
DIGITALIZACIÓN DE LA IMAGEN. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.

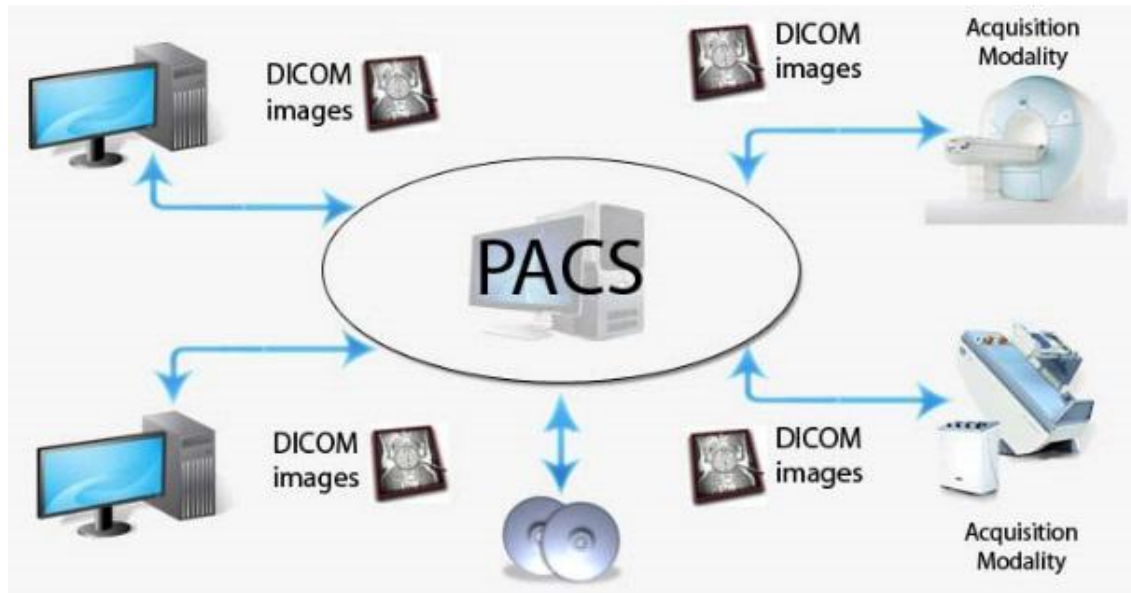
1. Introducción

Actualmente, la adquisición de imágenes médicas de gran resolución permite al médico realizar un diagnóstico clínico más preciso. El número de pruebas radiológicas de un paciente es muy variable y la manera de almacenar sus imágenes asociadas está cambiando gracias al uso de las TIC. Hoy en día, muchos hospitales están trabajando para digitalizar todas las imágenes médicas obtenidas, lo que facilitará su acceso y, sobre todo, conllevará un significativo ahorro al sistema sanitario.

2.- PACS

PACS son las siglas anglosajonas Picture Archiving and Communication System (sistema de archivado y transmisión de imágenes). Se trata de un sistema computarizado para el archivado digital de imágenes médicas (medicina nuclear, tomografía computarizada, ecografía, mamografía...) y para la transmisión de éstas a estaciones de visualización dedicadas o entre éstas a través de una red informática. Como tecnología sanitaria está regulada en Europa por la directiva 93/42/EEC.

En muchos centros clínicos y hospitalarios del mundo, todas las imágenes que se producen son archivadas en forma digital. Las realizadas en Radiografía Computarizada, que opera las 24 horas al día durante los 365 días del año, son almacenadas directamente en el sistema de archivo, de forma que están disponibles para su visualización. Las imágenes de radiografía computarizada de pacientes ingresados se almacenan además en el archivo por discos ópticos del PACS, uniéndose al resto de exploraciones del paciente, por lo que se pueden desarchivar automáticamente en cualquier momento sin necesidad de solicitarlo al personal administrativo, y pueden ser vistas junto con el resto de exploraciones en cualquier estación de trabajo. Las imágenes del resto de exploraciones se adquieren, ya sea directamente (Digitalizador de Vídeo), o bien, mediante la digitalización de la película convencional. La calidad de las imágenes obtenidas con este método es muy buena, en el caso de la Ecografía, es excelente, permitiendo el diagnóstico primario o la revisión sin utilizar la copia en película. Sin embargo, en la TC se pierde parte de la información al adquirir la señal de vídeo quedando los datos limitados a la anchura y nivel de la ventana usados durante la adquisición. Así pues, en la TC de tórax se deben adquirir las imágenes 2 veces (ventanas de mediastino y pulmón). Las imágenes que se obtienen mediante la digitalización de la señal de vídeo de la fluoroscopia digital son de menor calidad debido a problemas técnicos en sincronización de las frecuencias de las señales de vídeo de alta resolución.



La definición de imagen que se obtiene con el digitalizador de película es muy buena, y permite incluso mejorar la información en originales subexpuestos o sobreexpuestos al permitir variar la escala de grises. El tiempo de digitalización de cada imagen es de aproximadamente un minuto. Usualmente el proceso de digitalización de imágenes previas se lleva a cabo en caso de reingreso. El volumen de digitalización en un hospital promedio se mantiene sobre unas 10-12 horas al día, porqué, se debe cubrir las interrupciones de los subsistemas de adquisición digitales, en los que se utiliza película convencional.

Para el trabajo diario es muy útil el sistema de direccionamiento previo de las imágenes, a una o varias estaciones de visualización simultáneamente, junto con la asignación de las mismas a una lista de trabajo concreta. El sistema de listas de trabajo permite disponer de las imágenes no informadas ordenadas por modalidades y por salas de procedencia (como en el caso de la radiografía computarizada), y dentro de cada lista por el orden de adquisición. Las exploraciones se visualizan secuencialmente con una única pulsación de una tecla y en cada caso pueden revisarse las exploraciones previas. Los informes son transcritos al PACS por una secretaria, incorporándose esta información a la cabecera de las imágenes, de forma que aparecen conjuntamente en revisiones posteriores. Una vez dictado el informe, la exploración desaparece de la lista de trabajo y pasa a ser borrada automáticamente de la estación de visualización al cabo de un tiempo definido (de 2 a 5 días). El direccionamiento previo permite visualizar las imágenes en un corto período de tiempo (15 segundos) ya que son almacenadas en el propio disco magnético local de cada estación seleccionada. Los tiempos de espera se alargan cuando las imágenes no están el disco local, sino que están en el disco central del sistema de manejo de datos (OMS) (aproximadamente 60 segundos), o bien almacenadas en la librería automática de discos ópticos (120 segundos). Sin embargo, aunque el tiempo de respuesta parece largo, resulta muy favorable la comparación con el de un sistema convencional de archivo en sobres, que en el caso de pacientes ingresados es de un promedio de 3 minutos, y para exploraciones previas está en una media de 30 minutos.

Recientemente han surgido unos protocolos de archivo automático de las exploraciones en los discos ópticos, con borrado de las mismas de los discos magnéticos locales, para evitar su saturación. Se ha conseguido un ahorro del tiempo empleado en transportar, revelar y cargar los chasis de multiformato, que puede valorarse en 3 minutos por exploración. La calidad de la imagen en los monitores es subjetivamente superior comparada con la película de multiformato, evitándose los problemas de ajuste de la cámara, temperatura de revelado, estado de los líquidos, etc. La impresión de las imágenes en película a través de la impresora láser del PACS se utiliza para las exploraciones que deben fotografiarse, o para algunas sesiones fuera del Servicio. El tiempo necesario para el dictado de informes se ha reducido sustancialmente debido a la posibilidad de visualización secuencial de las exploraciones no informadas con el sistema de listas de trabajo.

Los períodos de falta de operatividad del sistema de archivo o de distribución de imágenes, especialmente del gestor de base de datos y comunicaciones son un problema que puede limitar una implantación con éxito de un PACS. El tiempo offline promedio de un PACS promedio es de casi 10 días/año (2% del tiempo). Las causas son usualmente averías de componentes, instalación de nuevos elementos o tareas de mantenimiento. Algunas modalidades de adquisición de imágenes, suelen tener períodos de falta de operatividad de mayor duración (RC 45 días, DSI 18 días, Digitalizador 25 días, TC 10 días).

Aun siendo un sistema complejo y el número de usuarios elevado, con diferentes grados de implicación en el sistema, el grado de aceptación del sistema ha sido bueno, tanto dentro como fuera de los Servicios de Radiología e Imaginología a nivel mundial. El sistema presenta mayor grado de aceptación en su uso en las modalidades de Ecografía, Fluoroscopia Digital y TC, especialmente por el aumento de calidad de imagen, por el ahorro de tiempo en la manipulación de los multiformatos, la facilidad de consulta de exploraciones previas, y la agilidad del dictado de informes.

2.1.- ¿Cómo es físicamente un PACS?

Un PACS puede estar compuesto por uno o varios servidores, junto con uno o varios dispositivos de almacenamiento secundario. Todo esto gestionado por un software el cual suele estar dispuesto en módulos funcionales que actúan todos ellos como un conjunto.

Estos servidores son los que proveen de información a los clientes exclusivos del PACS, que están constituidos por un PC con su correspondiente programa cliente y con monitores de gran resolución.

2.2.- Componentes del PACS

Los componentes de un PACS los podemos describir de la siguiente manera:

Componentes Físicos:

Servidores: Servidores de datos e imágenes en entornos Unix / Windows / MacOS. Como componente adicional algunos incorporan ampliaciones de discos duros para incrementar la capacidad de almacenamiento.

SAI: Sistemas de alimentación ininterrumpida. Estos, además de estabilizar la corriente que recibe el servidor, lo apagan en caso de cortes prolongados de corriente.

Clientes: Ordenadores de gama media con monitores de alta resolución en entorno normalmente Windows.

Red Informática: Se trata de un componente fundamental ya que permite la interconexión de todos los elementos del PACS, así como el enlace con el resto del Hospital.

Componentes Lógicos:

La parte lógica se percibe como un todo, aunque está formada por distintos módulos que interactúan entre si produciendo la sensación de un todo.

Módulo Gestor de Base de Datos: Este módulo es fundamental porque la base de un PACS es el almacenamiento, y la Base de Datos (BBDD) es la encargada de registrar los datos del paciente, la ubicación de estudios, los usuarios y cualquier configuración específica.

Módulo de Gestión de Imágenes: Aunque la ubicación de las imágenes se suele guardar en la Base de Datos, en la mayoría de los casos es otro módulo el que se encarga de guardarlas, recuperarlas o distribuirlas. En caso de necesitar compresión de imágenes para el almacenamiento, la tecnología utilizada es la de "compresión sin pérdidas", de forma que la imagen siga manteniendo toda la información diagnóstica y ocupe el menor espacio posible.

Módulo para la Gestión de los Dispositivos de Almacenamiento Secundario: El almacenaje o recuperación requiere de un módulo específico que se sirve de los interfaces con estos dispositivos.

Módulo de Interface con el RIS: Es el conjunto de aplicaciones que se encargan de:

- Recibir toda la información de citas/informes del RIS.
- Generar listas de trabajo que faciliten la introducción de estudios en las modalidades.
- Verificación de que todos los estudios recibidos tienen una cita previa.
- Enviar la captura de actividad.

Módulo cliente del PACS: Suele ser una aplicación específica con la que trabaja el especialista con las imágenes almacenadas en el PACS. Dispone de al menos de las siguientes herramientas:

- Selección de estudios
- Recuperación de antecedentes
- Recuperación de Informes previos
- Visualización y Medida

3.- Sistemas de información radiológica (RIS)

El RIS es el sistema informático del servicio de radiodiagnóstico que recoge, controla y explota todos los datos que se obtienen en un servicio de radiodiagnóstico. Esto incluye la cita del paciente, todos los pasos que se realizan para llevar a cabo la prueba dentro del servicio de radiodiagnóstico, la realización del informe y la distribución de dicho informe y de la imagen generada al médico solicitante.

Es la herramienta informática que nos permite realizar los procesos de gestión de un departamento de radiología. Un RIS informatiza toda la actividad radiológica de un paciente, desde la petición del estudio al informe del mismo, pasando por la recogida de las incidencias y consumos que conlleva la realización de dicha exploración.

El RIS como parte fundamental en su unión con el PACS debe ser capaz de soportar imágenes.

Una de las funciones principales del RIS es permitir identificar en el proceso de realización de una prueba diagnóstica todas y cada una de las personas y elementos que intervienen en la misma, permitiendo responsabilizar a cada uno de su intervención en dicha prueba, y de esa manera poder corregir y mejorar las diferentes actuaciones y elementos de la prueba diagnóstica o terapéutica en aras a conseguir una mayor calidad asistencial real y percibida. También asesora al jefe de servicio a la hora de tomar decisiones.

El RIS tiene la posibilidad de emitir etiquetas con código de barras para poder identificar el estudio y placas cuando éstas se generen y en el periodo de instauración sistema digital para que los CR las lean hasta que se carguen directamente los worklist, así como para que los centros pequeños en que se instale solo un digitalizador por no ser rentable un CR puedan identificar estudios, placas, sobres y pacientes sin errores.

3.1.- Partes del RIS

Base de datos

La cita: La cita de pacientes es automática e informática a través de web pudiendo determinarse perfiles en la citación y con posibilidad de utilización en la Intranet o por Internet, según sea el caso. En la actualidad se realiza a través de puntos de citas en el hospital y en los centros periféricos. En el futuro la cita se hará por el médico y centro de salud que la solicitó, de manera instantánea y automática, de ésta forma el paciente sale de su centro con cita y su consentimiento informado (si la prueba lo requiere) e incluso si es posible con una explicación a sus dudas sobre la prueba a realizar.

Una vez realizada la cita se le emite al paciente un impreso en el que se dirá la hora, el día de realización de la prueba y las recomendaciones de preparación para las pruebas que así lo requieran.

La cita generará las listas de trabajo y éstas se cargan a los diferentes equipos de manera electrónica a través del servidor "DICOM work-list" para evitar errores.

Mientras convivan el sistema digital y el analógico de placas, el RIS genera código de barras, el fin de esta forma de registro es la carga electrónica de las listas de trabajo.

Recogida de datos: Al tener la misma base de datos poblacional del Sistema de Información Hospitalaria (HIS), cada cambio que se realice en el mismo se reflejará en el RIS.

La mayoría de los datos recogidos se hacen de forma automática. De manera que si ha sido recogido una vez no sea recogido de nuevo. Los datos recogidos son:

1. *Fecha de solicitud* de la prueba.
2. *Médico solicitante*.
3. *Unidad de gasto*.
4. *Fecha de realización* de la prueba.
5. *Tipo de prueba* realizada. Es importante utilizar un catálogo único. En el SESCAM se utiliza el catálogo del SERAM (Sociedad Española de Radiología Médica) del año 2005.
6. *Recogida de placas utilizadas* (si es posible de manera automática salvo que haya que modificar por rechazo de película o menor utilización de la misma). Mientras convivan los dos sistemas se recogerá ahí también consumos en el futuro.
7. *Profesional que realiza la prueba* o que ayuda en la misma con la hora de realización de dicha prueba.
8. *Unidad que realiza la petición*
9. *Carácter de solicitud de la prueba:* normal, urgente o preferente.
10. *Radiólogo* que informa la prueba.
11. *Sala* en que se ha realizado la prueba.
12. *Informe:* El informe radiológico tiene la posibilidad de utilizar informes predefinidos con posibilidad de realizar nuevos informes.
13. *Datos clínicos:* en él se rellenará en el futuro los datos clínicos del paciente y permitirá el desarrollo de la petición electrónica. Esto ya está disponible en urgencias.
14. *Situación de una actividad radiológica.* Al paciente se le puede haber asignado una sala y ésta es recogida y visualizada a través del RIS. Así mismo, la imagen digitalizada es realizada y este acto debe ser también recogido en el RIS. El acto radiológico no se considera totalmente finalizado, en un alto porcentaje de los mismos, hasta la emisión del correspondiente informe y esto es recogido mediante un código de colores.
15. *Permite el acceso a consulta de informes anteriores* con conexión directa con el PACS para mostrar la imagen.
16. *Sistema de búsqueda:* Al llevar búsqueda por nombre y apellidos del paciente permitiendo usar comodines en caso de duda. Por CIP. Por número de historia. Por lector de tarjetas sanitaria.
17. A la hora de realizar la convalidación del informe tiene la opción de búsqueda de informes al menos por médico, sala y día para realizar así de manera más sencilla la convalidación del informe y en el futuro la firma electrónica .
18. Para poder realizar trabajos y estudios así como para los archivos de docencia tiene posibilidad de guardar códigos ACI y la búsqueda de los mismos en nuestro caso hasta cuatro simultáneamente.
19. *Diagnóstico:* datos clínicos aportados por el médico.

La web radiológica: Una parte importante del RIS del servicio de radiodiagnóstico es la WEB, que es la página web del servicio destinada a todos los médicos fuera del servicio de radiodiagnóstico, es decir, a los médicos de Atención Primaria y Especializada. Incluye:

- Información de cómo es el servicio
- La guía de actuación del servicio
- La cartera del servicio
- Consentimientos informados con la posibilidad de imprimirlos.
- Información Técnica

Se puede incluir *explicaciones* de las pruebas con lo que suelen preguntar los pacientes respondiendo a sus dudas: ¿En qué consisten las pruebas? ¿Son molestas? etc. pudiéndose imprimir.

Correo electrónico de los médicos del servicio para los médicos peticionarios se pongan en contacto con los radiólogos para resolver o discutir casos.

Anuncios del servicio: Incorporación de nuevas pruebas al catálogo.

Exportación de datos:

Todos y cada uno de los datos recogidos en el RIS son explotables. De esta manera se conoce la actividad del servicio así como se asesora al jefe de servicio en la toma de decisiones. Es evidente que el acceso a algunos de estos datos esta jerarquizado, no permitiendo el acceso a todo el personal.

Los datos que consideramos mínimos de exportación por nuestro RIS:

1. Contabilidad de actividad del servicio de cada una de las pruebas del catálogo de la SERAM
2. Consumos de placas radiográficas (aunque el servicio esté digitalizado se puede seguir imprimiendo algún tipo de placas)
3. Pruebas realizadas por médico solicitante (en número y en unidades relativas de valor) y Unidad de Actividad Radiológica.
4. Pruebas realizadas por unidad (en número y en unidades relativas de valor usando el catálogo de la SERAM).
5. Número y tipo de estudios realizado por técnico.
6. Número y tipo de estudios realizados por médico.
7. Actividad por sala (nº de exploraciones y tipo por sala).
8. Unidades de actividad realizadas en el servicio (tiempo médico y del TER por exploración usando el catálogo de la SERAM. (permite dimensionar los servicios en cuanto a personal independientemente del tipo de pruebas que realicen.
9. Tiempos médicos total del servicio y tiempos médicos de cada uno de los médicos del servicio considerando las tablas del catálogo de la SERAM.
10. Actividad por turno de TER y salas.
11. Informes mecanografiados por auxiliar administrativa.
12. Emisión de pacientes con sus estudios realizados por día.
13. Contabilización de pacientes y estudios por día y sala.
14. Estudios por periodos día /mes/ años

15. Tiempo de demora: calcular el tiempo de desviación de la hora de cita del paciente con la hora de realización de la prueba.

16. Tiempo de demora según el carácter de la prueba y el tipo de la prueba considerando el día de citación al día de realización.

17. Pacientes citados que no han acudido a la prueba citada en porcentajes con relación a los realizados

18. Pacientes realizados con cita normal, cita preferente o cita urgente

19. Pacientes por tipo según catálogo de exploraciones

20. Consumo de materiales

4.- Sistemas de información hospitalaria (HIS)

Es el sistema de información que dispone de las herramientas adecuadas para el control de las tareas asistenciales y administrativas en el sistema sanitario.

➔ Gestiona y planifica la actividad hospitalaria:

- Registra toda la información clínica sin necesidad de utilizar papel
- Permite la circulación de dicha información de manera ordenada a través de la red

- Almacena la documentación clínica en servidores de gran capacidad, evitando así el deterioro de la misma.

➔ Este sistema de información hospitalaria permite:

- Conocer la ubicación del paciente en cada momento
- Conocer el médico asignado y consultar las pruebas solicitadas y realizadas
- Conocer el motivo de la visita al hospital

5.- DICOM

DICOM es el acrónimo de Digital Imaging and Communication on Medicine. Desarrollado por el American College of Radiology y el National Electrical Manufacturers Association es un standard que permite el intercambio de imágenes médicas e información de paciente, estableciendo una serie de normas que deben respetar todos los fabricantes.

El que los equipos dispongan del protocolo DICOM no implica que éstos puedan comunicarse directamente. La comunicación entre sistemas se consigue mediante la definición de una serie de parámetros que especifican las particularidades de la transmisión de información entre ellos.

Los parámetros mínimos requeridos son: El AE_TITLE (nombre de la aplicación), la dirección IP (Internet Protocol) y el puerto de comunicación .

El protocolo DICOM dispone de diferentes funcionalidades (o servicios), entre ellos:

- Servicio de Almacenamiento o Archivo. (Storage).
- Servicio de Consulta. (Query).

- Servicio de Impresión. (Print Management).
- Servicio de gestión de Lista de Trabajo. (Basic Worklist Management).

DICOM permite la integración de escáneres, servidores, estaciones de trabajo, impresoras y hardware de red de múltiples proveedores dentro de un sistema de almacenamiento y comunicación de imágenes. Las diferentes máquinas, servidores y estaciones de trabajo tienen una declaración de conformidad DICOM (conformance statements) que establece claramente las clases DICOM que soportan. DICOM ha sido adoptado ampliamente por hospitales y está haciendo incursión en pequeñas aplicación de oficinas de dentistas y de médicos.



Independientemente del uso, siempre se utiliza el mismo formato, incluyendo el uso de ficheros y de red. DICOM se diferencia de otros ficheros de datos en que agrupa la información dentro de un conjunto de datos. Es decir, una radiografía de pecho contiene el ID de paciente junto con ella, de manera que la imagen no puede ser separada por error de su información.

Los ficheros DICOM consisten en una cabecera con campos estandarizados y de forma libre, y un cuerpo con datos de imagen. Un objeto DICOM simple puede contener solamente una imagen, pero esta imagen puede tener múltiples "fotogramas" (frames), permitiendo el almacenamiento de bloques de cine o cualquier otros datos con varios fotogramas. Los datos de imagen pueden estar comprimidos usando gran variedad

Felipe González Alvarado

de estándares, incluidos JPEG, JPEG Lossless, JPEG 2000, LZW y Run-length encoding (RLE).

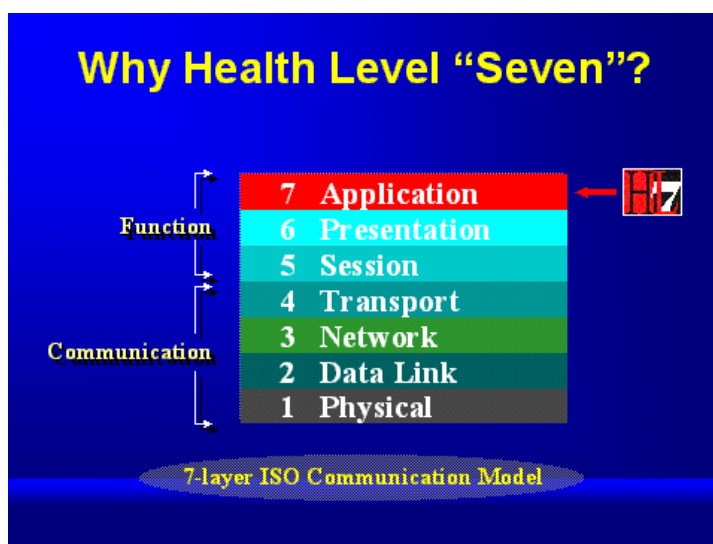
6.- HL -7

HL7 (Health Level Seven) es un conjunto de estándares para facilitar el intercambio electrónico de información clínica. HL7 utiliza una notación formal de modelado (UML) y un metalenguaje extensible de marcado con etiquetas (XML).

A partir del 17 de diciembre de 2003, la ANSI ha aprobado un conjunto de estándares contenidos en la especificación de la Versión 3 HL7.

HL7 International (Health Level Seven) es una "Organización de Desarrollo de Estándares" (SDOs), para el ámbito de la salud. Fundada en 1987 sin fines de lucro opera a nivel internacional y su misión es proveer estándares globales para los dominios: clínico, asistencial, administrativo y logístico, con el fin de lograr una interoperabilidad real entre los distintos sistemas de información en el área de la salud.

Hoy en día es una de las organizaciones más importantes de informática médica a nivel internacional.



En 1994 fue acreditada como SOO (Standards Developing Organization) por la ANSI. La mayoría de las SOO producen estándares (a veces llamados especificaciones o protocolos) para un dominio particular de la salud, por ejemplo farmacia, imágenes diagnósticas, seguridad del paciente o transacciones con entidades aseguradoras (tramitación de informes). Los dominios de HL7 comprenden información clínica, asistencial, administrativa y logística.

Con sede principales Ann Arbor, MI, Estados Unidos y capítulos internacionales en más de 50 países, HL7, al igual que la mayoría de otras SDO, es una organización conformada por voluntarios sin fines de lucro.

Actualmente dispone de 1300 miembros corporativos 2500 asociados 57 Afiliados internacionales 95% de los fabricantes de software de Salud a nivel mundial.

Los miembros de HL7 (proveedores y distribuidores de tecnología, aseguradores, prestadores de servicios de salud, consultores, universidades, gobierno, etc.) tienen interés por el avance y desarrollo de estándares clínicos y administrativos.

Al igual que todas las SOO acreditadas por ANSI, HL7 cuenta con un estricto y bien definido conjunto de procedimientos de operación que garantizan el consenso, la transparencia y el equilibrio de intereses.

Su especificación más utilizada es un estándar de mensajería para el intercambio electrónico de datos en salud.

Los miembros de HL7 son conocidos colectivamente como el Grupo de Trabajo, que está organizado en comités técnicos y grupos de intereses especiales. Los comités técnicos son directamente responsables por el contenido de los estándares. Los grupos de intereses especiales sirven para desarrollar información y pruebas para la exploración de nuevas áreas de cobertura de los estándares publicados por HL7.

Una lista de los comités técnicos y grupos de intereses especiales, así como sus misiones, alcances y coordinadores está disponible en el sitio web de HL7.

7.- Equipos de radioterapia

El origen de la radioterapia surge al poco tiempo de dos importantes hitos en la historia de la física, el descubrimiento de los Rayos X y de la radiactividad en la década de los años 1890. A partir de ese momento y hasta nuestros días las radiaciones ionizantes están siendo utilizadas en el tratamiento del cáncer. Con el tiempo se han ido incorporando diferentes avances tecnológicos que hacen de la radioterapia actual una técnica de tratamiento altamente sofisticada.

Desde su origen, la colaboración entre la física y la medicina ha sido fundamental para el desarrollo y evolución de la radioterapia, no tan sólo en el día a día del tratamiento, en el que los radiofísicos se encargan de la parte más cuantitativa del procedimiento y los oncólogos de la visión clínica de la radioterapia, sino también en el desarrollo de nuevas tecnologías, que permiten una continua evolución en la administración y planificación de los tratamientos radioterápicos.

7.1.- Bombas de Cobalto

La bomba de cobalto es una máquina de radioterapia (teleterapia), para el tratamiento de determinadas patologías. Su denominación viene dada por usar un isótopo radiactivo de cobalto del 60, para el tratamiento de dichas patologías, y por utilizar para el desplazamiento y uso del mismo un pistón neumático (bomba).

La vida media de este radionúclido es de 5,27 años (relativamente corto, tiene que estar cambiando continuamente). La radiación beta es absorbida por el blindaje del cabezal y no es útil. Lo que interesa es la radiación gamma. Esta radiación tiene una energía media de 1,33 MeV.

Funcionamiento

El aparato en sí consta de una fuente radiactiva metida en un tubo de plomo que tiene una abertura lateral con un colimador complejo adaptado. Cuando se utiliza el

aparato, la fuente radiactiva se desplaza lateralmente hasta coincidir con la abertura y es por allí por donde sale la radiación. Las medidas de seguridad están diseñadas para que en ningún momento escape radiación mientras no se esté llevando a cabo un tratamiento, pues automáticamente, la fuente de radiación se esconde en el tubo de plomo, por ejemplo, cuando se abre la puerta de la sala.

Tiene un contenedor aislado en donde se coloca el isótopo radiactivo, este, es un emisor de radiación gamma intensa que se hace salir a través de una ventana con un filtro, y se aplica sucesivamente en varias regiones del cuerpo, procurando variar los sitios de entrada para no quemar la piel, y centrando la corriente radiactiva en el sitio del tumor., después de la aplicación la ventana de salida se cierra a distancia y se retira al paciente del lugar, todo el conjunto debe estar en un bunker para que la radiación intensa no escape al exterior dañando a otras personas.

Aplicaciones

Es usada en patologías de cabeza y cuello, en los cánceres ginecológicos, cáncer de próstata, tumores de partes blandas y tumores del sistema nervioso central, cáncer de mama, cáncer de recto, cáncer de vejiga, cáncer pulmonar y desempeña un papel importante en la evitación del dolor y reducción de la masa tumoral.

7.2.- Acelerador lineal de electrones

Los aceleradores lineales de electrones son actualmente el equipamiento básico de la mayoría de los centros de radioterapia.

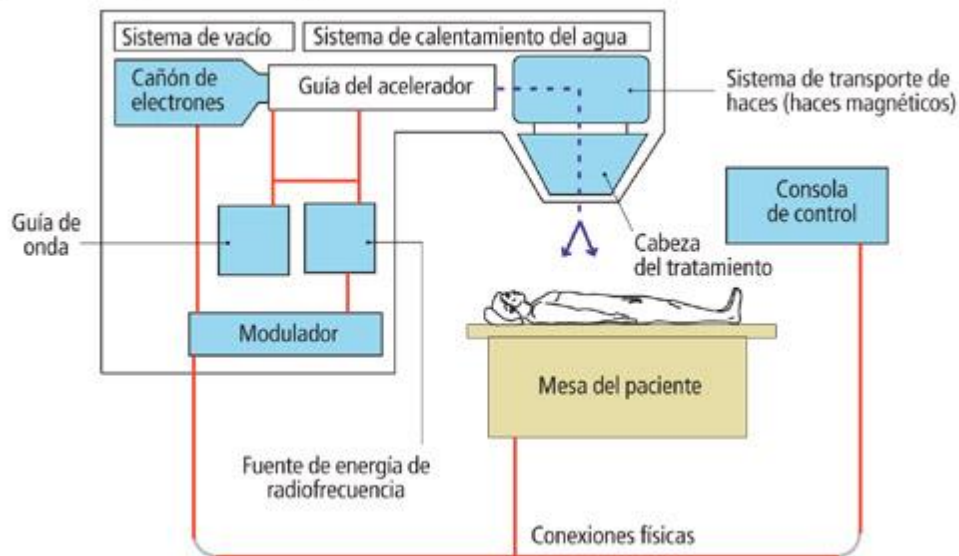
Una vez seleccionados los parámetros de la irradiación todos los equipos cuentan con un procedimiento para poder realizar la irradiación. Estos son movimientos secuenciales y diferentes dependiendo del fabricante. En todos los equipos existen botones de puesta a cero de la unidad, parada en condiciones normales e interruptores de emergencia. En la pantalla de la consola aparecerá cuando comienza la irradiación el número de unidades de monitor en las dos cámaras monitoras y el tiempo de la irradiación. También la tasa de dosis instantánea que alcanza el haz.

Las dos cámaras monitoras integran la cantidad de radiación que las atraviesa de manera independiente y son capaces de llevar a cabo la interrupción de la irradiación cuando se alcance el número previsto de unidades de monitor. La función de la segunda cámara es de detener la irradiación en caso de fallo de la primera. En caso de fallo de la segunda la irradiación se pararía por el medidor de tiempo. Cuando el haz no es uniforme y excede de los valores de tolerancia establecidos en el acelerador se para y se indicara en la consola.

Funcionamiento y elementos del acelerador lineal de electrones

Una vez seleccionados los parámetros de la irradiación todos los equipos cuentan con un procedimiento para poder realizar la irradiación. Estos son movimientos secuenciales y diferentes dependiendo del fabricante. En todos los equipos existen botones de puesta a cero de la unidad, parada en condiciones normales e interruptores de emergencia. En la pantalla de la consola aparecerá cuando comienza la irradiación el

número de unidades de monitor en las dos cámaras monitoras y el tiempo de la irradiación. También la tasa de dosis instantánea que alcanza el haz.



Las dos cámaras monitoras integran la cantidad de radiación que las atraviesa de manera independiente y son capaces de llevar a cabo la interrupción de la irradiación cuando se alcance el número previsto de unidades de monitor. La función de la segunda cámara es de detener la irradiación en caso de fallo de la primera. En caso de fallo de la segunda la irradiación se pararía por el medidor de tiempo. Cuando el haz no es uniforme y excede de los valores de tolerancia establecidos en el acelerador se para y se indicara en la consola.

- **Sección generadora:** Está constituida por el cañón de electrones, el modulador, el generador de potencia (magnetron o klystron). El cañón de electrones contiene un filamento, que emite electrones cuando pasa por él una corriente y una rejilla que hace de ánodo. Es la fuente de electrones que inyecta los electrones en la sección aceleradora. Tiene una forma cerrada ya que dentro debe de haber un alto grado de vacío. Según el fabricante como fuente de potencia de alta frecuencia se puede utilizar un magnetron o un klystron. El modulador es el que va a suministrar simultáneamente pulsos de tensión al cañón de electrones y al klystron. Contiene los componentes que distribuyen y controlan la potencia eléctrica primaria a todas las áreas de la máquina, desde su conexión. El circulador es un dispositivo que se inserta en la guía de ondas para aislar el klystron de las microondas reflejadas de retroceso del acelerador. La fuente de alimentación es la que proporciona corriente continua al modulador.

- **Sección aceleradora:** Su forma es de tubo y dentro de él existen una serie de cavidades en la cual se ha realizado el vacío. En ella se van a inyectar unas ondas que provienen de una guía de ondas y unos electrones que provienen del cañón. Existen dos modelos de ondas utilizadas en los aceleradores lineales: las progresivas y las estacionarias. Las ondas progresivas disponen de una sección aceleradora formada por un

tubo de cobre con su interior dividido en discos o diafragmas de distinta apertura y separación que propagan las ondas a lo largo de su eje. Estas ondas tienen un componente axial de campo eléctrico a partir del cual los electrones ganan energía. Al variar progresivamente las dimensiones de la guía de ondas (radio interno, distancia entre discos y tamaño de apertura de los mismos), la velocidad de fase de las ondas puede incrementarse a lo largo de la longitud de la guía de ondas. Así, los electrones capturados por una onda en la entrada permanecen en fase con la onda y ganan energía continuamente, hasta alcanzar casi la velocidad de la luz. En el caso de las ondas estacionarias la guía de ondas está formada por cavidades de tal modo que aquellas cavidades con valor cero del campo eléctrico se acoplan a la estructura del montaje y así no se pierde espacio. Los electrones adquieren la energía de las ondas del mismo modo que los surfistas en las olas. En la primera parte de la sección aceleradora los electrones adquieren rápidamente la velocidad de la luz. El aumento posterior de la energía es producido principalmente por el aumento relativístico de la masa. Las energías alcanzadas por los electrones en los actuales aceleradores son función de cada constructor y suele variar entre los 6 a 24 Mev. El diámetro del haz de electrones al final de la sección aceleradora es del orden de 3 mm. Para agrupar a los electrones durante su trayectoria y conseguir que los paquetes de electrones sean monoenergéticos es necesario evitar cualquier desviación del haz de electrones durante la aceleración, para ello se aplica un campo magnético estático mediante una serie de espiras focalizadas colocadas a intervalos. Cualquier desviación del haz de electrones se compensa por dos juegos de espiras centradas muy cerca del extremo final de la guía de ondas.

- **Sección deflectora:** En los aceleradores multienergéticos la sección aceleradora mide del orden de 2 m y se sitúa de forma paralela al suelo. Ya que el paciente se sitúa en una mesa también paralela al suelo es necesario desviar la trayectoria de los electrones 90° . Para conseguirlo los aceleradores tienen unas bobinas magnéticas que permiten desviar la trayectoria de los electrones. En función del constructor los electrones pueden ser desviados 90° ó 270° . A este conjunto los llamaremos sistema magnético de deflexión del haz. Cuando la desviación magnética es a 90° , se utiliza un sistema muy compacto que emplea un imán muy intenso. Cuando la deflexión es de 270° es una deflexión acromática y permite focalizar el haz corrigiendo la energía y posibles variaciones del haz. Los aceleradores monoenergéticos no disponen de bobinas de deflexión ya que el cañón de electrones está en la misma dirección del eje del haz, por tanto perpendicular al suelo.

- **Cabezal:** Es el lugar donde una vez que los electrones se sitúan perpendiculares al suelo se rompe el vacío y los electrones se dirigen hacia el paciente. También es la zona donde se pueden producir los haces de fotones. Está compuesto por: el blanco de rayos X, cono ecualizador para fotones, filtros homogeneizadores para electrones, cámaras de ionización y colimadores primarios y secundarios.

- **Haces de fotones:** Una vez que el haz de electrones ha roto el vacío, el haz se va encontrar con un material de número atómico alto, que denominaremos blanco (target) con el que va chocar produciendo una radiación de frenado, en consecuencia rayos X. La

radiación producida no es uniforme y necesita para ser utilizada de forma clínica ser homogeneizada. Para ello empleamos un cono o filtro nivelador colocado a la salida del blanco. Después del cono, el haz se va a encontrar con dos cámaras de ionización de transmisión denominadas cámaras monitoras. Tienen forma plana, controlan: la dosis, tasa de dosis, la homogeneidad y la simetría del haz. La medida de estas dosis la denominaremos "unidades de monitor" y deberán ser calibradas por los radiofísicos con respecto a las cámaras de ionización que están trazadas al patrón de calibración nacional o internacional. El sistema de colimación está constituido por un colimador fijo y un colimador secundario constituido por unas mandíbulas móviles. El primero es fijo generalmente de forma circular, no accesible al usuario y es el que define el tamaño máximo de haz que permite la fuente... El material de blindaje es plomo o tungsteno. El colimador secundario va a definir el tamaño del campo de irradiación y son generalmente de plomo o tungsteno. Tiene 4 mandíbulas que se mueven con movimientos independientes por lo que son capaces de realizar campos asimétricos. La apertura mínima es $0 \times 0 \text{ cm}^2$ y la máxima es $40 \times 40 \text{ cm}^2$ a la distancia del isocentro.

- **Haces de electrones:** El camino de los haces de electrones después de la salida del vacío va a ser distinto del de los haces de fotones. Los haces de electrones que se van a emplear en terapia tienen que ser planos y uniformes cuando interaccionan con el paciente. Para ello es necesario que a la salida del vacío sean dispersos en unas hojas dispersoras que permitan que los haces se extiendan y sean uniformes. Si los haces no fueran dispersos serían muy estrechos y no se podrían utilizar con pacientes. Después de atravesar estas láminas los haces penetran en las cámaras monitoras cumpliendo esta misma misión que para los fotones. Otra de las características de estos haces es que necesitan de un colimador terciario que se inserta en el cabezal de la unidad. La misión de este es conseguir filtrar los electrones dispersos en la interacción del haz de electrones con el aire y conseguir que los que lleguen al paciente sean uniformes. Estos colimadores terciarios se denominan aplicadores y se sitúan en la piel del paciente a 10, 5 ó 0 cm, según el fabricante.

- **Otros elementos del acelerador:** Son el sistema de refrigeración y el control automático de frecuencia. El primero sirve para refrigerar la fuente de potencia de alta frecuencia, la guía de ondas y el blanco de rayos X mediante la circulación de agua en la proximidad de ellos. La estabilidad y el funcionamiento del acelerador van a depender de mantener a la temperatura adecuada los elementos descritos anteriormente. El control automático de frecuencia tiene por función la de mantener constante la frecuencia de las microondas, estas pueden variar con las condiciones ambientales. Un pequeño cambio en la frecuencia, afectaría tanto a la cantidad de radiación producida, como a la energía de la misma.

- **Mesa de tratamiento:** Es el lugar en donde se coloca al paciente para la irradiación. Los movimientos del tablero son: transversales, longitudinales y vertical. Con ellos se sitúa el punto anatómico del isocentro de la planificación del tratamiento al isocentro del acelerador. También tiene movimientos de rotación isocéntrica de la mesa y

de rotación del tablero. Existen en la actualidad mesas que disponen de otros dos movimientos angulares del tablero a lo largo de los ejes longitudinales y laterales. A las mesas que tienen estos movimientos las denominamos mesas 6D. Todos los movimientos tienen indicadores digitales, la precisión de los mismos es de 1 mm para los desplazamientos longitudinales, transversales y verticales y de $0,1^\circ$ para los movimientos angulares. Los haces de radiación van a incidir sobre el paciente desde cualquier posición del giro de la cabeza, es por lo que en muchas ocasiones la irradiación se realiza a través de ella. En consecuencia la mesa ha de estar hecha por materiales transparentes a la radiación tales como la fibra de carbono. No obstante estos siempre producen una atenuación de la radiación que debe ser medida y tenida en cuenta para la irradiación del paciente.

- **Consola de tratamientos:** Situada fuera del recinto y desde dónde se efectúa la programación de la irradiación. Existen distintos modos de trabajo en la consola de tratamientos:

Manual: permite realizar irradiaciones seleccionando los parámetros de la irradiación de forma secuencial. Se selecciona: tipo de haz (fotones o electrones), energía, unidades de monitor, tasa de dosis, tipo de irradiación (haces fijos, arcoterapia), cuñas y tamaño del campo de irradiación.

Automático: Desde el sistema de planificación se envían los datos dosimétricos y geométricos de la irradiación además de las posiciones del colimador multiláminas al sistema de registro y verificación. Desde este se envían los datos a la consola del acelerador y en esta se visionan todos los datos transmitidos. Desde la consola se realiza la irradiación y permite el registro de las dosis administradas y de todos los parámetros de la irradiación.

Servicio: envían los datos a la consola del acelerador y en esta se visionan todos los datos transmitidos. Desde la consola se realiza la irradiación y permite el registro de las dosis administradas y de todos los parámetros de la irradiación.

Una vez seleccionados los parámetros de la irradiación todos los equipos cuentan con un procedimiento para poder realizar la irradiación. Estos son movimientos secuenciales y diferentes dependiendo del fabricante. En todos los equipos existe botones de puesta a cero de la unidad, parada en condiciones normales e interruptores de emergencia. En la pantalla de la consola aparecerá cuando comienza la irradiación en número de unidades de monitor en las dos cámaras monitoras y el tiempo de irradiación. También la tasa de dosis instantánea que alcanza el haz. Las dos cámaras monitoras integran la cantidad de radiación que las atraviesa de manera independiente y son capaces de llevar a cabo la interrupción de la irradiación cuando se alcance el número previsto de unidades de monitor. La función de la segunda cámara es de detener la irradiación en caso de fallo de la primera. En caso de fallo de la segunda la irradiación se pararía por el medidor de tiempo. Cuando el haz no es uniforme y excede de los valores de tolerancia establecidos en el acelerador se para y se indicara en la consola.