



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA  
FACULTAD DE MEDICINA  
ESCUELA UNIVERSITARIA DE TECNOLOGIA MÉDICA.

Trabajo monográfico para optar al título de  
Licenciado en Imagenología.

# ***Simulador para mercado en radioterapia.***

Tutor: Dr. Mauricio Luongo.

Alumnas: Karina Ochandorena Gen 05.

## Erika Moreira Gen 05.

### INDICE.

	Pag.
1	
. Introducción.	3
2	
. Objetivos.	4
3	
. Marco Teórico.	5
3.1 Componentes del simulador.	5
3.1.1 Cabezal o Gantry.	5
3.1.2 Fluoroscopia y Tubo intensificador.	9
3.1.3 Camilla de posicionamiento.	11
3.1.4 Consola y Hand Control.	12
3.1.5 Monitores.	14
3.1.6 Generador de Alta.	15
3.2 Accesorios de posicionamiento y Fijación.	17
3.3 Mecanismo de Seguridad.	19
3.4 Protección Radiológica.	20
3.5 Técnicas de Radioterapia.	23
3.6 Uso del Simulador.	24
4 Materiales y Métodos.	30
4.1 Resultados Gráfico	31
4.2 s	32
5 Conclusiones.	33
6 Bibliografía.	35

## 1. Introducción

La simulación es un procedimiento que se realiza a todos los pacientes, previo al inicio del tratamiento de radioterapia. Es una instancia donde se determina el equipo en el que se realizará el tratamiento, la posición del paciente, la técnica de tratamiento, los tamaños de campo y los accesorios que se utilizarán. Además se obtendrán las imágenes para la confección de bloques individuales indicadas por el médico.

Existen distintas formas de realizar la simulación, dependiendo de el equipamiento con el que se cuente y del protocolo del servicio, pudiendo clasificarse en cuatro modalidades; simulación virtual, simulación en el equipo de tratamiento, simulación beneficiada por radiografía y finalmente simulación convencional.

Simulación Virtual se define a aquella modalidad que se realiza en un sistema de planificación 3D beneficiado por tomografía computarizada y asistida por resonancia magnética y PET.

Simulación en el equipo de tratamiento se define como la instancia donde el médico define a través de repères anatómicos los campos de tratamiento y posteriormente se realizan placas de verificación (checks) con el equipo de tratamiento. Cabe destacar que la calidad de imagen de estas radiografías es mucho menor a las obtenidas en un equipo de radiodiagnóstico o simulador.

Simulación beneficiada por radiografías obtenidas en un equipo de radiodiagnóstico estándar, donde se realizan los mismos pasos que en el ítem anterior con la limitación que solo puede realizarse para tratamientos con campos directos, antero-posteriores y latero-laterales, no se usa a la distancia real del equipo no se pueden conformar bloques etc. obteniéndose radiografías de buena calidad de imagen.

Simulación convencional es el procedimiento que se realiza en un simulador.

El simulador es un equipo que comparte todas las propiedades geométricas y mecánicas con los equipos de tratamiento de radioterapia (acelerador lineal y cobaltoterapia) con la diferencia que trabaja con una calidad de energía del rango de diagnóstico. Una característica que lo diferencia de cualquier equipo de rayos provisto de fluoroscopia, ya que nos permite ver en tiempo real las variaciones que sufren los campos de tratamiento debido a movimientos fisiológicos de los órganos. Es imprescindible para la optimización de todos los recursos que brinda este equipo el conocimiento y aplicación de todos los

aspectos que hacen a la calidad de un procedimiento de simulación. Es necesario conocer el funcionamiento, capacidades y limitaciones de los distintos equipos de tratamiento, las diferentes patologías, las técnicas habituales para su tratamiento.

Así como los accesorios para posicionamiento y fijación utilizados, y su confección.

En lo que concierne a la calidad de imagen radiológica es necesario conocer las propiedades geométricas, fotográficas y anatómicas, así como conocer y entender las características físicas del equipo, que hacen a la imagen. Además de los principios de formación y procesamiento de la imagen.

Entendiendo y aplicando todo lo mencionado anteriormente se puede realizar un procedimiento de simulación de calidad en el marco de la aplicación de los principios de radioprotección.

## **2. Objetivos**

Analizar cuáles son los conocimientos necesarios para el correcto manejo del simulador para marcado en radioterapia.

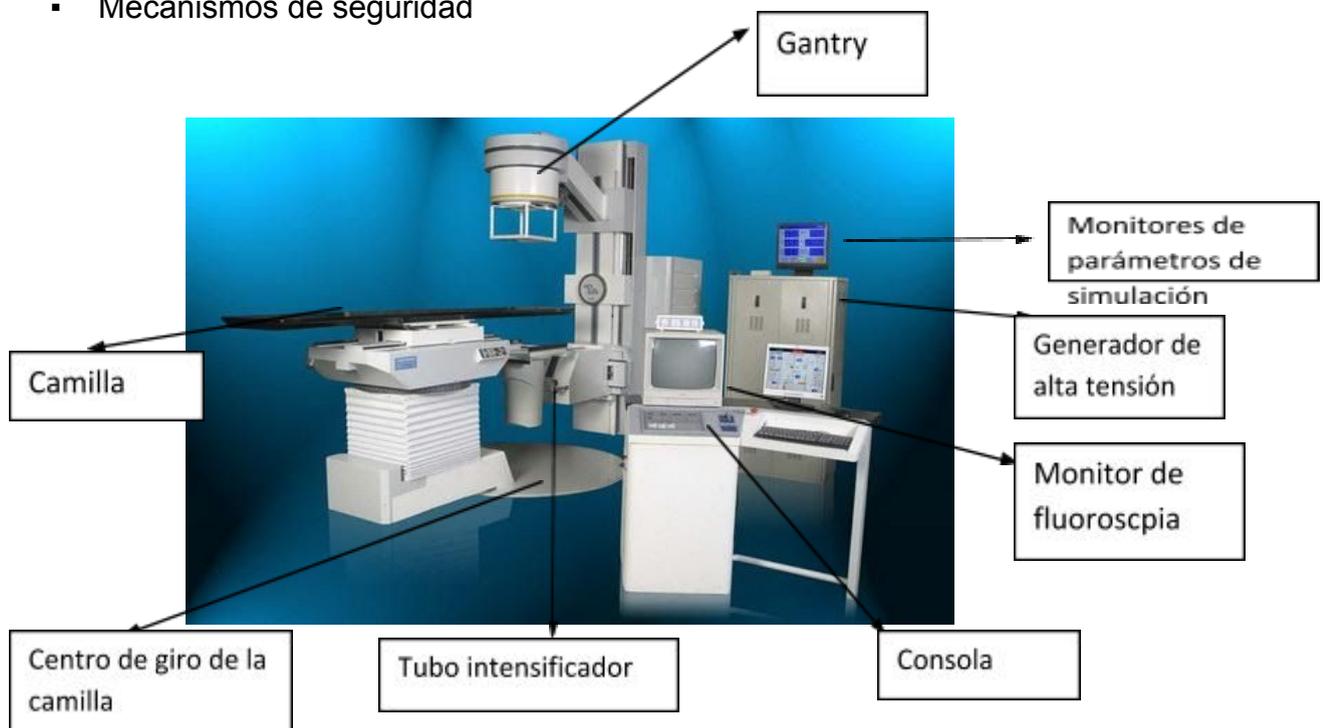
Investigar en el grupo de profesionales; Licenciados en Imagenología y Tecnólogos en Radioterapia cuáles de esos conocimientos están presentes y cuáles podrían ser beneficiosos incluir en las correspondientes formaciones curriculares.

### 3. Marco Teórico.

#### 3.1 Simulador Convencional

A lo largo de la historia han sufrido modificaciones pero podemos decir que sus componentes básicos son:

- Cabezal o gantry.
- Fluoroscopia y Tubo intensificador de imagen.
- Camilla de posicionamiento.
- Consola y hand control.
- Monitores.
- Generador de alta energía
- Accesorios de posicionamiento y fijación.
- Mecanismos de seguridad

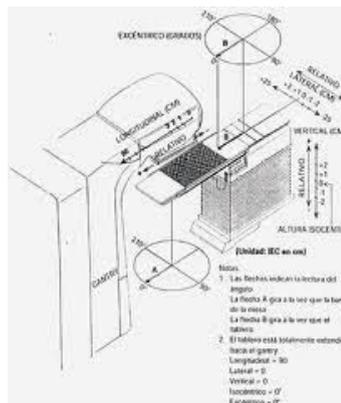


Al igual que los equipos de terapia posee un montaje isocéntrico, ajustable a una distancia de 80cm o 100cm. Con un solo simulador podemos simular tratamientos para equipos con montajes isocéntricos distintos, pudiendo tratarse de un equipo de cobaltoterapia cuyo isocentro se encuentra a 80 cm o acelerador lineal donde el isocentro puede estar a 80cm o 100cm.



### 3.1.1 Cabezal o gantry

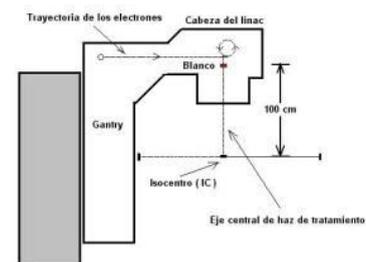
El cabezal está conformado, colimadores del haz, campo, sistema porta bandeja campo y grilla centimetrada, cono de electrones y fuente representa el haz de



por: Tubo de rayos x, delineadores de para bloqueos de aplicadores para luminosa que radiación.

El mismo rota 360 grados con horizontal imaginario ubicado A esto se denomina Montaje punto virtual que se forma por de giro del equipo y el eje central del haz se denomina Isocentro.

respecto a un eje en su centro de giro. Isocentrico y al la intersección del eje



Es imprescindible registrar esta angulación ya que nos indica la incidencia que va a tener el campo de tratamiento. Esta angulación puede observarse en los monitores o en el propio equipo como ilustra la siguiente imagen.

\

*Tubo de Rayos x*

Este elemento es el corazón del equipo generador de rayos X. Consiste de una ampolla donde se realizó el vacío, en cuyo interior pueden identificarse dos electrodos: uno denominado cátodo (negativo), dentro o en proximidades de la cual se emplazan uno o más filamentos, y otro denominado ánodo (positivo) rotatorio. Al polarizar los electrodos, se establece entre ellos un campo eléctrico capaz desacelerar los electrones de una nube formada por emisión termoiónica en las proximidades del filamento, cuando por él circula una corriente. En el ánodo se ha construido una zona (región de producción de rayos X) de un material wolframio o tungsteno, molibdeno o rhodio en diferentes aleaciones, que actúa como blanco de impacto de los electrones acelerados electrostáticamente. La zona del ánodo que recibe el impacto se llama foco (Foco fino 0,3 y 0,6 mm y foco grueso es 1 a 1,6 mm)

Prácticamente todos los tubos de rayos X se alimentan a partir de la red convencional de energía eléctrica (110 ó 220 voltios de corriente alterna) y a través de un transformador incrementan esta tensión hasta el valor deseado. Fundamentalmente el aumento del mA produce un aumento de la cantidad de fotones de rayos X que se producen en el tubo, y por tanto mayor dosis de radiación.

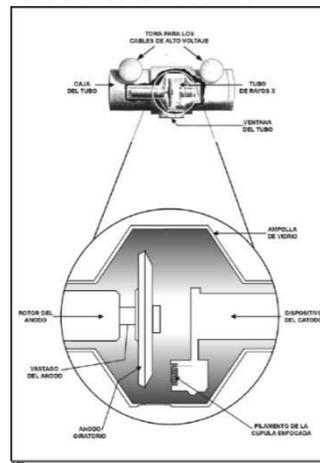
Con el Kilovoltaje (kV) del tubo se contribuye al espectro de radiación variando el extremo de alta energía del espectro hasta el valor en keV equivalente al potencial (en kV) del tubo y aumentando la intensidad total del haz.

La intensidad y calidad del haz de rayos X emitidos por un tubo dependerá fundamentalmente de:

La diferencia de potencial entre ánodo y (kilovoltaje, kV) que fijará la energía máxima fotones.

El producto de la corriente del tubo por el tiempo de exposición ( mAs) siendo esta la carga en consecuencia proporcional al número de electrones que efectivamente chocarán el blanco del ánodo. De ellos dependerá el número de fotones producidos y la intensidad del haz.

Este tipo de dispositivos de control pueden ser de tecnologías muy diferentes pero en todos los casos permiten al operador seleccionar libremente los dos parámetros fundamentales de la emisión, kV y mAs, conforme sea el tipo de estudio y/o placa radiológica a efectuar, así como la constitución física del paciente.



cátodo de los tiempo neta y contra número haz.

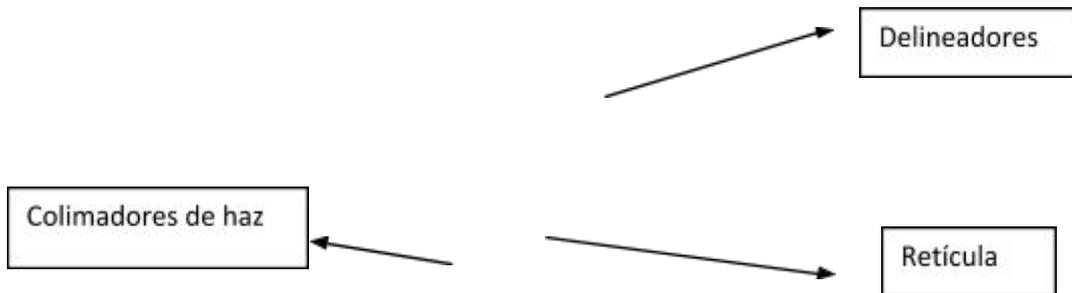


### *3. Colimadores del haz.*

Son sistema de barras plomadas que mediante su apertura o cierre van a determinar el área en el paciente que se va a irradiar durante la simulación. Los colimadores que conforman áreas cuadradas o rectangulares pueden ser movilizados en forma simétrica o asimétrica si fuera necesario para proteger algún órgano de interés o mejorar la calidad de imagen de la región. Los que conforman una circunferencia solo podrán aumentar su diámetro o disminuirlo.

#### *Delineadores.*

Los delineadores son sistema de retículos plomados dispuestos a continuación de los colimadores cuya función es representar los límites del campo a irradiar durante el tratamiento de radioterapia. Al igual que los colimadores se pueden movilizar en forma simétrica o asimétrica, además de girar sobre su propio eje según la necesidad del paciente. Se denominan habitualmente delineadores X1-X2 e Y1-Y2. La sección de estos delineadores que conforman el área a tratar en el paciente se denomina “tamaño de campo” y la rotación sobre su eje “giro de colimador”, parámetros que deben ser registrados en la planilla de simulación.



*Porta bandeja y aplicadores de cono de electrones*

Esta sección del cabezal, ubicado a continuación de los delineadores que nos brinda la posibilidad de montar en ella bandejas para el diseño de protecciones. La bandeja de bloque proyecta una imagen radiopaca dentro del campo de tratamiento, marcando la zona que será irradiada y la que será protegida durante la aplicación del tratamiento, permitiendo la simulación de bloques antes de su fabricación real. Especificando el montaje del accesorio en el cual la bandeja debe ser usado. Para distintas distancias fuente-isocentro.



Los aplicadores de cono de electrones son dispositivos que se colocan en el porta-bandejas y nos sirven para visualizar en el paciente las distintas áreas que pueden ser irradiadas con esta modalidad de tratamiento. Los aplicadores de conos estándar delimitan áreas de 6x6, 10x6, 10x10, 15x15, 20x20 y 25x25. A su vez se pueden diseñar áreas irregulares mediante la elaboración de moldes de cerrobend que son colocadas en los conos aplicadores.



### 3.1.2 Fluoroscopia y Tubo intensificador de imagen.

La fluoroscopia se utiliza para visualizar el movimiento de estructuras y líquidos internos, es decir, su principal utilidad es la realización de exámenes dinámicos. En la fluoroscopia la radiación emergente se convierte en luz visible ofreciéndonos imágenes en tiempo real. Se basa por tanto en aprovechar la propiedad fluorescente de los rayos x.

Cuando el gantry se encuentra a 0 grado el tubo de rayos X está situado sobre la camilla del paciente, su foco se corresponde con la fuente de irradiación o punto focal del acelerador lineal, en tanto que el intensificador de imagen va a tener una disposición inferior. Es importante aclarar que esta disposición va a variar según la angulación a la que esté colocando el gantry, un ejemplo de ello puede ser la simulación de un tangente externo de mama donde el tubo de rx se ubica por debajo del paciente.

La imagen recogida en el intensificador es visualizada por el Técnico a través de un monitor de televisión.

En fluoroscopia la corriente del tubo es siempre inferior a 5 mA, siendo habituales valores de 2-4 mA, sin embargo, debido al largo tiempo de exposición necesario para visualizar el movimiento de los líquidos y las estructuras, las dosis que recibe el paciente son muy elevadas, mucho más que en el examen radiográfico (1 minuto de fluoroscopia en el tórax equivale a la dosis de 50 radiografías). Estas dosis disminuyeron considerablemente cuando se implantó la utilización de los intensificadores de imagen.

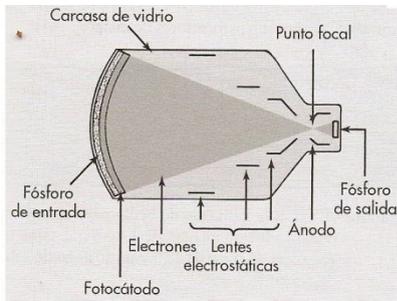
El valor de kv depende exclusivamente del grosor y características de la zona del cuerpo a estudiar. En general, se aconseja utilizar kv relativamente elevados y mA bajos para disminuir así la dosis del paciente, adaptando el valor de estos últimos a las características anatómicas (grueso, delgado, etc.) del mismo, si bien el valor del mA es calibrado mediante el exposímetro automático en función del brillo o nivel de luminosidad que hayamos seleccionado en el monitor de televisión. Así, los modernos equipos fluoroscópicos permiten seleccionar un nivel de brillo o nivel de luminosidad, lo que se consigue como en cualquier televisor de uso doméstico, es decir, mediante unos botones situados en el propio monitor. El nivel de brillo seleccionado va a ser mantenido automáticamente en toda la exploración y va a condicionar los ajustes del mA por el exposímetro automático en función de los distintos grosores atravesados

El **Intensificador de imagen** recibe el haz de radiación remanente y lo transforma en luz visible e intensifica la imagen. El mismo consta.:

- tubo de vidrio: Proporciona dureza y se le hace el vacío.

- Carcasa metálica: Lo protege ante posibles roturas.
- Elemento fosforescente de entrada: Formado de Yoduro de Cesio. Es donde chocan los Rayos X y se convierten en Fotones de luz visible.
- Fotocátodo: Está pegado al elemento fosforescente de entrada. Es una capa metálica, normalmente de Cesio y de Antimonio los cuales al recibir luz, la transforma en electrones. Este proceso se denomina Fotoemisión.
  - El número de electrones emitido por el fotocátodo es directamente proporcional a la cantidad de luz que incide en él. Por lo tanto el número de electrones es proporcional a la cantidad de rayos X incidentes.
- Elemento Fosforescente de salida: Formada de cristales de Sulfuro de Cadmio y Zinc. Al chocar los electrones es el que produce la luz. Si queremos que esta imagen de luz sea precisa, los electrones deben seguir un camino determinado desde el fotocátodo hasta el elemento fosforescente de salida.
  - Cada fotoelectrón que llega al elemento fosforescente de salida produce al chocar con él, unas 75 veces más fotones de luz que los que fueron necesarios para crearlo. El cociente entre el número de fotones de luz que se produce en el elemento fosforescente de salida y el número de fotoelectrones que se produce en el elemento fosforescente de entrada se denomina: *Ganancia de flujo*.
- Lentes electroestáticas: Están en toda la longitud del tubo intensificador de imagen para que los electrones emitidos por la superficie del tubo intensificador sean enfocados igual que los rayos de luz.
  - Los electrones llegan al elemento fosforescente de salida con energía cinética alta y contienen la imagen del elemento fosforescente de entrada en forma reducida. Unos 3 cm de diámetro.

Las imágenes de interés para el médico obtenidas en el procedimiento de simulación pueden ser registradas en película radiográfica, ya que acoplado al intensificador de imagen se encuentra el porta chasis. Es imprescindible registrar la distancia a la que se encuentra la película del foco, para poder obtener así el factor de ampliación que tiene dicha imagen con respecto al isocentro, ya que todos los tamaños de campo que se ingresan a la unidad de tratamiento son definidos en él.



### 3.1.3



### Camilla de posicionamiento

Mesa de fibra de carbono transparente a los rayos x movilizada mediante un sistema motorizado comandado desde la consola o control manual.

Dicha camilla puede realizar desplazamientos verticales, laterales, longitudinales y giros sobre su propio eje al igual que el equipo de tratamiento. Todas las posiciones de la camilla pueden ser visualizadas en los monitores ubicados en consola y sala de simulación, con la finalidad de poder ser fácilmente registrables para el técnico operador ya que estos son parte de los parámetros que serán trasladados al equipo de tratamiento.

Sobre dicha camilla pueden ensamblarse algunos de los accesorios de posicionamiento y fijación utilizados en los tratamientos radiantes. Véase accesorios en la sección....



Indicador de grados de giro de la camilla con respecto a central del haz isocentro



### 3.1.4 Consola y Hand control.

#### Consola

La consola está constituida por dos partes:

1. Control del simulador.
2. Controles e indicadores de imagen.

1. La zona de la consola donde se encuentra el comando para el control del simulador se puede subdividir en cinco paneles.

Panel 1: Esta sección de la consola muestra los siguientes botones; Emergencia, teclas auxiliares (F1,....., hasta F6. Estas permiten acceder a las funciones de comando directamente que se encuentra en otros paneles, para ello el operador debe reconocer la función que cumplen cada una de estas teclas auxiliares).

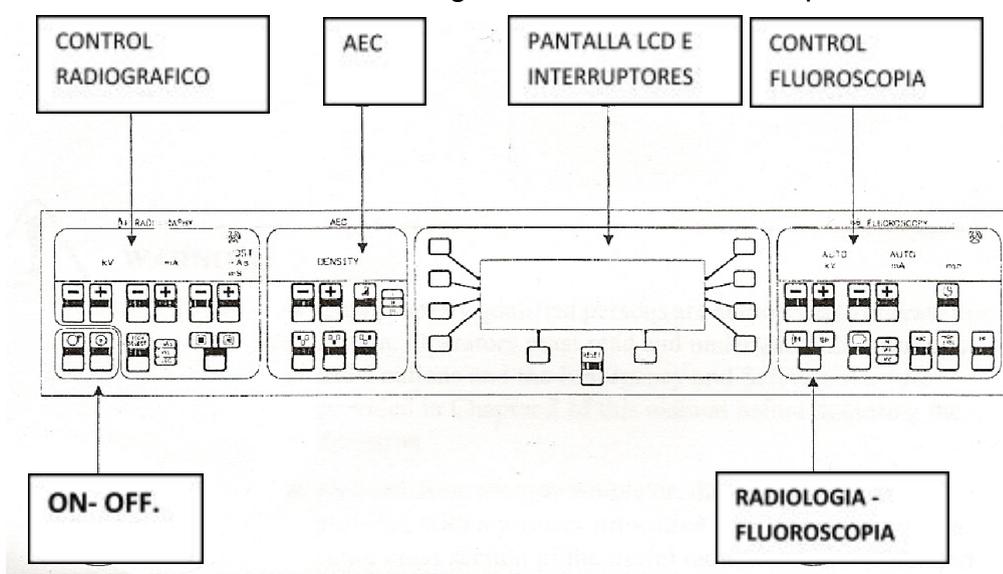
Panel 2: Todos los movimientos rotacionales se controlan desde este panel. (Gantry, Colimador, Camilla).

Panel 3: Desde esta panel, se pueden controlar los movimientos de: FAD, CAMILLA, INTENCIFICADOR DE IMAGEN, TRACK( Esta función reduce el tamaño del campo de radiación, definido por la posición de las blades, de forma tal que se mantenga en el área activa del intensificador de imagen, minimizando radiación innecesaria, y mejorando la calidad de imagen. Una vez dentro del área activa, el campo puede ser reducido por el movimiento de las blades).

Panel 4: Selección de tamaño de campo.

Panel 5: En este panel se encuentra el teclado numérico y los botones de las funciones.

2. Control e Indicadores de imagen: Se divide en cuatro paneles.



Panel 1: En el mismo se localizan los interruptores para seleccionar; Kv, mAs, tipo de foco. Así como los botones para encender y apagar el equipo.

Panel 2: Desde este panel se realizar el aumento o la disminución de la densidad de la pantalla así como la selección película pantalla y el centro de campo a utilizar en la realización de la simulación.

Panel 3: En el cual se localiza una pantalla LCD y numerosos interruptores. Que permiten acceder a vales de mAs y Kv considerando la región así como el espesor (técnicas). Guardadas en la memoria del equipo.

Panel 4: Control de fluoroscopia. Los interruptores que se encuentran en este panel son: Selección de modo (fluoroscopia o Radiología), mAs, Kv, tiempo de fluoroscopia, nivel de magnificación. Además del interruptor de control automático de exposición para fluoroscopia (ABC)

### *Control remoto o "Hand Control".*

Permite la interacción directa del técnico con el simulador, desde él se pueden comandar los movimientos mecánicos del equipo, hablamos de la camilla, gantry y sus componentes, intensificadores de imagen y paradas de emergencia.

#### Camilla

Podemos comandar todos los movimientos de la camilla, ascenso y descenso, desplazamientos laterales y longitudinales y giros sobre su eje. Además posee una función de salida de la camilla al final del procedimiento para el descenso del paciente.

#### Gantry

Desde el control remoto podemos seleccionar su angulación. Con respecto a los delineadores se puede seleccionar los grados de rotación de los mismos en relación al isocentro, se pueden comandar su grado de apertura en forma simétrica ( en pares) o en modo asimétrico comandando cada uno de ellos en forma independiente. Se pueden realizar las mismas funciones para los colimadores del haz.

Podemos encender y apagar la luz de campo y la escala para la distancia fuente superficie.

#### Intensificador de imagen.

Seleccionamos la posición del intensificador con respecto al tubo de rayos x, posee funciones de movimientos laterales, verticales así como alejarlo y acercarlo al tubo. Además tenemos la posibilidad de centrarlo con respecto al tubo de rayos x.

## Paradas de emergencia

Como lo mencionamos antes existen varios interruptores de emergencia ubicados en distintos componentes del equipo de manera de poder acceder fácilmente a esa función.

Desde este panel podemos controlar los valores de mA, mAs y kv, la selección del foco a utilizar (fino o grueso), además del comando para la selección del punto focal frente a la necesidad de realizar ampliaciones.

### **3.1.5 Monitores.**

El monitor de televisión es una parte fundamental del equipo de diagnóstico fluoroscópico. Si se emplea un monitor de televisión, el elemento fosforescente de salida del tubo intensificador de imagen se conecta directamente al tubo de una cámara de televisión. El tubo de cámara de televisión más utilizado en fluoroscopia es el Vidicón. Su superficie sensible de entrada tiene el mismo tamaño que el elemento fosforescente de salida del tubo intensificador de imagen. el tubo de la cámara de TV convierte la imagen luminosa en una señal eléctrica que se envía al monitor, donde se reconstruye la imagen en la pantalla.

Una ventaja muy importante de usar un monitor de televisión es que el brillo y el contraste se controlan de forma electrónica. Además el monitor de televisión permite que muchos observadores vean la imagen simultáneamente, y es posible incluso conectar más monitores fuera del cuarto de examen para el servicio de otros observadores.

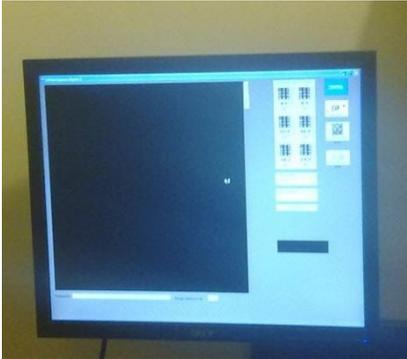
Son habitualmente de 19" o 21," ubicados al lado de la consola y en la sala, permiten visualizar al médico y al técnico los campos de tratamiento delimitado por los delineadores y el movimiento fisiológico de los órganos en tiempo real.

Algunos simuladores cuentan con un sistema de visualización de imágenes que permite almacenar imágenes de interés y recuperarlas para estudio y comparación con las actuales.

#### *Monitores para visualizar parámetros de irradiación.*

Estos monitores por lo general son 2 de 15" y 19", uno va ubicado al lado de la consola y el otro en la sala de simulación para brindarle al técnico operador una visualización de los parámetros de irradiación cuando se encuentra operando el equipo con el control manual.

De dicho monitor se extraerán los distintos parámetros que deberán ser ejecutados para cumplir con la prescripción médica, logrando la mejor reproductibilidad. Para ello cada paciente va a tener adjuntado a su ficha de tratamiento una planilla que es completada en cada procedimiento de simulación con las indicaciones de posición del paciente, accesorios a utilizar y parámetros para ejecutar la técnica seleccionada por el médico y los cálculos necesarios para la administración del tratamiento. Se adjunta a continuación



una



planilla estándar a modo ilustrativo.

### 3.1.6 Generador de Alta.

Suministra al tubo de rayos X:

- corriente para calentar el filamento del cátodo
- potencial para acelerar los electrones
- control de exposición automática (tiempo de aplicación de potencia)
- suministro de energía  $\approx 1000 \times$  energía del haz de rayos X (de la cual, el 99.9% se disipa como energía térmica)

- Las características del generador tienen una gran influencia en el contraste y la agudeza de la imagen radiográfica
- La pérdida de agudeza por movimiento puede reducirse mucho con un generador que permita un tiempo de exposición tan corto como sea factible
- Generadores convencionales
  - Monofásico de 1 pulso (dentales y algunos sistemas móviles)
  - Monofásicos de 2 pulsos (rectificados en onda completa)
  - Trifásicos de 6 pulsos
  - Trifásicos de 12 pulsos
- Generadores de potencial constante (CP)
- Generadores de alta frecuencia (HF). Usan convertidores de frecuencia (“choppers”) para pasar de 50Hz de la red alterna a voltajes con frecuencias en el rango de kHz □ “Tecnología de inversión”



### **3.2 Accesorios de posicionamiento y fijación.**

Los accesorios pueden clasificarse en dos grandes grupos; accesorios de posicionamiento y accesorios de fijación.

Están identificados individualmente para poder registrar su utilización en las correspondientes fichas de tratamiento y en planillas de procedimientos de simulación ya que son usados en el simulador y en los equipos de tratamiento de la misma manera.

Son llamados accesorios de posicionamiento a aquellos que ayudan al paciente a lograr una posición que por sí mismos es difícil de conseguir y mantener durante el tiempo que dura tratamiento, exponiendo mejor así la zona de tratamiento. No nos olvidemos que uno de los aspectos esenciales a la hora de planificar un tratamiento es la reproductibilidad del mismo a lo largo de su realización. Existen una gran gama de ellos dependiendo de la región que se esté tratando. Son reutilizables y de constitución rígida como para mantener su forma durante el tratamiento pero sin provocar incomodidad al paciente.

A continuación se muestran algunas imágenes de los más utilizados clasificados por región en nuestros servicios de salud.

Accesorios para cabeza y cuello.



Accesorios para tratamientos en tórax y mama.

Accesorios para pelvis.



*Accesorios de fijación*

Se denominan accesorios de fijación aquellos dispositivos que ayudan a mantener al paciente inmobilizado durante la aplicación de tratamiento. Colaboran en la reproductibilidad diaria del mismo sin brindar incomodidad.



Al igual



que



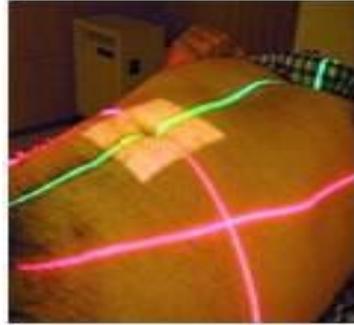
los

accesorios de posicionamiento, éstos están contruidos de material que no provoca diferencias significativas en la distribución de la dosis. Son confeccionados por el técnico de forma individualizada para cada paciente, por lo que deben estar perfectamente

identificados, así como también debe registrarse con que accesorio de posicionamiento debe usarse y en qué posición.



Las más comúnmente son las



usadas mallas

termoplásticas que se confeccionan para distintas partes del cuerpo.



### *Láser de posicionamiento*

El sistema utiliza láser localizador (hasta cinco rayos láser para localizar el isocentro). Estos láser son visibles para el ojo como una pequeña línea brillante, de color verde o rojo.



Son muy útiles además para la correcta alineación del paciente en la camilla así como los accesorios de posicionamiento e inmovilización como lo muestra la imagen. Deben ser chequeados periódicamente como el resto de los componentes para evitar una incorrecta ubicación de las referencias para el tratamiento. Son ubicados en distintas partes de la sala de modo que converjan en el isocentro.

### **3.3 Mecanismo de seguridad.**

Las situaciones de emergencia pueden surgir en cualquier momento, el operador debe estar consciente de los progresos de cada simulación con el fin de determinar cuándo existe una emergencia.

Algunas de las situaciones de emergencia pueden ser:

- Haz de rayos X (falta para terminar)
- Fuego, humo o vapores
- Emergencia fuera del circuito (no funcionan)
- Fallo de alimentación.
- Descarga eléctrica e incendios.
- Colisión del equipo.
- Caída de piezas y accesorios.
- Caída del paciente de la camilla.

Es importante la tolerancia de peso de la camilla, que no debe superar 200 kg.

Es imprescindible realizar periódicamente Chequeos que garanticen el buen funcionamiento y estado de los componentes del equipo. Así como verificar que los sistemas de seguridad y pulsos de emergencia localizados en varios puntos del equipo funcionen adecuadamente.

#### *Controles de seguridad*

Los simuladores se diseñan para reproducir las condiciones geométricas de los equipos de

Teleterapia, por lo tanto, deberían estar sujetos a los mismos requerimientos mecánicos que los equipos de telecobalto y aceleradores. Adicionalmente los simuladores deben ser controlados en relación a la calidad de la imagen que proporcionan. Para ello la OIEA en su reporte técnico TEC-DOC 1151 establece los controles que deben ser realizados, cuándo y por quién debe de ser realizados.

### **3.4 PROTECCIÓN RADIOLÓGICA:**

#### **Efectos biológicos de los rayos x**

El uso de los rayos x debe llevar consigo el conocimiento de sus posibles desventajas, debido a la existencia de efectos nocivos de las radiaciones. Los efectos de las radiaciones ionizantes sobre la materia viva son el resultado final

de las interacciones físicas (ionización y excitación) de los fotones o las partículas con los átomos que lo componen.

Las manifestaciones y efectos de las radiaciones son inespecíficos y no se diferencian en nada de los producidos por otros agentes físicos.

Estos efectos se pueden clasificar:

- **Según el tiempo de aparición:** efectos precoces y efectos tardíos.
- **Desde el punto de vista biológico:** efectos somáticos y efectos genéticos.

Entre los efectos biológicos podemos encontrar:

- **Efectos sobre el agua:** ello es consecuencia por un lado de la frecuente presencia de la molécula de agua en los organismos vivos y, por otro, a la acción que ejerce como medio en el que se disuelven otras moléculas y en el que tiene lugar importantes reacciones químicas.
- **Efectos en el ADN y los cromosomas:** la lesión de las moléculas de ADN desempeña un papel primordial entre los efectos radiológicos. De igual forma, los mecanismos de reparación de ADN son esenciales, pues de la falta de reparación o de la reparación anómala del ADN alterado provienen lesiones importantes como muerte celular, incapacidad de reproducción o mutaciones.
- **Efectos sobre el organismo en conjunto:** los efectos de las radiaciones ionizantes sobre el organismo considerado en su totalidad son de diversa índole y dependen de la dosis y de la parte del organismo irradiada tanto cuantitativamente como cualitativamente. La situación más extrema es la irradiación total y la muerte del individuo.
- **Efectos sobre los tejidos individualmente:** cuando solo se irradia una porción del organismo, se requieren dosis elevadas para producir lesiones considerables. En general se produce la muerte celular, que si es generalizada conduce a la atrofia del órgano o el tejido en cuestión. Cada tipo de tejido tendrá una respuesta diferente en función de su radiosensibilidad y la expresión histopatológica y clínica en que se traduzcan sus lesiones. La piel es la primera barrera que pone el organismo a las radiaciones ionizantes, la médula ósea, los testículos y los ovarios, estos últimos son órganos de gran sensibilidad.
- **Efectos sobre el embrión y el feto:** los efectos generales de las radiaciones sobre el embrión y el feto pueden resumirse en: efectos letales que implican la inviabilidad del embrión o el feto, anomalías congénitas que se manifiestan en el nacimiento y efectos tardíos que no son visibles en el nacimiento, sino que se manifiestan más tarde.

La radiosensibilidad es mayor en el primer trimestre de embarazo y menor en el segundo y tercero. (Menos radiosensible según avanza el embarazo.)

(Todos los órganos se forman hasta la 10ª semana en época embrionaria por eso esta es la fase más radiosensible. Con riesgo de

sufrir una anomalía congénita) En el embrión son considerados órganos diana el sistema nervioso y el esqueleto.

- **Carcinogénesis radioinducida:** la inducción al cáncer es el efecto somático más importante de las radiaciones ionizantes en dosis bajas. La información del riesgo estimado para leucemogénesis y carcinogénesis no cuenta con datos suficientes de la experimentación animal. Los datos cuantitativos de inducción al cáncer por radiación provienen de poblaciones humanas irradiadas con propósitos médicos y expuestas de forma deliberada o inadvertida a armas nucleares.

*El objetivo de la radioprotección es prevenir efectos determinísticos y limitar la posibilidad de efectos estocásticos.*

### Principios de protección radiología.

- Ninguna práctica radiológica debe ser realizada si sus beneficios no son superiores a los riesgos.
- Todas las exposiciones deben mantenerse tan bajas como sea razonablemente posible (ALARA)
- Las dosis a los individuos no deben superar los límites recomendados para cada circunstancia en particular

La exposición ocupacional de cualquier trabajador debe ser controlada para que no se excedan los siguientes límites:

Aplicación	Límite dosis ocupacional
Dosis efectiva	20 mSv per año, promediados sobre periodos definidos de 5 años; 50 mSv en cualquier año individual
Dosis equivalente anual en:	
El cristalino	150 mSv
La piel	500 mSv
Las manos y los pies	500 mSv

Aplicación	Límite de dosis al público
Dosis efectiva	1 mSv en un año *
Dosis equivalente anual en:	
Cristalino	15 mSv
Piel	50 mSv

Se puede limitar la dosis de exposición teniendo en cuenta:

- Distancia. La radiación disminuye con relación al cuadrado de la distancia

- Blindaje-Protección: Mamparas, Cristales, Paredes, Delantales, Guantes....Capa Hemireductora: CHR.



- Tiempo de irradiación
- Mampara plomadas
- Semaforo indicadores de irradiacion tanto en puertas exteriores asi como dentro de la sala de simulacion.



- Sistema de interlock de puertas que no permite realizar la irradiación si las puertas no están correctamente cerradas.
- Carteles indicadores de zona. Con nombre del encargado del área de radioprotección.

#### *Dosimetria:*

- Control Dosimetrico del ambiente (Dosimetria de area).
- Dosimetria Personal, basados en películas fotográficas o en cristales termoluminiscentes (TLD).

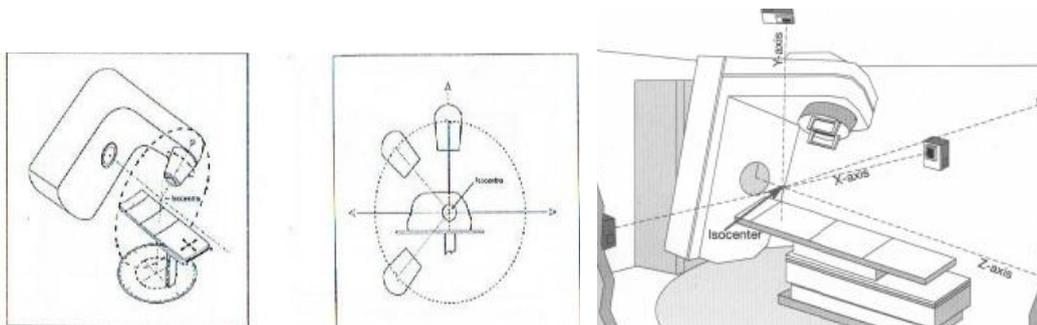
|

### 3.5 Conceptos de Radioterapia.

#### *Técnica SSD Y SAD*

A la hora de planificar un tratamiento de radioterapia se deben de tomar en cuenta varios aspectos técnicos que nos brinden la mayor dosis posible el volumen blanco con el menor daño a los tejidos sanos. Para lograr esto entre otras cosas debemos lograr la mejor reproductibilidad diaria del tratamiento para alcanzar la mayor exactitud, los mejores resultados del tratamiento con las menores complicaciones, a mayor dosis en el volumen blanco mejor control de la enfermedad. Para ello es imprescindible la elección de la técnica de tratamiento más adecuada para cada paciente.

Desde el punto de vista de donde ubicamos el isocentro del equipo en el paciente se definen 2 técnicas de tratamiento; Técnica SSD y Técnica SAD.



#### *Técnica SSD*

Sigla en inglés “ Source Skin Distancie”, esta técnica consiste en ubicar el isocentro en la piel del paciente o sea en superficie. Cuando se programa un tamaño de campo en el equipo dicho tamaño es definido en el isocentro por lo que podemos definir que en una técnica SSD el tamaño de campo es definido en la superficie del paciente. Además debido a que el haz se comporta según la ley de las proyecciones cónicas también podemos definir que el tamaño de campo definido en los colimadores será mayor en profundidad.

Esta técnica es de preferencia a la hora de tratar lesiones superficiales o próximas a la misma como es el caso de cáncer de mama o por las que se opta por abordarlas con un solo campo de tratamiento como es el caso de lesiones vertebrales.

#### *Técnica SAD*

Sigla en ingles “Source Axis Distance”.

En esta técnica el isocentro del equipo es colocado en la profundidad del paciente, en un punto donde nos brinde la mejor distribución de dosis en el volumen blanco y el equipo girara en torno a él. En este caso el tamaño de campo es definido en profundidad dándonos como consecuencia un tamaño menor a nivel de piel así como una distancia fuente piel menor.

### **3.6 Uso del simulador.**

Por todas las propiedades descriptas anteriormente el simulador es una excelente herramienta a la hora de verificar las planificaciones en radioterapia, en la cual se puede observar las modificaciones fisiológicas que experimentan la lesión y los órganos contenidos dentro del campo de tratamiento.

Las tomografías de marcado de radioterapia, independientemente de la zona que se trate se realizan con el paciente en respiración libre, debido que el tratamiento se realiza de tal modo.

Por este motivo el simulador es útil ya que nos permite ver las variaciones que sufre la planificación durante el ciclo respiratorio.

Dos ejemplos:

#### *Mama.*

Campos tangentes de mama en donde es de suma importancia el volumen pulmonar contenido en el campo de tratamiento.

A continuación describiremos la técnica de tratamiento conservador de mama en el cual solo se tratara la mama afectada.

Este tratamiento se realiza por dos campos tangentes a la mama; denominados tangente interno y externo cuyos límites son:

Tangente interno.

- Límite superior: se visualiza en tomografía el borde superior de la glandula mamaria considerando un margen por el movimiento fisiológico. ( Esto correspondería a 1 o 2 cm por arriba del Angulo de Lewis)
- Límite Inferior: 1 o 1,5 cm por debajo del surco submamario.
- Limite Interno: Línea media de tórax
- Limite Externo: desborde de mama por lo menos 1 cm

Tangente externo.

- Límite superior e inferior igual que Tangente interno.
- Limite Interno: desborde de mama por lo menos 1 cm
- Limite externo: línea media de la axila

La gran ventaja de verificar estos límites en un simulador convencional es que podemos observar las variaciones que experimentan los mismos en un ciclo respiratorio.

Como se puede visualizar como se puede apreciar en la figura, para incluir la totalidad de la mama con ambos tangentes es necesario irradiar parte del parénquima pulmonar debido la anatomía del tórax. Si observamos en la radiografía del tangente interno que se muestra a continuación podremos observar que con dicho campo estamos incluyendo entre 1,5 cm y 2 cm de parénquima pulmonar. Mediante el uso de fluoroscopia podemos ver como varia el volumen de pulmonar incluido durante el ciclo respiratorio. Se intenta con esto que dicho volumen no supere los 2 cm en inspiración y no menos de 1 cm en expiración.

Otro los órganos a contemplar a la hora de irradiar la mama izquierda es el corazón. Ya que este varía su posición tanto en el ciclo cardiaco como en el ciclo respiratorio. Dichas variaciones también se pueden apreciar con fluoroscopia.

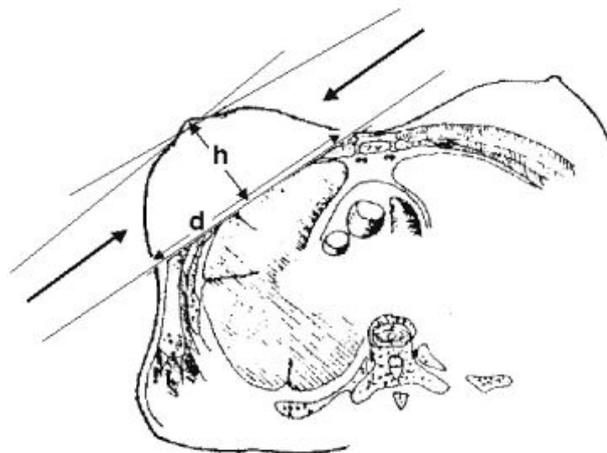


Figura 1 - Medida de la distancia (d) y altura (h) de la mama<sup>(8)</sup>



RADIOGRAFIA OBTENIDA EN  
EQUIPO DE RADIOTERAPIA.

**COBALTO.**



RADIOGRAFIA OBTENIDA EN  
EQUIPO DE RADIOTERAPIA.

**ACELERADOR.**



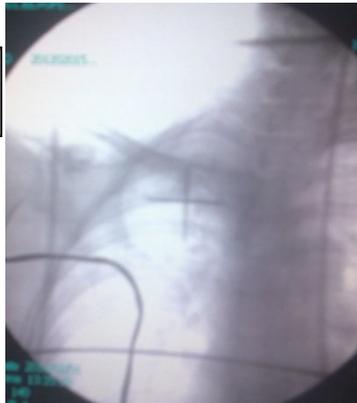
RADIOGRAFIA OBTENIDA EN  
**SIMULADOR.**

### *Pulmón.*

El pulmón es un órgano que sufre modificaciones topográficas importantes durante el ciclo respiratorio.

A la hora de confeccionar los distintos volúmenes de tratamiento, el médico radioterapeuta contempla las variaciones, ello agrega márgenes de seguridad determinando un volumen mayor de tratamiento. El simulador nos permite visualizar con calidad diagnóstica si los márgenes fueron los adecuados.

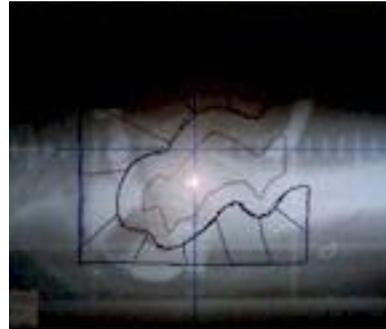
IMAGEN EN SIMULADOR.



*En las situaciones donde no se posee una planificación 3d el simulador constituye una excelente herramienta, permitiendonos ver las áreas de tratamiento seleccionadas por el médico a las distancias que van a ser tratadas en el equipo de tratamiento, o sea en las mismas condiciones de tratamiento. Además se pueden diseñar en base a las radiografías de simulación los bloqueos de campo a realizar y su verificación.*

### Determinación del volumen blanco en base a radiografías de simulación

El médico radioterapeuta marca (en rojo) el volumen clínico que en este caso es igual al volumen de crecimiento. A 5 mm por fuera del volumen de planificación (no marcado), indica por donde deben construirse los bloques de protección (en azul).

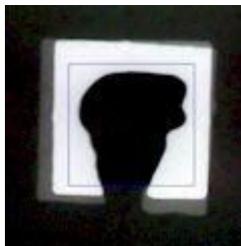


### Construcción de bloques y su verificación

Una vez que las placas simuladoras tienen marcado el volumen de tratamiento y los bloqueos, se confeccionan los mismos con una aleación llamada cerrobend. Estos bloques se construyen para cada paciente y para todas las incidencias del haz. Una característica a destacar de estos bloques es que "siguen" la divergencia del haz de fotones, de manera de minimizar el ancho de penumbra (zonas de dosis intermedias).



### Verificación de bloques



La confección de los bloques de protección y la verificación de los bloques, se realiza previo al día que el paciente ingresa a la sala de tratamiento.

La verificación de los bloques consiste en irradiar una placa radiográfica (colocada en el mismo lugar donde estará el tumor del paciente, al momento de tratarlo) desde las incidencias del haz opuestas y paralelas. Por ejemplo desde los dos laterales, o desde el anterior y el posterior.

Una vez revelada la placa, presenta un aspecto como el mostrado: vemos que adentro del campo de tratamiento (azul), no hay zonas de penumbra, lo que indica que se está irradiando igual zona desde una incidencia como de su opuesta. Si uno de los dos o los bloques estarían mal contruidos se vería una zona de penumbra (como la que se aprecia por fuera del campo). La verificación de bloques la realizan los técnicos y deben firmar la carpeta en

caso de que los bloques estén correctos; caso contrario se vuelven a confeccionar en el taller.

### *Lesiones Oseas.*

Por la calidad de imagen que brinda es muy útil en el tratamiento de lesiones óseas, ya que nos permite visualizar con detalle los distintos componentes de la estructura ósea (cortical, trabeculado) y las lesiones contenidas en ellas. Y así elaborar la técnica de tratamiento más adecuado para cada caso. No olvidar los beneficios del uso de la fluoroscopia mencionados anteriormente. Muy útil en la simulación de tratamiento de parilla costal.

IMAGEN EN SIMULADOR.



#### **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se realizaron treinta entrevistas en forma aleatoria. Diez entrevistas a licenciados en Imagenología, diez a técnicos en radioterapia y diez a profesionales que realizaron ambas carreras.

Las entrevistas cuentan con preguntas de conocimiento necesarias para el manejo del simulador. Es decir preguntas de radioterapia (RT) así como de Imagenología (RX).

Cada entrevista cuenta con un total de 17 preguntas las cuales hacen referencia a conocimientos tanto de radiología así como radioterapia. Dichas preguntas se han colocado de forma totalmente aleatoria.

## 4.1 RESULTADOS

Se obtuvieron los siguientes resultados:

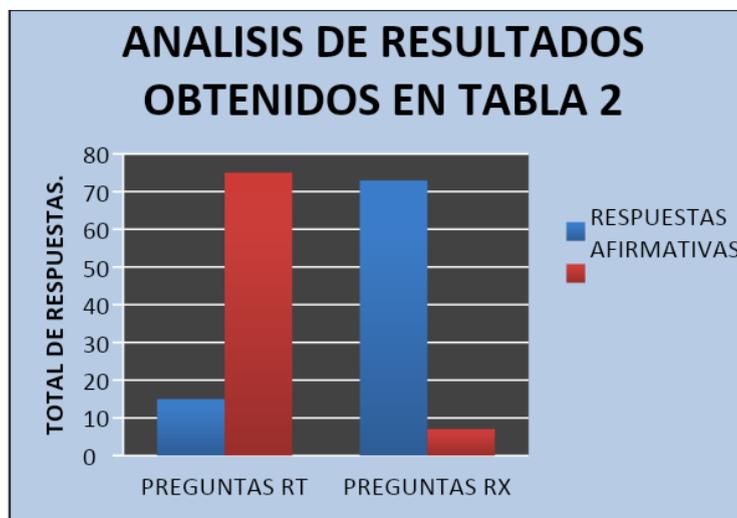
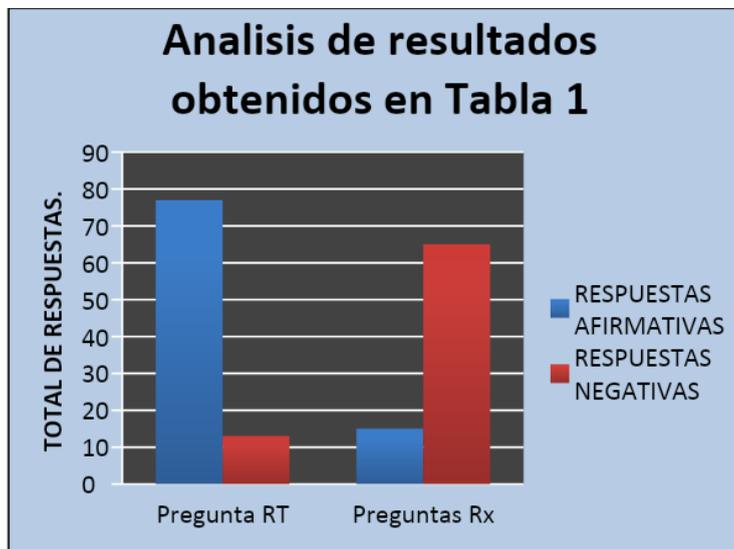
<b>TABLA 1:</b> Conceptos de Radioterapia y Radiología que los Tec. De Radioterapia conocen y son capaces de aplicar en el manejo del simulador.			
	Conceptos de RT	Conceptos de Rx	TOTAL
SI conoce y es capaz de aplicar.	77 (86 %)	15 (19%)	92
NO conoce y no es capaz de aplicar.	13 (14%)	65 (81%)	78
<b>TOTAL</b>	90	80	170

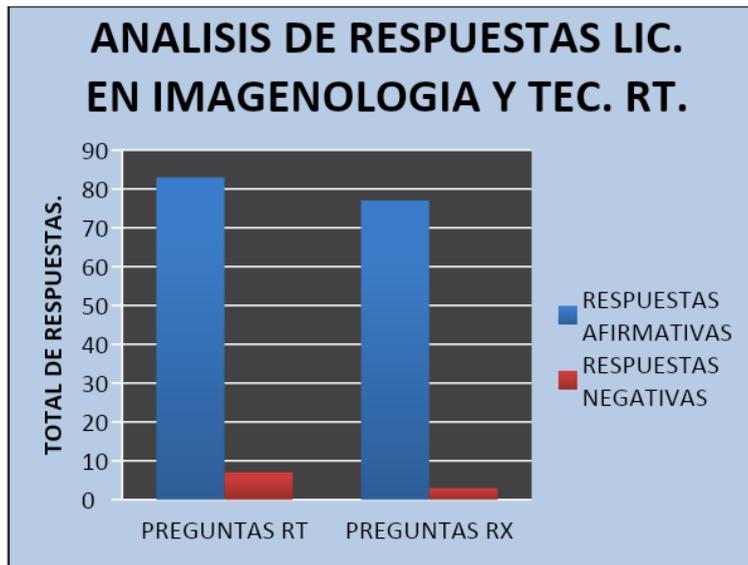
<b>TABLA 2:</b> Conceptos de Radioterapia y Radiología que los Lic. de Imagenología conocen y son capaces de aplicar en el manejo del simulador.			
	Conceptos de RT	Conceptos de RX	<b>TOTAL</b>
SI conoce y es capaz de aplicar.	15	73	88
NO conoce y no es capaz de aplicar.	75	7	82
<b>TOTAL</b>	90	80	170

<b>TABLA 3:</b> Conceptos de Radioterapia y Radiología que los Lic. de Imagenología y Tec en Radioterapia conocen y son capaces de aplicar en el manejo del simulador.			
--	--	--	--

	Conceptos de RT	Conceptos de RX	TOTAL
SI conoce y es capaz de aplica.	83	77	160
NO conoce y no es capaz de aplicar.	7	3	10
<b>TOTAL</b>	90	80	170

#### 4.2 GRAFICOS.





## 5. CONCLUSION.

- COMO SE PLANTEO EN EL DESARROLLO DE LA MONOGRAFIA EL SIMULADOR DEMUESTRA SER UNA HERRAMIENTA MUY UTIL PARA LOS SERVICIOS DE RADIOTERAPIA, YA QUE NOS PERMITE POR UN LADO LA VERIFICACION DE LOS TRATAMIENTOS PLANIFICADOS EN BASE A UNA SIMULACIÓN VIRTUAL Y POR OTRO REALIZAR LA SELECCIÓN DE LAS AREAS DE TRATAMIENTO EN BASE A IMÁGENES 2D APOYADAS POR FLUOROSCOPIA EN LAS MISMAS CONDICIONES DE DISTANCIA Y ANGULACION QUE EL EQUIPO DE TRATAMIENTO.
- PERMITE DISEÑAR EN BASE A RADIOGRAFIAS DE SIMULACION LOS BLOQUEOS NECESARIOS PARA CADA CAMPO DE TRATAMIENTO ADEMAS DE SU VERIFICACION.
- QUEDO DEMOSTRADO QUE LA SIMULACION DEL TRATAMIENTO ES UN PROCEDIMIENTO COMPLEJO QUE REQUIERE UN ENCARO MULTIDISCIPLINARIO. DEBE HABER UN PROFUNDO CONOCIMIENTO DE LOS ASPECTOS INHERENTES AL MANEJO DEL EQUIPO PROPIAMENTE DICHO ASI COMO DE LOS DISTINTAS TECNICAS DE TRATAMIENTOS; CONOCIENDO LAS VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LOS DIFERENTES EQUIPOS DE TRATAMIENTO ASI COMO LOS ACCESORIOS A UTILIZAR.  
PERMITIENDO ASI EXPLOTAR AL MAXIMO TODAS LAS POSIBILIDADES QUE BRINDA EL SIMULADOR Y ASI COLABORAR CON EL MEDICO RADIOTERAPEUTA DE LA MEJOR MANERA EN LA REALIZACION DE LA SIMULACION OBTENIENDO UN PROCEDIMIENTO DE CALIDAD.

EL SIMULADOR HA CONSTITUIDO UNA GRAN APORTE DESDE EL PUNTO DE VISTA IMAGENOLOGICO A RADIOTERAPIA YA QUE ANTES SOLO SE PODIAN HACER PLACAS DE VERIFICACION EN EL EQUIPO DE TRATAMIENTO, CON UNA BAJA CALIDAD DE IMAGEN. OTRO GRAN BENEFICIO ES LA POSIBILIDAD DE DIGITALIZACION DE LA IMAGEN, PERMITIENDO SU ALMACENAMIENTO Y POSTERIOR RECUPERACION EN EL MOMENTO QUE EL MEDICO LO REQUIERA.

- EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS ENCUESTAS OBSERVAMOS QUE EXISTEN ALGUNOS CONOCIMIENTOS QUE SON NECESARIOS A LA HORA DE MANEJAR EL SIMULADOR QUE NO ESTAN BIEN CLAROS O SE DESCONOCEN POR PARTE DE AMBOS PROFESIONALES. ESTO SE DEBE A QUE EL SIMULADOR COMPARTE CARACTERISTICAS CON LOS EQUIPOS DE RADIODIAGNOSTICO Y CARACTERISTICAS CON LOS EQUIPOS DE RADIOTERAPIA. POR LO QUE PARA SU CORRECTO MANEJO ES NECESARIO UNA CONJUNCION DE AMBOS CONOCIMIENTOS. ESTO SE VE CLARAMENTE EN LA CAPACIDAD DE RESPUESTA QUE MOSTRARON LOS PROFESIONALES TITULADOS EN AMBAS PROFESIONES.

POR LO QUE CONSIDERAMOS SERIA ENRIQUECEDOR EL INTERCAMBIO DE CONOCIMIENTOS ENTRE AMBAS CARRERAS ACERCA DEL MANEJO DE DICHO EQUIPO. ADEMÁS ES IMPORTANTE DESTACAR QUE EL RESULTADO DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DEJA EN EVIDENCIA LA CARENCIA DE INFORMACIÓN SOBRE EL MANEJO DEL SIMULADOR.

## **6. Bibliografía:**

Fisca da radioterapia – Luiz A.M Scaff – Sao Paulo. SARVIER 1997

Radioterapia em Oncologia – J. Victor Salvajoli – MEDSI 1999

Pautas Terapeuticas en Radioterapia- Instituto Nacional de Oncología 2002

Los Canceres más frecuentes- Prof. Dr Tabare Vazquez – Oficina de Libro AEM 1999

Radioterapia del Cancer- Alba De La Torre- Instituto de Oncología Universidad Nacional de Buenos Aires.

Anatomía para el Diagnostico Radiológico- Ryan- Marban 2008

Posiciones Radiológicas y correlaciones antomicas–Kenneth L. Bontrager- 5º edición.

Atlas de anatomía seccional e imagen radiológica- Bo, W.J; Wolgman, N.T; krueger, W.A; Carr, J.J.; Bowden, R.L.; Meschan, I.

Manual de Radiologia para Tecnicos- Stewart C. Bushong- Novena Edicion.

Colección de Normas de seguridad del OIEA - PROTECCIÓN RADIOLÓGICA RELACIONADA CON LA EXPOSICIÓN MÉDICA A LA RADIACIÓN IONIZANTE OIEA, VIENA, 2010.

**Pagina Web:**

COLECCIÓN DE NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA:  
[www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1117s\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1117s_web.pdf)

Protección radiológica relacionada con la exposición médica a la radiación ionizante. PATROCINADA CONJUNTAMENTE POR el OIEA, la OMS, la OPS

...

Radonic- Pasos en el tratamiento de radioterapia.  
[www.radonic-cri.com/pasos.shtml](http://www.radonic-cri.com/pasos.shtml)

IAEA Training Material on Radiation Protection in Radiotherapy:  
[rpop.iaea.org/.../RT10-ebt3a-buenas-practicas-planificacion-del-trata...](http://rpop.iaea.org/.../RT10-ebt3a-buenas-practicas-planificacion-del-trata...)

.Simuladores de Rayos-X para Radioterapia, Varian, XimatronCDX ...:  
[es.medwow.com/used-radiotherapy-simulator/.../843913544.item](http://es.medwow.com/used-radiotherapy-simulator/.../843913544.item)

[www.delcancer.com/colitoral/Braquiterapia.htm](http://www.delcancer.com/colitoral/Braquiterapia.htm). Centro Oncologico del Litoral