

Nuevas tecnologías en el diagnóstico por imagen



Formación y Sanidad

FORMACIÓN Y SANIDAD

Avda. de Filipinas, 1 Bis 1ª Planta

Teléf. 91 342 03 98

Fax: 91 540 93 29

28003 Madrid

www.fysa.es

EDITADO: **FORMACIÓN Y SANIDAD (FYSA)**
Pza. Cristino Martos, 4 - 2ª Planta

MAQUETACIÓN Y DISEÑO: **OFFKA ARTES GRÁFICAS, S.L.**
TELF. 91 318 07 51

IMPRESIÓN Y ENCUADERNACIÓN: **OFFKA ARTES GRÁFICAS, S.L.**
TELF. 91 318 07 51

RESAERVADOS TODOS LOS DERECHOS POR (FYSA) FORMACIÓN Y SANIDAD.

Queda prohibida, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación total ni parcial del contenido de este libro sin contar con autorización expresa por escrito del titular de la propiedad intelectual: FYSA (Formación y Sanidad).

La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual.

(arts. 270 yss. Código Penal).

ISBN: 978-84-614-3218-9

Depósito Legal: M-37256-2010

Impreso en España

Este Manual ha sido elaborado para FYSA por:

IGNACIO GARCÍA DELGADO

Ingeniero Industrial

Máster en Sistemas de Gestión de Prevención de Riesgos Laborales.

Experto Universitario en Sistemas de Gestión de la Calidad

Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales: Especialidad Seguridad en el trabajo, Higiene Industrial y Ergonomía y Psicosociología.

MARÍA ISABEL MARCO GALVE

Licenciada en Medicina y Cirugía.

Especialista en Radiodiagnóstico

Suficiencia investigadora “Protección radiológica”

Curso básico en Prevención de Riesgos Laborales

ÍNDICE GENERAL

UNIDAD 1: RADIACIONES

1.1	Radiaciones ionizantes	3
1.1.1	Origen de la radiación	7
1.1.1.1	Fuentes de radiación de origen natural	7
1.1.1.2	Radiación de origen artificial	8
1.2	Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes	11
1.2.1	Recuerdo histórico	11
1.2.2	Tipos de daño biológico	14
1.3	Protección radiológica ante radiaciones ionizantes...	21
1.3.1	Magnitudes y unidades	22
1.3.2	Los criterios de protección radiológica	24
1.3.3	Medidas preventivas para los trabajadores expuestos frente a radiaciones ionizantes..	25
1.3.4	Sistema de limitación de dosis	26
1.3.4.1	Límites de dosis para los trabajadores expuestos	26
1.3.4.2	Protección especial durante el embarazo y la lactancia	27
1.3.4.3	Límite de dosis para personas en formación y estudiantes	29
1.3.4.4	Limites de dosis para miembros del público general	30
1.3.5	Prevención de la exposición. Clasificación y delimitación de zonas	31
1.3.6	Clasificación de los trabajadores	35
1.3.6.1	Trabajadores no expuestos	35
1.3.6.2	Clasificación de trabajadores expuestos	35
1.3.7	Información y formación	36

1.3.8	Evaluación de la exposición	37
1.3.8.1	Vigilancia del ambiente de trabajo	37
1.3.8.2	Vigilancia individual	37
1.3.9	Vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos	40
1.3.9.1	Exámenes de salud	40
1.3.9.2	Examen de salud previo	40
1.3.9.3	Exámenes de salud periódicos .	41
1.3.9.4	Clasificación médica	41
1.3.9.5	Historial médico	41
1.4	Radiaciones no ionizantes	42
1.4.1	Ultravioleta	45
1.4.1.1	Fuentes de radiaciones ultravioleta	47
1.4.1.2	Efectos biológicos de las radiaciones UV	47
1.4.1.3	Infrarrojos	50
1.4.1.4	Luz visible	52
1.4.1.5	Microondas y radiofrecuencias .	52

UNIDAD 2: FUNDAMENTO DE LA IMAGEN RADIOLÓGICA

2.1	Formación de la imagen radiológica	55
2.2	Atenuación de los rayos X por la materia viva	57
2.3	Densidades radiológicas en el cuerpo humano	58

UNIDAD 3: EL EQUIPO DE RADIOLOGÍA MÉDICA

3.1	Equipos de radiología convencional	61
3.1.1	Unidades de radiología fijas (multifuncionales)	62
3.1.1.1	Unidades de sólo radiografía	62

3.1.1.2	Unidades de grafía y escopia ...	62
3.1.2	Unidades de radiología móvil y portátil	63
3.1.2.1	Equipos móviles	63
3.1.2.2	Equipos portátiles	64
3.2	El tubo de Rayos X	66
3.3	Producción de rayos X	68
3.4	Generador	71
3.5	Otros componentes del equipo	72
3.5.1	Colimadores	72
3.5.2	Rejillas	72
3.5.3	Mesa de control	73

UNIDAD 4: LA PELÍCULA RADIOGRÁFICA Y LA FLUOROSCOPIA

4.1	La película radiográfica	76
4.1.1	Introducción	76
4.1.2	Estructura	76
4.1.3	Tipos	78
4.1.3.1	Películas de pantalla	78
4.1.3.2	Películas de exposición directa ..	79
4.1.3.3	Películas para mamografía	79
4.1.3.4	Películas de vídeo	79
4.1.3.5	Películas de duplicación	80
4.1.3.6	Películas de sustracción	80
4.1.3.7	Películas de cine	80
4.1.3.8	Películas para seriografía	80
4.1.3.9	Película para radiografía dental .	81
4.1.4	Almacenamiento y cuidados de la película radiográfica	81
4.1.5	Chasis	82
4.1.6	Pantallas de Refuerzo	82

	4.1.6.1	Introducción	82
	4.1.6.2	Estructura	83
	4.1.6.3	Luminiscencia	84
	4.1.6.4	Características de las pantallas .	84
	4.1.6.5	Pantallas de tierras raras	86
	4.1.6.6	Cuidado de la pantalla de refuerzo	87
4.2		Imagen fluoroscópica/radioscópica	87
	4.2.1	Características	87
		4.2.1.1 Introducción	87
		4.2.1.2 Consideraciones visuales	88
		4.2.1.3 Técnicas de fluoroscopia práctica	90
	4.2.2	Intensificador de imágenes	90
		4.2.2.1 Tubo intensificador de imagen .	90
		4.2.2.2 Intensificador de imagen multicampo	92
	4.2.3	Receptores de la imagen. Monitorización de la imagen fluoroscópica	93
		4.2.3.1 Monitorización óptica	93
		4.2.3.2 Monitor de televisión	93
		4.2.3.3 Cinefluorografía	95
		4.2.3.4 Seriografía	95

UNIDAD 5: IMAGEN DIGITAL

5.1		Introducción	98
5.2		Diferencia entre imagen analógica e imagen digital	99
5.3		Mamografía digital	101
5.4		Fluoroscopia	104
	5.4.1	Radiología vascular	104
	5.4.2	Estudio esófagoduodenal	105

5.4.3	Enema opaco	108
5.4.4	Histerosalpingografía	110
5.5	Ecografía (ultrasonidos)	112
5.5.1	Historia de los ultrasonidos	113
5.5.2	Concepto de ultrasonidos	114
5.5.3	Física de los ultrasonidos	115
5.5.3.1	Acústica básica	116
5.5.3.2	Propagación de sonido	116
5.5.3.3	Medición de la distancia	117
5.5.3.4	Impedancia acústica	118
5.5.3.5	Refracción	118
5.5.3.6	Atenuación	119
5.5.4	Ecografía 2-D y 3-D	120
5.6	Tomografía Computerizada	122
5.6.1	Aplicaciones clínicas del TCMD	125
5.6.1.1	Tórax	125
5.6.1.2	Estudios coronarios	125
5.6.1.3	Abdomen	126
5.7	Tomografía por emisión de positrones (PET/TC)	131
5.7.1	Radiofármacos más utilizados para estudios PET	132
5.7.2	Tomógrafo PET	132
5.8	Resonancia Magnética	135
5.9	Espectroscopia por resonancia magnética	142
5.9.1	Obtención del espectro	143
5.9.2	Posicionamiento de la bobina	143
5.9.3	Homogenización del campo magnético	143
5.9.4	Aplicaciones clínicas de la ERM	144
5.9.4.1	Sistema nervioso central	144
5.9.4.2	Próstata	145
5.10	Medicina Nuclear	146

UNIDAD 6: ADQUISICIÓN DE IMÁGENES DIGITALES

6.1	Sistemas de adquisición aplicables a radiología convencional	150
6.1.1	Radiografía computarizada (CR)	150
6.1.2	Digitalización de la película radiográfica	150
6.1.3	Fluoroscopia digital (Sensores CCD)	150
6.1.4	Radiografía digital mediante detectores FP (flan panel o panel plano)	151
6.2	Procesamiento de imágenes digitales	151
6.2.1	Intensificación de contraste	151
6.2.2	Reconstrucción de la imagen. Filtrado digital	152
6.2.2.1	Filtrado de convolución	152
6.2.2.2	Filtrado de paso bajo o suavización	152
6.2.2.3	Filtrado de paso de banda	152
6.2.2.4	Filtrado de paso alto o filtrado de bordes o intensificación de bordes	153
6.2.3	Técnicas de sustracción	153
6.2.3.1	Sustracción temporal	153
6.2.3.2	Sustracción de energía doble ...	153
6.2.3.3	Sustracción híbrida	153
6.2.4	Ampliación	154
6.2.5	Imagen tridimensional	154

UNIDAD 7: COMPONENTES DEL SISTEMA DE RADIOLOGÍA DIGITAL

7.1	Radiología digital	156
7.2	Componentes del sistema	157
7.2.1	Las estaciones de trabajo (WS)	158
7.2.1.1	Unidad Central	159

7.2.1.2	Monitores	160
7.2.1.3	Discos Rígidos	161
7.2.1.4	Módem	162
7.2.2	Archivos de Imágenes	163
7.2.3	Redes	167
7.2.3.1	Arquitectura Centralizada	167
7.2.3.2	Arquitectura Cliente Servidor ...	168
7.2.3.3	Arquitectura Distribuida	169
7.2.3.4	Hubs, Bridges y Routers	172
7.2.3.5	Red de Área Local	173
7.2.3.6	Redes de Área Extendida	174
7.2.4	Dispositivos de entrada/salida	177
7.2.4.1	Spoolers	177
7.2.4.2	Frame grabbers	177
7.2.4.3	Digitalizadores: Láser y CCD	178
7.2.4.4	Radiografía computarizada	180
7.2.4.5	El mundo DICOM	180
7.2.4.6	Impresoras	184

UNIDAD 8: EL SISTEMA PACS-RIS-HIS

8.1	Sistema	187
8.2	Planificación para PACS	188
8.2.1	Cima-Abajo	189
8.2.2	Fondo-Arriba	189
8.3	Pasos de implantación de un PACS	190

UNIDAD 9: COMPONENTES DE UN PACS

9.1	Introducción	196
9.2	Tecnología	197
9.3	La red digital de imágenes	198

9.3.1	Adquisición de imágenes	198
9.3.1.1	Modalidad directa	199
9.3.1.2	Modalidad de captura secundaria	200
9.3.2	Estandarización	201
9.3.3	Transmisión de imágenes	204
9.4	Sistemas de gestión	205
9.5	Central de archivo	206
9.6	Consulta de imágenes	209
9.7	Impresión	212
9.8	Filosofía de DICOM 3.0	213

UNIDAD 10: OBJETIVOS, VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA TELERRADIOLOGÍA Y TRABAJO RADIOLÓGICO EN RED

10.1	Telerradiología en telemedicina	215
10.2	Objetivos	219
10.3	Ventajas	220
10.4	Inconvenientes	223

UNIDAD 11: COMPONENTES Y ESTRUCTURA DE LA TELERRADIOLOGÍA Y TRABAJO RADIOLÓGICO EN RED

11.1	Introducción	225
11.2	Componentes	226
11.3	Usuarios	227
11.4	Seguridad de los sistemas	228
11.4.1	La seguridad física	228
11.4.2	Control de Accesos	228
11.4.3	Encriptación	229
11.4.4	Autenticación y firmas electrónicas	229

UNIDAD 12: CONTROL DE CALIDAD

12.1	Introducción	231
12.2	Calificación del personal	233
12.2.1	Médico Especialista	233
12.2.2	Técnico	234
12.2.3	Físico-médico	234
12.2.4	Especialista en sistemas o redes	234
12.3	Cuestiones médico-legales	234
12.3.1	Seguridad de los datos informáticos	235
12.3.2	Telerradiología en Internet	235
12.3.3	Telerradiología desde el extranjero	235
12.3.4	Retención de historias	235
12.3.5	Acuerdos a nivel de servicios	236
12.3.6	Autorizaciones, credenciales y obligatoriedad	236

UNIDAD 13: EL TRABAJO RADIOLÓGICO EN RED

13.1	Telerradiología y PACS	239
13.1.1	Sistemas de información de salud	239
13.1.2	Evolución de las Estaciones de Trabajo	240
13.2	Internet y telerradiología	242

UNIDAD 14: PANTALLAS DE VISUALIZACIÓN DE DATOS

14.1	Introducción	245
14.2	Definiciones	246
14.3	Obligaciones generales del empresario	246
14.4	Vigilancia de la salud	247
14.5	Obligaciones en materia de información y formación .	248
14.6	Disposiciones mínimas de seguridad en los puestos con equipos de PVD	248

14.6.1	Factores y elementos básicos que deben considerarse en el diseño	248
14.6.2	El equipo de trabajo	250
14.6.3	Equipo	251
14.6.4	Entorno	257
14.6.5	Interconexión ordenador/persona	259

UNIDAD 15: LOS MEDIOS DE CONTRASTE RADIOLÓGICOS

15.1	Antecedentes	261
15.2	Reacciones adversas por inyección de MCR	262
15.2.1	Tipos de reacciones adversas	262
15.2.2	Severidad de las reacciones adversas	263
15.2.3	Frecuencia de las reacciones adversas	264
15.2.4	Precauciones previas	264
15.2.5	Conducta médico-legal frente al uso de los MCR	266

UNIDAD 16: GLOSARIO DE ABREVIATURAS

UNIDAD 17: BIBLIOGRAFÍA

UNIDAD 1: RADIACIONES

AUTORES:

María Isabel Marco Galve
Ignacio García Delgado

- 1.1 Radiaciones ionizantes
 - 1.1.1 Origen de la radiación
 - 1.1.1.1 Fuentes de radiación de origen natural
 - 1.1.1.2 Radiación de origen artificial
- 1.2 Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes
 - 1.2.1 Recuerdo histórico
 - 1.2.2 Tipos de daño biológico
- 1.3 Protección radiológica ante radiaciones ionizantes
 - 1.3.1 Magnitudes y unidades
 - 1.3.2 Los criterios de protección radiológica
 - 1.3.3 Medidas preventivas para los trabajadores expuestos frente a radiaciones ionizantes
 - 1.3.4 Sistema de limitación de dosis
 - 1.3.4.1 Límites de dosis para los trabajadores expuestos
 - 1.3.4.2 Protección especial durante el embarazo y la lactancia
 - 1.3.4.3 Límite de dosis para personas en formación y estudiantes
 - 1.3.4.4 Límites de dosis para miembros del público general
 - 1.3.5 Prevención de la exposición. Clasificación y delimitación de zonas
 - 1.3.6 Clasificación de los trabajadores
 - 1.3.6.1 Trabajadores no expuestos
 - 1.3.6.2 Clasificación de trabajadores expuestos

- 1.3.7 Información y formación
- 1.3.8 Evaluación de la exposición
 - 1.3.8.1 Vigilancia del ambiente de trabajo
 - 1.3.8.2 Vigilancia individual
- 1.3.9 Vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos
 - 1.3.9.1 Exámenes de salud
 - 1.3.9.2 Examen de salud previo
 - 1.3.9.3 Exámenes de salud periódicos
 - 1.3.9.4 Clasificación médica
 - 1.3.9.5 Historial médico
- 1.4 Radiaciones no ionizantes
 - 1.4.1 Ultravioleta
 - 1.4.1.1 Fuentes de radiaciones ultravioleta
 - 1.4.1.2 Efectos biológicos de las radiaciones UV
 - 1.4.1.3 Infrarrojos
 - 1.4.1.4 Luz visible
 - 1.4.1.5 Microondas y radiofrecuencias

Las distintas tecnologías de imagen para el diagnóstico utilizan radiaciones como fundamento físico para la obtención de imágenes.

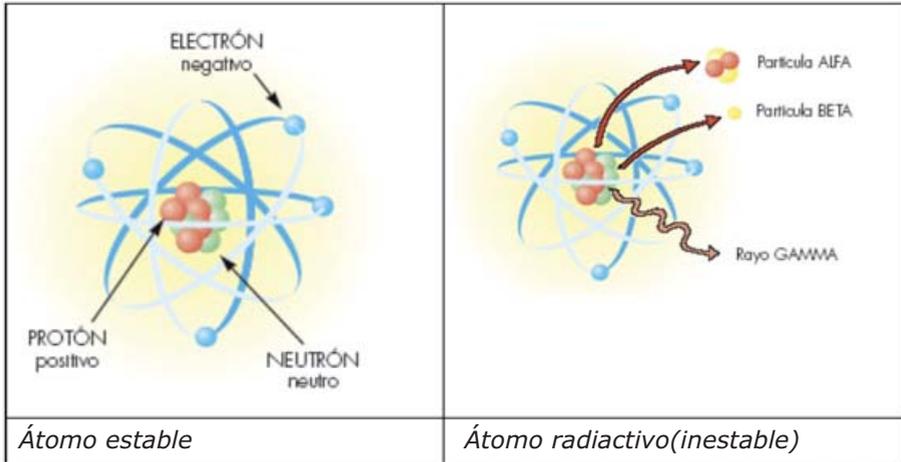
La radiología simple y la tomografía computarizada utilizan los rayos X en la producción de la imagen. La ecografía se basa en los ultrasonidos. La resonancia magnética se fundamenta en los campos magnéticos y los pulsos de radiofrecuencia.

En cuanto a la Medicina Nuclear se utilizan diferentes elementos químicos radioactivos.

La radiación es la transmisión de energía a través del espacio. Dicha transmisión puede hacerse a través de ondas electromagnéticas o bien a través de partículas subatómicas (partículas que forman parte de cierto tipo de átomos). Atendiendo a la energía que transportan y en función de los efectos biológicos que producen, se clasifican en dos grandes grupos: radiaciones ionizantes y radiaciones no ionizantes.

1.1 Radiaciones ionizantes

La diferencia entre ionizantes y no ionizantes está en la energía. Las ionizantes tienen suficiente poder energético como para ionizar la materia en la que inciden.



La ionización es un fenómeno mediante el cual un determinado tipo de radiación al incidir sobre un átomo es capaz de arrancar un electrón de la capa más superficial de dicho átomo, y esto es posible debido a la energía que tiene la radiación. Cuanto más energético es un tipo de radiación, mayor poder de ionización posee.

Las radiaciones ionizantes tienen la suficiente energía para producir ionización, rompiendo los enlaces atómicos que mantienen unidas las células. Estas radiaciones al interactuar con la materia producen ionización dando lugar a la aparición de uno o varios electrones y a un ion positivo, químicamente activos, por lo que pueden provocar reacciones y cambios químicos en el material con el que interactúan.



Fenómeno de ionización

IONIZANTES	RADIACIÓN ALFA RADIACIÓN BETA PROTONES NEUTRONES	CORPUSCULARES
	RAYOS X RAYOS GAMMA	ELECTROMAGNÉTICAS
NO IONIZANTES	RADIOFRECUENCIA MICROONDAS INFRARROJOS VISIBLES ULTRAVIOLETAS	

A su vez, las radiaciones ionizantes pueden ser de tipo corpuscular (partículas que forman parte de los átomos) o bien pueden ser radiaciones electromagnéticas, según cual sea su origen.

Las de tipo corpuscular provienen de la descomposición de un átomo inestable (radiactivo) en diferentes partículas. No cualquier elemento químico es capaz de producir radiactividad, sólo la producen los átomos de elementos químicos inestables, radiactivos. Por ejemplo el radón, el plutonio, el uranio.

Estas radiaciones de tipo corpuscular pueden ser de los siguientes tipos:

Radiación alfa: núcleos de Helio, con carga positiva. Están formadas por dos protones y dos neutrones, y se caracterizan por tener una masa grande.

Radiación beta: la radiación beta a su vez puede ser negativa o positiva. La negativa es un electrón, como consecuencia de la descomposición de un neutrón en un protón y un electrón. La positiva es un positón, que surge de la descomposición de un protón en un neutrón y un positón.

Protones: núcleos de hidrógeno, con alto poder de penetración.

Neutrones: componente del núcleo atómico sin carga eléctrica y altísimo poder de penetración.

Una onda electromagnética es la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio.

Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Los espectros se pueden observar mediante espectroscopios que, además de permitir observar el espectro, permiten realizar medidas sobre éste, como la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación.

El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio. En el espectro de ondas electromagnéticas encontramos tanto radiaciones de tipo ionizante (rayos X y radiación gamma) como no ionizante.

Atendiendo a su longitud de onda, la radiación electromagnética recibe diferentes nombres, y varía desde los energéticos rayos gamma (con una longitud de onda del orden de picómetros) hasta las ondas de radio (longitudes de onda del orden de kilómetros), pasando por el espectro visible (cuya longitud de onda está en el rango de las décimas de micrómetro). El rango completo de longitudes de onda es lo que se denomina el espectro electromagnético.

El espectro electromagnético, por tanto, cubre longitudes de onda muy variadas.

La energía electromagnética en una particular longitud de onda λ tiene una frecuencia f asociada y una energía de fotón E . Por tanto, el espectro electromagnético puede ser expresado igualmente en cualquiera de esos términos. La longitud de onda y la frecuencia son inversamente proporcionales, y se relacionan con la siguiente ecuación

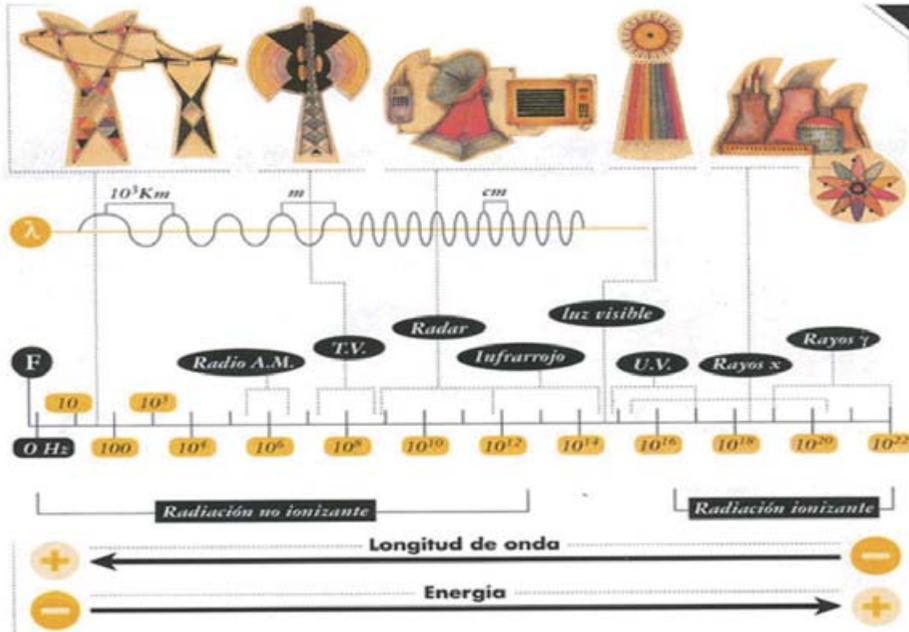
$$\lambda = (300 \cdot 10^6 / f)$$

Por lo tanto, las ondas electromagnéticas de alta frecuencia tienen una longitud de onda corta y mucha energía mientras que las ondas de baja frecuencia tienen grandes longitudes de onda y poca energía.

Por lo general, las radiaciones electromagnéticas se clasifican en base a su longitud de onda en ondas de radio, microondas, infrarrojos, visible (que percibimos como luz visible) ultravioleta, rayos X y rayos gamma.

El comportamiento de las radiaciones electromagnéticas depende de su longitud de onda. Cuando la radiación electromagnética interac-

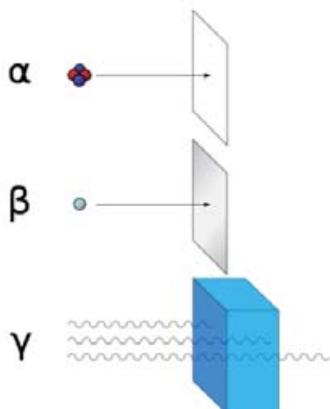
túa con átomos y moléculas puntuales, su comportamiento también depende de la cantidad de energía que lleve.



Como ya se ha mencionado, el poder de ionización de un tipo de radiación depende de la energía (a mayor energía mayor poder de ionización).

Sin embargo, el poder de penetración en la materia depende del tamaño de la partícula. A mayor tamaño, menor poder de penetrar en la materia.

Así, por ejemplo, las partículas más grandes (las partículas alfa) son las que menos longitud en el espacio recorren, pudiendo ser frenadas por una fina hoja de papel. Sin embargo la radiación gamma es muy penetrante y se frena con plomo y muros gruesos de hormigón.

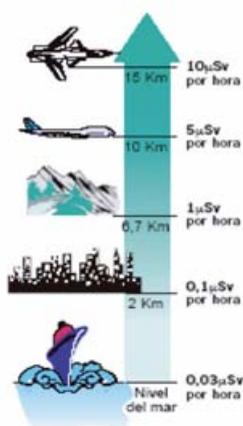


1.1.1 Origen de la radiación.

La radiación puede ser de origen natural o artificial. Cuantitativamente la fuente más importante es la natural, que afecta a toda la población mundial con una intensidad relativamente constante a lo largo del tiempo, con ciertas variaciones geográficas.

1.1.1.1 Fuentes de radiación de origen natural

Radiación cósmica. Es la que procede del espacio. La atmósfera actúa como filtro natural para este tipo de radiación. Así, a mayor altitud, mayor radiación cósmica recibimos.



Radiación terrestre (procedente del suelo). Este tipo de radiación varía en función de la zona geográfica en la que nos encontremos. Así, por ejemplo, la sierra madrileña es uno de los lugares con más índice de radiación de la Península Ibérica.



Sustancias radiactivas presentes en aire, alimentos y agua (en la dieta y la respiración dan lugar a exposición interna). Los materiales radiactivos se dispersan por el suelo, el aire y el agua, y pasan a las plantas y a los animales.

Así pues, todos los seres vivos tienen en su cuerpo pequeñas cantidades de átomos radiactivos.

1.1.1.2 Radiación de origen artificial

Las fuentes de radiación de origen artificial están producidas mediante ciertos aparatos o métodos desarrollados por el ser humano, como por ejemplo los aparatos utilizados en radiología, algunos empleados en radioterapia, por materiales radiactivos que no existen en la naturaleza pero que el ser humano es capaz de sintetizar en reactores nucleares o aceleradores, o por materiales que existen en la naturaleza pero que se concentran químicamente para utilizar sus propiedades radiactivas. El uso más importante de las radiaciones ionizantes artificiales es el uso médico.

Ejemplos de fuentes artificiales de radiación son los aparatos de rayos X, de aplicación médica o industrial, los aceleradores de partículas de aplicaciones médicas, de investigación o industrial, o materiales obtenidos mediante técnicas nucleares, como ciclotrones o centrales nucleares.

Las fuentes de radiación de origen artificial han aumentado considerablemente las dosis recibidas por la humanidad. Cuantitativamente

la fuente más importante de radiación de origen artificial es el diagnóstico médico.

En el medio hospitalario se emplean radiaciones en los servicios de Radiología, Radioterapia y Medicina nuclear.

Otra de las fuentes de radiación de origen artificial son las centrales nucleares.

Una central nuclear es una instalación industrial empleada para la generación de energía eléctrica a partir de energía nuclear, que se caracteriza por el empleo de materiales fisionables que mediante reacciones nucleares proporcionan calor. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica.

Estas centrales constan de uno o varios reactores, que son contenedores (llamados habitualmente vasijas) en cuyo interior se albergan varillas u otras configuraciones geométricas de minerales con algún elemento fisil (es decir, que puede fisionarse), usualmente uranio, y en algunos combustibles también plutonio, generado a partir de la activación del uranio. En el proceso de fisión radiactiva, se establece una reacción que es sostenida y moderada mediante el empleo de elementos auxiliares dependientes del tipo de tecnología empleada.



Central nuclear

La energía nuclear se caracteriza por producir, además de una gran cantidad de energía eléctrica, residuos nucleares que hay que albergar en depósitos aislados y controlados durante largo tiempo.

En agricultura también se usan radiaciones ionizantes. Las radiaciones sirven para contrastar la eficacia de los fertilizantes, preparar

vacunas para el ganado, conocer mejor la absorción de agua por las plantas, asegurar la eficiencia del riego y del abastecimiento de agua, luchar contra las plagas y conservar alimentos, esterilizándolos sin dejar ningún rastro radiactivo que entrañe riesgo posterior.

En investigación también se usan radiaciones. Gracias al C-14 radiactivo sabemos con precisión la edad de una momia egipcia, de un tejido medieval o de un determinado fósil.

También gracias a la radiactividad se analizan obras de arte que han de ser restauradas.

La exposición a radiación ionizante es ubicua y forma parte de la vida normal en nuestro planeta.

La radiación ionizante es un tipo de radiación muy energética capaz de desplazar electrones de los átomos, producir ionización y alterar la estructura de moléculas.

Más del 80% de la dosis de radiación que recibe una persona es de origen natural, sobre todo por la inhalación de gas radón, la radiación cósmica y la radiación gamma terrestre.

Del 18% de la radiación que recibimos de fuentes artificiales, la mayor parte se debe a las exploraciones médicas con rayos X (y otros procedimientos médicos) y a la ingestión o inhalación de productos de consumo.

En determinados ambientes laborales, las dosis recibidas anualmente pueden ser iguales o algo superiores a las recibidas de forma natural en el mismo periodo de tiempo.

La dosis media recibida por la población como consecuencia del funcionamiento de centrales nucleares es, en España, entre 100 y 400 veces menor que la debida a fuentes naturales y unas mil veces inferior a la recibida tras algunas pruebas médicas diagnósticas.

La radiación ionizante puede incidir sobre los seres vivos de 2 maneras diferentes. Es importante conocer las diferencias entre estas 2 formas de contacto, pues los mecanismos que se ponen en práctica para protegernos frente a la radiación son diferentes según se trate de irradiación o de contaminación.

IRRADIACIÓN: se deposita energía en un medio determinado, sin contacto directo. Por ejemplo, la irradiación con rayos X en exposiciones médicas (por ejemplo hacer una radiografía).

En una irradiación, la radiación deja de tener efecto en cuanto el individuo se aleja de la fuente o la fuente deja de irradiar.

CONTAMINACIÓN: la persona entra en contacto con la propia fuente radiactiva dispersa en el ambiente o depositada en superficies. Por ejemplo, la inhalación, ingestión o entrada dérmica de sustancias radiactivas. Por ejemplo, la contaminación de un minero que trabaja en una mina que contenga minerales radiactivos.

En la contaminación externa las sustancias radiactivas se depositan en la piel y penetran a través de ella.

En la contaminación interna se incorporan al interior del organismo humano a través de los alimentos, el aire o heridas.

En la contaminación, si la sustancia se ha introducido en el organismo, seguirá su actividad ionizante aunque el individuo se haya alejado de la fuente, puesto que el elemento radiactivo ya está en el organismo.

1.2 Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes

1.2.1 Recuerdo histórico

Referencias históricas en el conocimiento del efecto biológico de las radiaciones ionizantes:

Wilhelm Conrad Roentgen fue el primero que describió la producción y el uso médico de los Rayos X en 1895. Inmediatamente se generó un enorme interés por el uso de esta nueva tecnología de forma que durante los siguientes 25 años, además de aplicarse para la visualización de los huesos, se aplicó con gran entusiasmo, y ningún control, a casos como acné, y eliminación del vello facial. De forma muy simplista se argumentaba que un agente que no podía ser percibido por los sentidos, no podía hacer daño alguno. Es curioso que en la actualidad, éste mismo argumento (aplicado tanto a la radiación ionizante como a la no ionizante) es el que más miedo desata entre la población.

Ya en 1896 se empezaron a referir problemas: a los tres meses de la publicación de Roentgen, cuyo efecto más llamativo era poder ver los huesos, (de hecho para llamar la atención sobre su descubrimiento,

mandó una radiografía de la mano de su mujer a varios científicos, un investigador tratando de visualizar una moneda a través de los huesos de su cabeza se produjo una alopecia (pérdida de pelo) local.



Primera radiografía tomada por Wilhelm Röntgen en 1896.

Thomas Edison y Tesla notaron molestias y enrojecimiento de los ojos tras experimentos de larga duración. Edison advirtió de estos posibles efectos de los Rayos X y Stevens describió la producción de un eritema (enrojecimiento de la piel) doloroso como consecuencia de la exposición. Estos avisos llegaron demasiado tarde para el ayudante de Edison quien tras sufrir varias radiodermatitis (era quien en las demostraciones públicas metía su mano en el fluoroscopio) sufrió la amputación de su brazo y murió de cáncer en 1904.

Antes de que pasara un año del descubrimiento de los rayos X, además de constatarse quemaduras en muchos de los que los manipulaban, se empezaron a referir problemas sistémicos. Un técnico de laboratorio que ya había tenido varias dermatitis, empezó a tener fiebre alta, diarrea y vómitos y otro, cuyos experimentos producían una exposición de su abdomen a estos rayos durante 2 horas al día, se quejaba de dolor abdominal y diarrea que desapareció tras unos días en el campo, para volver a aparecer cuando reanudó sus experimentos y sólo desaparecieron cuando decidió proteger su cuerpo con plomo.

Curiosamente éste incipiente reconocimiento de que los rayos X podían tener efectos biológicos llevó a algunos médicos ya en 1896 a tratar a una mujer con cáncer de mama con esta radiación.

La causa de estos efectos se debatió durante varios años y los argumentos variaban desde decir que los rayos X no tenían efectos, a decir que eran las cargas eléctricas, las partículas de platino del tubo, los rayos ultravioletas o la formación de ozono en los tejidos las res-

ponsables de los efectos. Existe sin embargo un artículo de 1896 que achacaba los efectos a los propios rayos X. La confirmación de que esto era cierto, tuvo que esperar a los experimentos realizados en ratas en 1900 y confirmados en 1901.

A los rayos X se unió poco después otro descubrimiento: la radioactividad natural, descubierta por Becquerel tan solo dos meses después de la publicación de los trabajos de Roentgen; sin embargo, no se le dio importancia a este fenómeno hasta que en 1898 Marie y Pierre Curie publicaron su descubrimiento del Radio. Tampoco se estimó como peligroso. Tanto Becquerel como Pierre Curie sufrieron eritemas en la piel por llevar muestras de materiales radioactivos en los bolsillos.

Primeros casos de cáncer: Tan sólo cuatro años después de describirse estos primeros efectos locales (radiodermatitis) comenzaron a aparecer carcinomas cutáneos escamosos sobre las lesiones de dermatitis. Los tumores eran muy malignos, posiblemente porque la exposición continuada a radiación aceleraba el proceso cancerígeno. Empezaron a contabilizarse numerosas muertes.

Cuando en 1936 la Sociedad Roentgen de Alemania levantó un monumento a la memoria de sus miembros muertos, se registraron 169 nombres a los que se añadieron en 1959 otros 191. Los nombres provenían de 22 países. La causa de muerte en las tres cuartas partes de los casos fue cáncer de piel, seguida de anemia, leucemias, accidentes y otras causas entre las que se listaban desde astenia hasta quemaduras en el pecho por el transporte del Radio.

Los primeros casos de leucemia se refirieron en una publicación científica en 1911.

Se trataba de cuatro casos que habían experimentado una prolongada exposición a radioactividad. A estos se añadieron en los siguientes 20 años muchos más, lo que llevó a sospechar que este tipo de leucemia podría tener alguna relación con la radiación. Sin embargo en 1934 cuando se revisaron los daños producidos o atribuidos a los Rayos X o al Radio no se pudo decidir si se debía incluir la leucemia o no. Ese año Marie Curie murió de una leucemia mieloide crónica. A pesar de que ése año se vio que la irradiación de animales les producía leucemia, no fue hasta 10 años después cuando se pudo establecer una fuerte relación epidemiológica entre radiación y leucemia en seres humanos. En 1944 se emparejó la lista de los miembros de la Sociedad Americana de Rayos Roentgen con las listas de muertes aparecidas en tres revistas médicas y encontró que de las 173 muertes con causa

conocida el 4,57% fueron debidas a leucemias frente al 0,44% de más de 50.000 muertes entre no radiólogos publicadas en otras revistas médicas. Este riesgo 10 veces superior era estadísticamente significativo.

Desde antiguo se sabía que los mineros de las montañas de Harz, Alemania tenían una tasa de mortalidad elevada por lo que se llamaba "enfermedad de la montaña". En 1879 se demostró que era cáncer de pulmón. Entre 1875 y 1912 el 42% de las muertes tenían éste diagnóstico. En las minas en las que trabajaban se había extraído de forma sucesiva, plata, níquel, cobalto, bismuto, arsénico y pechblenda hasta que, dos años después del descubrimiento de Roentgen, el matrimonio Curie aisló el Radio de unos óxidos procedentes de estas minas. Con posterioridad se extrajo el Radio y luego Uranio. En 1939 se midió la radioactividad del aire en las minas arrojando un promedio de 3 micro curios/m³. La idea de que los cánceres podrían ser atribuidos al radón se propuso en 1921, aunque otros autores señalaron que factores como la pneumoconiosis, el arsénico y otros podrían haber intervenido también.

La teoría genética del cáncer no se había enunciado todavía, pero en 1930 McCombs ya había propuesto la hipótesis de que "el cáncer es debido principalmente a una mutación en una célula somática debida, en algunos casos, posiblemente a la ionización" e incluso planteó que dicho mecanismo podría estar involucrado en la gran incidencia de cáncer entre las trabajadoras de esferas luminosas de reloj.

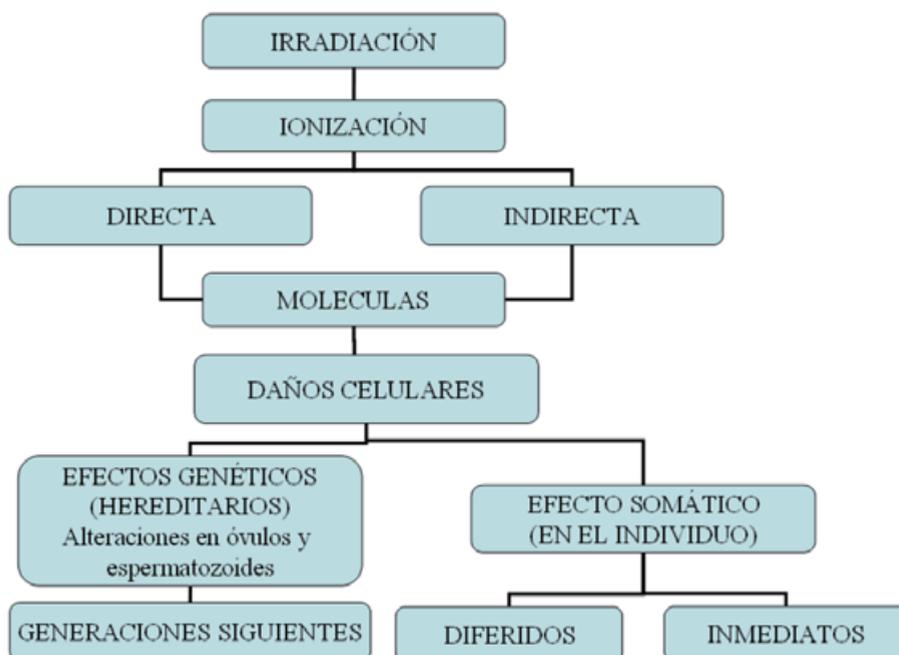
La posibilidad de dañar el material genético se demostró en 1907 cuando Bardeen irradiando espermatozoides de sapos produjo malformaciones en su descendencia. Veinte años más tarde en 1927, Muller demostró que los rayos X podían producir mutaciones en moscas y que el efecto era aproximadamente proporcional a la dosis administrada.

Estos estudios sentaron la base de la radiobiología e inspirarían los intentos de protección frente a los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.

1.2.2 Tipos de daño biológico.

Clásicamente se ha considerado al material genético de la célula, el ADN, como la diana de la radiación ionizante y que sus efectos se derivan del daño que se provoca en el mismo.

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes están ocasionados por el daño infringido a las células como consecuencia de la interacción de la radiación con la materia.

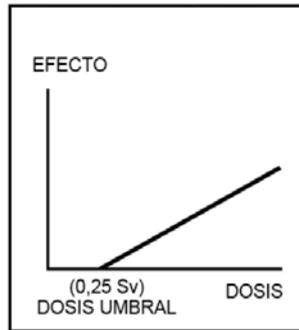


El daño, puede ocasionar muerte o modificación celular, lo que a su vez, puede afectar al normal funcionamiento de los diferentes órganos o tejidos.

Si el número de células que mueren es considerable, se observará daño al tejido u órgano afectado, y consecuentemente, al individuo. Este tipo de daño ocurrirá en aquellos individuos que reciban una dosis de radiación por encima del umbral determinado para cada efecto. Son los llamados efectos deterministas, no estocásticos, no aleatorios y dosis-dependientes. Dependen de la dosis recibida y acumulada existiendo efectos agudos y efectos tardíos.

Los efectos deterministas se presentan a partir de una dosis umbral que para una exposición de cuerpo entero es de aproximadamente 500 mSv, y en un corto período de latencia. Los bombardeos de Hiroshima y Nagasaki, los estudios sobre pacientes expuestos a altas dosis de radiación, los accidentes con liberación de radiactividad y algunos expe-

rimentos animales son los que más han contribuido al conocimiento de estos efectos determinísticos.



Efectos deterministas: existe una dosis umbral a partir de la cual se puede producir el daño, y la probabilidad de que ocurra aumenta conforme aumenta la dosis.

La severidad o gravedad del efecto aumenta a partir de la dosis umbral; se establece una relación clara entre el agente causante y el efecto.

Estos efectos dan lugar a lo que denominamos Síndrome Agudo por Radiación, con manifestaciones clínicas en la sangre (a partir de 2 Gy se produce una disfunción de la médula ósea), gastrointestinales (por descamación del epitelio intestinal a partir de 10 Gy) y del sistema nervioso central (a partir de 20 Gy) y son consecuencia de la muerte de muchas células en el tejido expuesto, deteriorando su funcionamiento. Los efectos se ven a las pocas horas (si la dosis es muy alta) o días de la irradiación, aunque alguno como las cataratas, o hipotiroidismo pueden tardar en verse hasta años.

Otros efectos determinísticos son esterilidad temporal en varones a partir de una dosis en testículos de 0,15 mGy, y permanente si la exposición es de 3,5-6 Gy, mientras que en mujeres dosis de 2,6-6 Gy causarían esterilidad.

Por último, efectos determinísticos que han recibido especial atención son el retraso mental y malformaciones congénitas como consecuencia de la irradiación prenatal.

La ICRP (siglas en inglés de la Comisión Internacional de Protección Radiológica), que para estos efectos prefiere el término "reacciones tisulares" hace notar en su nuevo informe que "para dosis absorbidas en el rango de 100 mGy no se considera que los tejidos reflejen ninguna

afectación funcional". Esto se aplica tanto a dosis agudas (recibidas en un solo momento) como a situaciones en las que estas dosis bajas se reciben de forma fraccionada y se acumulan, por ejemplo anualmente.

La ICRP manifiesta que por debajo de 100 mGy no cabe esperar malformaciones congénitas. Para el caso de retraso mental, la irradiación en el período más sensible (8-15 semanas de gestación) apoya la existencia de un umbral en los 300 mGy, por debajo del cual no se espera un efecto; incluso disminuciones del coeficiente intelectual, no serían significativas por debajo de los 100 mGy.

Dependiendo del tiempo que tardan en aparecer, los efectos biológicos de las radiaciones se clasifican en agudos y crónicos.

EFFECTOS AGUDOS:

Irradiaciones Globales: Cuanto mayor es la dosis recibida, más precoz, más rica y prolongada es la sintomatología. Son efectos precoces debidos a pérdidas celulares. La lesión principal es la aplasia medular (desaparición de glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas).

A partir de dosis superiores a 1 Gy para radiaciones X o gamma y 0,3 Gy para neutrones y en exposiciones de pocos minutos se verifica efectos sobre tejido hematopoyético (sangre), que son más graves cuanto mayor es la dosis. Está establecido el nivel de dosis/respuesta.

Irradiaciones Parciales:

- **Piel:** A partir de 10 Gy para radiaciones X y gamma y en exposiciones de pocos minutos, se produce una radiodermatitis exudativa.
- **Pelo:** Alopecia tras irradiación localizada del cuero cabelludo, en exposiciones de pocos minutos e iguales o superiores a 3 Gy.
- **Gónadas:** Las células testiculares son muy radiosensibles y a partir de dosis de 0,3 Gy. Para radiaciones X y gamma y en exposiciones de breves minutos se produce oligospermia. Dosis superiores a 4 Gy pueden entrañar esterilidad definitiva. En la mujer los ovarios tienen una radiosensibilidad menor y la esterilidad se produce a dosis superiores 8 Gy.

EFFECTOS TARDIOS: Sobrevienen de forma retardada después de la irradiación, haya sido ésta, breve o prolongada.

Ojo: Catarata, a partir de dosis acumuladas para el cristalino de 10 Gy en radiaciones X y 0,8 Gy en neutrones.

Piel: Radiodermatitis crónicas, con atrofia, hiperqueratosis y telangiectasias, en exposiciones repetidas de 5 mGy/día y dosis acumulada superior a 10 Gy.

Embrión y Feto: En ciertas ocasiones accidentales, la irradiación de la mujer embarazada puede conducir a malformaciones fetales, que depende la dosis recibida en el feto y del momento de la irradiación en el curso de la vida fetal:

- Malformaciones cerebrales, malformaciones óseas: A partir de dosis de 0,3 Gy en la fase de organogénesis.
- Retraso intelectual: Con dosis recibidas en el feto superiores a 0,5 Gy después de la 8a semana de gestación.

Si sobre la célula no se produce un daño mortal, pero resulta modificada en su estructura por el efecto de la radiación, (daño al ADN), generalmente se pondrán en marcha los mecanismos de reparación celular, de modo que, si la reparación no es completa ("ad integrum"), y se produce la supervivencia de la célula con una mutación, la modificación será transmitida a las células hijas, que, si son somáticas, podrían degenerar a una neoplasia en el órgano o tejido afectado del individuo expuesto, pero, si las células afectadas son las responsables de la transmisión de la información genética a los descendientes de los individuos expuestos (óvulos y espermatozoides) se podría inducir una enfermedad hereditaria.

Estos efectos, ya sean somáticos (afectan a la salud del individuo que ha recibido la irradiación), o ya sean genéticos (afectan a la salud de los descendientes del individuo irradiado), se denominan efectos estocásticos, (de naturaleza aleatoria, no dosis-dependiente).

Algunos ejemplos de tumores radioinducidos:

- Epitelioma espinocelular cutáneo: A partir de lesiones de radiodermatitis crónica. Se necesitan dosis acumuladas superiores a 15 Gy.
- Osteosarcoma: Por incorporación de radionucleidos con tropismo óseo, con dosis acumuladas en esqueleto superiores a 8 Gy.

– Leucemia: Es el cáncer radioinducido más común. Es la patología estocástica más frecuente entre las víctimas de explosiones nucleares y exposiciones profesionales.

■ Todas las formas de leucemia pueden ser radioinducidas salvo las leucemias linfoides crónicas.

Cáncer primitivo de pulmón: En casos de exposición a radiaciones alfa, son cánceres ligados al radón, sobre todo en exposiciones de trabajos de minería.

No obstante, hay que señalar que el camino más frecuente, en la interacción de las radiaciones ionizantes con las células a bajas dosis y bajas tasas de dosis, es la supervivencia con reparación completa de la célula.

Así pues, los efectos estocásticos son el cáncer producido por mutaciones en células somáticas y los efectos hereditarios debidos a mutaciones en las células germinales.

Aparecen en función de la dosis. Es decir, la probabilidad de que aparezca el efecto es proporcional a la dosis recibida, pero no su gravedad. En este caso, no existe una dosis umbral o valor mínimo de dosis. Es decir, desde las dosis más bajas existe la probabilidad de desarrollar la enfermedad, y esta probabilidad aumenta conforme aumenta la dosis.

La ICRP dice que los estudios epidemiológicos y experimentales proporcionan evidencia de un efecto cancerígeno de la radiación ionizante (aunque existen incertidumbres) a dosis de 100 mGy o menores.

En cuanto a efectos hereditarios, no existe una evidencia directa de que la exposición paterna a radiación ocasione un aumento de enfermedades hereditarias, pero la evidencia de la experimentación animal hace que este riesgo deba ser tenido en cuenta.

Ante la aparición de un cáncer no se puede saber con certeza si éste ha sido causado por la radiación, pero sí se puede estimar la probabilidad de que ese cáncer haya sido producido por la radiación en función de la dosis recibida.



Efectos estocásticos: desde las dosis más bajas existe la probabilidad de desarrollar la enfermedad.

Según el tipo de células afectadas, los efectos biológicos de las radiaciones pueden ser:

- A) **EFFECTOS EN CÉLULAS SOMÁTICAS:** Cuando afectan a las células que forman parte de los diferentes tejidos del cuerpo, excepto los tejidos reproductores (gonadales). A medio o a largo plazo, estos efectos pueden dar origen al cáncer y a cambios fisiológicos y estructurales degenerativos.
- B) **EFFECTOS EN CÉLULAS GERMINALES:** Llamados también efectos genéticos o hereditarios, se denominan así cuando se dan en las células germinales de los tejidos reproductores, llamados también gametos (ovocitos y espermatozoides). Cualquier mutación que sufran estas células y que no comprometan su viabilidad, puede ser transmitida de una generación a otra.

Mecanismos biofísicos del daño biológico:

La radiación ionizante es un tipo de radiación electromagnética, que tiene la propiedad (por su alta energía) de ionizar átomos o moléculas, es decir, desplazar electrones de las moléculas. Al desplazar un electrón de un átomo, se crea un par de iones: Un ión positivo (al que se le ha quitado el electrón), y un electrón que tiene una carga negativa.

Desde el punto de vista de la física los efectos son distintos para los distintos tipos de radiación.

Las radiaciones de alta LET (partículas subatómicas: alfa, neutrones y protones) interactúan con la materia de forma directa y pueden producir dos fenómenos:

- **Excitación atómica**, cuando los electrones son impulsados a un nivel superior, volviendo posteriormente al estado inicial tras emitir fotones luminosos.
- **Ionización**, cuando los electrones son expulsados del átomo o molécula.

Dependiendo de la energía del fotón incidente las radiaciones de baja LET, pueden interactuar con los átomos de tres formas diferentes originando la aparición de partículas cargadas.

- **Produciendo el efecto fotoeléctrico**, que supone la absorción de toda la energía del fotón por el átomo. Esa energía es transferida a un electrón cortical que es expulsado del átomo.
- **Dispersión de Compton**: el fotón incide sobre el electrón y parte de su energía es transferida al electrón, saliendo el fotón en dirección distinta a la inicial, con una menor energía y frecuencia. Sucede a energías de 0,5 a 10 MeV.
- **Formación de pares**: se produce un electrón y un positrón (electrón cargado positivamente). Sucede dentro del campo eléctrico del núcleo atómico y a altas energías, por encima de 1,02 MeV.

Con energías bajas, el efecto fotoeléctrico es dominante pero se hace menos común al aumentar la energía del fotón.

1.3 Protección radiológica ante radiaciones ionizantes

El punto de partida fundamental para la protección radiológica tuvo lugar en 1949 durante una conferencia en Canadá donde se concluyó que "puede que exista cierto riesgo a cualquier nivel de exposición" y también que "puede que el riesgo para un individuo no pueda determinarse de forma precisa, pero por muy pequeño que sea se estima que no es cero".

Este principio es el que inspiró posteriormente toda la filosofía de la protección radiológica. La ICRP ha construido su filosofía sobre tres bases:

El uso de la radiación debe estar justificado a fin de que el riesgo esté contrarrestado por el beneficio.

Siguiendo este principio por ejemplo, se ha abandonado la rutinaria práctica de hacer radiografías como parte de los reconocimientos médicos laborales.

Optimización. Todas las exposiciones deben mantenerse tan bajas como sea posible, tomando en cuenta todos los factores económicos y sociales.

Limitación. Todas las exposiciones deben estar por debajo del límite de dosis apropiado.

1.3.1 Magnitudes y unidades

ACTIVIDAD RADIATIVA (Becquerelio): capacidad de los átomos para emitir un determinado tipo de radiaciones ionizantes. 1 Bq es 1 desintegración del átomo en 1 segundo.

DOSIS ABSORBIDA (Gray): es la energía media absorbida en el medio por unidad de masa. $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Julio /Kg}$. No tiene en cuenta el efecto biológico, que depende del tipo de radiación y el tejido expuesto.

DOSIS EQUIVALENTE (Sievert): es la dosis absorbida en un órgano o tejido ponderada en función del tipo de radiación.

DOSIS EFECTIVA (Sievert): es la suma ponderada de las dosis equivalentes en los distintos órganos y tejidos del cuerpo. Informa sobre el riesgo global en el organismo humano.

Desde el punto de vista de la protección Radiológica, para establecer límites de dosis, se usan la dosis equivalente y la dosis efectiva.

La dosis equivalente es una magnitud física que describe el efecto relativo de los distintos tipos de radiaciones ionizantes sobre los tejidos vivos. Su unidad de medida es el Sievert. La dosis equivalente es un valor con mayor significado biológico que la dosis absorbida.

La dosis equivalente E es calculada multiplicando la dosis absorbida D por un factor de ponderación o wR (por las siglas en inglés de radiation weighting factor). Este factor vale 1 para rayos X, rayos gamma y partículas beta, pero que es mayor para protones, neutrones, partículas

alfa. Así se tiene en cuenta no sólo la dosis absorbida sino también el tipo de radiación. Para una misma dosis absorbida, los rayos X darán menores dosis equivalentes que las partículas α .

TIPO DE ENERGÍA	FACTOR PONDERACIÓN
Fotones	1
α	20

TIPO DE ENERGÍA FACTOR PONDERACIÓN Fotones 1 α 20 En radiobiología y protección radiológica, se puede definir la dosis efectiva desde distintos puntos de vista, siendo lo más habitual su uso desde el punto de vista del individuo expuesto a una radiación ionizante.

Esta magnitud es un indicador cuantitativo de la probabilidad de que pueda ocurrir un efecto estocástico, generalmente cáncer, sobre una persona irradiada a cuerpo completo.

A partir de los estudios epidemiológicos (supervivientes de Hiroshima y Nagasaki, minería del uranio y aplicaciones médicas) se calcularon la probabilidad de que un cáncer pudiera tener lugar para una irradiación dada en un órgano determinado.

Para calcular la dosis efectiva debida a una irradiación a cuerpo entero, se debe ponderar el efecto para cada órgano irradiado. Estos factores dependerán tanto de la masa de cada órgano como de su radiosensibilidad. Por tanto, la dosis efectiva tiene en cuenta no sólo la dosis absorbida y el tipo de radiación, sino también la radiosensibilidad de los órganos irradiados.

La ICRP definió estos factores para 6 órganos principales y un órgano promedio denominado resto. En sus recomendaciones más recientes se definieron 12 órganos más el órgano ficticio resto. En la edición de las nuevas recomendaciones (2007) se aumenta el número hasta los 15 órganos más el resto.

Los factores de ponderación (w_T) para los correspondientes órganos utilizados en la actualidad son:

TEJIDO	wT
Gónadas	0.20
Médula ósea	0.12
Colon	0.12
Pulmones	0.12
Estómago	0.12
Vejiga	0.05
Pecho	0.05
Hígado	0.05
Esófago	0.05
Tiroides	0.05
Hueso	0.01
Piel	0.01
Resto	0.05

De estos factores se deduce que los órganos más sensibles a la radiación son las gónadas (ovarios y testículos).

Los órganos que componen el resto son las glándulas suprarrenales, el cerebro, el intestino grueso superior, el intestino delgado. Los riñones, el músculo, el páncreas, el bazo, el timo y el útero. Cada uno de ellos se pondera en función de la masa asignada a la persona de referencia.

1.3.2 Los criterios de protección radiológica

Se aplican los tres criterios básicos de radioprotección

- Justificación de la práctica porque existe un beneficio positivo.
- Optimización de la práctica para mejorar la relación beneficio/riesgo.

- Limitación de las dosis para impedir que los individuos asuman riesgos no aceptables.
- Todos estos criterios se han de aplicar en tres grupos de personas:
- Los trabajadores directamente involucrados en la práctica (exposición ocupacional).
- Los miembros de la población que están expuestos (exposición pública).

Los pacientes que realizan un tratamiento o examen médico (exposición médica). Es importante reseñar que si bien existe una limitación de dosis para los trabajadores y el público en general, no existe dosis límite para los pacientes que se someten a exámenes médicos. En ellos, la protección Radiológica se basa en la justificación de la exploración y en la optimización de la misma (usar la menor dosis posible).

1.3.3 Medidas preventivas para los trabajadores expuestos frente a radiaciones ionizantes

En general, existen 4 medidas preventivas que toda persona que trabaje con radiaciones ionizantes debe conocer.

- Alejamiento. La intensidad de la radiación decrece con el cuadrado de la distancia. Por tanto, cuanto más lejos se esté del haz de radiación, menor será la dosis recibida.
- Apantallamiento. Disminuimos la dosis usando elementos de protección individual y blindajes estructurales (cristales y puertas plomadas), así como cerrando las puertas durante el funcionamiento de las salas. Todos estos elementos de apantallamiento están fabricados de un material adecuado al tipo de radiación ante el que pretendemos proteger. Por ejemplo, el plomo para frenar los rayos X.
- Reducción del tiempo de exposición y permanencia del número mínimo de personas en el interior, que estarán adiestradas para así reducir al máximo el tiempo de trabajo dentro de la sala.
- Señalización de las zonas, según la legislación vigente.



Esquema representativo de la clasificación de las zonas en un servicio de Radiodiagnóstico.

1.3.4 Sistema de limitación de dosis

Observar escrupulosamente los límites anuales de dosis constituye una medida fundamental en la protección frente a las radiaciones ionizantes. Estos límites, establecidos en el RD 783/2001 son valores que nunca deben ser sobrepasados y que se aplican a la suma de las dosis recibidas por exposición externa e interna en el periodo considerado. Los límites de dosis se aplican a la suma de las dosis procedentes de las exposiciones externas en el período especificado y las dosis comprometidas a 50 años a causa de las incorporaciones producidas en el mismo período. En su cómputo no se incluirá la dosis debida al fondo radiactivo natural ni la exposición sufrida como consecuencia de exámenes y tratamientos médicos.

1.3.4.1 Límites de dosis para los trabajadores expuestos.

El límite de dosis efectiva para trabajadores expuestos será de 100 mSv durante todo período de cinco años oficiales consecutivos, sujeto a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial.

Independientemente de lo expresado anteriormente:

- El límite de dosis equivalente para el cristalino será de 150 mSv por año oficial.
- El límite de dosis equivalente para la piel será de 500 mSv por año oficial. Dicho límite se aplicará a la dosis promediada sobre cualquier superficie de 1 cm², con independencia de la zona expuesta.
- El límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos será de 500 mSv por año oficial.

1.3.4.2 Protección especial durante el embarazo y la lactancia

Tan pronto como una mujer embarazada comunique su estado al titular de la práctica, la protección del feto deberá ser comparable a la de los miembros del público. Por ello, las condiciones de trabajo de la mujer embarazada serán tales que la dosis equivalente al feto sea tan baja como sea razonablemente posible, de forma que sea improbable que dicha dosis exceda de 1 mSv, al menos desde la comunicación de su estado hasta el final del embarazo.

Desde el momento en que una mujer que se encuentre en período de lactancia, informe de su estado al titular de la práctica, no se le asignarán trabajos que supongan un riesgo significativo de contaminación radiactiva, puesto que si sustancias radiactivas penetran en el organismo de la mujer (por inhalación, ingestión o penetración dérmica) éstas serán excretadas por la leche materna. En tales supuestos deberá asegurarse una vigilancia adecuada de la posible contaminación radiactiva de su organismo.

Los criterios generales de Protección Radiológica se aplican en su totalidad a la mujer gestante y no difieren de los que se aplican a los hombres pero además se deben tener en consideración diferentes criterios particulares que se aplican exclusivamente al embrión:

Los riesgos específicos del embrión en desarrollo, que son distintos a las de los adultos.

El status del embrión como un ser independiente miembro del público (es decir, el embrión tiene un límite de dosis como cualquier persona del público en general, y no como la trabajadora).

La prevención de la irradiación del embrión se maneja considerando que está en el vientre de su madre.

La evaluación de la exposición del embrión es diferente de la exposición de su madre.

EFFECTOS BIOLÓGICOS PARTICULARES EN LA IRRADIACIÓN DEL EMBRIÓN

Se debe considerar muy especialmente que existe un período de la gestación, que corresponde al desarrollo neuronal (semana 8 a 15) y durante el cual hay una particular sensibilidad del embrión a tener trastornos neurológicos graves como por ejemplo el "retardo mental severo" que ocasiona una disminución de su coeficiente intelectual.

Esta situación particular determina que se deben tomar medidas preventivas para detectar precozmente el embarazo antes de que pueda ocurrir una irradiación y que una vez ocurrido el embarazo se deben controlar las dosis a fin de que el embrión no supere los límites establecidos para el público.

La madre que sea trabajadora profesionalmente expuesta debe comunicar la novedad inmediatamente a fin de tomar las previsiones del caso.

EL EMBRIÓN ES UN MIEMBRO DEL PÚBLICO

Los valores límites de dosis que están establecidos para los miembros del público son inferiores a los del personal profesionalmente expuesto por varias razones que lo diferencian marcadamente del personal en condición de profesionalmente expuesto:

La exposición puede ser durante toda la vida o sea un período de tiempo mucho mayor. Incluye a integrantes con condiciones físicas disminuidas y/o mayor sensibilidad a ciertos riesgos (niños).

No reciben el salario y otros beneficios tal como ocurre con los trabajadores.

No han elegido la condición de expuestos a la radiación.

No están sometidos a un control rutinario de las dosis que reciben.

Por estas razones al embrión le corresponde el status de un miembro del público y aunque es un caso particular, por la relación con su madre, debe ser incluido en el grupo de límites para el público, o sea 1mSv por año y no más de 1/20 de los valores de incorporación establecidos para los trabajadores. Por lo tanto en el caso de mujeres trabajadoras embarazadas, se recomienda que, a partir del momento en que el embarazo ha sido declarado y por el resto de su evolución, la dosis equivalente en la superficie del abdomen no debe ser superior a 2 mSv (se estima que recibiendo 2 mSv en la superficie del abdomen la dosis dentro del útero será de 1 mSv).

LA PREVENCIÓN DE LA IRRADIACIÓN DEL EMBRIÓN

Además del mencionado retardo mental severo, la irradiación durante el período embrionario o fetal puede provocar otros daños en el feto como las malformaciones y la inducción de tumores. En experimentos con animales se ha visto que es posible provocar la muerte con dosis del orden de 0,1 Gy antes o inmediatamente después del implante del embrión en el útero y, posteriormente, con dosis mayores.

Esta situación determina la necesidad de prevenir la ocurrencia de accidentes radiológicos que puedan originar una irradiación importante del embrión y se aconseja que cuando existe la posibilidad cierta de exposiciones potenciales se retire a la mujer embarazada de ese área de trabajo y se le asignen tareas de menor riesgo radiológico.

Como no es posible impedir totalmente la ocurrencia de accidentes y en una situación accidental no hay control sobre las fuentes y las dosis de radiación pueden alcanzar valores superiores a los previstos para el embrión, se deben tomar medidas preventivas colocando por ejemplo carteles de señalización impidiendo el acceso a las mujeres embarazadas en todos aquellos lugares donde puedan presumiblemente ocurrir accidentes.

1.3.4.3 Límite de dosis para personas en formación y estudiantes.

Los límites de dosis para las personas en formación y los estudiantes mayores de dieciocho años que, durante sus estudios tengan que utilizar fuentes, serán los mismos que los de los trabajadores expuestos.

El límite de dosis efectiva para personas en formación y estudiantes con edades comprendidas entre dieciséis y dieciocho años que, durante sus estudios tengan que utilizar fuentes, será de 6 mSv por año oficial.

Independientemente de este límite de dosis el límite de dosis equivalente para el cristalino será de 50 mSv por año oficial, y el límite de dosis equivalente para la piel será de 150 mSv por año oficial. Dicho límite se aplicará a la dosis promediada sobre cualquier superficie de 1 cm², con independencia de la zona expuesta.

Las condiciones de exposición posteriores deberán someterse al criterio del Servicio de Prevención que desarrolle la función de vigilancia y control de la salud de los trabajadores.

El límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos será de 150 mSv por año oficial.

Los límites de dosis para las personas en formación y los estudiantes que no estén sometidos a las disposiciones previstas anteriormente serán los mismos que los establecidos para los miembros del público.

1.3.4.4 Límites de dosis para miembros del público general

El límite de dosis efectiva para los miembros del público será de 1 mSv por año oficial. No obstante, en circunstancias especiales, el Consejo de Seguridad Nuclear podrá autorizar un valor de dosis efectiva más elevado en un único año oficial, siempre que el promedio durante cinco años oficiales consecutivos no sobrepase 1 mSv por año oficial.

Independientemente de lo anterior el límite de dosis equivalente para el cristalino será de 15 mSv por año oficial el límite de dosis equivalente para la piel será de 50 mSv por año oficial.

Principios fundamentales de protección operacional de los trabajadores expuestos

El Real Decreto 783/2001 recoge cuáles son las bases para la protección de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizante.

La protección operacional de los trabajadores expuestos se basará en los siguientes principios:

- a) Evaluación previa de las condiciones laborales para determinar la naturaleza y magnitud del riesgo radiológico y asegurar la aplicación del principio de optimización.
- b) Clasificación de los lugares de trabajo en diferentes zonas, teniendo en cuenta: la evaluación de las dosis anuales previstas, el riesgo de dispersión de la contaminación y la probabilidad y magnitud de exposiciones potenciales.
- c) Clasificación de los trabajadores expuestos en diferentes categorías según sus condiciones de trabajo.
- d) Aplicación de las normas y medidas de vigilancia y control relativas a las diferentes zonas y a las distintas categorías de trabajadores expuestos, incluida, en su caso, la vigilancia individual.
- e) Vigilancia sanitaria, con objeto de restringir la exposición a la radiación ionizante, evitar la dispersión de contaminación radiactiva o prevenir o limitar la probabilidad y magnitud de accidentes radiológicos o sus consecuencias.

1.3.5 Prevención de la exposición. Clasificación y delimitación de zonas.

Establecimiento de zonas

A efectos de protección radiológica, el titular de la práctica identificará y delimitará todos los lugares de trabajo en los que exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites para el cristalino, la piel y las extremidades establecidos en el apartado 2 del artículo 9, y establecerá las medidas de protección radiológica aplicables. Dichas medidas deberán adaptarse a la naturaleza de las instalaciones y de las fuentes, así como a la magnitud y naturaleza de los riesgos. El alcance de los medios de prevención y de vigilancia, así como su naturaleza y calidad, deberán estar en función de los riesgos vinculados a los trabajos que impliquen una exposición a las radiaciones ionizantes.

Clasificación de zonas

El titular de la práctica clasificará los lugares de trabajo, en función del riesgo de exposición y teniendo en cuenta la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales, en las siguientes zonas:

Zona controlada: Es aquella zona en la que:

- Exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalentes para el cristalino, la piel y las extremidades.
- Sea necesario seguir procedimientos de trabajo con objeto de restringir la exposición a la radiación ionizante, evitar la dispersión de contaminación radiactiva o prevenir o limitar la probabilidad y magnitud de accidentes radiológicos o sus consecuencias.

Zona vigilada: Es aquella zona en la que, no siendo zona controlada, exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites de dosis equivalentes para el cristalino, la piel y las extremidades.

Además, las zonas controladas se podrán subdividir en las siguientes:

- Zonas de permanencia limitada: Son aquéllas en las que existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites de dosis.
- Zonas de permanencia reglamentada: Son aquéllas en las que existe el riesgo de recibir en cortos períodos de tiempo una dosis superior a los límites de dosis y que requieren prescripciones especiales desde el punto de vista de la optimización.
- Zonas de acceso prohibido: Son aquéllas en las que existe el riesgo de recibir, en una exposición única, dosis superiores a los límites de dosis.

La clasificación de los lugares de trabajo en las zonas establecidas deberá estar siempre actualizada de acuerdo con las condiciones reales existentes, por lo que el titular de la práctica someterá a revisión la clasificación de zonas basándose en las variaciones de las condiciones de trabajo.

Señalización

El símbolo utilizado para advertir de la presencia de radiaciones es el trébol de tres hojas, Cuando este símbolo se utiliza como advertencia en la entrada a las zonas en las que existe riesgo de irradiación o contaminación, suele estar acompañado de otras indicaciones:

■ El color.

- El color del trébol es una indicación de la intensidad de las radiaciones. Ese color puede ser, de menor a mayor intensidad, gris azulado (zona vigilada), verde (zona controlada), amarillo (zona de permanencia limitada), naranja (zona de permanencia reglamentada) o rojo (zona de acceso prohibido).

■ Indicaciones adicionales.

- Cuando el símbolo del trébol aparece solo, o con puntas radiales alrededor de las hojas del trébol, el significado es que la radiactividad puede afectar únicamente de forma externa, como puede ser el caso en los aparatos de rayos X. Cuando el símbolo aparece sobre una trama punteada, significa que la radiactividad aparece en una forma que puede provocar contaminaciones.

■ Leyendas.

- Las señales además se complementan con una leyenda indicativa al tipo de zona en la parte superior y el tipo de riesgo en la parte inferior.



Sala de telemando de un servicio de Radiodiagnóstico: zona controlada

Requisitos de las zonas

Teniendo en cuenta la naturaleza y la importancia de los riesgos radiológicos, en las zonas controladas y vigiladas se deberá realizar una vigilancia radiológica del ambiente de trabajo. Además, estas zonas:

- Estarán delimitadas adecuadamente y señalizadas de forma que quede de manifiesto el riesgo de exposición existente en las mismas.
- El acceso estará limitado a las personas autorizadas al efecto y que hayan recibido las instrucciones adecuadas al riesgo existente en el interior de dichas zonas. En las zonas controladas, estas instrucciones serán acordes con los procedimientos de trabajo establecidos por escrito por el titular de la práctica.

En las zonas controladas en las que exista:

- Riesgo de exposición externa, será obligatorio el uso de dosímetros individuales.
- Riesgo de contaminación, será obligatoria la utilización de equipos personales de protección adecuados al riesgo existente. A la salida de estas zonas existirán detectores adecuados para comprobar la posible contaminación de personas y equipos y, en su caso, poder adoptar las medidas oportunas.

En las zonas vigiladas debe efectuarse, al menos, mediante dosimetría de área, una estimación de las dosis que pueden recibirse.

El titular de la práctica es el responsable de que se cumpla lo establecido y de que esto se realice con la supervisión del Servicio de Protección Radiológica o la Unidad Técnica de Protección Radiológica o, en su defecto, del Supervisor o persona a la que se le encomienden las funciones de protección radiológica.



Sala de TC: zona de permanencia limitada

1.3.6 Clasificación de los trabajadores

1.3.6.1 Trabajadores no expuestos

Son aquellos en los que es muy improbable que puedan recibir dosis superiores a los límites para los miembros del público. Los trabajadores no expuestos, al tener la consideración de miembros del público.

No necesitan ningún tipo de control dosimétrico.

1.3.6.2 Clasificación de trabajadores expuestos.

El responsable de Protección Radiológica debe clasificar a los trabajadores de la misma, en función del riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes, con objeto de establecer las medidas de vigilancia y control radiológico pertinentes, mediante la vigilancia dosimétrica, individual o del ambiente de trabajo, que resulte más adecuada en cada caso.

Por razones de vigilancia y control radiológico, el titular de la práctica o, en su caso, la empresa externa será responsable de clasificar a los trabajadores expuestos en dos categorías:

- Categoría A: Pertenecen a esta categoría aquellas personas que, por las condiciones en las que se realiza su trabajo, puedan recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.



Trabajadores de categoría A: sala de hemodinámica

- Categoría B: Pertenecen a esta categoría aquellas personas que, por las condiciones en las que se realiza su trabajo, es muy improbable que reciban dosis superiores a 6 mSv por año oficial o a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.



Trabajadora de categoría B: puesto de control de la sala de TC, detrás del cristal plomado.

1.3.7 Información y formación.

El titular de la práctica debe informar antes de iniciar su actividad, a sus trabajadores expuestos, personas en formación y estudiantes que, durante sus estudios, tengan que utilizar fuentes, sobre:

- Los riesgos radiológicos asociados y la importancia que reviste el cumplimiento de los requisitos técnicos, médicos y administrativos.
- Las normas y procedimientos de protección radiológica y precauciones que deben adoptar, por lo que respecta a la práctica en general y a cada tipo de destino o puesto de trabajo que se les pueda asignar.
- En el caso de mujeres, la necesidad de efectuar rápidamente la declaración de embarazo y notificación de lactancia, habida cuenta de los riesgos de exposición para el feto, así como el riesgo de contaminación del lactante en caso de contaminación radiactiva corporal.

El titular de la práctica o, en su caso, la empresa externa deberá proporcionar a los trabajadores expuestos, personas en formación y estudiantes, antes de iniciar su actividad y periódicamente, formación en materia de protección radiológica a un nivel adecuado a su responsabilidad y al riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes en su puesto de trabajo.

1.3.8 Evaluación de la exposición

1.3.8.1 Vigilancia del ambiente de trabajo.

La vigilancia radiológica del ambiente de trabajo comprenderá:

- La medición de las tasas de dosis externas, especificando la naturaleza y calidad de las radiaciones de que se trate.
- La medición de las concentraciones de actividad en el aire y la contaminación superficial, especificando la naturaleza de las sustancias radiactivas contaminantes y sus estados físico y químico.

Los documentos correspondientes al registro, evaluación y resultado de dicha vigilancia deberán ser archivados por el titular de la práctica, quien los tendrá a disposición de la autoridad competente.

Cuando sea adecuado, los resultados de estas medidas se usarán para estimar las dosis individuales.

1.3.8.2 Vigilancia individual.

Las dosis recibidas por los trabajadores expuestos deberán determinarse cuando las condiciones de trabajo sean normales, con una periodicidad no superior a un mes, para la dosimetría externa, y con la periodicidad que en cada caso se establezca para la dosimetría interna, de aquellos trabajadores que están expuestos a riesgo de incorporación de radionucleidos.

La dosimetría individual, tanto externa como interna, será efectuada por los Servicios de Dosimetría Personal expresamente autorizados por el Consejo de Seguridad Nuclear.

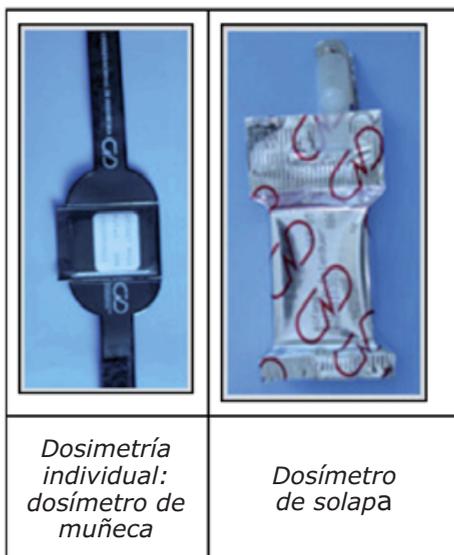
El titular de la práctica o, en su caso, la empresa externa transmitirá los resultados de los controles dosimétricos al Servicio de Prevención que

desarrolle la función de vigilancia y control de la salud de los trabajadores, a quien corresponderá interpretarlos desde el punto de vista sanitario. En caso de urgencia, dicha transmisión deberá ser inmediata.

1.3.8.2.1 Estimación de las dosis de los trabajadores de categoría A.

En relación con los trabajadores expuestos pertenecientes a la categoría A será obligatorio:

- En caso de riesgo de exposición externa, la utilización de dosímetros individuales que midan la dosis externa, representativa de la dosis para la totalidad del organismo durante toda la jornada laboral.
- En el caso de riesgo de exposición parcial o no homogénea del organismo, la utilización de dosímetros adecuados en las partes potencialmente más afectadas (por ejemplo la mano en caso de procedimientos vasculares intervencionistas en los cuales el la radiación se encuentra muy cerca de las manos del profesional).
- En el caso de riesgo de contaminación interna, la realización de las medidas o análisis pertinentes para evaluar las dosis correspondientes.



- Dosímetro de solapa, que se deben colocar en aquella posición que sea representativa de la parte más expuesta de la superficie del cuerpo. En aquellos casos en los que sea necesario el uso del delantal plomado, el dosímetro se colocará debajo de éste y en la posición recomendada anteriormente.
- Dosímetro de muñeca. Está indicada solamente en aquellos casos en que las dosis a las manos puedan ser notablemente superiores a las de la totalidad del organismo, debido a su proximidad al haz de radiación.

1.3.8.2.2 Estimación de las dosis de los trabajadores de categoría B.

Las dosis individuales recibidas por los trabajadores expuestos pertenecientes a la categoría B se podrán estimar a partir de los resultados de la vigilancia realizada en el ambiente de trabajo, siempre y cuando éstos permitan demostrar que dichos trabajadores están clasificados correctamente en la categoría B. Así pues, los trabajadores expuestos de categoría B no necesitan obligatoriamente utilizar dosímetros individuales, basta con estar sometidos a un sistema de vigilancia dosimétrica que garantice que las dosis recibidas son compatibles con su clasificación en categoría B.

Esta dosimetría de área se realiza mediante dosímetros de solapa. Los dosímetros de área están reservados para la estimación de las dosis en lugares o zonas donde pudieran acceder o permanecer trabajadores expuestos de categoría B durante las exposiciones a radiaciones ionizantes

Superación de los límites de dosis.

Cuando a consecuencia de una exposición especialmente autorizada, exposición accidental o exposición de emergencia hayan podido superarse los límites de dosis, deberá realizarse un estudio para evaluar, con la mayor rapidez y precisión posible, las dosis recibidas en la totalidad del organismo o en las regiones u órganos afectados.

Estos casos y los resultados del estudio serán inmediatamente puestos en conocimiento del Servicio de Prevención que desarrolle la

función de vigilancia y control de la salud de los trabajadores, del Consejo de Seguridad Nuclear y del trabajador afectado.

1.3.9 Vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos.

La vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos se basará en los principios generales de Medicina del Trabajo y en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, sobre Prevención de Riesgos Laborales, y Reglamentos que la desarrollan.

Los responsables de las empresas con equipos de radiaciones ionizantes han de formar e informar a su personal, han de tomar medidas preventivas y deben hacer vigilancia de la salud.

Se realizarán reconocimientos médicos a los trabajadores que están en relación con radiaciones ionizantes de forma periódica para detectar enfermedades que todavía no dan síntomas.

1.3.9.1 Exámenes de salud.

Toda persona que vaya a ser clasificada como trabajador expuesto de categoría A debe ser sometida a un examen de salud previo, que permita comprobar que no tiene ninguna incompatibilidad para el trabajo.

Los trabajadores expuestos de categoría A estarán sometidos, además, a exámenes de salud periódicos que permitan comprobar que siguen siendo aptos para ejercer sus funciones. Estos exámenes se realizarán cada 12 meses y más frecuentemente, si lo hiciera necesario, a criterio médico, el estado de salud del trabajador, sus condiciones de trabajo o los incidentes que puedan ocurrir.

1.3.9.2 Examen de salud previo.

El examen médico de salud previo de toda persona que vaya a ser destinada a un puesto de trabajo que implique un riesgo de exposición que suponga su clasificación como trabajador expuesto de categoría A tendrá por objeto la obtención de una historia clínica que incluya el conocimiento del tipo de trabajo realizado anteriormente y de los riesgos a que ha estado expuesto como consecuencia de él y, en su caso, del historial dosimétrico que debe ser aportado por el trabajador.

1.3.9.3 Exámenes de salud periódicos.

Los reconocimientos médicos periódicos de los trabajadores expuestos de categoría A estarán adaptados a las características de la exposición a las radiaciones ionizantes o de la posible contaminación interna o externa y comprenderán un examen clínico general y aquellos otros exámenes necesarios para determinar el estado de los órganos expuestos y sus funciones.

El Servicio de Prevención que desarrolle la función de vigilancia y control de la salud de los trabajadores podrá determinar la conveniencia de que se prolongue, durante el tiempo que estime necesario, la vigilancia sanitaria de los trabajadores de categoría A que hayan sido posteriormente declarados no aptos o hayan cesado en esa actividad profesional.

1.3.9.4 Clasificación médica.

Desde el punto de vista médico y de acuerdo con el resultado de los reconocimientos oportunos, los trabajadores expuestos de categoría A se clasificarán como:

- **Aptos:** Aquellos que pueden realizar las actividades que implican riesgo de exposición asociado al puesto de trabajo.
- **Aptos, en determinadas condiciones:** Aquellos que pueden realizar las actividades que implican riesgo de exposición asociado al puesto de trabajo, siempre que se cumplan las condiciones que al efecto se establezcan, basándose en criterios médicos.
- **No aptos:** Aquellos que deben mantenerse separados de puestos que impliquen riesgo de exposición.

No se podrá emplear o clasificar a ningún trabajador en un puesto específico como trabajador de la categoría A durante ningún período si las conclusiones médicas no lo considerasen apto para dicho puesto específico.

1.3.9.5 Historial médico.

A cada trabajador expuesto de categoría A le será abierto un historial médico, que se mantendrá actualizado durante todo el tiempo que el in-

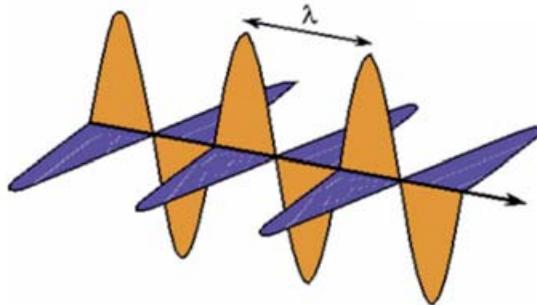
terezado pertenezca a dicha categoría, y que habrá de contener, al menos, las informaciones referentes a la naturaleza del empleo, los resultados de los exámenes médicos previos a la contratación o clasificación como trabajador de categoría A, los reconocimientos médicos periódicos y eventuales, y el historial dosimétrico de toda su vida profesional.

Estos historiales médicos se archivarán hasta que el trabajador haya o hubiera alcanzado los 75 años de edad y, en ningún caso, durante un período inferior a 30 años después del cese de la actividad, en los Servicios de Prevención que desarrollen la función de vigilancia y control de la salud de los trabajadores correspondientes a los centros en los que aquellas personas presten o hayan prestado sus servicios, y estarán a disposición de la autoridad competente y del propio trabajador.

En caso de superación o sospecha fundada de superación de alguno de los límites de dosis establecidos por la ley, se deberá realizar una vigilancia sanitaria especial.

1.4 Radiaciones no ionizantes

Una de las formas de transmisión de energía es la que se realiza a través de la radiación de ondas electromagnéticas, caracterizadas por la existencia de campos eléctricos y magnéticos perpendiculares entre sí y perpendiculares a la dirección de propagación de la onda.



Esquema físico de la radiación electromagnética: campo eléctrico y campo magnético perpendiculares entre sí.

Las ondas electromagnéticas se diferencian unas de otras por la cantidad de energía que son capaces de transmitir, y ello depende de su frecuencia. El conjunto de todas ellas constituye el espectro electromagnético. Ordenados de menor a mayor energía se pueden resumir los diferentes tipos de ondas electromagnéticas de la siguiente forma:

- Campos eléctricos y magnéticos estáticos (imanes, conductores eléctricos de corriente continua, etc.).
- Ondas electromagnéticas de Extremadamente Baja Frecuencia. El intervalo de frecuencias alcanza hasta 3 kilohercios. (Líneas eléctricas de corriente alterna)
- Ondas electromagnéticas de Muy Baja Frecuencia. El intervalo de frecuencias es de 3 a 30 Kilohercios. (Algunas máquinas de soldadura por inducción).
- Ondas electromagnéticas de Radio Frecuencia (RF). El intervalo de frecuencias es de 30 Kilohercios a 1.000 millones de hercios (=1Gigahercio). (Ondas de radio y televisión, soldadura de plásticos, etc.).
- Microondas (MO). Ondas electromagnéticas entre 1 y 300 Giga-hercios. (Hornos de microondas, telefonía móvil, etc...)
- Infrarrojos (IR). Ondas electromagnéticas entre 300 Giga Hercios y 385 Terahercios (1 Terahercio = 1.000 Gigahercios). (Lámparas de infrarrojos, material candente, etc.).
- Luz visible. Ondas electromagnéticas entre 385 Terahercios y 750 Terahercios. (Iluminación).
- Ultravioleta (UV) no ionizante. Ondas electromagnéticas entre 750 Terahercios y 3000 Terahercios. (Lámparas solares, lámparas de detección de taras, lámparas de insolación industrial, etc.).

Las radiaciones de ondas electromagnéticas de mayor frecuencia que las mencionadas tienen la capacidad de ionizar, es decir, de variar la estructura de átomos o moléculas, porque poseen la energía necesaria para ello (radiaciones ionizantes).

Respecto a las radiaciones no ionizantes, sus efectos sobre el organismo son de diferente naturaleza dependiendo de la banda de frecuencias en la que nos movamos. Así, mientras que las Radiaciones Ultravioletas pueden producir afecciones en la piel (eritemas) y conjuntivitis por exposición de la piel y los ojos respectivamente, la Radiación Infrarroja puede lesionar la retina o producir opacidad del cristalino del ojo y daños en la piel por cesión de calor.

Las Microondas son especialmente peligrosas por los efectos sobre la salud derivados de la gran capacidad de calentamiento que poseen, al potenciarse su acción cuando inciden sobre moléculas de agua que forman parte de los tejidos.

Con menor facilidad logran el efecto de calentamiento de los tejidos las ondas electromagnéticas correspondientes a la Radio Frecuencia y Muy Baja Frecuencia.

Respecto a los Campos eléctricos y magnéticos estáticos y Ondas electromagnéticas de Extremadamente Baja Frecuencia, se sabe que pueden tener efectos nocivos en el sistema nervioso y cardiovascular. Se discute en la actualidad la fiabilidad de ciertos estudios que otorgan la capacidad de producir ciertos tipos de cáncer a las radiaciones de Extremadamente Baja Frecuencia, pero las restricciones que actualmente se aplican a este tipo de radiaciones no tienen en cuenta por ahora dichos efectos.

La radiación láser, consiste en un haz direccional de radiación visible, ultravioleta o infrarroja, diferenciándose de ésta en que su emisión corresponde a una frecuencia muy concreta (dentro de la banda correspondiente) y no a una mezcla de varias, como ocurre cuando se habla de una radiación visible UV o IR.

Criterios preventivos básicos

Como norma general se tendrá en cuenta que la exposición a radiaciones disminuye rápidamente a medida que aumenta la distancia entre el foco emisor y el individuo. El aumento de la distancia es la única medida preventiva efectiva para disminuir la exposición a campos magnéticos estáticos.

Las radiaciones que inciden en un objeto lo pueden atravesar, ser absorbidas por él o ser reflejadas por dicho objeto. La capacidad de una radiación para penetrar en un objeto depende de la longitud de onda de la misma y de las características estructurales del material. Una de las técnicas de protección frente a las radiaciones electromagnéticas consiste en apantallar convenientemente dicha radiación. Las pantallas deben estar conformadas con material apropiado.

Las radiaciones correspondientes a las bandas del Infrarrojo y Ultravioleta, pueden ser apantalladas fácilmente, incluso con pantallas cuya transparencia permite acceder visualmente a la zona confinada.

El apantallamiento con mallas metálicas, apropiado, por ejemplo, para la protección frente a RF o MO, requiere el cálculo de la luz de la malla teniendo en cuenta la longitud de onda.

La intensidad del campo eléctrico puede disminuirse encerrando el foco o el receptor en una construcción metálica convenientemente puesta a tierra ("Jaula de Faraday").

El blindaje del foco emisor en el momento de su fabricación es la medida preventiva necesaria en el caso de ciertos tipos de Láseres.

La reducción del tiempo de exposición disminuye las dosis recibidas durante el trabajo.

La señalización de las zonas de exposición, es una medida de control de tipo informativo, muy conveniente cuando la exposición a radiaciones tiene cierta importancia, especialmente para las personas portadoras de marcapasos cardíacos, por el peligro de interferencia en su funcionamiento que algunas radiaciones no ionizantes conllevan.

El uso de protecciones individuales (pantalla facial, gafas, ropa de trabajo, etc.) se limita al caso de radiaciones IR o UV.

Es conveniente realizar mediciones de los niveles de radiación existentes y valorarlos convenientemente por comparación con niveles de referencia técnicamente contrastados.

Es necesaria la realización de reconocimientos médicos específicos (cuando sea técnicamente posible) y periódicos, al personal expuesto a radiaciones.

Vamos a analizar con detalle cada tipo de radiación no ionizante.

1.4.1 Ultravioleta

Según su longitud de onda, se distinguen 3 tipos de radiación ultravioleta:

- UV A 315-400 nm
- UV B 280-315 nm
- UV C 100-280nm

UV-A: también llamada luz negra. Penetra hasta dermis. Tiene efecto acumulativo (memoria), y se sabe que potencian el efecto cancerígeno de la radiación UV-B. Además degeneran el colágeno de la piel, por lo que producen el envejecimiento prematuro de la piel.

UV-B: corresponde a la mayor parte de las radiaciones UV. Tienen un importante efecto cancerígeno.

UV-C: efecto germicida.

La radiación solar nativa, tiene componentes en todas estas longitudes de onda, pero las distintas capas atmosféricas solo permiten que llegue a la superficie del planeta radiaciones en el rango del UVA (90%) y UVB (10%).

La intensidad de la radiación solar es muy variable y es afectada por la posición del sol, que se relaciona con el momento del día y la época del año, también se ve afectada por la latitud en la que nos encontramos, la nubosidad presente, la altitud, la concentración del ozono y finalmente por la presencia de elementos reflectantes o absorbentes.

La radiación ultravioleta puede afectar a las personas de manera directa desde el sol, pero también puede ser radiación dispersa o reflejada. La radiación dispersa se encuentra asociada a nubes, polvo, contaminación, etc; mientras que la reflejada se asocia al suelo o piso, muros, cerros, cuerpos de agua, etc. Estas otras componentes pueden ser muy importantes, ya que por ejemplo la nieve puede reflejar del orden de un 80% de la radiación que recibe, mientras que un césped o prado refleja solo el 10%, la arena seca de la playa un 15% y el mar un 25%.

La evaluación precisa de la exposición que tiene un individuo a lo largo del tiempo, en cada parte de la piel o en los ojos, en casi cualquier actividad que éste realice al aire libre, resulta extremadamente compleja, debido a las constantes variaciones de ángulo de incidencia, movimientos de la persona, variación de las zonas expuestas, intensidad de la radiación, elementos reflectantes o absorbentes de la misma, etc.

Mundialmente se ha desarrollado una práctica herramienta, el Índice Ultravioleta Global, el cual permite aproximarse a la exposición de las personas a la radiación ultravioleta proveniente del sol y al mismo tiempo permite de manera sencilla la información y la interpretación por parte de la población, con el objeto de educar y practicar conductas de protección personal.

Se denomina radiación ultravioleta o radiación UV a la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm y los 100 nm. Su nombre proviene de que su rango empieza desde longitudes de onda más cortas de lo que los humanos identificamos como el color violeta.

1.4.1.1 Fuentes de radiaciones ultravioleta

La fuente más importante de radiación UV es la de origen natural (el sol).

Otras fuentes de radiación UV son las de origen artificial, como por ejemplo:

Fuentes de luz ultravioleta de reactores fotoquímicos

Arcos eléctricos (soldadura con arco)

Fuentes de luz para trabajos de fotograbación

Lámparas de sol artificial (emplean radiación UVA)

1.4.1.2 Efectos biológicos de las radiaciones UV

El riesgo de aparición de los efectos biológicos asociados a la exposición a la radiación ultravioleta, se relacionan con la intensidad de la radiación y con el tiempo de exposición.

Debido a su escasa penetración en la material los principales efectos biológicos de la radiación UV se producen sobre los tejidos más superficiales (la piel y los ojos), produciendo quemaduras, tumores cutáneos, conjuntivitis.

1.4.1.2.1 Efectos en la piel.

En este caso particular, para considerar la probabilidad de aparición de efectos dañinos, hay que destacar como un importante factor de riesgo, el tipo de piel del individuo expuesto, además de los ya referidos, tiempo de exposición e intensidad de la radiación.

Los principales efectos biológicos en la piel asociados a la radiación ultravioleta son:

- **Eritema:** Es un enrojecimiento de la piel que normalmente aparece de cuatro a ocho horas después de la exposición a la radiación ultravioleta y desaparece gradualmente al cabo de unos días.
- **Quemaduras:** Las quemaduras solares pueden ser desde superficiales con eritema, dolor y escasas ampollas con lesión de la epidermis, hasta profundas con abundantes ampollas, flictenas, dolor, eritema intenso, edema y con lesiones hipodérmicas.
- **Fotosensibilización.** Los especialistas de la salud en el trabajo encuentran con frecuencia efectos adversos por exposición de origen profesional a ciertos medicamentos, que pueden tener un efecto sensibilizante con la exposición a la radiación ultravioleta, similar a lo que ocurre con la aplicación tópica de determinados productos, como algunos perfumes, lociones corporales, zumo de limón, etc.
 - Las reacciones a los agentes sensibilizantes pueden implicar:
 - fotoalergia (reacción alérgica de la piel)
 - fototoxicidad (irritación de la piel) tras la exposición a la radiación ultravioleta de la luz solar.
 - Esta fotosensibilización cutánea puede estar producida por cremas o pomadas aplicadas a la piel, por medicamentos a través de la vía oral o parenteral o por el uso de inhaladores bajo prescripción médica. El médico que prescribe un fármaco potencialmente fotosensibilizante debería advertir siempre al paciente que adopte medidas apropiadas para protegerse de los efectos adversos evitando la exposición a la luz solar.

Efectos tardíos

La exposición crónica a la luz solar, del tipo UVA y también la componente UVB, acelera el envejecimiento de la piel e incrementa el riesgo de cáncer de piel.

Varios estudios epidemiológicos han mostrado que la incidencia de cáncer de piel está estrechamente relacionada con la latitud, la altitud y las condiciones atmosféricas, lo cual se relaciona a su vez con la exposición a la radiación ultravioleta.

Aún no se han establecido con exactitud las relaciones cuantitativas entre dosis y respuesta para la carcinogénesis de la piel humana, aunque los individuos de piel blanca, en particular los de origen celta, son mucho más propensos a contraer cáncer de piel. Además, hay que señalar que las exposiciones a la radiación ultravioleta necesarias para provocar tumores de piel en modelos animales pueden tener lugar con lentitud suficiente para que no se produzca eritema, y que la efectividad relativa notificada en esos estudios varía en la misma forma que las quemaduras solares.



Carcinoma epidermoide del labio inferior.



Melanoma de extensión superficial

1.4.1.2.2 Efectos en los ojos

Queratoconjuntivitis actínica. La radiación ultravioleta actínica (UVB) es fuertemente absorbida por la córnea y la conjuntiva. La sobreexposición de estos tejidos provoca la queratoconjuntivitis.

El periodo de latencia varía en razón inversa de la intensidad de la exposición, desde 1,5 a 24 horas, pero normalmente es de 6 a 12

horas; el malestar suele desaparecer en 48 horas como máximo. A continuación aparece una conjuntivitis que puede ir acompañada de eritema de la piel alrededor de los párpados.



Inflamación de la conjuntiva ocular (conjuntivitis) debida a radiaciones UV.

Efectos crónicos.

La exposición laboral de larga duración a la radiación ultravioleta durante varios decenios puede contribuir a la formación de cataratas.

También, la radiación ultravioleta puede causar un pterigion, que es una membrana vascularizada que invade la córnea y progresa hacia la pupila.

1.4.1.2.3 Efectos sobre el sistema inmunológico.

Aunque se dispone de información preliminar, hay cada vez más pruebas de que la radiación ultravioleta tiene un efecto inmunodepresor sobre la piel, tanto a dosis bajas como a niveles de dosis para efectos agudos. En consecuencia, la exposición podría aumentar el riesgo de afecciones virales, bacterianas, parasitarias o fúngicas, así como también favorecer el desarrollo del cáncer.

1.4.1.3 Infrarrojos

La radiación infrarroja, radiación térmica o radiación IR es un tipo de radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas. Consecuentemente, tiene menor frecuencia que la luz visible y mayor que las microondas. Su rango de longitudes de onda va desde unos 700 nanómetros hasta 1

micrómetro. La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor de $-273,15$ grados Celsius (cero absoluto).

El nombre de infrarrojo significa por debajo del rojo pues su comienzo se encuentra adyacente al color rojo del espectro visible.

Los infrarrojos se pueden categorizar en:

- Infrarrojo cercano (0,78-1,1 μm)
- Infrarrojo medio (1,1-15 μm)
- Infrarrojo lejano (15-100 μm)
- La materia, por su caracterización energética emite radiación.

En general, la longitud de onda donde un cuerpo emite el máximo de radiación es inversamente proporcional a la temperatura de éste (Ley de Wien). De esta forma la mayoría de los objetos a temperaturas cotidianas tienen su máximo de emisión en el infrarrojo. Los seres vivos, en especial los mamíferos, emiten una gran proporción de radiación en la parte del espectro infrarrojo, debido a su calor corporal.

Los infrarrojos se utilizan en los equipos de visión nocturna cuando la cantidad de luz visible es insuficiente para ver los objetos. La radiación se recibe y después se refleja en una pantalla. Los objetos más calientes se convierten en los más luminosos.

Un uso muy común es el que hacen los comandos a distancia (teletcomandos o mando a distancia) que generalmente utilizan los infrarrojos en vez de ondas de radio ya que no interfieren con otras señales como las señales de televisión. Los infrarrojos también se utilizan para comunicar a corta distancia los ordenadores con sus periféricos.

La luz utilizada en las fibras ópticas es generalmente de infrarrojos.

La radiación infrarroja produce daño biológico por cesión de calor, por lo para cuantificar el daño se mide la cantidad de energía por unidad de tiempo.

Los órganos más sensibles a esta radiación son los ojos (sobre los que se producen daños en la córnea y la retina) y la piel, sobre la cual el calor puede producir quemaduras.

1.4.1.4 Luz visible

Se denomina espectro visible a la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir. A la radiación electromagnética en este rango de longitudes de onda se le llama luz visible o simplemente luz. No hay límites exactos en el espectro visible; un típico ojo humano responderá a longitudes de onda desde 400 a 700 nm aunque algunas personas pueden ser capaces de percibir longitudes de onda desde 380 a 780 nm.

La luz visible se utiliza para iluminación y también como tratamiento (fototerapia en niños).

Tanto la radiación infrarroja como la luz visible tiene escasos riesgos ocupacionales salvo en circunstancias de exposición extrema (visión de eclipses de sol, sopladores de vidrio).

1.4.1.5 Microondas y radiofrecuencias

El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz. El hercio es la unidad de medida de la frecuencia de las ondas radioeléctricas, y corresponde a un ciclo por segundo. Las ondas electromagnéticas de esta región del espectro se pueden transmitir aplicando la corriente alterna originada en un generador a una antena.

A partir de 1 GHz las bandas entran dentro del espectro de las microondas. Por tanto, las microondas forman parte del espectro de las ondas de radiofrecuencia.

Tienen efectos biológicos por calentamiento de órganos internos, sobre todo ojos y testículos. Los efectos no térmicos están poco estudiados.

De especial interés es el efecto sobre los testículos, que puede producir esterilidad.

La razón de que los testículos estén situados en el escroto es mantener estas glándulas unos 2º C por debajo de la temperatura corporal.

El aumento de la temperatura de los testículos puede impedir la espermatogénesis causando la degeneración de la mayoría de las células.

Usos de la radiofrecuencia:

- Comunicaciones
- Radionavegación: no de sus primeros usos fue en el ámbito naval, para el envío de mensajes en código Morse entre los buques y tierra o entre buques. Actualmente también se usa en aeronavegación.
- Radiodifusión AM y FM
- Radios comunitarias
- Televisión
- Radioaficionados
- Audio
- Telefonía.
- Vídeo.
- Navegación.
- Servicios de emergencia.
- Transmisión de datos por radio digital.
- Radioastronomía
- Radar
- Resonancia magnética (RM)

La RM estudia los núcleos atómicos al alinearlos a un campo magnético constante para posteriormente perturbar este alineamiento con el uso de un campo magnético alterno, de orientación ortogonal. La resultante de esta perturbación es una diferencia de energía que se evidencia al ser excitados dichos átomos por radiación electromagnética de la misma frecuencia. Estas frecuencias corresponden típicamente al intervalo de radiofrecuencias del espectro electromagnético. Esta es la absorción de resonancia que se detecta en las distintas técnicas de RM.

Medidas de protección generales para las radiaciones no ionizantes

Disminuir tiempo de exposición

Usar barreras aislantes para protección colectiva

Señalización de la existencia de radiación: importante para portadores de marcapasos

Ventilar área de trabajo

Elementos de protección individual: uso de cremas para la piel, gafas, ropa

Mediciones periódicas de los niveles de radiación para compararlos con los niveles de referencia

Información y formación a los trabajadores

Vigilancia de la salud

UNIDAD 2: FUNDAMENTO DE LA IMAGEN RADIOLÓGICA

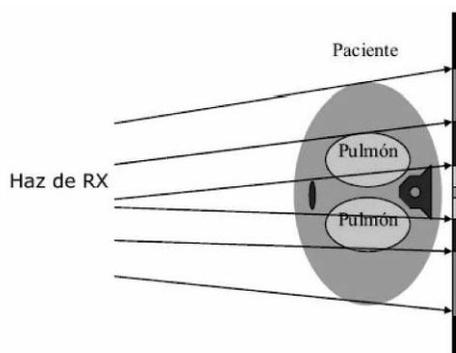
AUTORES:

María Isabel Marco Galve
Ignacio García Delgado

- 2.1 Formación de la imagen radiológica
- 2.2 Atenuación de los rayos X por la materia viva
- 2.3 Densidades radiológicas en el cuerpo humano

2.1 Formación de la imagen radiológica

Cuando hacemos incidir un haz de rayos X sobre un paciente, se producen diferentes atenuaciones en función del espesor y de la densidad electrónica de los distintos tejidos de dicho paciente. La radiación remanente que sale del paciente y llega a la película radiográfica, deposita energía en la emulsión por interacción fotoeléctrica con los átomos de los cristales de halogenuros de plata. Esa energía se deposita en un patrón representativo de la parte del cuerpo que se está radiografiando.



Formación de la imagen radiológica.

El esquema demuestra que cuando el haz de rayos X incide sobre el paciente cada órgano absorbe una cantidad diferente de radiación. Los órganos más densos como el hueso dan una imagen más blanca

porque atenúan más cantidad de rayos X. Los órganos que menos radiación absorben (pulmones) dan una imagen más oscura.

La imagen latente es el cambio invisible que se ha inducido en los cristales de los halogenuros de plata. Posteriormente, ésta imagen latente se convertirá en imagen visible mediante procesos químicos (revelado).

En la formación de un cristal de halogenuro de plata, cada átomo de plata expulsa un electrón de su capa externa que se liga a un átomo de halogenuro (Bromo o yodo). Quedando la plata como ión positivo y el bromo y yodo como iones negativos. Así, la plata, el yodo y el bromo se fijan a la red cristalina en forma iónica.

La forma y estructura de la red de cristales de halogenuros de plata no es perfecta y algunas de esas imperfecciones son las que dan a los cristales las propiedades de retención de imagen. El tipo de imperfección que se considera responsable de esto es un contaminante químico, por lo general sulfuro de plata (S_{Ag}), que se introduce en la red cristalina, permaneciendo en su superficie. Este contaminante se denomina partícula sensitiva.

Cuando la radiación incide sobre la película, casi toda la energía de los fotones se transfiere a la gelatina. La interacción de los rayos X con los átomos de plata y los halogenuros (Ag, Br, I) crea la imagen latente.

Si se absorben completamente los rayos X, la interacción es fotoeléctrica. Si la absorción es parcial, se la conoce como interacción Compton. En ambos casos se libera un electrón secundario (fotoelectrón o electrón Compton). Este electrón atraviesa el cristal y puede arrancar electrones adicionales de la red cristalina.

Lo mismo ocurre con la interacción entre la luz visible de una pantalla intensificadora y la película. Estos fotones de luz tienen menos energía, se necesitan más fotones para producir el mismo número de electrones secundarios migratorios. Algunos de estos electrones pasan cerca de las partículas sensitivas donde son atrapados por los iones positivos de plata.

La mayor parte de estos electrones vienen de los iones de Br⁻ y I⁻ ya que estos tienen un electrón más.

Los iones negativos se transforman en átomos neutros y ésta pérdida de carga eléctrica hace que la red cristalina se altere.

Los átomos de Br y I han quedado libres para emigrar, ya que no están unidos por fuerzas iónicas. Emigran fuera del cristal y pasan a la gelatina. El deterioro de la estructura cristalina, hace que los restantes iones de plata emigren fácilmente.

La concentración de electrones en las proximidades de una partícula sensitiva, crea una zona de carga negativa. Conforme los átomos de halogenuros de plata desaparecen del cristal, los iones positivos de plata son atraídos electrostáticamente por las partículas sensitivas.

Cuando llegan a una partícula sensitiva, los iones de plata se neutralizan, combinándose con los electrones, y se obtiene plata atómica.

De esta forma se depositan en cada cristal menos de 10 átomos de plata. Este conjunto de átomos se llama centro de la imagen latente. En estos centros se acumulan cantidades visibles de plata durante el revelado, que serán las que formen la imagen radiográfica.

Los cristales con plata depositada en las partículas sensitivas, adquieren una coloración negra durante el revelado. Los cristales que no han sido irradiados continuarán transparentes e inactivos.

La información invisible contenida en los cristales de halogenuros de plata activados por la radiación constituye la imagen latente.

2.2 Atenuación de los rayos X por la materia viva

Los fotones de rayos X se pueden considerar como energía pura transportada. Estos fotones pueden excitar los electrones de los átomos, haciéndoles saltar a órbitas superiores o arrancarlos dejando así el átomo ionizado.

De esta forma, al atravesar un medio los fotones pueden continuar su camino sin colisionar con ningún átomo, llegando entonces al detector. Pueden ceder toda su energía a algún componente del átomo, desapareciendo, decimos entonces que han sido absorbidos. O pueden ceder parte de su energía saliendo "rebotados" en una dirección distinta, hablamos en este caso de dispersión.

A la disminución del número de fotones que llegan a un detector después de atravesar un medio, lo llamamos atenuación. Sería la suma de los dos efectos, absorción y dispersión de fotones incidentes. La atenuación de un haz de rayos X al atravesar un medio depende del nú-

mero de interacciones que sufra, por tanto, básicamente dependerá del número de electrones que se interpongan en su trayectoria (efecto fotoeléctrico: absorción y efecto Compton: dispersión), es decir, de la densidad electrónica.

Como hemos visto, un haz de radiación electromagnética que interacciona con un material de un espesor determinado, resulta atenuado. De forma que si colocamos un detector de radiaciones ionizantes detrás del material irradiado, registrará menos fotones que los que tenía el haz primario. Entonces tenemos que el proceso de atenuación se puede medir. La ley que somete a estudio este proceso se llama Ley exponencial del Proceso de Atenuación.

Tenemos un espesor de material homogéneo (4 cm) que es interaccionado por un haz de radiación de 1000 fotones, de una misma energía. El material lo descomponemos en láminas de 1 centímetro cada una. Entonces tenemos que para "ese" espesor de 1 cm y para "esa" energía determinada, "ese" material determinado atenúa el 20% de los fotones incidentes. Al atravesar el primer cm de espesor quedarán 800 fotones, que cuando atraveses el segundo espesor de un cm se atenuarán otro 20% y así sucesivamente. El número de fotones atenuados es proporcional al número de fotones del haz incidente.

Se define el coeficiente de atenuación lineal (μ) como la magnitud que nos indica la fracción de fotones del haz incidente que interacciona con el material absorbente por unidad de espesor. El valor de μ depende de la energía de radiación incidente y del material absorbente. Su unidad es 1/cm. Por tanto, cuanto menor sea el valor de μ , más penetrante será la radiación y más transparente el medio.

2.3 Densidades radiológicas en el cuerpo humano

Cuando un mismo haz de radiación atraviesa dos tejidos distintos, la atenuación que sufre será distinta, ya que cada uno de ellos tendrá un espesor determinado y una densidad electrónica diferente. Así, al atravesar un tejido con una densidad parecida al aire (pulmones), se atenuará mucho menos que al atravesar un tejido de alta densidad (hueso). Por ello, los tejidos de baja densidad, tendrán una imagen en un tono más oscuro que los tejidos de alta densidad.

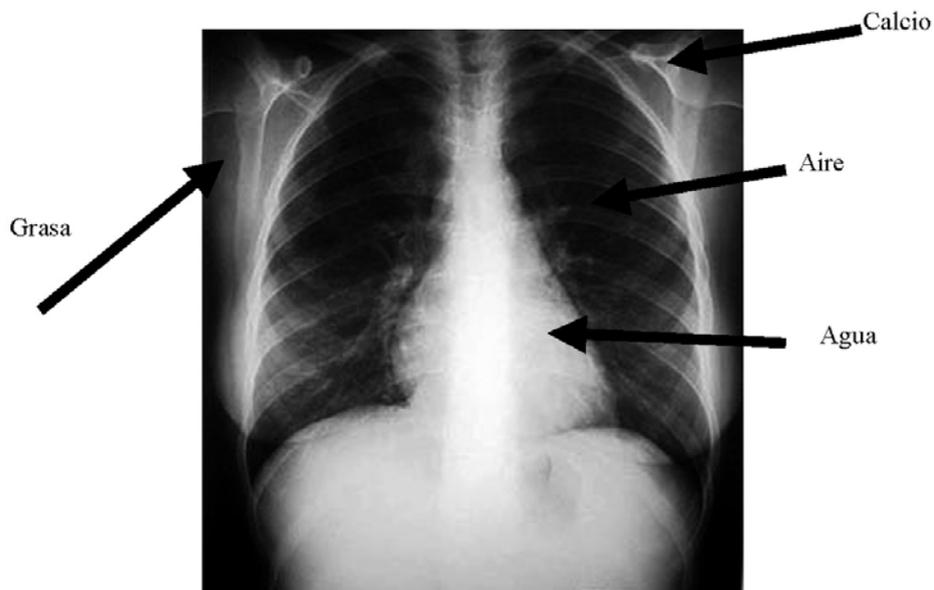
Por tanto, el contraste entre dos tejidos para un mismo haz monoenergético depende básicamente de la diferencia relativa de densidades.

Los tubos de rayos X proporcionan un haz polienergético, por lo que se utiliza un coeficiente de atenuación equivalente que promedia la atenuación para todas las energías del espectro. El coeficiente de atenuación lineal aumenta con la densidad del tejido. El contraste será mayor cuanto mayor sea la diferencia de densidades entre los diferentes tejidos. Así el contraste disminuye cuando aumentamos la tensión (kilovoltaje). Si el tejido que se desea observar es hueso, con una alta densidad y gran diferencia con el resto de los tejidos, se puede utilizar un kilovoltaje alto, si bien cuando se desea diferenciar grasa o músculo (tejidos blandos, mamografía) deben utilizarse tensiones (kilovoltaje) bajas.

Para determinar el kilovoltaje que debemos utilizar influirán por tanto las diferencias de las densidades relativas y el espesor de la zona del paciente a explorar, ya que además de conseguir un contraste suficiente, se debe obtener una imagen con buena definición, es decir, que el haz que atraviese al paciente contenga un número suficiente de fotones. También debemos tener en cuenta, que al absorberse en mayor medida la radiación de baja energía, el paciente recibirá más dosis si se utiliza un kilovoltaje bajo en lugar de alto. Así, el kilovoltaje óptimo deberá ser lo suficientemente bajo para ofrecer un buen contraste y lo bastante alto como para que la dosis al paciente y el tiempo de exposición sean bajos.

Los distintos tejidos del organismo humano, en función de su densidad y número atómico medio, se clasifican desde el punto de vista de la radiología en los siguientes grupos o densidades radiológicas: aire, grasa, agua y calcio. La densidad de un tejido se mide en gramos por cc. Así tendremos:

DENSIDAD RADIOLÓGICA	DENSIDAD EN GR/CC	REPRESENTADA POR
AIRE	0.00129	Pulmones, tráquea
GRASA	0.9	Grasa pericárdica
AGUA	1	Hígado, riñones, bazo
CALCIO	1.8	Huesos, calcificaciones



En una radiografía de tórax podemos identificar diferentes densidades radiológicas: agua (corazón), aire (pulmones), calcio (huesos), grasa (tejido subcutáneo).

UNIDAD 3: EL EQUIPO DE RADIOLOGÍA MÉDICA

AUTORES:

María Isabel Marco Galve
Ignacio García Delgado

- 3.1 Equipos de radiología convencional
 - 3.1.1 Unidades de radiología fijas (multifuncionales)
 - 3.1.1.1 Unidades de sólo radiografía
 - 3.1.1.2 Unidades de grafía y escopia
 - 3.1.2 Unidades de radiología móvil y portátil
 - 3.1.2.1 Equipos móviles
 - 3.1.2.2 Equipos portátiles
- 3.2 El tubo de Rayos X
- 3.3 Producción de rayos X
- 3.4 Generador
- 3.5 Otros componentes del equipo
 - 3.5.1 Colimadores
 - 3.5.2 Rejillas
 - 3.5.3 Mesa de control

3.1 Equipos de radiología convencional

En el mercado nos encontramos distintas casas comerciales, cada una de ellas con diversos modelos de aparatos de radiología convencional.

Como norma general, un equipo convencional consta básicamente de un tubo de rayos X al vacío envuelto por una cubierta metálica con toma a tierra, una sección de baja tensión donde se encuentran los controles y la entrada de la red eléctrica, otra sección de alta tensión donde

se realiza la transformación de los 220 V de la red en una tensión del orden de los 50-150 KV y un rectificador que transforma la corriente alterna en corriente continua.

El tubo de rayos X se encuentra montado en una columna o en un dispositivo telescópico (suspensión de techo sobre raíles). Será necesaria una mesa radiológica (fija, flotante, inclinable...) o un pedestal vertical (Bucky mural) donde poder posicionar al paciente para la exploración radiológica, tras los que se encuentra el portachasis para alojar la película radiográfica.

Como dispositivos asociados al tubo de rayos X tenemos los filtros (que veremos más adelante), limitadores del haz (diafragmas, conos y cilindros, etc...) y rejillas antidifusoras que se utilizan para eliminar (del 80 al 90%) la radiación dispersa antes de que llegue a la película. Están formadas por una serie de láminas absorbentes, de plomo o wolframio, entre las que hay un material poco absorbente, fibra de carbono o aluminio. Además, están diseñadas y focalizadas de forma que sólo permitan el paso de los rayos X alineados con el foco, eliminando el resto.

3.1.1 Unidades de radiología fijas (multifuncionales)

3.1.1.1 Unidades de sólo radiografía

Dentro de las unidades de sólo grafía con equipos fijos, podemos encontrar gran diversidad de marcas y modelos, cada una con diferentes prestaciones, pero como norma general tendremos equipos con tableros no inclinables: pedestales verticales (tablero de pared vertical con rejilla antidifusora fija y tablero de pared bucky) y pedestales horizontales (mesa de tablero fijo o flotante).

3.1.1.2 Unidades de grafía y escopia

Son equipos con tableros inclinables: equipos con el tubo fijo a la mesa, equipos con el tubo unido a una columna, equipos con dos tubos, unidades suspendidas del techo y unidades con mando a distancia, telemando.

También podemos encontrar pedestales especiales: equipos tomográficos, equipos para exámenes neurológicos, equipos especiales para estudios gastrointestinales (telemando), equipos especiales para urología, equipos especiales de angiocardiografía.



Imagen de telemando.

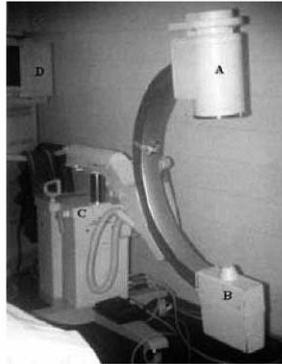
Es un equipo de radiología especializado, con sistema de visión directa en las exploraciones con contraste, fundamentalmente del aparato digestivo, urológicas, ginecológicas y ósteo-articulares.

3.1.2 Unidades de radiología móvil y portátil

3.1.2.1 Equipos móviles

Nos referiremos en este apartado al intensificador de imágenes móvil. Este equipo consta de una base sobre ruedas donde se encuentran el panel de control y la unidad de alimentación para el intensificador de imagen. Unido a esta base tenemos el brazo en C con el tubo de rayos X en un extremo y el intensificador de imagen con la cámara de TV en el otro. Por otro lado está el soporte móvil sobre el que se encuentran el monitor y los controles de televisión.

El brazo en C se coloca rodeando al paciente que se encuentra sobre una camilla o una mesa de operaciones (radiotransparente), suficientemente alta como para alojarlo. Tiene una gran movilidad, así, puede realizar desplazamientos a lo largo, puede elevarse y bajar y girar en diferentes direcciones.



El aparato de rayos X portátil se usa cuando se realizan exploraciones que necesitan un control radiológico, por ejemplo la dilatación de una estenosis de esófago, la reducción de fracturas, la colocación del electrodo de un marcapaso provisional, etc...

El papel del técnico en este tipo de exploraciones consiste en controlar todos los factores de exposición, para lo que manipulará los mandos existentes en el panel de control del aparato. Mediante un pulsador de pie, dará escopia intermitente y controlará el tiempo de exposición total durante una determinada exploración, mediante la visualización del contador de tiempo de que disponen estos aparatos. Y además, manejará los controles de imagen de la televisión (ajuste de brillo, contraste...).

3.1.2.2 Equipos portátiles

Los equipos portátiles son aparatos algo pesados que se transportan empujándolos o por medios mecánicos (motor). Básicamente, constan de una base sobre ruedas en la que se encuentra el pupitre de control donde se seleccionan los parámetros de la exposición, una columna y un brazo deslizante cuyo extremo va unido al tubo de rayos X, pudiendo adoptar éste cualquier posición para adaptarse a las necesidades del paciente y al tipo de exploración. En estos aparatos podemos elegir entre una gama limitada de kilovoltios (por lo general hasta 90 o 100 KV).

La protección radiológica es un aspecto muy importante en la exploración radiográfica con equipos portátiles (y móviles), ya que estos aparatos se manejan fuera del departamento de rayos X y además de que el operador accione los controles en la misma habitación, se corre el riesgo de exponer a la radiación no solo al paciente sino también al personal de la sala y a los pacientes cercanos, por lo cual, se deben observar estrictamente las medidas de protección.

tamente las normas de protección radiológica establecidas, en concreto, se debe evitar el haz primario, hay que mantener las distancias (se recomienda estar a 2 m del haz de radiación) y es necesario usar equipos de protección individual, como delantales protectores adecuados.

Los estudios realizados con el equipo portátil de rayos X, deben restringirse a los pacientes que por su estado de salud, no puedan ser trasladados al Servicio de Diagnóstico por la Imagen sin que se alteren de forma importante los cuidados y tratamiento que reciben. Por este motivo, estas exploraciones se realizarán fundamentalmente en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), quirófano, reanimación y urgencias (sala de observación).

También debemos tener en cuenta multitud de factores que van a dificultar en gran medida la realización del estudio, como pueden ser el grado de consciencia y cooperación del paciente, el tamaño generalmente reducido del lugar donde se realiza el examen o los múltiples dispositivos, goteros, electrodos, drenajes, sondas, etc., que tiene conectados el paciente.

Anotar los factores de exposición usados al realizar la radiografía a un determinado paciente puede ser de gran utilidad para conseguir resultados posteriores igual de satisfactorios, ya que, por lo general a estos pacientes se les repetirá el estudio durante el tiempo de hospitalización.

Aunque se pueden realizar la mayoría de las exploraciones radiológicas convencionales, la radiología con portátil se dedica fundamentalmente a la radiografía AP de tórax para: estudios postoperatorios, valorar la evolución del paciente, control de marcapaso provisional, control de catéter de presión venosa central, etc. Además del tórax AP son usuales exámenes de abdomen, controles de fracturas de fémur reducidas y vértebras cervicales en proyección lateral.

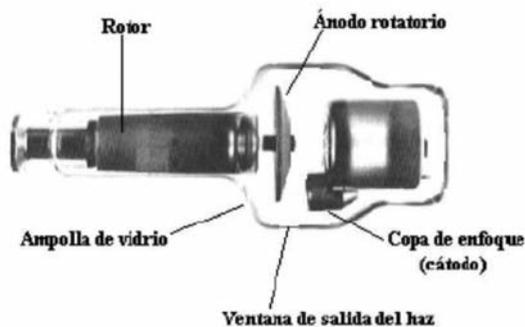


En quirófano también es frecuente usar el equipo portátil, por lo general existe una unidad portátil para uso exclusivamente quirúrgico.

3.2 El tubo de Rayos X

El tubo de rayos X consiste en una ampolla de vidrio (Pyrex) en la que se ha hecho un alto vacío, que contiene en su interior un filamento con potencial negativo (cátodo) y un ánodo con potencial positivo (ánodo).

Las partes principales de un tubo de rayos X son (desde el exterior hacia el interior): cubierta metálica, blindaje de plomo, espacio para el aceite, ampolla de vidrio, taza de focalización, fuente de electrones (cátodo), ánodo y filtros.



La cubierta metálica se encuentra conectada eléctricamente a tierra, para conseguir un buen aislamiento eléctrico y evitar un posible accidente en caso de una fuga de alta tensión, recordemos que la diferencia de potencial entre ánodo y cátodo es muy elevada (50-150 Kv). Dispone de una ventana de un material de número atómico bajo para permitir la salida del haz de radiación directa e impedir irradiar en direcciones no deseadas.

El blindaje de plomo es útil para absorber la radiación no coincidente con el haz de rayos X que se va a utilizar.

El calor que se genera en el ánodo se disipa a través del aceite que rodea la ampolla, realizando un aislamiento tanto eléctrico como térmico. La refrigeración del ánodo es muy importante, ya que salvo la energía emitida en forma de radiación electromagnética (EM), el resto

de la energía de los electrones que atraviesan el tubo es absorbida en el ánodo y transformada básicamente en calor.

Los electrones se emiten desde el cátodo que se encuentra en el interior de la taza de focalización o copa de enfoque, cuya misión es concentrar el haz de electrones en el punto focal del ánodo. El filamento de un tubo de rayos X suele ser de wolframio o tungsteno (W), elemento con número atómico igual a 74 y punto de fusión muy elevado (3410°C). Para calentar el cátodo se hace pasar una corriente entre sus extremos (diferencia de potencial de 6 a 10 V), emitiendo de esta forma electrones por efecto termoiónico. Si se modifica esta tensión, se variará la corriente que atraviesa el filamento y se aumentará el número de electrones emitidos por efecto termoiónico.

El ánodo está formado generalmente por un metal con número atómico muy elevado (Wolframio), incrustado en una barra de cobre (elevado punto de fusión, 1083°C) refrigerada por aceite. Al tener un número atómico alto, conseguimos que el frenado de los electrones sea muy elevado y se generen gran cantidad de fotones de bremsstrahlung, que poseen un espectro continuo. Cuando los electrones que provienen del cátodo colisionan con los electrones ligados a algún átomo del ánodo, se pueden producir colisiones que consigan hacer saltar los electrones corticales de un orbital a otro de mayor energía, con lo que se emitirá radiación EM con un espectro discreto (rayos característicos), cuando dichos electrones vuelven a caer a sus orbitales originales.

El ánodo puede ser estacionario (siempre en la misma posición). En este caso, la zona de impacto de los electrones se recubre por una capa de cobre y otra de tungsteno, para que los electrones secundarios generados en el blanco sean frenados en la capa de cobre, y los fotones de frenado de baja energía producidos en la capa de cobre, se absorban en la capa de tungsteno. La zona de impacto de los electrones se llama foco térmico, debido a que es donde se disipa la mayor cantidad de energía por unidad de superficie (en milímetros de superficie se alcanzan temperaturas de unos 2000°C).

Posteriormente se diseñaron los ánodos rotatorios, que se utilizan cuando la carga del tubo es elevada y se requieren grandes corrientes en un breve intervalo de tiempo. El ánodo tiene un dispositivo (rotor) que lo hace girar mientras sobre él incide el haz de electrones, aumentando así la superficie de impacto (foco térmico) y evitando el sobrecalentamiento del mismo. Son los más habituales en radiodiagnóstico. Pueden ser de wolframio o de una mezcla de 90% de wolframio y 10% de renio.

La mayoría de los fotones de rayos X dentro del intervalo de energías propias de radiodiagnóstico se emiten con un ángulo de unos 45° respecto de la dirección de incidencia del haz de electrones. Para aumentar el tamaño del foco térmico sin aumentar el tamaño del foco óptico, se utiliza un ánodo inclinado unos pocos grados respecto del ángulo de salida del haz de rayos X.

Los filtros se utilizan para eliminar los rayos X de mayor longitud de onda (blandos), que lo único que producen es el aumento de la dosis en superficie del paciente. A este efecto, en la ampolla de vidrio se encuentra una pequeña superficie circular donde el vidrio es más delgado que se denomina ventana de salida del haz.

El flujo de fotones que emerge del ánodo no es estrictamente homogéneo, ya que no todos los fotones se producen en el mismo punto y además se producen tras atravesar los electrones diferentes espesores de material. Este fenómeno se denomina efecto anódico o talón, que aumenta con el envejecimiento del tubo conforme la superficie anódica se va deteriorando con los cambios de temperatura.

Además de los tubos para diagnóstico médico (ánodo estacionario y rotatorio) que hemos visto, existe otro tipo de tubos de rayos X, los de terapia (radioterapia). Estos trabajan con intensidades relativamente bajas, oscilando entre 3-5 y 20-30 mA. Es importante señalar que el tamaño del foco no es tan decisivo como en los tubos de diagnóstico, ya que en radioterapia no hace falta un haz perfectamente enfocado. Sí debemos tener en cuenta unas severas exigencias de enfriamiento, debido a la necesidad de una continua disipación del calor.

3.3 Producción de rayos X

El haz de rayos X generado en el ánodo contiene rayos X de frenado producidos al interaccionar los electrones con los núcleos del ánodo y rayos X característicos originados por el llenado de los orbitales vacantes provocados por los choques con los electrones corticales del ánodo.

La energía máxima de los electrones y en consecuencia el máximo del espectro dependen directamente de la diferencia de potencial aplicada entre ánodo y cátodo.

Al espectro continuo se superpone un espectro discreto que corresponde a la desexcitación de los átomos del ánodo y dependerá del nú-

mero atómico del material del ánodo. Para evitar que nuestro haz se contamine con radiación de muy baja energía, no es conveniente utilizar materiales anódicos de bajo Z, ya que contribuyen al aumento de la dosis en piel del paciente, pero no son capaces de aprovecharse para la obtención de la imagen al no atravesar al paciente. Si la tensión utilizada es muy baja (15-40 KV), puede interesar aprovechar directamente los rayos X característicos, como es el caso de los equipos de mamografía que tienen un ánodo de molibdeno, cuyo espectro característico está comprendido entre 25-35 KeV.

Si el espectro está compuesto básicamente por radiación de frenado (lo más habitual), la energía media del haz de rayos X es aproximadamente $1/3$ de la energía máxima.

La calidad de un haz de rayos X se define como la habilidad de penetración de la radiación. Como esta definición es difícilmente mensurable, se recurre a la capa hemirreductora (CHR) para cuantificar la calidad de un haz de rayos X. La capa hemirreductora es el espesor de un filtro de una composición determinada necesario para atenuar la intensidad del haz a la mitad. Cuando mayor sea la CHR, mayor será la energía de nuestro haz y mayor la penetración de la radiación. Si el haz es monoenergético, la capa hemirreductora tiene una definición única, pero si el haz no lo es, sino que presenta un espectro complejo (lo cual ocurre casi siempre), el valor de la CHR varía tras atravesar un determinado espesor de material, ya que se frenarán más los fotones de bajas energías, por lo que tras atravesar un filtro se dice que el haz se endurece, es decir, aumenta la proporción relativa de fotones de alta energía. Así se define el coeficiente de homogeneidad como el cociente en la primera CHR y la segunda CHR, entendiendo la segunda CHR como el espesor necesario para volver a reducir a la mitad la intensidad de un haz de rayos X tras haber atravesado la primera CHR.

El espectro anteriormente descrito corresponde al espectro a la salida del ánodo, si bien entre éste y el paciente existen una serie de materiales que interactúan con el haz. Como la radiación de baja energía no contribuye a la imagen, pero sí a la dosis al paciente, constituye un elemento indeseable del espectro de rayos X. Por ello, a la salida del haz se interponen una serie de filtros que disminuyan la proporción de rayos X de baja energía. La mayoría de los filtros utilizados en radiodiagnóstico son de aluminio. Para energías mayores puede ser conveniente utilizar filtros compuestos por varios materiales, en estos casos, deberá estar el elemento de mayor número atómico más cerca del ánodo.

Independientemente de los filtros que se utilicen para nuestro equipo, existe una filtración inherente al haz que se debe a la filtración que sufre el haz en el propio ánodo y la debida a la ventana de salida del tubo, normalmente el valor de esta filtración inherente es de unos 0.5 mm de Al. En nuestro país la filtración total (inherente y añadida) debe ser equivalente a 2.5 mm de Al.

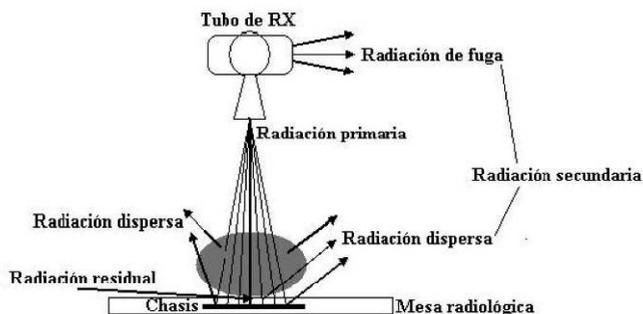
La intensidad del haz de rayos X depende del número de electrones emitidos desde el filamento y se controla a través de la tensión entre los extremos del cátodo.

Además de atenuarse la radiación por el filtrado de los materiales interpuestos entre el paciente y el tubo de rayos X, la intensidad de la radiación se atenúa con el cuadrado de la distancia desde la fuente.

Dentro de la radiación generada por un tubo de rayos X suelen definirse los siguientes conceptos: Se denomina radiación directa o primaria a la radiación que emerge del tubo de rayos X en la dirección de utilización. Hasta ahora, sólo se habían hecho referencias a esta radiación. La radiación directa suele ser unas 300- 3000 veces mayor que la radiación secundaria.

La radiación residual es la radiación directa tras atravesar al paciente. Entendemos por radiación dispersa aquella que se genera como consecuencia de dispersiones Compton entre el haz directo y los absorbentes interpuestos en su trayectoria, tales como el paciente, los accesorios o el aire. Radiación de fuga sería la radiación que escapa al blindaje (es necesario blindar todo el tubo salvo la ventana de salida).

Denominamos radiación secundaria a la radiación de fuga más la radiación dispersa.



3.4 Generador

El tubo de rayos X está conectado a la red eléctrica que funciona a 220 Veff, en corriente alterna (AC). El tubo de rayos X funciona a unos 50-150 KV, en corriente continua (DC). La diferencia de potencial entre los extremos del cátodo es de unos 6 V, pudiendo trabajar indistintamente en AC y en DC, ya que esta corriente sólo tiene la finalidad de calentar el cátodo, por tanto el circuito asociado al cátodo para generar esta corriente será sólo un transformador de 220 V a 6 V. Así el circuito puede separarse en dos partes, una de alta tensión que alimenta al tubo y trabaja en DC y otra que alimenta la corriente del cátodo de baja tensión y de AC. Un pequeño cambio en la corriente del cátodo, puede generar un gran cambio en la corriente del tubo y por tanto en la dosis al paciente, por lo que el transformador ha de ser lo suficientemente estable como para eliminar las variaciones de la red.

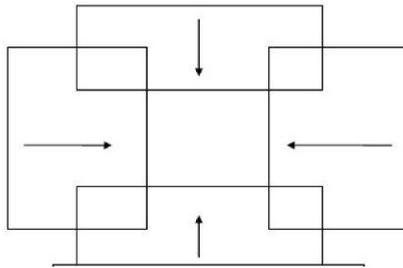
La parte de alta tensión trabajará a 50-150 KV en DC a partir de los 220 V de AC. En primer lugar, dentro de la etapa de baja tensión, se contará con un autotransformador que permitirá un ajuste discreto de la diferencia de potencial y un reóstato que permitirá el ajuste fino de la tensión del tubo, para evitar un sobrecalentamiento de esta etapa. Tras el autotransformador, se conectará un transformador que proporcionará los 50-150 KV, ya en la etapa de alta tensión. Como la tensión de salida del transformador es continua, será necesario disponer de un sistema rectificador que no permita la inversión de la polaridad. El rectificador más habitual es un puente de diodos, pero en la práctica se utiliza un rectificador trifásico con tres puentes de diodos, que genera una señal casi continua. En realidad podría utilizarse una tensión sin rectificar (AC), equipos autorrectificados, pero en los períodos negativos de la tensión sería el ánodo el que se convertiría en cátodo y viceversa, por lo que el cátodo recibiría impactos de los electrones sin disponer de un sistema adecuado de refrigeración, con los problemas asociados, además de contaminar el haz emergente con fotones de baja energía correspondientes a los fotones generados por los electrones acelerados en las rampas de bajada y subida de la tensión.

Todos los elementos de control se encuentran en la etapa de baja tensión. En el caso del kilovoltímetro, se sitúa entre las espiras del autotransformador en la parte de baja tensión y se gradúa para alta tensión. El miliamperímetro mide la corriente que atraviesa el tubo de rayos X, pero se sitúa en la mitad de las espiras del secundario, con lo que en realidad se encuentra conectado a tierra. Para conseguir un mejor aislamiento, el bloque de alta tensión y los cables de alimentación del tubo están aislados y rodeados de una vaina metálica conectada a tierra.

3.5 Otros componentes del equipo

3.5.1 Colimadores

Un colimador está formado por un par de mandíbulas móviles dos a dos que impiden el paso de la radiación, permitiendo una gran variedad de campos cuadrados y rectangulares. Los colimadores limitan el paso del haz de radiación, restringiéndolo al tamaño que se desee.



Esquema de unos colimadores

Los colimadores no sólo limitan el haz de radiación sino que también hacen lo mismo con el campo luminoso. Éste, se utiliza para observar sobre el paciente lo que será el campo de radiación cuando se inicie la irradiación.

Con el sistema de colimación diseñado en esta forma se consiguen dos objetivos:

La protección del paciente, pues seleccionando el campo más pequeño posible se consigue minimizar el volumen irradiado.

Disminuir la radiación dispersa que alcanza la película radiográfica y por tanto se mejora el contraste de la imagen.

3.5.2 Rejillas

El objetivo de una placa radiográfica es obtener una imagen que permita el diagnóstico del paciente, por lo que obtener una imagen nítida tiene una gran importancia. Cuando se quiere obtener una imagen anatómica de una parte de mayor espesor, la radiación dispersada por el paciente aumenta, por lo que la imagen que se forma no se debe únicamente a la transmisión del haz incidente, sino que también apa-

rece el haz dispersado por el paciente que no se corresponde con la imagen que se desea. Para evitar el efecto de la radiación dispersa, se interpone entre la placa radiográfica y el paciente una rejilla antidifusora. Fue inventada en 1913 por el Dr. Gustave Bucky y también se conoce por el apellido de su autor.

La rejilla antidifusora consiste en una serie de láminas de plomo sobre un material transparente a la radiación X y que sirve para mantener la estructura de plomo. El material transparente suele ser aluminio o un material orgánico, si bien, la rigidez estructural del aluminio es mejor para este propósito. No obstante, el aluminio absorbe más radiación directa que los materiales plásticos, por lo que la dosis al paciente es mayor, aunque el contraste de la imagen es mejor. Algunos parámetros que caracterizan una rejilla son:

Relación de rejilla: Se define como $R=h/d$, donde h es el espesor de la rejilla y d la distancia entre las láminas que forman la rejilla. Conforme el valor de R aumenta, más radiación dispersa se elimina, aunque se necesitan dosis más altas para compensar la absorción de la rejilla y obtener las mismas imágenes que sin rejilla.

Frecuencia de la rejilla: Se define como el número de rejillas por centímetro, de esta manera $F=10000/(t+d)$, y donde t es el ancho de una rejilla y F se mide en micras. Al igual que antes a mayor frecuencia mayor absorción, aunque por el contrario se necesita mayor dosis de radiación para obtener la misma imagen.

3.5.3 Mesa de control

Desde la mesa de control se tiene acceso a la mayoría de los elementos que hasta ahora se ha explicado, así, desde ésta se pueden modificar, a conveniencia del operador de la sala, los elementos que interesen para obtener una buena radiografía. La mesa de control suele estar ubicada detrás del blindaje y desde ella el operador realiza la placa visualizado tanto al paciente como a la máquina. En muchos casos el acceso a los colimadores, a la luz de campo y al movimiento de la mesa y del tubo no es posible desde la mesa de control y hay que hacerlo desde el mismo aparato de rayos dentro de la sala.

Se define régimen de una radiografía como el conjunto de valores de kilovoltaje entre ánodo y cátodo, intensidad de corriente que atraviesa el tubo y tiempo de exposición a la radiación, que se utilizan mientras se hace la placa. Generalmente desde la mesa de control po-

demos modificar y fijar el régimen de la radiografía de dos formas diferentes:

- Modificando los valores de kilovoltaje, intensidad y tiempo separadamente.
- Modificando los valores de kilovoltaje y del producto de intensidad por tiempo.

Esta segunda opción está justificada porque el número de fotones y por tanto la dosis que recibe el paciente están vinculados a la intensidad de corriente (número de fotones generado) y al tiempo, (ya que a más tiempo mayor cantidad de fotones recibe el paciente). Así, el producto de intensidad por tiempo es un valor que nos da una idea directa de la dosis que recibe el paciente.



Vista de la mesa de control de un equipo de rayos X: desde ella se pueden modificar todos los parámetros técnicos.

UNIDAD 4: LA PELÍCULA RADIOGRÁFICA Y LA FLUOROSCOPIA

AUTORES:

María Isabel Marco Galve
Ignacio García Delgado

- 4.1 La película radiográfica
 - 4.1.1 Introducción
 - 4.1.2 Estructura
 - 4.1.3 Tipos
 - 4.1.3.1 Películas de pantalla
 - 4.1.3.2 Películas de exposición directa
 - 4.1.3.3 Películas para mamografía
 - 4.1.3.4 Películas de vídeo
 - 4.1.3.5 Películas de duplicación
 - 4.1.3.6 Películas de sustracción
 - 4.1.3.7 Películas de cine
 - 4.1.3.8 Películas para seriografía
 - 4.1.3.9 Película para radiografía dental
 - 4.1.4 Almacenamiento y cuidados de la película radiográfica
 - 4.1.5 Chasis
 - 4.1.6 Pantallas de Refuerzo
 - 4.1.6.1 Introducción
 - 4.1.6.2 Estructura
 - 4.1.6.3 Luminiscencia
 - 4.1.6.4 Características de las pantallas .
 - 4.1.6.5 Pantallas de tierras raras
 - 4.1.6.6 Cuidado de la pantalla de refuerzo
- 4.2 Imagen fluoroscópica/radioscópica

- 4.2.1 Características
 - 4.2.1.1 Introducción
 - 4.2.1.2 Consideraciones visuales
 - 4.2.1.3 Técnicas de fluoroscopia práctica
- 4.2.2 Intensificador de imágenes
 - 4.2.2.1 Tubo intensificador de imagen
 - 4.2.2.2 Intensificador de imagen multicampo
- 4.2.3 Receptores de la imagen. Monitorización de la imagen fluoroscópica
 - 4.2.3.1 Monitorización óptica
 - 4.2.3.2 Monitor de televisión
 - 4.2.3.3 Cinefluorografía
 - 4.2.3.4 Serigrafía

4.1 La película radiográfica

4.1.1 Introducción

La imagen de rayos X se capta en una película radiográfica que proporciona un sistema de estudio estable, que se puede archivar. Nos da información que puede ser utilizada y comparada con estudios posteriores para valorar la evolución de un determinado paciente.

La película radiográfica ha sido el soporte de imagen más utilizado en radiología. Existen diversos tipos de película radiográfica que veremos más adelante, pero la mayor parte de las películas usadas en diagnóstico médico tienen emulsión por las 2 caras, se las denomina películas de doble emulsión.

4.1.2 Estructura

Las partes fundamentales de la película radiográfica son la base y la emulsión. Entre ambas hay una fina capa de un material adhesivo, llamada capa adhesiva o substrato que sirve para conseguir la adherencia uniforme de la emulsión a la base.

La emulsión está protegida en su cara exterior por una capa de gelatina, llamada superrecubrimiento o superestrato que la protege de arañazos, presión y contaminación durante su uso y revelado.

El grosor de la película de doble emulsión suele ser de entre 200 a 250 μm (0,2 a 0,25 mm).

Base

La finalidad de la base es proporcionar una estructura rígida sobre la que se pueda depositar la capa de emulsión. Es flexible para poder manejarla fácilmente, pero también es lo suficientemente rígida como para mantenerse en un negatoscopio. En la película de doble emulsión, la base tiene un espesor aproximado de 150 a 175 μm .

Además tiene la propiedad de ser estable dimensionalmente, con lo que mantiene su forma y tamaño durante su uso y procesado para que la imagen no se distorsione.

Durante su fabricación se añade colorante que la tiñe ligeramente de azul, así se consigue paliar en gran medida la fatiga visual causada por el estudio de imágenes radiográficas en sesiones continuadas.

La base original era una placa de cristal de alta calidad, que se usó hasta los años 20, a continuación se introdujo el nitrato de celulosa, material muy inflamable, lo que hizo que se sustituyera posteriormente por triacetato de celulosa, similar al anterior pero con la ventaja de no ser inflamable. A comienzo de los años 60 se comenzó a usar el poliéster (película de seguridad) que era más resistente, tenía mayor estabilidad dimensional y no presentaba problemas durante el proceso de revelado en las máquinas automáticas.

Emulsión

Es el material con el que interaccionan los rayos X o mediante el que los fotones de luz de las pantallas transfieren la información.

Está formada por una mezcla homogénea de gelatina y cristales de halogenuros de plata. La gelatina es transparente (transmite la luz) y porosa (deja que los compuestos químicos penetren durante el revelado hasta alcanzar los cristales de halogenuros de plata). Ofrece un soporte físico para el depósito uniforme de los cristales de halogenuros

de plata. Estos cristales en una emulsión corriente son en un 95% de bromuro de plata y en un 5% de yoduro de plata.

La interacción de los rayos X y los fotones de luz con estos átomos de número atómico elevado, es lo que produce la imagen radiográfica.

La concentración de cristales de halogenuros de plata es el principal determinante de la rapidez de la película. La película de exposición directa tiene una capa de emulsión mucho más gruesa y con más cristales de halogenuros de plata que la película de pantalla.

4.1.3 Tipos

4.1.3.1 Películas de pantalla

Son las películas más utilizadas en radiología.

Existen en distintos tamaños, los más usuales en diagnóstico médico son: 13x18, 18x24, 24x30, 30x40, 35x35, 35x43 y 30x90.

Al elegir una película debemos tener en cuenta características como el contraste, la rapidez y la absorción espectral.

Contraste: En el mercado se encuentran películas de pantalla con diferentes niveles de contraste (medio, alto y superior). La diferencia está en tamaño y distribución de los cristales de halogenuros de plata. Así una emulsión de alto contraste, tiene los granos más pequeños y de tamaño relativamente uniforme y en una emulsión de bajo contraste el grano será mayor y de diferentes tamaños.

Rapidez: Al igual que ocurre con el contraste, existen películas de diferente rapidez, como consecuencia del tipo de emulsión usada. Las emulsiones de grano grueso son más sensibles que las emulsiones de grano fino. Además, cuanto más gruesa es la emulsión, más sensible es la película y por tanto más rápida. Las películas de pantalla siempre suelen ser de doble emulsión, esto nos da una rapidez doble a la obtenida con películas de emulsión sencilla.

Absorción espectral: Ésta es quizá la característica más importante. Desde la aparición de las pantallas de tierras raras, se debe tener cuidado para utilizar una película cuya sensibilidad a los varios colores de

la luz (respuesta espectral), esté correctamente emparejada con el espectro de luz que emite la pantalla. Así una pantalla de tungstenato de calcio que emite luz azul-violeta, se utilizará con una película estándar de halogenuros de plata (película sensible al azul) y una pantalla de tierras raras que emite luz azul-verde, se emparejará con una película ortocromática (película sensible al verde). Si no se usa la película correspondiente a cada pantalla, la rapidez del receptor de la imagen se verá muy reducida, debiendo aumentar la dosis. Respecto a las luces de seguridad del cuarto oscuro, debemos tener en cuenta que las películas sensibles al azul se deben manipular bajo una luz con filtro ámbar (velará el verde) y las películas sensibles al verde se manipularán con un filtro rojo (no velará el azul).

4.1.3.2 Películas de exposición directa

La emulsión de la película de exposición directa es mucho más gruesa que la película de pantalla y además tiene una concentración de cristales mucho más elevada, con objeto de mejorar la interacción directa de los rayos X, ya que en este caso no se utilizan pantallas de refuerzo y por tanto no tenemos

fotones lumínicos para que interactúen con los cristales de halogenuro de plata. Se presentan en envoltorios individuales de papel.

4.1.3.3 Películas para mamografía

Inicialmente eran películas de exposición directa y doble emulsión, consecuentemente la dosis de radiación que recibía la paciente era muy elevada. Hoy día son películas de grano fino y monoemulsión para ser usadas con pantalla intensificadora sencilla.

4.1.3.4 Películas de vídeo

Este tipo de película se usa en TAC, radiografía digital, ecografía y RM. En el caso de las técnicas que implican el uso de radiaciones ionizantes (TAC y radiología digital), la imagen se forma mediante análisis electrónico (asistido por ordenador) de la radiación detectada por medio de una serie de detectores colocados al efecto. La imagen se muestra después en un monitor de TV. Posteriormente, para obtener una imagen permanente, se hace un negativo fotográfico de la imagen de vídeo,

también denominada imagen CRT. El tubo que se utiliza en la televisión es un tubo de rayos catódicos (CRT). Las imágenes se obtienen con lo que se conoce como fósforo CRT de punto azul o de punto verde. Estas imágenes se deben registrar en la película sensible al azul o al verde respectivamente, aunque en la práctica se utilizan de forma general películas ortocromáticas. La película para imagen de vídeo tiene solo una fina capa de emulsión. Su exposición se realiza a través de una cámara multiformato o una cámara láser. Se pueden grabar entre 1 y 16 imágenes en una misma lámina de película.

4.1.3.5 Películas de duplicación

Este tipo de películas tiene una sola capa de emulsión y deben ser expuestas a la luz ultravioleta. Se presentan en los mismos tamaños que las películas de pantalla. Existen aparatos especialmente diseñados para colocar en ellos la película de duplicación sobre la película original y hacer pasar la luz ultravioleta a través de ambas para obtener la copia.

4.1.3.6 Películas de sustracción

A veces se usan en angiografía. Son películas de alto contraste y monoemulsión. Existen 2 tipos: el primero se utiliza para preparar la máscara de sustracción y el segundo para recoger la imagen superpuesta de la radiografía original y la máscara de sustracción.

4.1.3.7 Películas de cine

La cinefluorografía es un tipo especial de examen reservado casi exclusivamente al laboratorio de cateterismo cardíaco. Estas películas se comercializan en carretes en 2 tamaños diferentes, 16 y 35 mm. Se deben visualizar mediante un proyector.

4.1.3.8 Películas para seriografía

Son rollos de película de 70 o 105 mm de ancho. Se emplean en seriografos y pueden visualizarse directamente en un negatoscopio. El revelado es importante para una imagen de calidad, los carretes de seriografía se revelan en reveladoras automáticas, en cambio la película de cine se revela con un equipo especial.

4.1.3.9 Película para radiografía dental

La película de exposición intraoral tiene unas dimensiones de 32x41 mm, es doble emulsión, sin pantallas y se presenta en envoltorio individual con lámina de plomo en la parte posterior.

Las de exposición panorámica tienen un tamaño de 12.5x30 cm o 12.5x35 cm, son monoemulsión, de pantalla y van montadas en chasis flexible o en chasis curvo rígido, según el modelo de ortopantomógrafo.

4.1.4 Almacenamiento y cuidados de la película radiográfica

La película radiográfica se debe manipular con las manos limpias (sin cremas), para evitar la aparición de artefactos (huellas, uñas, etc.). Además debemos procurar no doblar la película al manipularla, ya que, el doblez se traduciría tras el revelado en otro artefacto (raya negra).

Nunca se deben almacenar a temperaturas superiores a 20°C, ya que se reduce el contraste y se aumenta el velo. La humedad elevada (más del 60%) también reduce el contraste y aumenta el oscurecimiento. La humedad por debajo del 40% produce artefactos por electricidad estática. En definitiva se deben almacenar en un lugar fresco y seco.

Tanto su manipulación como su almacenamiento se debe realizar en la oscuridad, por tanto, el cuarto oscuro y el armario donde se guardan las películas sin exponer, deben ser totalmente estancos a la luz.

Las radiaciones ionizantes que no sean las del haz útil aumentan el velo. Por este motivo, el cuarto oscuro debe estar protegido contra las radiaciones (tabiques plomados). El nivel de radiación que vela una película sin revelar es de 0,2 mR.

La fecha de caducidad suele ser aproximadamente de 1 año después de la fabricación, si la placa se usa después de esta fecha, se perderá velocidad y contraste y se aumentará el velo.

Por último, recordar que las cajas de películas se deben almacenar en posición vertical, y con la fecha de caducidad visible, ya que si las colocamos apiladas en posición horizontal, se corre el riesgo de que se puedan arquear y pegar por el peso de unas cajas sobre otras.

4.1.5 Chasis

El chasis es la armadura sólida que contiene la pantalla de refuerzo y la película. Debe asegurar un perfecto contacto entre película y pantallas, debe proporcionar una perfecta protección de la película (estanqueidad a la luz), y además debe ofrecer un sistema de identificación del paciente.

La superficie delantera (cara orientada al tubo) debe estar fabricada de un material con un número atómico bajo (plástico, cartón), será lo más fina posible, pero a la vez resistente.

Entre cada pantalla de refuerzo y la carcasa del chasis, encontramos un elemento de compresión (goma, fieltro), para asegurar el buen contacto película pantalla con el chasis cerrado.

La tapa posterior debe ser de un material pesado para absorber los rayos X que han atravesado el conjunto. Si se usa un material cuyo número atómico es pequeño, los rayos X podrían atravesar el chasis y rebotar en algún elemento cercano, pudiendo llegar otra vez a la película. Esto se conoce como radiación retrodispersa y reduce el contraste de la película.

Los chasis se fabrican en tamaño estándar para cada tamaño de película. En la actualidad se utiliza para su fabricación fibra de carbono que es un material muy resistente y pesa un 25% menos que el aluminio, además reduce la dosis que recibe el paciente. Un chasis con una tapa superior de fibra de carbono absorbe la mitad de radiación que otro que sea de aluminio o cartón.

4.1.6 Pantallas de Refuerzo

4.1.6.1 Introducción

En la mayoría de las radiografías que se realizan en la actualidad, se utilizan las pantallas de refuerzo junto con la película radiográfica, con lo que se reduce considerablemente la dosis que recibe el paciente.

La pantalla de refuerzo convierte el haz de rayos X en luz visible, que será la que forme la imagen latente sobre la película (tan solo el 1% del haz de rayos X que llega a la película, interacciona con ella para formar la imagen latente).

Las pantallas son unas láminas de plástico flexibles, que se comercializan en los mismos tamaños que las películas y de forma que sean compatibles entre sí. Se deben usar los tipos de película para los que está diseñada una determinada pantalla. Como norma general, se usan 2 pantallas de refuerzo, entre las cuales se encuentra la película de doble emulsión, así cada pantalla expone la emulsión con la que está en contacto.

4.1.6.2 Estructura

En las pantallas de refuerzo se pueden distinguir 4 partes: la capa protectora, el elemento fosforescente, la capa reflectante y la base.

Capa protectora

Es la parte más próxima a la película, es transparente, su grosor es de 15-25 μm , protege la pantalla de una manipulación inadecuada, ayuda a eliminar electricidad estática y nos proporciona una superficie para poder limpiar la pantalla sin dañarla.

Elemento fosforescente

El elemento fosforescente es la parte de la pantalla de refuerzo que emite luz al ser estimulado por los rayos X, su grosor oscila de 150-250 μm , dependiendo del tipo de pantalla.

La finalidad del elemento fosforescente es transformar la energía del haz de rayos X en luz visible.

Capa reflectante

Cuando la radiación X interactúa con el elemento fosforescente, se emite luz con la misma intensidad en todas direcciones, en realidad, en dirección a la película, se emite menos de la mitad de la luz. La capa reflectante aumenta la eficiencia de la pantalla de refuerzo, duplicando el número de fotones que alcanzan la película, ya que la luz que llega a dicha capa, es reflejada de nuevo hacia la película. Se encuentra entre el elemento fosforescente y la base, tiene un grosor aproximado de 25 μm y es de óxido de magnesio o de dióxido de titanio.

Base

Es la capa más alejada de la película, con un grosor de 1 mm., es el soporte para el elemento fosforescente.

4.1.6.3 Luminiscencia

Cuando un material emite luz como respuesta a una estimulación exterior, se denomina material luminiscente o elemento fosforescente, y la luz emitida se llama luminiscencia.

Es un proceso análogo a la emisión característica de rayos X, afecta a los electrones de la capa externa del átomo, de forma que cuando se estimula un material luminiscente, los electrones de la capa externa pasan a niveles de energía excitados dejando un hueco en dicha capa electrónica. El átomo vuelve a ser neutro cuando los electrones vuelven a sus niveles energéticos normales, emitiendo energía electromagnética en forma de un fotón de luz visible.

Encontramos dos tipos de luminiscencia: La fluorescencia, cuando sólo se emite luz visible durante la estimulación del elemento fosforescente. Las pantallas de refuerzo son fluorescentes. En las pantallas, la fosforescencia se denomina efecto retardado o resplandor. Y la fosforescencia, si el elemento fosforescente continúa emitiendo luz después de recibir el estímulo.

4.1.6.4 Características de las pantallas

Hay 2 características importantes en las pantallas de refuerzo: el factor de intensificación y la resolución.

El factor de intensificación

Mide la velocidad o rapidez de la pantalla. La velocidad de la pantalla es un número que se utiliza para conocer la eficiencia de la pantalla para convertir rayos X en luz visible.

Las pantallas de alto contraste y las de velocidad nivelada tienen como elemento fosforescente tungstenato de calcio, las primeras poseen una velocidad aproximada de 50 y a las segundas se les asigna el valor 100. El factor de intensificación en las de alto contraste es de 20 a 35, siendo de 30 a 60 en las de velocidad nivelada. Por último las de

alto contraste tienen una resolución de 15 pl/mm, frente a 10 pl/mm en las de velocidad nivelada.

Las pantallas de alta velocidad tienen como elemento fosforescente tungstenato de calcio o sulfato de bario y plomo, su velocidad es de entre 200 y 300, el factor de intensificación varía de 80 a 100 y la resolución es de 7 pl/mm. Las pantallas de tierras raras tienen como elemento fosforescente oxisulfuro y oxibromuro de itrio, lantano y gadolinio. Su velocidad oscila entre 200 y 1200, el factor de intensificación es de 80 a 400 y la resolución de 7 a 15 pl/mm.

Las siguientes propiedades afectan al factor de intensificación y no pueden ser controladas por el técnico. En orden de importancia son:

- **Composición del elemento fosforescente.** Tungstenato de calcio: gran eficacia para transformar rayos X en luz visible. Tierras raras: eficacia aun mayor.
- **Grosor del elemento fosforescente:** Cuanto más gruesa sea la capa de elemento fosforescente, mayor será el número relativo de rayos X que se transforma en luz visible. Pantallas alta velocidad: capas gruesas. Pantallas alto detalle: capas finas.
- **Capa reflectante:** Aumenta la velocidad y disminuye la resolución.
- **Tinción:** A algunos elementos fosforescentes se les añaden colorantes que controlan la dispersión de la luz. Estos colorantes aumentan la resolución y reducen la velocidad.
- **Tamaño de los cristales:** Cuanto mayor sea el tamaño de los cristales, mayor es la emisión de luz por rayo X.
- **Concentración de cristales del elemento fosforescente:** Cuanto mayor sea la concentración de cristales, mayor será la velocidad de la pantalla.

Los factores que afectan a la velocidad de la pantalla y que están bajo el control del técnico son:

- **Calidad de la radiografía:** Cuanto mayor sea el potencial del tubo, mayor será el factor de intensificación.
- **Temperatura:** Las pantallas de refuerzo emiten más luz por cada rayo X recibido a baja temperatura que por cada uno recibido a

alta temperatura. El factor de intensificación disminuye con la temperatura.

- **Revelado de la película:** En las películas de pantallas si aumentamos el tiempo de revelado, disminuye el factor de intensificación.

Resolución

Resolución es la capacidad de una pantalla para reproducir un objeto de forma clara y nítida. La resolución se mide por la distancia mínima entre 2 líneas que es capaz de detectar y registrar, se expresa en pares de líneas por mm (pl/mm), de forma que cuanto mayor es el número de pares de líneas por mm registrado, mayor es la resolución y mayor fiabilidad tenemos para reproducir objetos de menor tamaño.

Las condiciones que aumentan el factor de intensificación reducen la resolución. Así, las pantallas de alta velocidad tienen baja resolución y por ende, las de alta resolución son de baja velocidad.

La resolución aumenta cuando disminuimos el tamaño de los cristales y disminuimos el grosor de la capa de elemento fosforescente.

4.1.6.5 Pantallas de tierras raras

El elemento fosforescente más utilizado en la fabricación de pantallas intensificadoras para diagnóstico médico hasta 1970, era el tungstenato de calcio. En la actualidad se han introducido nuevos elementos fosforescentes para las pantallas intensificadoras, todos son tierras raras excepto en las pantallas de fluorocloruro de bario. Los elementos usados en las pantallas más modernas son: oxisulfuro de gadolinio, oxisulfuro de lantano, oxisulfuro de itrio y oxibromuro de lantano.

Las pantallas de tierras raras son el doble de rápidas que las de tungstenato de calcio, sin perder resolución. Al ser más rápidas, se emplean técnicas radiográficas menores con lo que se reduce la dosis de radiación que recibe el paciente y se prolonga la vida del tubo.

Las pantallas de tierras raras obtienen su mayor sensibilidad gracias a una mayor absorción de rayos X y a una conversión más eficaz de los rayos X en luz visible.

La luz que emiten es distinta a la que emiten las de tungstenato de calcio, por este motivo, debemos utilizar una película radiográfica adecuada a dicha luz.

4.1.6.6 Cuidado de la pantalla de refuerzo

Las pantallas deben estar bien cuidadas para obtener radiografías de calidad, cualquier arañazo puede producir artefactos en la imagen final, con lo que tendremos una disminución en la calidad de la radiografía. De hecho, solo deben tocarse cuando se instalan en los chasis o para limpiarlas.

La frecuencia en la limpieza de las pantallas depende de cuánto se usan y del grado de limpieza del aire donde se utilizan. Como norma general, se limpiarán una vez al mes, utilizando los líquidos que se comercializan al efecto (compuestos antiestáticos), o bien usando agua y jabón suave (enjuagándolas y secándolas después con cuidado).

La interacción de los rayos X con el elemento fosforescente no las desgasta, solo hay que cambiarlas por manejo o mantenimiento inadecuado.

4.2 Imagen fluoroscópica/radioscópica

4.2.1 Características

4.2.1.1 Introducción

Su principal utilidad es la realización de exámenes dinámicos, es decir, la fluoroscopia se utiliza para visualizar el movimiento de estructuras y líquidos internos.

Si el técnico en radiología observa algo durante el estudio que considera debe grabar para un estudio posterior más minucioso, se puede realizar una radiografía con interrupción mínima de la fluoroscopia, es lo que se conoce por seriorradiografía.

La fluoroscopia es en la actualidad una exploración rutinaria, excepto cuando se utiliza para visualizar los vasos sanguíneos, lo que recibe el nombre de angiografía. Las dos principales aplicaciones de la angiografía corresponden a la neurorradiología y la radiología vascular, también pudiéndose obtener seriorradiografías.

En los equipos de fluoroscopia el tubo de rayos X suele estar debajo de la camilla del paciente. Sobre la camilla se encuentra el intensificador de imágenes y otros dispositivos de detección de imagen. Algunos equipos de fluoroscopia tienen el tubo de rayos X colocado sobre la camilla, con el intensificador de imagen bajo la misma. Otros equipos de fluoroscopia se controlan a distancia desde el exterior de la sala de exploración.

Durante la fluoroscopia con intensificador de imagen, la imagen se recibe en un monitor de TV.

En un examen radiográfico se utiliza una corriente del tubo de rayos X de cientos de mA. En fluoroscopia, la corriente del tubo es inferior a 5 mA.

Durante la fluoroscopia con intensificador de imagen, los valores normales de corriente son de 2 a 4 mA, por lo tanto la dosis que recibe el paciente durante el examen continúa siendo elevada, mucho más que un examen radiográfico.

La tensión de pico depende exclusivamente de la parte del cuerpo que se debe examinar. Los modernos equipos de fluoroscopia permiten al técnico seleccionar un nivel de brillo, variando automáticamente la tensión de pico, la corriente o ambas, en caso necesario. Un equipo de fluoroscopia con esas características se dice que tiene: control automático de brillo (ABC), estabilización automática del brillo (ABS), control automático de exposición (AEC) o control automático de ganancia (AGC).

4.2.1.2 Consideraciones visuales

Dado que la fluoroscopia es un proceso dinámico, el técnico deberá acostumbrarse a las imágenes en movimiento, requiriendo ciertos conocimientos sobre iluminación de imágenes y fisiología visual.

Iluminación

La principal ventaja que tiene el equipo de fluoroscopia con intensificador es el mayor brillo de la imagen. Del mismo modo que es más difícil leer un libro bajo luz débil que luz brillante, también es mucho más fácil interpretar una imagen fluoroscópica brillante que una débil. El nivel de iluminación se mide en lamberts (L) y mililamberts (mL) ($1 L = 1000 mL$).

No es necesario que conozcamos la definición del lambert, su importancia radica en mostrar la amplia gama de iluminaciones a la que es sensible el ojo humano.

Las radiografías se visualizan bajo niveles de iluminación de 10 a 1000 mL, los equipos de fluoroscopia con intensificador de imagen tienen niveles de iluminación similares.

Visión humana

Las estructuras oculares responsables de la visión son los conos y los bastones.

La luz que llega al ojo debe pasar primero a través de la córnea y después a través del cristalino, donde se enfoca la luz sobre la retina. Entre la córnea y el cristalino se encuentra el iris, que se comporta como el diafragma de una cámara fotográfica controlando la cantidad de luz que penetra en el ojo.

Si la luz exterior es muy brillante, el iris se cierra, dejando pasar sólo una pequeña cantidad. En la oscuridad, el iris se dilata, es decir, se abre para que penetre más luz. En fluoroscopia digital hay un iris que funciona de forma similar, ubicado entre el tubo intensificador de imagen y el tubo de la cámara de televisión.

Cuando la luz alcanza la retina es detectada por los conos y los bastones. Los conos se concentran en el centro de la retina, en una zona denominada fovea central. Los bastones son mucho más numerosos que los conos en la periferia de la retina y no hay ninguno en la fovea central.

Los bastones son muy sensibles a la luz y se utilizan en caso de escasa iluminación. Los conos son menos sensibles, pero son capaces de responder a niveles intensos de luz, cosa que no pueden hacer los bastones. En consecuencia, los conos se utilizan para visión diurna, llamada visión fotópica, y los bastones para la visión nocturna o visión escotópica. La capacidad de los bastones para visualizar objetos pequeños es mucho menor que la de los conos, esta capacidad se llama agudeza visual.

Los conos también son más capaces que los bastones para detectar diferencias de brillo, esta propiedad se conoce por percepción de contraste, además son también más sensibles a la percepción de colores, mientras que los bastones son prácticamente ciegos a ellos.

Técnicas de fluoroscopia práctica

En fluoroscopia es necesario obtener el máximo detalle posible y, para conseguirlo, el nivel de brillo debe ser elevado. Esta es la principal razón para el empleo del intensificador de imagen, ya que estos dispositivos van a elevar los niveles de iluminación.

Antes de que se empleara la fluoroscopia con intensificador de imagen, los ojos de los profesionales de la radiología debían acostumbrarse a la luz débil al menos durante 15 minutos antes de la exploración.

El brillo de imagen en fluoroscopia depende de la estructura anatómica del paciente que se esté explorando, de la tensión de pico y de la corriente instantánea. La anatomía no puede ser controlada por el técnico pero sí la tensión y la corriente. Por lo general, es preferible utilizar tensiones de pico elevadas y miliamperajes bajos. La técnica adecuada en cada caso la decidirán la experiencia y el entrenamiento del radiólogo y el técnico en radiología.

4.2.2 Intensificador de imágenes

4.2.2.1 Tubo intensificador de imagen

Es un dispositivo que consigue amplificar electrónicamente la luminosidad de la imagen remanente. Es un tubo electrónico de vidrio en el que se ha hecho el vacío, al instalarlo se monta dentro de un armazón metálico para protegerlo del trato brusco y evitar su rotura.

Los rayos X que salen del paciente e inciden sobre el tubo intensificador de imagen se transmiten a través de la envoltura de vidrio e interaccionan con el elemento fosforescente de entrada, que es yoduro de cesio (ICs). Entonces los rayos X se transforman en fotones de luz visible como sucedía con las pantallas intensificadoras en radiografía.

El siguiente elemento activo del tubo intensificador de imagen es el fotocátodo, que está unido al elemento fosforescente de entrada mediante una fina y transparente capa adhesiva. El fotocátodo es una fina capa de metal compuesta por cesio y antimonio, que responde a la estimulación de luz, emitiendo electrones.

Este proceso se denomina fotoemisión. El número de electrones emitidos por el fotocátodo es directamente proporcional a la cantidad

de luz que incide en el mismo, por lo tanto el número de electrones es proporcional a la cantidad de rayos X incidentes.

El tubo intensificador de imagen mide unos 50 cm de largo. Entre el fotocátodo y el ánodo se mantiene una ddp de 25.000 V para que los electrones emitidos por el fotocátodo se aceleren hacia el ánodo. Cerca del ánodo se encuentra el elemento fosforescente de salida, donde los electrones al chocar producen una ráfaga de luz. El elemento fosforescente de salida está formado por cristales de sulfuro de cinc (SZn) y cadmio (Cd). Cada electrón que llega al elemento fosforescente de salida produce al chocar con él de 50 a 75 veces más fotones de luz de los que fueron necesarios para crearlo.

Se denomina ganancia de flujo al cociente entre el número de fotones de luz que se producen en el elemento fosforescente de salida dividido entre el número de fotoelectrones de luz que se producen en el elemento fosforescente de entrada.

El aumento de iluminación se debe a:

- Al aumento de fotones de luz producidos en el elemento fosforescente de salida comparándolo con el número de fotoelectrones del elemento fosforescente de entrada.
- A la disminución de la imagen que se produce entre el elemento fosforescente de entrada y el de salida, este fenómeno se conoce por ganancia de reducción: es el cociente entre el cuadrado del diámetro del elemento fosforescente de entrada dividido entre el cuadrado del diámetro del elemento fosforescente de salida.

La ganancia de brillo es la capacidad del tubo intensificador para aumentar el brillo, y es el producto de la ganancia de reducción por la ganancia de flujo.

La ganancia de brillo de los intensificadores de imagen es de 5.000 a 20.000 y disminuye con la utilización y con la edad del tubo.

El tamaño del diámetro del elemento fosforescente de salida es bastante estándar entre 2,5 y 5 cm. El tamaño del elemento fosforescente de entrada oscila entre 10 y 35 cm de diámetro, este último es el que se utiliza para identificar los tubos intensificadores de imagen.

La imagen fluoroscópica obtenida necesita de un sistema para poder visualizarla, ya que esta imagen es de menor tamaño, más brillante e invertida: Sistema óptico de espejos para visualización directa, monitor de TV, cámara de cine (cinerradiografía) y cámara de seriografía. Estos sistemas se describirán más adelante.

4.2.2.2 Intensificador de imagen multicampo

También se denomina tubo de doble foco o trifoco. Proporciona bastante más flexibilidad en los exámenes fluoroscópicos y son estándar en fluoroscopia digital. Los más usados son: Doble foco 25 cm-17 cm (25/17) y los tubos trifoco 25/17/12 o 23/15/10. Estos números se refieren al diámetro del elemento fosforescente de entrada del tubo intensificador de imagen.

En modo 25 cm, todos los fotoelectrones que se producen en el fotocátodo chocan con el elemento fosforescente de salida.

Si se cambia a 17 cm aumenta el potencial de las lentes electrostáticas lo que hace que el punto focal de los electrones se separe del elemento fosforescente de salida y solo los fotoelectrones centrales chocan contra el elemento fosforescente de salida. Las consecuencias de este cambio de punto focal son la disminución del campo y el aumento de la imagen.

El factor de aumento está directamente relacionado con el cociente del diámetro de los tubos. En un tubo de 25/17, si utilizamos el modo 17 la imagen que se obtiene aumenta 1,5 veces más sobre la que se obtiene con 25.

Los inconvenientes de utilizar el modo 17 son:

- Al ser la ganancia en reducción más pequeña, el brillo total es menor, con lo cual la imagen es más tenue, menos luminosa.
- Para mantener el nivel de contraste (de luminosidad) se aumenta automáticamente la corriente con lo que aumentamos la dosis de radiación que recibe el paciente.
- Otro inconveniente es que la parte periférica de la imagen queda desenfocada y sufre degeneración en los bordes.

La principal ventaja sería la ampliación de la imagen.

4.2.3 Receptores de la imagen. Monitorización de la imagen fluoroscópica

4.2.3.1 Monitorización óptica

Es un sistema óptico de lentes y espejos que aumentan la imagen del elemento fosforescente de salida y la muestra en una pantalla de cristal. También recibe el nombre de sistema de espejos ópticos.

Las principales desventajas de este sistema son que el campo de visión es muy pequeño y sólo lo puede utilizar una persona cada vez.; y también que se pierde mucha luz, por lo cual no se aprovechan las características del tubo intensificador.

4.2.3.2 Monitor de televisión

El monitor de TV es el sistema utilizado más frecuente, aunque es más costoso. El elemento fosforescente de salida del tubo intensificador de imagen se conecta directamente al tubo de una cámara de televisión, el más utilizado es el Vidicón o Plumbicón. Este tubo convierte la imagen luminosa en una señal eléctrica que se envía al monitor donde se reconstruye la imagen en la pantalla.

La cámara de televisión está formada por una carcasa cilíndrica de 15 cm de diámetro y 25 de largo. Tiene una envoltura de vidrio que mantiene el vacío, un cátodo con un cañón de electrones que es un filamento caliente que suministra una corriente de electrones por emisión termoiónica.

Además tiene un conjunto de rejillas y de lentes electrostáticas que aceleran los electrones, en dirección del ánodo. Ese ánodo o blanco está formado por 3 capas:

- La más externa se llama ventana y es de vidrio.
- La del medio se llama placa de señal y es de metal o grafito, es fina para poder transmitir la luz y suficientemente gruesa como para actuar de conductor eléctrico. De ésta placa sale o se conduce la señal de vídeo fuera del tubo.
- La capa más interna del ánodo es una capa fotoconductiva, es decir deja pasar los electrones cuando esta iluminada y sino funciona como aislante, es de trisulfuro de antimonio.

El acoplamiento de la cámara de televisión al intensificador de imagen se puede realizar de 2 formas: mediante un haz de fibras ópticas o mediante lentes.

El haz de fibras ópticas es un método sencillo y compacto que facilita la manipulación del tubo del intensificador y ofrece un acoplamiento fuerte. Aunque no permite añadir dispositivos adicionales como sería la cámara de cine o la de seriografía.

El acoplamiento mediante lentes permite acoplar la cámara de cine y de seriografía a la vez, además, ofrece la posibilidad de ver la imagen mientras se graba. Es más voluminoso que el anterior y debe ser tratado con cuidado. Las lentes y los espejos deben estar ajustados con total precisión porque si se mueven la imagen aparece borrosa.

La señal de vídeo se amplifica y se transmite por cable hasta el monitor de televisión donde se transforma de nuevo en imagen visible. En el monitor de televisión solo existen dos controles: el brillo y el contraste.

El corazón del monitor es un tubo de imagen, es decir, tubo de rayos catódicos (C.R.T.) con un cañón de electrones, bobinas de enfoque y dirección y un ánodo que es: una pantalla fosforescente. El tubo recibe la imagen de vídeo modulada cuya magnitud es directamente proporcional a la intensidad de luz que recibió del intensificador, la rejilla de control y las bobinas enfocan el haz hacia la pantalla fosforescente. Está compuesta de cristales lineales perpendiculares y una envoltura de cristal, los electrones al chocar contra esa capa producen luz, el movimiento del haz de electrones produce en la pantalla una retícula (red).

Comienzan en el extremo superior izquierdo de la pantalla y van hacia el derecho creando una línea de luz con intensidad variable que se denomina trazo activo, se desconecta y vuelve horizontalmente hacia la parte izquierda (se llama retrazo horizontal) así hasta que llega al borde inferior derecho, entonces se desconecta y vuelve de nuevo hacia arriba, a esto se le llama "campo de televisión".

Cuando ha terminado un campo y vuelve de nuevo arriba se denomina "retrazo vertical" y describe otro trazo activo entre dos trazos activos del campo anterior, cuando termina tenemos 2 campos entrelazados que es un cuadro.

Con la corriente alterna de 50 Hz, se realizan 50 campos/segundo o 25 cuadros/segundo.

El ojo humano no aprecia el parpadeo o la velocidad por encima de 20 cuadros/seg. Los equipos pueden tener pantallas de 875 y de 1000 líneas. Cuantas más líneas poseen, mejor es la imagen obtenida.

4.2.3.3 Cinefluorografía

Aquí se sustituye el tubo de la cámara de TV por una cámara de cine, grabando la imagen en película para poder visualizarla posteriormente.

La cinefluorografía tiene su aplicación principal en técnicas angiográficas, sobre todo en el cateterismo cardíaco.

La dosis que recibe el paciente es mucho mayor que la administrada cuando se graba la imagen en cinta magnética o disco, pero la calidad también es mayor.

En cinefluorografía se utilizan cámaras de 16 a 35 mm, con ésta última la exposición que recibe el paciente es mayor que la recibida con cámaras de 16 mm, pero la calidad es mayor.

Las cámaras de cine están controladas mediante motores sincronizados, alimentados a la tensión de línea que es de 60 Hz, por tanto las frecuencias de cuadro son: 7,5, 15, 30 y 60 cuadros por segundo. Cuanto mayor sea la frecuencia mayor dosis recibirá el paciente.

Los estudios cardíacos requieren las frecuencias más altas sin embargo en estudios intestinales solo de 7,5 cuadros por segundo.

Todos los sistemas actuales de cinefluorografía son sincronizados, es decir, que el tubo de rayos X sólo actúa en el tiempo en que la película está en posición para ser expuesta.

4.2.3.4 Seriografía

Se utiliza en fluoroscopia con intensificador de imagen. La película de seriografía se coloca entre el paciente y el intensificador de imagen.

Cuando se desea una seriografía con película en casete, se debe cambiar el funcionamiento del tubo de corriente de fluoroscopia baja a corriente radiográfica alta, con lo que aumenta la dosis que recibe el paciente. Sin embargo las cassetes grabadas con película de seriografía

proporcionan al radiólogo un formato familiar y un buen nivel de calidad de imagen.

El uso de casete seriográfica está desapareciendo por el empleo de cámaras de seriografía de gran formato, pues tienen las siguientes ventajas:

- Reciben la imagen del elemento fosforescente de salida del tubo intensificador de imagen, y por tanto, la dosis que recibe el paciente es menor a la que producen las cassetes de película de seriografía.
- No obligan a interrumpir durante mucho tiempo el examen fluoroscópico.
- No se produce sobrecalentamiento del cabezal del tubo de rayos X.

Las actuales cámaras de seriografía utilizan películas de 70, 90 y 105 mm, como regla general si se aumenta el tamaño de la película, aumenta la calidad de la imagen y la dosis que recibe el paciente. Sin embargo con las películas de seriografía incluso siendo de 105 mm, el paciente recibe menos dosis de radiación que las producidas con los cassetes.

UNIDAD 5: IMAGEN DIGITAL

AUTORES:

María Isabel Marco Galve
Ignacio García Delgado

- 5.1 Introducción
- 5.2 Diferencia entre imagen analógica e imagen digital
- 5.3 Mamografía digital
- 5.4 Fluoroscopia
 - 5.4.1 Radiología vascular
 - 5.4.2 Estudio esófagogastroduodenal
 - 5.4.3 Enema opaco
 - 5.4.4 Histerosalpingografía
- 5.5 Ecografía (ultrasonidos)
 - 5.5.1 Historia de los ultrasonidos
 - 5.5.2 Concepto de ultrasonidos
 - 5.5.3 Física de los ultrasonidos
 - 5.5.3.1 Acústica básica
 - 5.5.3.2 Propagación de sonido
 - 5.5.3.3 Medición de la distancia
 - 5.5.3.4 Impedancia acústica
 - 5.5.3.5 Refracción
 - 5.5.3.6 Atenuación
 - 5.5.4 Ecografía 2-D y 3-D
- 5.6 Tomografía Computerizada
 - 5.6.1 Aplicaciones clínicas del TCMD
 - 5.6.1.1 Tórax
 - 5.6.1.2 Estudios coronarios
 - 5.6.1.3 Abdomen
- 5.7 Tomografía por emisión de positrones (PET/TC)

- 5.7.1 Radiofármacos más utilizados para estudios PET
- 5.7.2 Tomógrafo PET
- 5.8 Resonancia Magnética
- 5.9 Espectroscopia por resonancia magnética
 - 5.9.1 Obtención del espectro
 - 5.9.2 Posicionamiento de la bobina
 - 5.9.3 Homogenización del campo magnético
 - 5.9.4 Aplicaciones clínicas de la ERM
 - 5.9.4.1 Sistema nervioso central
 - 5.9.4.2 Próstata
- 5.10 Medicina Nuclear

En los últimos años estamos siendo testigos de la explosión de dispositivos y redes de imágenes digitales en Hospitales. La utilización de las tecnologías basadas en PC necesita de conocimientos y entrenamiento para ello. La especialización de los nuevos profesionales se debe realizar sobre sistemas digitales. Así, estos profesionales que manejan aparatos computados tales como TC, RM, ASD, sistemas CR, o equipos relacionados con la radiología digital, obtendrán los conocimientos necesarios para una mejor utilización de los mismos.

5.1 Introducción

Todas las técnicas de formación de la imagen médica, ya sea radiografía convencional o un sofisticado sistema de imagen digital, utilizan procedimientos similares para las fases básicas del ciclo de formación de la imagen:

- Producir la imagen de radiación: Todas las técnicas deben optimizar las diferencias en la absorción de rayos X entre las estructuras de interés y los tejidos del entorno. Es decir, deben producir una imagen de radiación con las mejores características para cubrir las necesidades de un diagnóstico específico.
- Captar y visualizar la imagen de radiación: La imagen de radiación, al no poder ser vista por el observador, debe modificarse

hasta permitir ser visualizada e interpretada para su información. El uso de fósforos para convertir la energía de los rayos X de la imagen de radiación en una forma más conveniente, es común para toda la radiografía médica, excepto en la técnica de exposición directa. Las características de la imagen deben ser igualmente mejoradas al máximo para cubrir las necesidades clínicas específicas.

- Registrar y archivar la imagen visual: La imagen debe ser registrada de forma que permita una fácil visualización, sencillez para comparar con los resultados de otras modalidades de formación de imágenes y fácil de trasladar a otros lugares (próximos o lejanos), y por último, posibilidad de archivo para posteriores consultas.

Las modalidades de la imagen digital, tales como la Tomografía Computada (TC), el Ultrasonido (US) y la Medicina Nuclear, ganaron gran aceptación en la década de los años 70. En los 80 apareció la Resonancia Magnética (RM) y la Angiografía por Sustracción Digital (DSA), aumentando la tendencia hacia la imagen digital. De todas formas, la radiología convencional con película ocupaba aproximadamente el 70% de todos los exámenes de diagnóstico que se realizaban.

En la década de los años 90, se integra la radiología convencional en un contexto digital. Un primer paso fue la utilización de los sistemas de digitalización de películas mediante escáneres, el segundo con la aparición de los primeros sistemas de películas de fósforo y, finalmente, los sistemas de captura directa.

Sólo recientemente, es técnicamente posible utilizar tecnologías electrónicas para reemplazar la película radiográfica en parte de sus funciones: visualización, almacenamiento y comunicación. El despliegue de monitores de alta resolución con elevada luminancia, las altas prestaciones de los ordenadores actuales representados por las estaciones de trabajo, la posibilidad de tener imágenes digitales activas en dispositivos de almacenamiento que pueden recuperar grandes cantidades de datos e imágenes y las redes modernas que son capaces de transmitir imágenes archivadas a gran velocidad, donde y cuando se requieran, ha permitido definitivamente implantar la imagen digital.

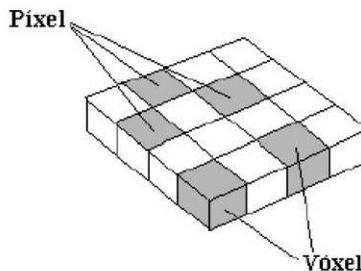
Diferencia entre imagen analógica e imagen digital

En los sistemas convencionales, el operador selecciona los factores técnicos que mejoran al máximo el contraste, la borrosidad y el ruido de

la imagen de radiación. La segunda y tercera fase del ciclo de formación de imágenes utilizan una combinación de película-pantalla. Las pantallas de refuerzo convierten la energía de los rayos X de la imagen de radiación en energía luminosa, la cual expone la película radiográfica y se forma la imagen latente. El brillo de la luz emitida por la pantalla varía de forma continua y proporcional, con más luz emitida en las regiones de la pantalla que han sido expuestas a flujos de rayos X mayores. La proporcionalidad de la luz emitida es transferida a la película radiográfica produciendo un mayor oscurecimiento con el aumento de la exposición. Este sistema es un sistema analógico, ya que las fases de capturar y registrar la imagen hacen uso de señales continuamente variables.

En la fase de capturar la imagen, la señal se refiere a la intensidad lumínica de la pantalla, la cual es continuamente variable (rayos luminosos) y proporcional al flujo de fotones de rayos X de la imagen de radiación. En la fase final, la luz de las pantallas fluorescentes se registra en la película de halogenuro de plata como una escala continua de grises.

Las características de visualización de la imagen se controlan seleccionando un receptor con características de contraste de la película, borrosidad y ruido que cubran los requisitos específicos necesarios. El procesamiento de la película convierte estas características específicas de forma que la imagen pueda ser visualizada en la radiografía final. Se produce un registro transportable y de archivo que posee la información contenida en la imagen de radiación y reproduce la imagen junto con las características de contraste radiográfico, borrosidad y ruido del sistema película/pantalla.



Los sistemas de formación de imágenes electrónicas difieren de las técnicas película-pantalla en que la conversión de la energía de rayos X de la imagen de radiación se lleva a cabo utilizando otro medio, diferente a una pantalla de refuerzo. Las imágenes electrónicas se visualizan utilizando tubos de rayos catódicos (CRT), que pueden mostrar

tanto imágenes de vídeo analógicas como imágenes digitales. En fluoroscopia analógica, la cámara de video (tubo) proporciona una señal electrónica de voltajes que varían continuamente, lo que se utiliza para estimular el brillo del fósforo del CRT.

Un píxel (picture element: elemento de imagen) se refiere a la unidad más pequeña de la matriz de la imagen, un punto con una coordenada específica (posición de líneas y columnas) que corresponde a una posición en el paciente. La posición en el paciente que corresponde a un píxel se denomina voxel (volume element: elemento de volumen). Las imágenes digitales son imágenes compuestas por pixels. El valor de cada píxel es la representación digital de la característica (parámetro) medida por cada modalidad (TC, RM) para formar una imagen. Así, en fluoroscopia digital, el parámetro de la imagen representado por el píxel es el flujo de rayos X de la imagen de radiación. Un píxel de una imagen de ultrasonidos representa la intensidad del eco de la onda sonora detectado por el transductor. La intensidad de la señal de radio-

(RF) es el parámetro de la imagen, detectado por las bobinas en un sistema de formación de imágenes por resonancia magnética.

Estos sistemas son digitales porque la información de la imagen se transporta en forma de dígitos binarios (binary digits o bits). Un bit puede tener un valor de 0 o 1, representando las señales eléctricas que sólo tienen dos estados "encendido" o "apagado". Los términos binario y digital se usan indistintamente. Como las señales digitales son binarias (valores distintos o discretos de energía), se dice que son "no continuas", al contrario de las señales analógicas (continuas).

En algunos casos, los datos de la imagen electrónica pueden ser temporal o permanentemente almacenados utilizando la tecnología de los discos ópticos o magnéticos. Todos los sistemas de formación de imágenes electrónicas pueden utilizar las ventajas de la película de halogenuro de plata para archivo y transporte de imágenes.

Las imágenes electrónicas se transfieren a la película mediante el uso de un dispositivo láser para la formación de imágenes.

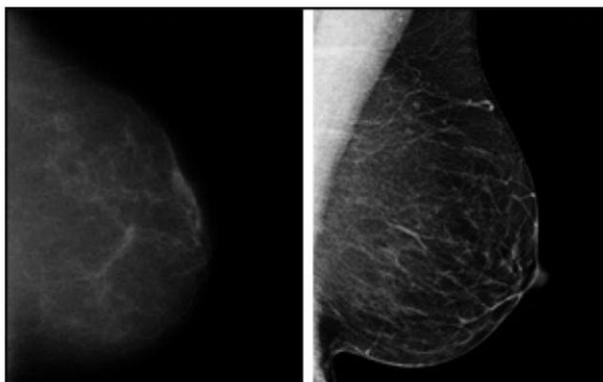
5.3 Mamografía digital

En la mamografía convencional la imagen se obtiene usando detectores pantalla-película, que graban los fotones de radiación que

pasan a través de la mama. Uno de los protagonistas, en esta imagen analógica son los detectores pantalla-película, que en la práctica determinan en alto grado entre otras cosas, la resolución espacial.

Algunas pantallas con más actividad que otras, tendrán más material fosforescente que al interactuar con los fotones de radiación permitirán una exposición más corta disminuyendo la posibilidad de borrosidad por movimiento y además reducirán la dosis glandular, sin embargo, la calidad se verá afectada por el aumento de la borrosidad resultante de la producción e interacción de una mayor cantidad de luz.

Un problema importante del sistema detector pantalla-película es el hecho que las películas no tienen capacidad de respuesta inmediata a los fotones que la inciden, es así como obtenemos en las áreas de mayor densidad, mayor absorción de radiación, que en la imagen aparecen más blancas, quedando un rango muy pequeño para que la atenuación de la radiación en los tejidos se exprese en términos de contraste. Este hecho debe tomarse en cuenta sobre todo cuando constatamos que aunque con la película se obtenga una alta resolución, al no acompañarse de un adecuado contraste, determinara que algunas lesiones sean subdiagnosticadas.



Mamografía convencional - Mamografía digital

Todas las razones enunciadas llevaron a establecer como prioridad la línea de investigación hacia la mamografía digital, desarrollándose altas tecnologías que presentan diferencias importantes en su desarrollo.

Se ha logrado dos tipos de obtención de imágenes conocidas como digitales. Ambos van asociadas al desarrollo de otros factores, diferen-

tes de la producción de la imagen propiamente tal, como lo son la tecnología de monitores, vías de transmisión, software de procesamiento de las imágenes, etc.

La mamografía digital primaria o digital propiamente tal mide directamente los fotones de radiación que pasan por la mama. La importancia de esto es que el equipo tiene la capacidad de leer los primeros fotones lo cual no es obtenido con el sistema pantalla-película y además lee un gran flujo de ellos, permitiendo la obtención de información de una enorme cantidad de puntos de la mama, practicándose un mapeo más exacto de las variaciones de atenuación de los tejidos mamarios.

Este sistema se utiliza en mamógrafos digitales directos y mamógrafos digitales indirectos.

Los mamógrafos digitales directos tienen detectores de radiación que convierten directamente la información en carga eléctrica. Habitualmente utilizan selenio como fotodetectores por su afinidad con los rayos X. Los indirectos ocupan dos pasos en el proceso de digitalización: la radiación convertida en luz es recibida por fotodiodos y transformada en carga eléctrica.

Por último en el sistema pantalla-película la imagen una vez obtenida no puede modificarse, puede perderse y en ocasiones su transmisión y almacenamiento crea verdaderos problemas. Sin embargo, debemos tener en consideración que este sistema, es económico y eficaz en la producción de imágenes cuando se usa una adecuada combinación pantalla-película. La película usada normalmente tiene una resolución teórica de 17 a 20 pares de líneas por mm.

Ambos sistemas pertenecen al grupo conocido en la literatura como radiología digital directa (DR).

El segundo sistema es la conocida como sistemas de radiología computada (CR) dado que utiliza procesos computacionales y digitaliza posteriormente la imagen ocupada con un lector láser.

Los digitalizadores trabajan al pasar la luz a través de la radiografía, grabando la intensidad de la luz transmitida en cada punto de la imagen, consignándole un número a esta intensidad lumínica. Luego se copia de manera digital, permitiendo manipulación posterior de la imagen. La crítica a este sistema tiene que ver con que sería una copia de la imagen latente que potencialmente pierde información y aumenta el ruido en la imagen.

5.4 Fluoroscopia

La fluoroscopia o radioscopía es una técnica que utiliza un tubo intensificador de imagen que convierte la energía de los rayos X de la imagen de radiación, en una imagen de luz visible reducida. En fluoroscopia convencional, un tubo de video convierte la imagen de luz visible en una señal de video analógico que puede ser visualizada en un monitor de TV y almacenada en una cinta o disco de video. Los sistemas fluoroscópicos ofrecen la posibilidad de formar imágenes en tiempo real, creando una imagen móvil de la función dinámica del paciente. Los sistemas fluoroscópicos digitales convierten la señal analógica de video en datos digitales. El resultado es una matriz de datos digitales para cada fotograma de video, que corresponde al brillo de la luz visible de la imagen. La imagen digital está formada por líneas y columnas de datos y llamamos píxel a cada punto individual.

Este tipo de tecnología tiene muy diversas aplicaciones clínicas, una de las más importantes es la radiología vascular.

5.4.1 Radiología vascular

Hace poco más de 50 años la única opción posible para realizar una angiografía era introducir una aguja rígida de gran calibre a través de la espalda del paciente, puncionar directamente la arteria aorta e inyectar contraste en ella. En 1953, el radiólogo sueco I. Seldinger, ideó un sistema mucho menos traumático, consistente en introducir un catéter a través de la arteria femoral y controlar sus movimientos en una pantalla de rayos X.

Han pasado poco más de 30 años desde las primeras angioplastias con balón, pero en este corto periodo de tiempo los progresos han sido enormes. En la actualidad los radiólogos pueden acceder mediante una aguja, una guía y un catéter a los lugares más recónditos del mapa vascular del organismo, e incluso a los territorios no vasculares, como son las vías biliares o urinarias, el tubo digestivo, el aparato reproductor femenino o el aparato lagrimal. Todo ello ha contribuido a que la radiología vascular intervencionista constituya actualmente uno de los principales avances de la Medicina de los últimos tiempos, al permitir tratar con métodos mínimamente invasivos enfermedades cuya única alternativa terapéutica hasta hace pocos años era la cirugía abierta.



Arteriografía cerebral. Mediante la introducción de un contraste radioopaco (visible con rayos X) se obtiene un mapa vascular, obteniendo imágenes en tiempo real.

5.4.2 Estudio esófagoduodenal

La radiografía del tracto gastrointestinal superior es un examen de rayos X de la faringe, el esófago, el estómago y la primera parte del intestino delgado (duodeno) que utiliza una forma especial de rayos X llamada fluoroscopia y un medio de contraste llamado bario. También se denomina EGD (esofagogastroduodenal).

La fluoroscopia posibilita ver los órganos internos en movimiento. Cuando el tracto gastrointestinal se cubre con bario, el radiólogo puede ver y evaluar la anatomía y función de la faringe, el esófago, el estómago y el duodeno.

Además de la ingesta de bario, algunos pacientes también reciben cristales de bicarbonato de soda para mejorar aún más las imágenes. Este procedimiento se denomina estudio de doble contraste o contraste de aire.

Un EGD ayuda a evaluar la función digestiva y a detectar:

- Úlceras
- Tumores
- Inflamación del esófago, el estómago y el duodeno

- Hernias de hiato
- Fibrosis
- Cicatrización
- Obstrucciones
- Anormalidades de la pared muscular de los tejidos gastrointestinales.

Las mujeres siempre deben informar a su médico o al tecnólogo de rayos X si existe la posibilidad de embarazo. Muchos exámenes por imágenes no se realizan durante el embarazo ya que la radiación puede ser peligrosa para el feto. En caso de que sea necesario el examen de rayos X, se tomarán precauciones para minimizar la exposición del bebé a la radiación.

Para garantizar la mejor calidad de imagen posible, el estómago debe encontrarse libre de alimentos.

El equipo generalmente utilizado para este examen consiste en una mesa radiográfica, un tubo de rayos X y un monitor similar a un televisor ubicado en la sala de exámenes o en un cuarto cercano. Al usarse para ver imágenes en tiempo real, el intensificador de imágenes (que convierte los rayos X en imágenes de video) se encuentra suspendido por encima de una mesa sobre la que se recuesta el paciente. Al usarse para tomar cuadros estáticos, la imagen se captura ya sea electrónicamente o en película.

La fluoroscopia utiliza un haz continuo de rayos X para crear una secuencia de imágenes que se proyectan en una pantalla fluorescente o en un monitor similar a un televisor. Al utilizarse con un medio de contraste, que define claramente el área a examinar haciéndola aparecer en blanco brillante, esta técnica especial de rayos X posibilita al médico ver los órganos internos en movimiento. Las imágenes sin movimiento también son capturadas y almacenadas en película o electrónicamente en una computadora.

Hasta hace poco las imágenes de rayos X se mantenían como una copia impresa en película (muy similar a un negativo fotográfico). Actualmente, la mayoría de las imágenes son archivos digitales que se almacenan electrónicamente. Estas imágenes almacenadas son de fácil acceso y a veces se comparan con las imágenes actuales de rayos X para el diagnóstico y la administración de enfermedades.

Este examen por lo general se realiza en pacientes ambulatorios y se programa frecuentemente por la mañana para reducir el tiempo de ayuno del paciente.

Mientras el paciente bebe el bario líquido, que se asemeja a un baido de color claro, el radiólogo verá cómo el bario pasa por el tracto digestivo del paciente en un fluoroscopio, un dispositivo que proyecta imágenes radiográficas en una secuencia similar a las películas en un monitor. La mesa de examen se posicionará en diferentes ángulos y el abdomen del paciente puede ser comprimido para ayudar a dispersar el bario. Una vez que el tracto gastrointestinal superior se encuentra adecuadamente cubierto con bario, se tomarán imágenes de rayos X sin movimiento y se guardarán para mayor revisión.

Para estudios EGD con imágenes de doble contraste, el paciente ingerirá cristales de bicarbonato sódico que generan gas en el estómago mientras se toman imágenes adicionales de rayos X.

Beneficios:

- La radiografía del tracto gastrointestinal superior es un procedimiento extremadamente seguro y no invasivo.
- Los resultados de la serie de radiografías EGD por lo general llevan a un análisis exacto del esófago, el estómago y el duodeno.
- Teniendo en cuenta que el bario no es absorbido en sangre, las reacciones alérgicas son poco comunes.
- No queda radiación en el cuerpo de un paciente luego de realizar el examen de rayos X.
- Los rayos X por lo general no tienen efectos secundarios en el rango diagnóstico.

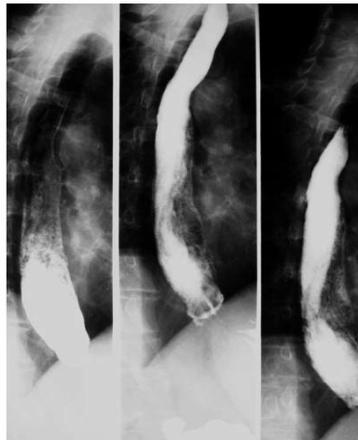
Riesgos:

- Siempre existe una leve probabilidad de tener cáncer como consecuencia de la exposición a la radiación. Sin embargo, el beneficio de un diagnóstico exacto es ampliamente mayor que el riesgo.
- La dosis efectiva de radiación del procedimiento es de alrededor de 6 mSv, que es aproximadamente la misma que una persona promedio recibe de radiación de fondo en dos años. Ver la página

de Seguridad para obtener mayor información sobre la dosis de radiación.

- Algunos pacientes pueden ser alérgicos al saborizante agregado a algunos tipos de bario. Si ha experimentado reacciones alérgicas después de comer chocolate, ciertas bayas o cítricos, asegúrese de informarle a su médico o tecnólogo antes del procedimiento.
- Existe una leve posibilidad de retener un poco de bario que puede derivar en una obstrucción del sistema digestivo. En consecuencia, los pacientes que tienen una obstrucción en el tracto gastrointestinal no deben realizarse este examen.
- Las mujeres siempre deberán informar a su médico o al tecnólogo de rayos X si existe la posibilidad de embarazo.

Se debe tener especial cuidado durante los exámenes de rayos X en utilizar la mínima dosis posible de radiación y a la vez generar las mejores imágenes para la evaluación.



Esofagograma con bario

5.4.3 Enema opaco

El enema opaco es un estudio del colon realizado con fluoroscopia. Antes de tomar las radiografías, se introduce un líquido llamado sulfato de bario, en el recto. Este líquido es un tipo de medio de contraste, vi-

sible cuando realizamos la radiografía, de tal manera que rellenamos la luz del colon y se pone de manifiesto patología a este nivel. El bario finalmente sale del cuerpo con las heces.

El examen se puede realizar en un consultorio o en la sala de radiología de un hospital. El paciente se sitúa en decúbito supino en la mesa de rayos X y se le toma una radiografía preliminar. Luego, se le solicita que se acueste de lado y el médico le inserta suavemente una sonda bien lubricada dentro del recto. La sonda va conectada a una bolsa que contiene bario, el cual fluye dentro del colon.

Se puede inflar un pequeño globo ubicado en la punta de la sonda del enema para ayudar a que el bario permanezca en el interior del colon, evitando que salga por incontinencia de los esfínteres. El médico vigila el flujo del bario en una pantalla fluoroscópica para rayos X.

Existen dos tipos de enemas de bario o enemas opacos:

- Enema opaco simple que utiliza bario para resaltar el intestino grueso.
- Enema opaco de doble contraste que utiliza el bario, pero que también introduce aire dentro del colon para expandirlo, lo cual permite imágenes incluso mejores.

Se le pide a la persona que adopte diferentes posiciones y la mesa se inclina un poco para obtener diferentes ángulos. En ciertos momentos en los que se están tomando las radiografías, el paciente debe contener la respiración y permanecer quieto durante unos cuantos segundos para que las radiografías no salgan movidas.

Una vez que se han tomado las radiografías, se retira la sonda de enema y a la persona se le entrega un orinal o se le ayuda a llegar hasta el baño para que evacue y elimine del intestino la mayor cantidad posible de bario. Después de salir del baño, se pueden tomar 1 ó 2 radiografías más.

Para que se pueda rellenar adecuadamente el colon y no confundir heces con patología, es necesario que el paciente realice una preparación para el examen, que consiste en vaciar completamente sus intestinos antes del examen, lo cual puede hacerse utilizando un enema o laxantes combinados con una dieta líquida estricta. El médico le dará a la persona instrucciones específicas con respecto a esto. Para lograr imágenes nítidas, es necesario hacer una limpieza completa del intestino grueso.

El enema opaco o enema de bario se emplea para detectar cáncer de colon. Se puede usar también para diagnosticar y evaluar la magnitud de una enfermedad intestinal inflamatoria.



Enema opaco en el que se observa un cáncer a nivel de colon sigmoide

5.4.4 Histerosalpingografía

La histerosalpingografía (HSG) se usa para diagnosticar problemas del útero y las trompas de Falopio. Se usa con más frecuencia para determinar si las trompas de una mujer están parcial o totalmente obstruidas. Puede también revelar si el tamaño y la forma interna del útero son normales.

La HSG es un procedimiento en el que se emplean radiografías para ver el interior del útero y las trompas de Falopio. Este procedimiento revela la presencia de tejido cicatrizante o anomalías con respecto al tamaño y la forma, los cuales pueden producir infertilidad y problemas durante el embarazo. La HSG también se usa unos meses después de algunos procedimientos de esterilización para garantizar que las trompas de Falopio se hayan obstruido totalmente.

La HSG se hace en un hospital, una clínica o en el consultorio de un proveedor de atención médica. Es mejor hacer este procedimiento durante la primera mitad (los días 1 a 14) del ciclo menstrual. Este período reduce la posibilidad de que pueda estar embarazada.

La HSG no se realiza si la mujer está embarazada, tiene una infección pélvica o presenta sangrado uterino intenso en la fecha del procedimiento.

Durante una HSG, se aplica un medio de contraste en el útero y las trompas de Falopio. Éste es un líquido que contiene un tinte. El tinte aparece en contraste con las estructuras del cuerpo en la pantalla de una radiografía. Al hacerlo, delinea las orillas y permite ver el tamaño y la forma de los órganos internos. También es posible ver cómo el tinte se desplaza por las estructuras del cuerpo.

El procedimiento se realiza de la forma siguiente:

La paciente se coloca en posición ginecológica. A continuación, se introduce por la vagina un instrumento que se denomina espéculo. Este instrumento mantiene abiertas las paredes de la vagina y permite ver el cuello uterino. El cuello uterino se limpia con antiséptico.

El contraste se introduce mediante uno de dos métodos. En un método, se sostiene el cuello uterino con un instrumento para mantenerlo fijo. Se introduce entonces otro instrumento que se llama cánula en el cuello uterino. En el otro método, se pasa un tubo de plástico delgado por la abertura del cuello uterino. Al final de este tubo hay un pequeño balón que se infla. El balón mantiene fijo el tubo en el útero.

El espéculo entonces se extrae y se le coloca a la paciente bajo el tubo de rayos.

Se introduce lentamente el contraste por la cánula o el tubo en el útero y las trompas de Falopio. Este líquido puede causar cólicos al pasar a la cavidad peritoneal.

El control radiológico del estudio se realiza mediante fluoroscopia, y se toman radiografías a medida que el medio de contraste llena el útero y las trompas. Si no hay ninguna obstrucción, el líquido se dispersa lentamente fuera del extremo de los tubos.

Durante la histerosalpingografía, se inyecta un tinte dentro del útero a través de un tubo de plástico o una cánula. Se toman imágenes radiográficas a medida que el tinte se desplaza por el útero y entra en las trompas de Falopio.



Histerosalpingografía

5.5 Ecografía (ultrasonidos)

La ecografía es una moderna técnica de diagnóstico por imagen que utiliza la propiedad de los ultrasonidos de producir ecos cuando encuentran un tejido distinto a su paso por el organismo.

En los últimos años las técnicas de ultrasonidos han evolucionado de forma espectacular gracias a los progresos combinados obtenidos con los captadores, el comando electrónico y el tratamiento de la señal. Los últimos adelantos están ligados a la aparición de aparatos en tiempo real, a la focalización electrónica y al empleo de memorias de imagen de gran dinámica. Estas mejoras han transformado los primeros ecógrafos en útiles de trabajo prácticos, muy efectivos, en los cuales la formación de imágenes depende de cada vez menos del manipulador.

El desarrollo paralelo de la técnica doppler permitió a partir de entonces explorar la gran mayoría de órganos y estructuras con la exploración funcional cardiovascular. Se ha mostrado inocuidad total de los ultrasonidos, a las potencias acústicas utilizadas para el diagnóstico, y que la relación información-coste de los aparatos de ecografía y doppler es la más ventajosa entre los aparatos por la imagen empleados en medicina.

La ecografía se desarrolló primero en el terreno donde la exploración tradicional utilizaba técnicas traumáticas o de irradiación. Este fue el caso de la ecografía obstetricia y abdominal, así como el de ecocar-

diografía. La puesta a punto de los captadores de alta frecuencia ha permitido rápidamente aplicar los ultrasonidos en pediatría y para la exploración de órganos superficiales como la mama, el tiroides, los testículos o los músculos, la última evolución a consistido en el desarrollo de los captadores para la endosonografía (esófago, recto, vagina) y para su utilización preoperatoria.

En la actualidad, pocas estructuras u órganos escapan a la exploración por ultrasonidos. No obstante, hay que recordar que el aire y el calcio óseo constituyen barreras para la impedancia acústica, que reflejan casi totalmente la energía ultrasonora incidente y, por tanto no permiten el estudio de las estructuras que están por detrás de ellas (sombra acústica). Sólo utilizando ventanas acústicas favorables, el ecografista asegura un examen completo y de calidad.

La ecografía del sistema musculotendinoso se ha beneficiado de los recientes procesos de la técnica ultrasonora y, en particular, del desarrollo de captadores de focalización electrónica de alta frecuencia.

Las indicaciones de esta técnica son múltiples y siguen creciendo día a día. Se considera un método en expansión inocuo, atraumático y sin radiaciones ionizantes, cuyo uso generalizado la hace absolutamente imprescindible de la medicina actual.

La ecografía abdominal es una técnica que se ha desarrollado mucho en los últimos años, siendo una técnica de diagnóstico por imagen inocua, fácil de realizar, repetitiva, barata y que permite el estudio de los órganos abdominales de una manera rápida y precisa.

5.5.1 Historia de los ultrasonidos

En el año 1870, Galton investigó los límites de la audición humana, fijando la frecuencia máxima a la que podía oír una persona. Llegó a la conclusión de que los sonidos con frecuencias inaudibles por el ser humano, presentaban fenómenos de propagación similares al resto de las ondas sonoras, aunque con una absorción mucho mayor por parte del aire.

A partir de entonces, se empezó a investigar en temas relacionados con la generación de los ultrasonidos.

Las primeras fuentes artificiales de ultrasonidos aparecieron en la década de 1880. Los hermanos Jacques y Pierre Curie fueron los pri-

meros en descubrir el efecto piezoeléctrico, o cambio de la distribución de las cargas eléctricas de ciertos materiales cristalinos tras un impacto mecánico. En esta misma década; Lippmann y Voigt experimentaron con el llamado efecto piezoeléctrico inverso, aplicable realmente a la generación de los ultrasonidos. Otro pionero fue Roentgen que participó en los primeros experimentos con ultrasonidos y publicó varios trabajos en los que describía sus experiencias con sonidos de alta frecuencia.

A lo largo del siglo XX, se han producido grandes avances en el estudio de los ultrasonidos, especialmente en lo relacionado con las aplicaciones: acústicas, subacuáticas, medicina, industria, etc. Concretamente, Langevin lo empleó durante la primera Guerra Mundial para sondeos subacuáticos, realizando un sencillo procesado de las ondas y sus ecos. Richardson y Fessenden, en la década de los años 10 idearon un método para localizar icebergs, con un procedimiento similar al utilizado hoy en día (método de impulsos). Mulhauser y Firestones entre 1933 y 1942 aplicaron los ultrasonidos a la industria y a la inspección de materiales.

5.5.2 Concepto de ultrasonidos

Es cualquier sonido por encima de lo audible por el ser humano.

Los sonidos se clasifican en función del oído humano en Infrasonido, Sonido Audible y Ultrasonido. De esta manera tenemos:

- **INFRASONIDO:** Todo sonido por debajo de lo audible por el oído humano, es decir, por debajo de los 20 hertzios (Hz)
- **SONIDO AUDIBLE:** Todo sonido audible que se encuentra dentro de lo audible por el oído humano, es decir, entre 20 y 20000 Hz
- **ULTRASONIDO:** Todo sonido que se encuentra por encima de lo audible por el oído humano, es decir, por encima de los 20000 Hz

No obstante, en la naturaleza existen muchos ejemplos de especies que se pueden transcribir (transmitir y recibir) por ultrasonidos. Los murciélagos y algunos insectos tienen órganos sensoriales ultrasónicos muy desarrollados que funcionan aproximadamente a 120 Khz. Sin embargo, no existen fuentes de ultrasonidos naturales conocidas con el rango de frecuencia empleado en la ecografía diagnóstica médica o con fines terapéuticos, que es de 1 a 15 Mhz.

Así sabemos que existen dos utilidades sanitarias para los ultrasonidos que son:

- **ULTRASONOTERAPIA:** Terapia por ultrasonidos.
- **ULTRASONODIAGNOSTICO:** Diagnóstico por ultrasonidos. Esta es la llamada ecografía.

5.5.3 Física de los ultrasonidos

Todas las aplicaciones diagnósticas de los ultrasonidos están basadas en la detección y representación de la energía acústica reflejada por interfases en el interior del organismo. Estas interacciones proporcionan la información necesaria para generar imágenes del organismo de alta resolución en escala de grises, así como para representar información relacionada con el flujo sanguíneo. Las propiedades peculiares de imagen de los ultrasonidos los han convertido en un método de obtención de imágenes relevante y versátil. Por desgracia, el uso de material de ecografía moderno y caro no garantiza la obtención de estudios de alta calidad con valor diagnóstico. La obtención del beneficio máximo de esta compleja tecnología requiere una combinación de habilidad, con conocimiento de los principios físicos que dotan a los ultrasonidos de sus propiedades diagnósticas peculiares. El usuario debe conocer los fundamentos de las interacciones de la energía acústica con los tejidos, así como los métodos y el instrumental empleados para producir y optimizar la representación de los ultrasonidos. Con este conocimiento el usuario puede recopilar la máxima información en cada exploración y evitar problemas y errores diagnósticos provocados por la omisión de información o por la interpretación equivocada de los artefactos.

La ecografía convencional y la ecografía doppler están basadas en la dispersión de la energía sónica por interfases formadas por materiales de propiedades diferentes mediante interacciones gobernadas por la física acústica. Para generar imágenes con ultrasonidos se emplea la amplitud de la energía reflejada y las desviaciones de la frecuencia en los ultrasonidos de retrodispersion proporciona información sobre objetivos en movimiento como la sangre. Para producir, detectar y procesar los datos de ecografía hay que controlar numerosas variables, muchas de ellas bajo control directo del operador. Para ello, el operador debe conocer los métodos empleados para generar datos de ecografía y la teoría y manejo del instrumental que detecta, representa y almacena la información acústica generada durante las exploraciones clínicas.

5.5.3.1 Acústica básica

Longitud de onda y frecuencia

El sonido es el resultado de la mecánica que viaja a través de la materia en forma de onda produciendo compresión y rarefacción alternas. Las ondas de presión se propagan por desplazamiento físico limitado del material a través del que se transmite el sonido.

Los cambios de presión en el tiempo definen las unidades básicas para medir el sonido:

- La distancia entre puntos correspondientes en la misma fase en la curva tiempo-presión se define como longitud de onda.
- El tiempo para completar un ciclo se denomina período, el número de ciclos completos por unidad de tiempo es la frecuencia de sonido.
- La frecuencia y el período mantienen una relación inversa.

En la naturaleza las frecuencias acústicas se encuentran en un rango entre menos de 1 Hz y más de 100.000 Hz (100kHz). La audición humana se limita a la parte inferior de este rango, entre 20Hz y 20.000Hz. El ultrasonido se diferencia del sonido audible solo por su frecuencia y es entre 500 y 1000 veces mayor que es sonido que podemos oír en condiciones normales. La frecuencia de los sonidos empleados en aplicaciones diagnósticas oscilan entre 2 y 15 MHz, aunque están investigándose frecuencias hasta de 50 y 60 MHz para ciertas aplicaciones de imagen especializadas. Por lo general, las frecuencias utilizadas para la imagen por ultrasonidos son mayores que las empleadas para el doppler. Con independencia de la frecuencia, se aplican los mismos principios de la acústica.

5.5.3.2 Propagación de sonido

La mayoría de las aplicaciones clínicas de los ultrasonidos emplean descargas breves o pulsos de energía que se transmiten al cuerpo, donde se propaga a través del tejido. Las ondas de presión acústica pueden viajar en una dirección perpendicular a la dirección de las partículas desplazadas (ondas transversales), pero en el tejido y en los fluidos, la propagación del sonido se realiza en dirección del movimiento

de las partículas (ondas longitudinales). La velocidad a la que se desplaza la onda de presión a través del tejido es muy variable y esta influenciada por las propiedades físicas del tejido. La velocidad de propagación está determinada de forma relevante por la resistencia del medio a la compresión. Esta viene determinada por la densidad del medio y por su rigidez o elasticidad. La velocidad de propagación aumenta al aumentar la rigidez y disminuye al aumentar la densidad. La velocidad de propagación en el organismo puede considerarse constante para un tejido determinado y no se modifica por la frecuencia o la longitud de onda del sonido. En el cuadro de velocidades de propagación típicas de diferentes materiales. Se supone que la velocidad de propagación del sonido en el organismo es de 1540 m/s. esta cifra es el promedio de las determinaciones obtenidas en tejidos normales. Aunque se trata de un valor representativo de la mayoría de los tejidos blandos, algunos tejidos, como el pulmón con aire y la grasa, tienen una velocidad de propagación sustancialmente menor, y otros, como el hueso, una velocidad superior. Debido a que algunos tejidos normales tienen velocidad de propagación bastante diferente del valor promedio, la representación de estos tejidos puede estar sujeta a errores o artefactos de medición.

5.5.3.3 Medición de la distancia

La velocidad de propagación es un valor particularmente importante en ecografía clínica y resulta crítico para determinar la distancia entre una interfase reflectante y el transductor. Gran parte de la información utilizada para generar una imagen ecográfica está basada en una medición exacta del tiempo. Si se transmite un pulso de ultrasonidos al organismo y se mide el tiempo. Si se transmite un pulso de ultrasonidos al organismo y se mide el tiempo hasta que vuelve el eco, resulta sencillo calcular la profundidad de la interfase que genera el eco, siempre que conozcamos la velocidad de propagación del sonido en ese tejido. Por ejemplo, si el intervalo de tiempo para la transmisión de un pulso hasta que vuelve el eco es de 0,145ms y la velocidad del sonido es de 1540m/s, la distancia que ha recorrido el sonido debe ser de 22,33cm $\rightarrow (1540\text{m/s} \times 100\text{cm/m} \times 0,000145\text{s} = 22,33\text{cm})$. Dado que el tiempo medido comprende el tiempo que tarda el sonido en llegar a la interfase y en volver por el mismo camino hasta el transductor, la distancia desde el transductor hasta la interfase reflectante es $22,33\text{cm}/2 = 11,165\text{cm}$. Por este motivo, la precisión de esta medición está influida por el grado de correlación entre la velocidad del sonido supuesta y la real en dicho tejido.

5.5.3.4 Impedancia acústica

Los ecógrafos diagnósticos modernos se basan en la detección y representación del sonido reflejado o ecos. También es posible obtener imágenes basadas en la transmisión de los ultrasonidos, pero no se emplea en la clínica por el momento. Para producir un eco debe existir una interfase reflectante. El sonido que atraviesa un medio completamente homogéneo no encuentra interfases que reflejen el sonido, por lo que el medio será anecoico o quístico. En la unión entre tejidos o materiales con diferentes propiedades físicas existen interfases acústicas. Estas interfases son responsables de la reflexión de una proporción variable de la energía sónica incidente. Así, cuando los ultrasonidos atraviesan de un tejido a otro o encuentran la pared de un vaso o células sanguíneas circulantes, se refleja parte de la energía acústica incidente.

El grado de reflexión o retrodispersión (dispersión de retorno) está determinado por la diferencia en las impedancias acústicas de los materiales que forman la interfase. La impedancia acústica Z , viene determinada por el producto de la densidad, del medio que propaga el sonido por la velocidad de propagación del sonido en dicho medio. Las interfases con gran diferencia de impedancia acústica, como la del tejido con el aire y el hueso, reflejan casi toda la energía incidente, mientras que las interfases entre tejidos con menor diferencia de impedancia acústica, como la interfase entre el músculo y la grasa, reflejan sólo una parte de la energía incidente, permitiendo el paso del resto. Igual que sucede con la velocidad de propagación, la impedancia acústica está determinada por las propiedades de los tejidos implicados y es independiente de la frecuencia.

5.5.3.4 Refracción

Otro fenómeno que puede suceder cuando el sonido pasa de un tejido con una velocidad de propagación acústica determinada a otro con una velocidad mayor o menor es un cambio en la dirección de la onda de sonido. Este cambio en la dirección de propagación se denomina refracción.

La refracción es importante porque es una de las causas de registro erróneo de una estructura de imagen ecográfica. Cuando un aparato de ultrasonidos detecta un eco asume que el origen del eco está en línea directa con el traductor. Si el sonido ha sufrido refracción, el eco detectado y representado en la imagen podría proceder de una profun-

didad o localización diferente de la que se muestra en la pantalla. Si se sospecha este fenómeno, el aumento del ángulo barrido para que sea perpendicular a la interfase reduce al mínimo el artefacto.

5.5.3.6 Atenuación

Conforme la energía acústica atraviesa un medio uniforme se produce trabajo y finalmente se transfiere energía al medio trasmisor en forma de calor. La capacidad para realizar trabajo esta determinada por la magnitud de la energía acústica producida. La potencia acústica, expresada en Vatios, describe la magnitud de la energía acústica producida por unidad de tiempo. Aunque la medición de la potencia nos da una idea de la energía relacionada con el tiempo, no tiene en cuenta la distribución espacial de la energía. Para describir la distribución espacial de la potencia se emplea la intensidad, la cual se calcula dividiendo la potencia por el área en la que se distribuye la potencia.

La atenuación de la energía sónica conforme atraviesa el tejido tiene gran importancia clínica porque influye en la profundidad del tejido a la que puede obtenerse información útil. Esto afecta a la selección del traductor y a varios ajustes del instrumental controlados por el operador, como la compensación de la ganancia de tiempo (o profundidad), atenuaron de la potencia de salida y niveles de ganancia del sistema.

La atenuación se mide en unidades relativas. Por lo general se usan los decibelios para comprobar niveles diferentes de potencia o intensidad de los ultrasonidos.

El sonido pierde energía conforme atraviesa el tejido y las ondas de presión pierden amplitud conforme se alejan de su fuente. La transferencia de energía al tejido debida al calor (absorción) y la perdida de energía por reflexión y dispersión contribuyen a la atenuación del sonido. Por tanto, la atenuación es el resultado de los efectos combinados de absorción, dispersión y reflexión. La atenuación depende de la frecuencia de insolación así como de la naturaleza del medio de atenuación. Las frecuencias altas se atenúan mas rápidamente que las frecuencias bajas y la frecuencia del transductor es el determinante principal de la profundidad útil a la que puede obtenerse información con los ultrasonidos. La atenuación determina la eficiencia con la que los ultrasonidos penetran en un tejido específico y varía considerablemente en los tejidos normales.

5.5.4 Ecografía 2-D y 3-D

La ecografía bidimensional (eco 2-D) es una técnica de imagen en tiempo real ampliamente usada en todas las áreas de la Medicina. Su valor diagnóstico está bien establecido. Un examinador experto puede reconstruir una imagen tridimensional en su mente a partir de una secuencia de múltiples imágenes bidimensionales. Sin embargo, la posibilidad de obtener imágenes de ciertos planos del espacio mediante eco 2-D es muy limitada, siendo imposible en algunos casos. Además, el hecho de la "creación" de una imagen en la mente del examinador confiere a esta técnica un alto grado de subjetividad, lo que en algunos aspectos hace que la técnica tenga limitaciones importantes en cuanto a su reproducibilidad.

En los últimos 10 años la ecografía tridimensional (eco 3-D) se ha introducido, poco a poco, en la práctica clínica. Con esta tecnología podemos obtener una imagen en cualquier plano del espacio de un órgano o región de interés (RDI). Con la eco 3-D podemos obtener y almacenar un volumen de imágenes. Este volumen puede ser evaluado posteriormente cuantas veces se quiera, permitiendo realizar "navigaciones" virtuales sobre la RDI, reconstrucciones de superficies y cálculos de volúmenes. Con el power-Doppler además se estima la vascularización de órganos tejidos o lesiones.

Las imágenes de eco 3-D pueden obtenerse mediante dos métodos: automático o manual. Con el método manual se emplean unos sensores que se acoplan al transductor ultrasónico y a la paciente de modo que las imágenes bidimensionales obtenidas por el transductor ultrasónico se orientan en el espacio. El examinador desplaza la sonda mediante movimientos de traslación o rotación obteniendo una secuencia de imágenes 2-D que son almacenadas en un ordenador acoplado al ecógrafo donde son posteriormente procesados mediante un programa informático.

El método automático emplea transductores ultrasónicos "dedicados", es decir, especialmente diseñados para obtener imágenes tridimensionales. En este caso es el transductor el que realiza el barrido sobre la RDI seleccionada por el examinador sin que este tenga que realizar ningún tipo de desplazamiento. La velocidad y ángulo de barrido pueden ser ajustados por el examinador. A menor velocidad y menor ángulo de barrido mayor será la resolución obtenida. El tiempo promedio de barrido, entre 3-10 segundos, depende de la velocidad y ángulo establecidos. El conjunto de imágenes obtenidas es lo que se denomina "volumen 3-D" y se compone de "voxels".

Cada "voxel" tiene un valor en escala de gris.

En general la calidad de las imágenes obtenidas mediante el método automático es mejor que las del método manual.

El volumen obtenido puede ser almacenado y analizado posteriormente sin necesidad de que la paciente esté presente.

Las imágenes 3-D pueden presentarse en la pantalla en varios formatos, superficie, modo multiplanar o modo "nicho" .

El modo superficie permite obtener una reconstrucción de una superficie concreta como puede ser una cara fetal. El modo multiplanar visualiza simultáneamente en los 3 planos del espacio la RDI y "navega" virtualmente a través de ellos, mientras que el modo "nicho" presenta una reconstrucción de una RDI determinada y su interrelación en los 3 planos del espacio.

Asimismo, la eco 3-D permite realizar cálculos volumétricos en la RDI. Estos pueden realizarse de diversos modos midiendo 3 distancias, midiendo 1 distancia y 1 elipse, midiendo áreas consecutivas e integrándolas o mediante el uso de un método rotacional denominado VOCAL (Virtual Organ Computer-Aided anaLysis). Este último método se basa en el uso de trazados de la RDI sobre un plano mediante sucesivas rotaciones. Este método permite obtener una reconstrucción 3D de la RDI y estimar la vascularización de la RDI mediante el uso de power-Doppler y su función denominada "histograma". Usando este método pueden calcularse tres índices vasculares dentro de la RDI. El índice de vascularización (VI), se expresa en porcentaje, mide la relación entre voxels en color, que representan vasos, y voxels en escala de grises, que representan tejido, indicando el no de vasos dentro de la RDI. El índice de flujo (FI), es el valor promedio de la intensidad de la señal color en los "voxels" color, en una escala de 0 a 100. A más intensidad color, más FI y representa el flujo sanguíneo dentro de los vasos. Finalmente, el índice de vascularización-flujo (VFI), es una mezcla de los dos anteriores, que se expresa también en una escala numérica de 0 a 100 y muestra la perfusión tisular .

Con la eco 3-D pueden presentarse artefactos, algunos son inherentes a la eco 2-D como son las sombras acústicas, los fenómenos de reverberación o los artefactos por movimiento y otros propios de la eco 3-D derivados de la adquisición de volumen, de su presentación o del procesado.

El cálculo de volúmenes y de la vascularización mediante eco 3-D ha sido validado en diferentes estudios.



Ecografía 3D fetal

5.6 Tomografía Computerizada

Otra técnica fundamental es la tomografía axial computarizada (TC), que ya desde sus comienzos ha revolucionado el diagnóstico por imagen. En la TC se obtienen secciones o cortes del paciente. Posteriormente ha aparecido la tecnología helicoidal en 1990, la cual se vio superada en 1998 por la TC multidetectora (TCMD).

El TC se basa en la producción de imágenes mediante los rayos X (igual que las radiografías y la fluoroscopia), pero realizando imágenes de todo un volumen.

La TCMD ha sido el último avance tecnológico aplicado universalmente con impacto significativo en todas las áreas de la radiología.

La TCMD es el último desarrollo en la generación de tomógrafos y derivan o, más bien, corresponden a versiones más desarrolladas de los tomógrafos helicoidales. Este desarrollo devuelve a la TC a un sitio de privilegio en las técnicas de diagnóstico por imagen, dado que abre un gran abanico de aplicaciones de insospechada utilidad en la práctica clínica. A diferencia de los tomógrafos convencionales que realizan cortes transversales de un espesor determinado obteniendo sólo imágenes axiales, la TCM consiste básicamente en una adquisición volumétrica a través de un rastreo continuo con un amplio haz de rayos X con una fila de detectores.

Desde su aparición ha existido un aumento constante del número de detectores, pasando por 4, 8, 16, 40, 64; y recientemente incluso aparatos de 128, y 320 filas de detectores. Este incremento en el número de detectores ha ido dirigido a obtener una mayor resolución espacial y temporal, haciendo posible la imagen cardiaca. En sus inicios este aumento de detectores iba acompañado de un aumento importante de la radiación; actualmente, los fabricantes han mejorado y optimizado los equipos.



Imagen de un equipo TCMD.

La aparición del TCMD implica numerosas ventajas entre las cuales destacan las siguientes:

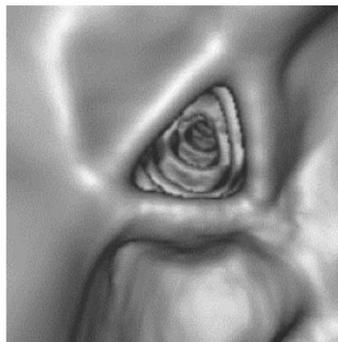
- Aumento significativo en la rapidez de los exámenes: desde la base del cuello al piso del periné en no más de 20 segundos. Fuerte impacto en su utilización en enfermos de urgencia como por ejemplo los politraumatizados.
- Colimación más fina con lo cual se obtienen cortes de mayor resolución, incrementándose por tanto el poder de detección de lesiones más pequeñas. De gran importancia en la búsqueda de metástasis o en precisar relaciones anatómicas importantes para la toma de decisiones quirúrgicas.
- Adicionalmente se obtienen muchísimas más imágenes (pueden superar las 1000), pero obviamente, no se pueden imprimir todas. Las imágenes se examinan en estaciones de trabajo.
- Posibilidad de realizar reconstrucciones multiplanares y volumétricas, lo cual facilita la comprensión espacial de la patología, ayuda a la planificación terapéutica y permite controlar procedimientos especiales. Existen varios métodos de hacer reconstruc-

ciones, por ejemplo el MIP o proyecciones de máxima y mínima intensidad, representación de volumen ("volume rendering") y representación de superficie ("surface rendering").

- Mediante el uso de softwares, se realiza la reconstrucción de imágenes a partir de los datos brutos, de diversos sistemas: por ejemplo a partir de los datos obtenidos de un rastreo abdominal se pueden obtener imágenes de la aorta, ramas principales y menores o podemos adquirir de una sola vez el cráneo y de allí obtener imágenes de cerebro, estudios de oídos, ojos e incluso una angiografía cerebral.
- Lo anterior, unido a la mayor precisión de las imágenes derivado del espesor submilimétrico de los cortes abre un campo de aplicación importante en la patología vascular de grandes y pequeños vasos, entre las cuales probablemente las más espectaculares sean aquéllas relacionadas con la patología de las coronarias. Los cortes muy finos permiten también eliminar el artefacto habitual que provocan los metales.

Los equipos de TCMD tienen una importante aplicación en el diagnóstico de las enfermedades, permitiendo reconstrucciones vasculares, de la vía aérea, el tubo digestivo y el sistema musculoesquelético de gran calidad, sin artefactos de volumen parcial o movimiento. El gran volumen de imágenes que obtienen estos equipos ha cambiado la forma como un radiólogo se enfrenta a una exploración, pasando de la placa impresa y el negatoscopio a la consola de trabajo y los sistemas de archivo digital.

La TCMD permite obtener estudios de broncoscopia y colonoscopia virtual con imágenes similares a la broncoscopia y colonoscopia óptica. Asimismo, consigue unos estudios vasculares de altísima calidad con imágenes similares a la angiografía.



Broncoscopia virtual, realizada con TCMD



Colonoscopia virtual, realizadas con TCMD.

5.6.1 Aplicaciones clínicas del TCMD

5.6.1.1 Tórax

Rastreo completo del tórax con una sola inspiración en algunos segundos y obtención de imágenes con ventana pulmonar y mediastínica, además de reconstrucciones en planos coronal y oblicuos, elemento de gran utilidad para la evaluación de la patología tumoral y parenquimatosa.

Por otra parte, ha posibilitado un diagnóstico de alta precisión en el tromboembolismo pulmonar. Esta indicación ha provocado un gran impacto asistencial que ha llegado a saturar los servicios de radiología, por lo que es necesario adecuar las indicaciones de las pruebas.

5.6.1.2 Estudios coronarios

Siendo la enfermedad coronaria una patología de alta prevalencia y una de las causas principales de muerte en la población adulta y, considerando que al momento de hacerse sintomática las consecuencias son significativas, es que se hace necesario realizar los mayores esfuerzos para diagnosticarla en etapa subclínica. La TCMD es una herramienta muy útil en ese sentido y, gracias a la posibilidad de representar el árbol coronario sin necesidad de utilizar procedimientos invasivos, puede convertirse en una importante herramienta de "screening" en población sana de riesgo.

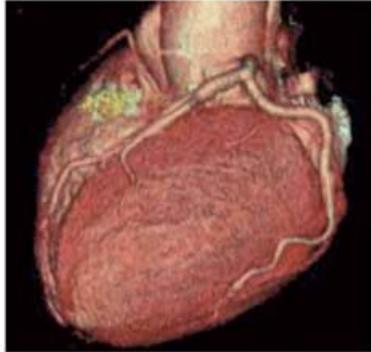


Imagen de una coronariografía con TCMD, mostrando la anatomía del corazón y los vasos coronarios.

5.6.1.3 Abdomen

Hígado

En el hígado, la rapidez de los equipos de TCMD permite la realización de exámenes dinámicos con imágenes en la fase arterial precoz, tardía o también llamada fase portal y una fase parenquimatosa. La fase arterial precoz es útil para estudios de trasplante, quimioembolización o estudios angiográficos.

La fase arterial precoz será de utilidad para detectar anomalías vasculares, como por ejemplo las fístulas arterioportales.

La fase arterial tardía permite diagnosticar hepatomas hipervasculares y las reconstrucciones multiplanares facilitan su comprensión espacial.

La fase parenquimatosa muestra mucha utilidad para la detección de metástasis hipovasculares.



Imagen de TCMD con masa renal. El TCMD supone una gran ayuda al cirujano, que visualiza toda la anatomía vascular antes de la cirugía.

Páncreas

La detección y la estadificación adecuada del cáncer de páncreas es hasta el día de hoy un desafío mayor. Tal como sucede en los estudios hepáticos, la combinación de cortes finos, estudios en fases arteriales y venosas y reconstrucciones multiplanares con estudios angiográficos para planificar resecabilidad quirúrgica, abren alentadoras perspectivas al respecto.



TCMD que muestra la inflamación de la grasa peripancreática, diagnóstico de pancreatitis aguda.

Trauma abdominal

La rapidez de la TCMD permite la evaluación integral por imágenes de estos pacientes críticos en un tiempo muy corto, lo cual ayudará a descartar rápidamente cualquier lesión de víscera sólida o hueca, compromiso vascular con sangrado activo, trauma diafragmático e incluso del esqueleto dorsolumbar y pelviano

Enterocclisis por tomografía computada

La enterocclisis por tomografía computada (E-TC) es una técnica relativamente reciente, hecha posible por la introducción de la tomografía computada multidetector (TCMD) en la pasada década. Consiste en la realización de una TC de abdomen y pelvis con contraste endovenoso en fase arterial y portovenosa, en equipos con detectores múltiples que pueden ser de 4, 8, o idealmente más, posterior a la administración de agua a temperatura ambiente a través de una sonda nasointestinal con su extremo en o cercano al ángulo de Treitz (porción inicial del yeyuno), la que es colocada previamente bajo fluoroscopia.

De esta forma se logra una adecuada distensión y visualización de asas de intestino delgado, quedando la luz de las asas hipodensas por el agua, y la pared hiperdensa por el contraste endovenoso; lo cual no se logra o es muy difícil en TC convencional. Esto permite con un alto rendimiento y rapidez descartar o caracterizar lesiones inflamatorias, tumorales, vasculares y obstructivas del intestino delgado, con el agregado de la visualización del resto de las estructuras sólidas abdomino-pelvianas, lo que, en caso de estudios negativos para alteraciones de intestino delgado, hace posible buscar diagnósticos alternativos o si es positivo, para patología neoplásica intestinal, permite su estadificación en el mismo examen.

Por años el método de elección para la evaluación del intestino delgado ha sido el tránsito intestinal, con observación fluoroscópica y obtención de varias radiografías del abdomen a medida que el contraste baritado ingerido por el paciente avanza por éste. Sin embargo, el método presenta fallos importantes que incluyen un bajo valor predictivo negativo, dado que hay superposición de asas que a veces no pueden ser desproyectadas o bien no detectar lesiones muy pequeñas. Es operador dependiente, no visualiza directamente la pared intestinal y mesentérica, por lo que no evalúa el compromiso extraintestinal, por ejemplo abscesos en enfermedad de Crohn. Usa radiación ionizante y en algunos casos puede prolongarse por varias horas.

El advenimiento de la TC con múltiples detectores permitió imágenes tomográficas de abdomen y pelvis en segundos con resolución isométrica (igual en todos los ejes), con los datos brutos reconstruibles a aproximadamente 1 mm y gran calidad de reconstrucciones multiplanares. De esta forma la E-TC logra un alto rendimiento, con valores reportados de sensibilidad, especificidad, valor predictivo negativo y positivo de 100, 95, 100 y 94% respectivamente. Sus desventajas incluyen una mayor dosis de radiación ionizante, el uso de contraste endovenoso, la instalación de una sonda nasointestinal, la necesidad de un fluoroscopio y tomógrafo computado y el mayor costo. Estas desventajas se reducen en la práctica si se considera la posibilidad de evaluar los restantes órganos abdominales.

Las contraindicaciones para la realización de este examen son el embarazo, insuficiencia renal o creatinina mayor a 2 mg/dl, reacciones adversas al medio de contraste yodado y sospecha de obstrucción intestinal completa. La sospecha de obstrucción incompleta es sin embargo una buena indicación de E-TC.

Las indicaciones básicas de la E-TC son:

- Sospecha de enfermedad inflamatoria intestinal, particularmente enfermedad de Crohn, donde buscamos engrosamiento y dilatación de asas de intestino delgado con estratificación de la pared, obstrucción, fístulas y abscesos del mesenterio.
- Sospecha de neoplasia intestinal, donde la distensión adecuada y el contraste entre el lumen y la pared permiten una adecuada caracterización de lesiones de este tipo, o bien descartarlas.
- Hemorragia digestiva con estudio endoscópico alto y bajo negativos.
- Sospecha de obstrucción intestinal incompleta.

Otras indicaciones de E-TC son la enfermedad celíaca, diarrea y dolor abdominal de causa no precisada, y anemia ferropénica.

Otras modalidades de estudio del intestino delgado incluyen la cápsula endoscópica, que tiene la ventaja de visualizar en forma directa la mucosa intestinal, siendo más sensible en la detección de enfermedad de Crohn en etapa inicial, donde sólo existen pequeñas úlceras. Sus desventajas son su significativo mayor costo, la falta de visualización de compromiso extraintestinal y, en ocasiones, la difícil localización intraabdominal de una alteración descrita.

La enteroscopia, si bien permite visualizar en forma directa el intestino, e incluso tomar biopsias, tiene la limitación de no poder cubrir la extensión completa del intestino delgado, y ser invasivo.

Avances múltiples se han realizado en resonancia magnética, donde se logra una alta resolución de contraste. Sin embargo, su alto costo, tiempo invertido y la menor resolución espacial en comparación a la E-TC, la hacen menos atractiva en la evaluación de primera línea del intestino delgado.

El paciente es estudiado en forma ambulatoria u hospitalizado. En una sala de fluoroscopia se le introduce una sonda nasoenteral, idealmente hasta el ángulo de Treitz.

Posteriormente, el paciente se traslada a la sala de TC, donde manualmente se le administran por la sonda 2 litros de agua en 10-15 minutos, según tolerancia. Finalizado este proceso, se inyectan endovenosamente 10 mg de buscapina® y se realiza una TC de abdomen y pelvis posterior a la administración de 100-120 cc de contraste endovenoso no iónico a una tasa de infusión de 3-4 cc/seg, con adquisición en fase arterial, 25-30 segundos post-contraste y una segunda adquisición portovenosa 70 segundos post-contraste, en tomógrafos de 8, 16 o 64 detectores. Luego, el dato crudo es reconstruido a 1,2 mm y enviado a una estación de trabajo que permite realizar reconstrucciones multiplanares o 3D.



Imagen de enteroclasia por TC en la que se observa tumor a nivel de duodeno

La tomografía por emisión de positrones (PET) y especialmente los equipos híbridos (TC-PET) han supuesto un avance extraordinario en la estadificación de tumores. Hemos abandonado los criterios clásicos de la TC basados únicamente en el tamaño y morfología, para pasar a una

valoración de la actividad metabólica de las lesiones, obteniendo con una mayor sensibilidad y especificidad. La TC-PET nos ofrece la información metabólica de la PET unida a la resolución anatómica del TC, obteniendo mejores valores de sensibilidad y especificidad que la PET o la TC por separado, siendo probablemente la técnica de imagen futura en el manejo diagnóstico de estos pacientes.

5.7 Tomografía por emisión de positrones (PET/TC)

La Tomografía por emisión de Positrones (PET en inglés) es una técnica de diagnóstico no invasiva que permite realizar imágenes que muestran el metabolismo y el funcionamiento de tejidos y órganos.

Se basa en detectar y analizar la distribución que adopta en el interior del cuerpo un radioisótopo administrado a través de una inyección.

Lo característico de esta técnica es el empleo de isótopos emisores de positrones, esto es, de electrones positivos.

En núcleos con mayor número de protones que de neutrones, se produce la conversión de un protón en un neutrón, y se emite un positrón que sale del núcleo. Al salir del núcleo los positrones interactúan con los electrones de la corteza del átomo, produciéndose el fenómeno de aniquilación, es decir la desaparición del positrón y el electrón y la emisión simultánea de dos fotones gamma de 511 Kev con un ángulo de 180°.

La interacción de los positrones con un electrón presente en el medio, da lugar a dos radiaciones gamma.

La detección sincrónica desde el exterior de dos fotones con esta angulación mediante detectores colocados en coincidencia, es decir, uno frente a otro, permite localizar y cuantificar su emisión en la zona estudiada.

Los emisores de positrones tienen una vida media muy corta, por lo que las exploraciones deben de hacerse en la cercanía de un ciclotrón.

La duración total de la prueba, que varía según el tipo de estudio, oscila entre dos y tres horas, pero el tiempo de permanencia en el tomógrafo es de 30 a 90 minutos.

El radionúclido más importante en el diagnóstico PET es el F-18, que tiene una vida media de 109 minutos es decir, que en este tiempo su actividad se ha reducido a la mitad. También se utilizan como radionúclidos producidos por el ciclotrón el Carbono-11 (vida media, 20,4 minutos), el Oxígeno-15 (vida media, 2,1 minutos) y el Nitrógeno-13 (vida media, 10,0 minutos), con los que se producen otros radiofármacos usados en diagnóstico o en investigación.

5.7.1 Radiofármacos más utilizados para estudios PET

En clínica se utilizan fundamentalmente los radiofármacos con F-18, por la posibilidad de realizar estudios a cierta distancia del ciclotrón. Entre ellos, el más utilizado es la fluoro-deoxiglucosa (FDG), por sus extraordinarias propiedades relacionadas con el metabolismo de la glucosa.

A título indicativo, algunos de los trazadores más utilizados en clínica y en investigación son:

- Utilización metabólica de la glucosa 18 FDG
- Transporte de aminoácidos 11C-Metionina
- Síntesis de ADN 11C-Timidina
- Perfusión miocárdica 15 O- H₂O; 82-Rb-cloruro
- Retención de agentes quimioterápicos 5-18F-fluorouracilo, 13-N-cisplatino

5.7.2 Tomógrafo PET

Los estudios PET se realizan mediante el tomógrafo PET, que consta básicamente de un gantry que contiene varios anillos de fotodetectores, en cuyo interior se introduce la camilla del enfermo que avanza progresivamente para realizar el estudio de una zona determinada o de todo el organismo.

Dentro del gantry existe una fuente de radiación gamma (generalmente de germanio) para poder realizar un estudio de atenuación, que aumenta significativamente la calidad de la imagen obtenida.

Mediante potentes ordenadores se identifica la localización y el número de emisiones gamma de los positrones, que se muestran en una imagen según las proyecciones deseadas (coronal, sagital, axial).

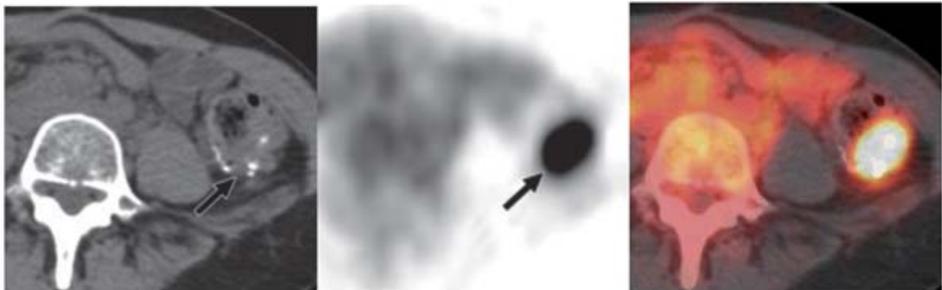
La característica fundamental de los radiofármacos emisores de positrones es su corta vida media; por ello la cantidad de radiación emitida y recibida por el enfermo es extraordinariamente baja, similar a la recibida durante la realización de un escáner abdomino-pelvico.

Por otra parte, y en cuanto a la molécula farmacológica empleada (independiente de su vida media), es tan escasa la cantidad inyectada, que no hay peligro de reacciones de ningún tipo.

Las únicas contraindicaciones para la realización de la prueba, son en el caso de una mujer que se encuentre embarazada, o personas con obesidad extrema ya que podrían tener dificultades para acceder al tomógrafo.

La posibilidad de poder identificar, localizar y cuantificar el consumo de glucosa por las diferentes células del organismo, ofrece un arma de capital importancia al diagnóstico médico, puesto que muestra qué áreas del cuerpo tienen un metabolismo glucídico elevado. Un elevado consumo de glucosa es, precisamente, la característica primordial de los tejidos neoplásicos.

El PET, por tanto, permite localizar los focos de crecimiento celular anormal en todo el organismo, en un solo estudio e independientemente de la localización anatómica donde asiente la neoplasia (primaria o metastásica), ya que no evalúa la morfología de los tejidos, sino su metabolismo.



Imágenes de un TCMD, PET y fusión PET/TC, que demuestra la utilidad en el diagnóstico de una recidiva tumoral en un cáncer de colon. Se fusiona así el detalle anatómico del TC con la información funcional del PET.

Además de la oncología, donde el PET se ha implantado con mucha fuerza como técnica diagnóstica, otras áreas que se benefician de este tipo de exploraciones son la cardiología, la neurología y la psicobiología, dada la posibilidad de cuantificar el metabolismo tanto cardiaco como en el sistema nervioso central.

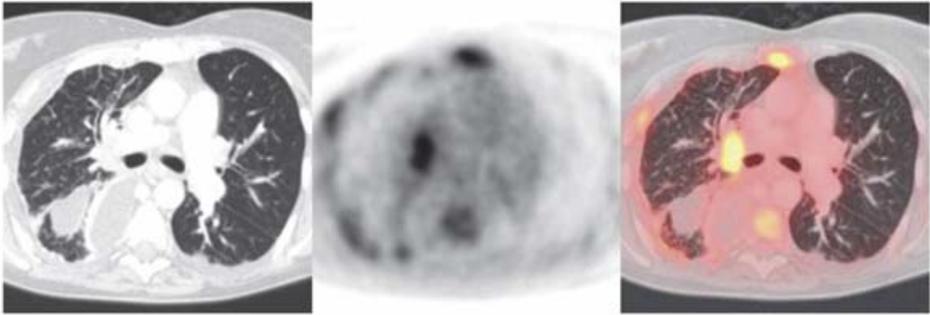
Por supuesto, y en muchos aspectos. La PET permite diagnosticar muchos tumores muy precozmente, ayudando a restablecer el tratamiento adecuado, que siempre es de mayor eficacia que para los estadios más avanzados.

La PET permite, en una sola exploración, mostrar el tumor primario, la afectación ganglionar y las metástasis, lo que normalmente requiere el empleo de diversas pruebas diagnósticas, que en conjunto supone un coste superior y, por supuesto, numerosas molestias para el enfermo.

La PET permite, al detectar muy inicialmente las metástasis, obviar la aplicación de ciertos tratamientos quirúrgicos o de gran agresividad, ahorrando costos de hospitalización, y de técnicas que de entrada se confirman que no conducirían a resultados positivos.

La PET permite en muchos tumores valorar la eficacia o ineficacia de tratamientos de quimio o radioterapia, evaluando objetivamente la necesidad de su continuación o su supresión si no se observan cambios metabólicos en el tumor, lo que indicaría la ineficacia del tratamiento.

Durante décadas la TC ha sido la prueba de elección en el paciente oncológico, proporcionando información morfológica de las alteraciones que conlleva la enfermedad tumoral. Sin embargo, la aparición de la tomografía por emisión de positrones (PET) en los años noventa supuso un cambio fundamental en el manejo de estos pacientes al aportar una valiosísima información acerca del metabolismo de la enfermedad. A pesar de ello, uno de los principales inconvenientes de la PET ha sido su falta de resolución anatómica, que impedía en muchas ocasiones localizar adecuadamente las lesiones que detectaba de forma precoz en comparación con el resto de pruebas de imagen. Recientemente se desarrollaron potentes sistemas de "fusión por software" que permitían integrar en una sola estación de trabajo la información aportada de forma independiente por un equipo de TC y otro de PET.



Imágenes de TC, PET y fusión PET /TC, mostrando metástasis en un cáncer de pulmón.

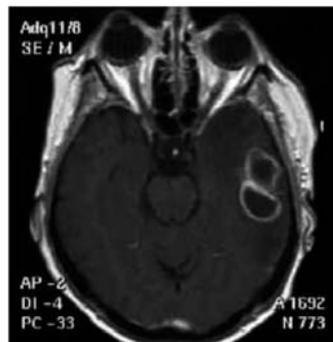
5.8 Resonancia Magnética

La resonancia magnética (RM) es una técnica no invasiva que utiliza el fenómeno de la resonancia magnética para obtener información sobre la estructura y composición del cuerpo a analizar. Esta información es procesada por ordenadores y transformada en imágenes anatómicas.

La resonancia magnética ha cambiado de forma radical el diagnóstico de muchas enfermedades, y actualmente se utiliza de forma habitual en la práctica clínica.

Es la técnica de elección en muchas patologías, sobre todo del sistema nervioso central y del aparato musculoesquelético.

Para la obtención de imágenes con RM se emplean campos electromagnéticos muy intensos. Se emplean imanes de 0,1 a 7 Teslas, es decir, de 2000 a 140000 veces el campo magnético terrestre.



RM de cráneo, con lesión tumoral en lóbulo temporal izquierdo.



RM de rodilla en un traumatismo agudo.

La RM no debe ser confundida con la espectroscopia de resonancia magnética, una técnica usada en química que utiliza el mismo principio de la resonancia magnética para obtener información sobre la composición de los materiales.

A diferencia de la TC, no usa radiación ionizante (no utiliza rayos X), sino campos magnéticos para alinear la magnetización nuclear de átomos de hidrógeno del agua en el cuerpo. Los campos de radiofrecuencia (RF) se usan para sistemáticamente alterar el alineamiento de esa magnetización, causando que los núcleos de hidrógeno produzcan un campo magnético rotacional detectable por el escanner. Esa señal puede ser manipulada con adicionales campos magnéticos y así construir con más información imágenes del cuerpo.

Los equipos de RM son máquinas con muchos componentes que se integran con gran precisión para obtener información sobre la distribución de los átomos en el cuerpo humano utilizando el fenómeno de RM. El elemento principal del equipo es un imán capaz de generar un campo magnético constante de gran intensidad. Actualmente se utilizan imanes con intensidades de campo de entre 0.15 y 7 teslas. El campo magnético constante se encarga de alinear los momentos magnéticos de los núcleos atómicos básicamente en dos direcciones, paralela (los vectores apuntan en la misma dirección) y antiparalela (apuntan en direcciones opuestas). La intensidad del campo y el momento magnético del núcleo determinan la frecuencia de resonancia de los núcleos, así como la proporción de núcleos que se encuentran cada uno de los dos estados.