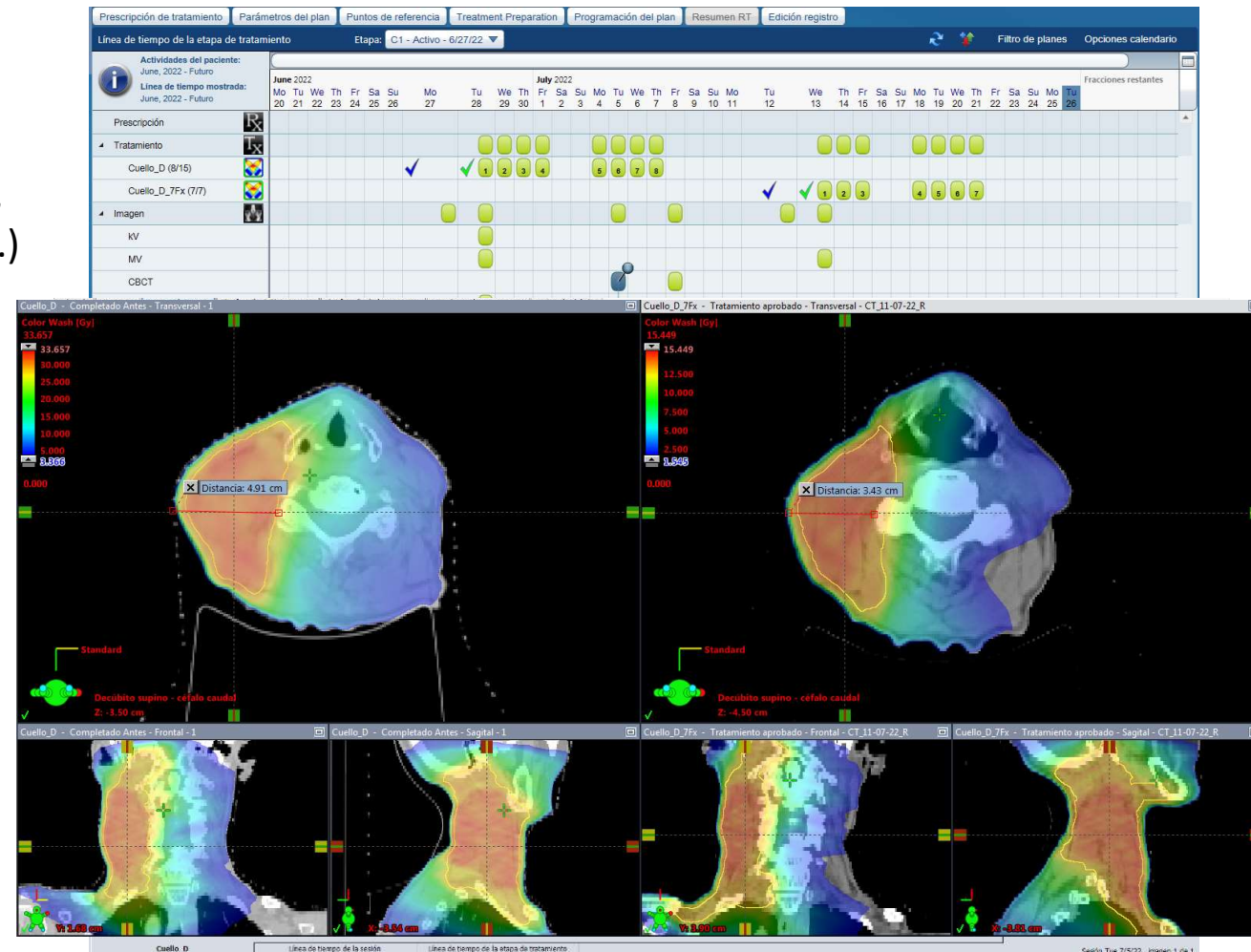
Volúmenes de planificación – ART (RT Adaptativa)

- Cambio del plan de tratamiento considerando cambios anatómicos o funcionales (ej. Cambio volumen tumoral, pérdida de peso, movimiento interno, etc.)
- Modificaciones del plan que no pueden ser corregidos con movimientos de traslación y/o rotación
- **Off-line**
 - CBCT intra-tratamiento / máscara
 - Re – simulación
 - **Medico** – Físico – Técnico
 - PSQA / Tiempo (día)



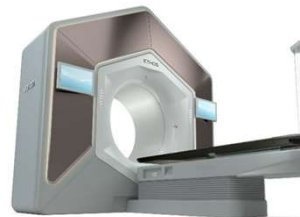
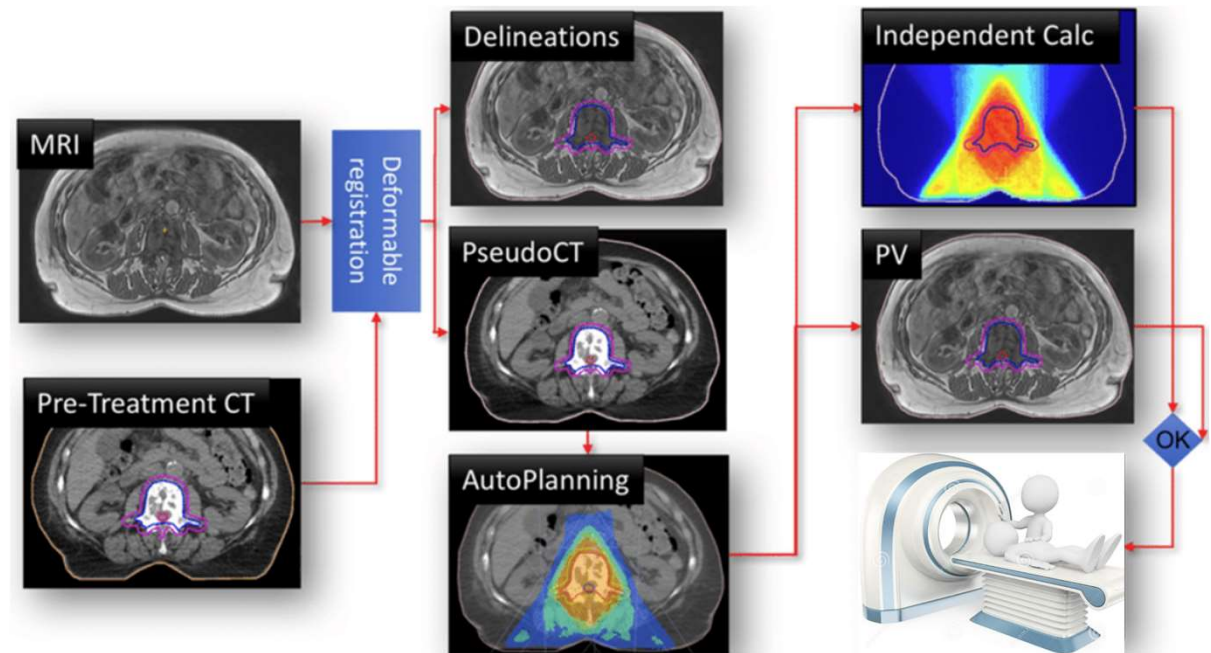
Volúmenes de planificación – ART (RT Adaptativa)

- Cambio del plan de tratamiento considerando cambios anatómicos o funcionales (ej. Cambio volumen tumoral, perdida de peso, movimiento interno, etc.)
- Modificaciones del plan que no pueden ser corregidos con movimientos de traslación y/o rotación
- **Off-line**
 - CBCT intra-tratamiento / mascara
 - Re – simulación
 - **Medico** – Físico – Técnico
 - PSQA / Tiempo (día)



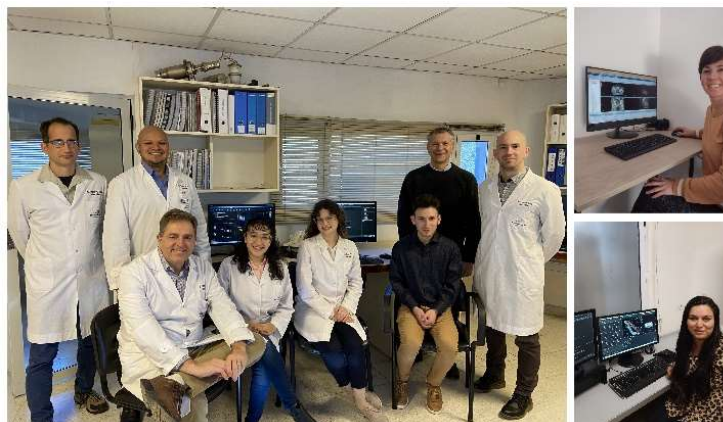
Volúmenes de planificación – ART (RT Adaptativa)

- Cambio del plan de tratamiento considerando cambios anatómicos o funcionales (ej. Cambio volumen tumoral, pérdida de peso, movimiento interno, etc.)
- Modificaciones del plan que no pueden ser corregidos con movimientos de traslación y/o rotación
- Off-line
- **On-line...**



Conclusiones

- La Radioterapia actual requiere de automatización (AUTO) e inteligencia artificial (AI) en el delineamiento de estructuras
- La AUTO y AI aumenta la eficiencia de todo el proceso y disminuye costos finales
- La implementación requiere de una importante inversión
- En un futuro cercano AUTO y AI será un estándar
- Las funciones de los profesionales Médicos, Físicos, Dosimetrista y Técnicos requerirán seguramente un replanteo



Muchas gracias

<https://www.institutozunino.org/>
<https://www.fundacionmariecurie.org/>

Seguinos en      

