

0909

00802  
804


**IMAGENOLOGIA PARA DIAGNOSTICAR PATOLOGIAS EN EL MACIZO  
MAXILOFACIAL**

YOHANNA DIAZ  
ADRIANA GARCIA  
MARTHA GARZON  
DIANA MORENO  
YAMILE ORTEGA  
ANDREA VASQUEZ

19-7-01-1111

**Director Científico**  
**JOSE ANTONIO PAEZ**  
**Odontólogo general**

**Asesor Metodológico**  
**SANDRA TOVAR**  
**Odontóloga, Epidemióloga**



**COLEGIO UNIVERSITARIO COLOMBIANO**  
**COLEGIO ODONTOLOGICO COLOMBIANO**  
**DEPARTAMENTO DE SALUD PUBLICA E INVESTIGACION**  
**SANTAFE DE BOGOTA D.C.**

1999

**IMAGENOLOGIA PARA DIAGNOSTICAR PATOLOGIAS EN EL MACIZO  
MAXILOFACIAL**

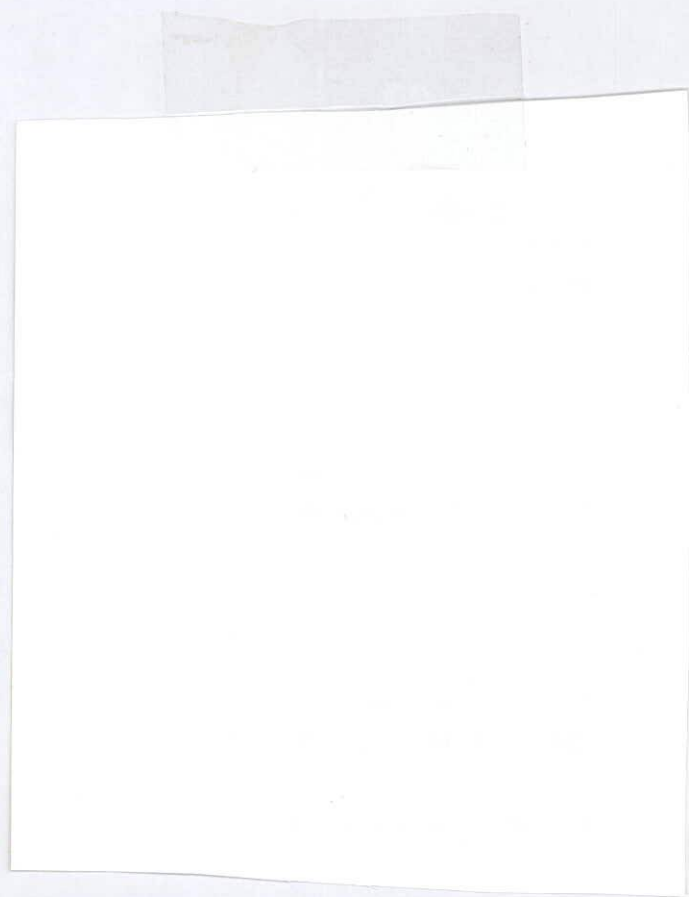
**YOHANNA DIAZ  
ADRIANA GARCIA  
MARTHA GARZON  
DIANA MORENO  
YAMILE ORTEGA  
ANDREA VASQUEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el Título de  
Odontólogo**

**COLEGIO UNIVERSITARIO COLOMBIANO  
COLEGIO ODONTOLOGICO COLOMBIANO  
DEPARTAMENTO DE SALUD PUBLICA  
SANTAFE DE BOGOTA D.C.**

**1999**

**El trabajo de grado IMAGENOLOGIA PARA DIAGNOSTICAR PATOLOGIAS EN EL  
MACIZO MAXILOFACIAL, ha sido aprobado como requisito parcial para optar el titulo  
de Odontólogo.**



**Santafé de Bogotá, D.C., 21 de octubre de 1999.**

*A Dios nuestro creador,  
nuestros padres y hermanos  
de los cuales hemos recibido  
tan invaluable apoyo  
y quienes hicieron posible  
este sueño.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

- Hospital Militar Central, Departamento de Imágenes Diagnósticas y Medicina Nuclear.
- Organización de Imagenología Colombiana (OIC), Hospital Simón Bolívar, Departamento de Imágenes Diagnósticas.
- Hospital Central de la Policía Departamentos de Imágenes Diagnósticas y Cirugía maxilofacial.
- Dr. Alvaro Castro Delgado, Odontólogo Radiólogo.
- Dr. Oswaldo Berdugo, Médico Radiólogo.
- Dra. Patricia Gallego, Médico Radiólogo.
- Dr. Mario Lara, Médico Radiólogo.
- Dra. Constanza Pineda, Odontóloga Cirujano Maxilofacial.
- Dr. José Antonio Cruz, Odontólogo Cirujano Maxilofacial.

## **TABLA DE CONTENIDO**

	<b>Pag.</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>14</b>
<b>1. CONTEXTO DE LA INVESTIGACION</b>	<b>15</b>
<b>1.1 DEFINICION DEL PROBLEMA</b>	<b>15</b>
<b>1.2 PROPÓSITO</b>	<b>16</b>
<b>1.3 JUSTIFICACION</b>	<b>17</b>
<b>1.4 MARCOTEORICO</b>	<b>18</b>
<b>1.4.1 Historia y concepto de la radiología</b>	<b>19</b>
<b>1.4.1.1 Historia de los rayos X</b>	<b>21</b>
<b>1.4.1.2 Historia de los isótopos</b>	<b>22</b>
<b>1.4.2 Conceptos básicos</b>	<b>25</b>
<b>1.4.2.1 Onda</b>	<b>25</b>
<b>1.4.2.2 Radiaciones</b>	<b>27</b>
<b>1.4.2.3 Sonido</b>	<b>32</b>
<b>1.4.3 Naturaleza y producción de los rayos X</b>	<b>36</b>
<b>1.4.3.1 El tubo de rayos X</b>	<b>36</b>
<b>1.4.3.2 Propiedades de los rayos X</b>	<b>37</b>
<b>1.4.3.3 Formación de la imagen radiologica</b>	<b>40</b>

1.4.3.4 Pantalla fluoroscópica	44
1.4.3.5 Placa radiográfica	45
1.5 OBJETIVOS	47
1.5.1 General	47
1.5.2 Específicos	47
2. MÉTODO	48
2.1 TIPO DE ESTUDIO	48
3. RESULTADOS	49
3.1 Características y análisis de una imagen diagnóstica	49
3.2 Técnicas radiológicas convencionales	51
3.2.1 Radiografía	51
3.2.2 Tomografía convencional	53
3.3 Técnicas radiológicas intraorales	54
3.3.1 Radiografía periapical	54
3.3.2 Radiografía de mordida o coronal	56
3.3.3 Radiografía de oclusión u oclusal	57
3.4 Técnicas radiológicas extraorales	58
3.4.1 Proyección posteroanterior vertical	58
3.4.2 Proyección lateral de cráneo (Cefalometría lateral)	58
3.4.3 Proyección de Waters (occipitomentoniana)	59
3.4.4 Proyección de Towne inversa	59
3.4.5 Proyección submentovertex (axial completa)	59

<b>3.4.6 Proyección mandibular lateral oblicua</b>	<b>60</b>
<b>3.4.7 Radiografía panorámica</b>	<b>60</b>
<b>3.5 Técnicas imagenológicas actuales</b>	<b>62</b>
<b>3.5.1 Basadas en ultrasonido</b>	<b>62</b>
<b>3.5.2 Basadas en la informática</b>	<b>75</b>
<b>3.5.2.1 Imagen digital</b>	<b>75</b>
<b>3.5.2.2 Radiografía Digital</b>	<b>76</b>
<b>3.5.2.3 Angiografía digital</b>	<b>77</b>
<b>3.5.2.4 Tomografía computarizada</b>	<b>78</b>
<b>3.5.3 Basadas en medicina nuclear</b>	<b>85</b>
<b>3.5.3.1 SPECT Y PET</b>	<b>85</b>
<b>3.5.3.2 Resonancia magnética</b>	<b>87</b>
<b>3.5.3.3 Gammagrafia</b>	<b>96</b>
<b>3.5.3.4 Dental Scann y reconstrucción tridimensional</b>	<b>101</b>
<b>3.6 Determinación de lesiones</b>	<b>103</b>
<b>3.6.1 Lesiones de tipo inflamatorio</b>	<b>103</b>
<b>3.6.2 Lesiones de tipo traumático</b>	<b>105</b>
<b>3.6.3 Lesiones de tipo quístico</b>	<b>107</b>
<b>3.6.4 Lesiones de tipo tumoral</b>	<b>111</b>
<b>3.7 Efectos de las radiaciones ionizantes sobre el organismo</b>	<b>116</b>
<b>3.7.1 Radiación total y dosis letal</b>	<b>116</b>
<b>3.7.2 Efectos de las radiaciones ionizantes sobre los tejidos</b>	<b>117</b>

<b>3.7.2.1 Piel</b>	<b>117</b>
<b>3.7.2.2 Medula ósea y sangre periférica</b>	<b>118</b>
<b>3.7.2.3 Testículos</b>	<b>119</b>
<b>3.7.2.4 Ovarios</b>	<b>119</b>
<b>3.7.3 Efectos de las radiaciones ionizantes sobre el feto</b>	<b>120</b>
<b>3.8 Conceptos básicos de radiobiología</b>	<b>121</b>
<b>3.8.1 Transferencia lineal de energía y eficacia biológica relativa</b>	<b>124</b>
<b>3.8.2 Radiolisis del agua</b>	<b>127</b>
<b>3.8.3 Efectos directos e indirectos de las radiaciones ionizantes</b>	<b>128</b>
<b>3.8.4 Concepto general de radiosensibilidad</b>	<b>128</b>
<b>3.8.5 Escala de radiosensibilidad celular</b>	<b>129</b>
<b>3.8.6 Radiosensibilidad histórica</b>	<b>130</b>
<b>3.8.6.1 Factores intrínsecos</b>	<b>130</b>
<b>3.8.6.2 Factores extrínsecos</b>	<b>130</b>
<b>3.8.7 Radio sensibilidad celular</b>	<b>131</b>
<b>3.8.7.1 Efectos de las radiaciones ionizantes sobre el ADN y los cromosomas</b>	<b>131</b>
<b>3.8.7.2 Acción de las radiaciones ionizantes sobre estructuras celulares</b>	<b>134</b>
<b>3.8.7.3 Acción de las radiaciones ionizantes sobre el ciclo y la división celular</b>	<b>134</b>
<b>3.8.7.4 Modificaciones de la radiosensibilidad celular</b>	<b>136</b>

<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>140</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>141</b>
<b>FUENTES DE INFORMACION</b>	<b>142</b>
<b>ANEXO</b>	<b>143</b>

## **TABLA DE FIGURAS**

<b>Figura 1. Espectro electromagnético</b>	<b>30</b>
<b>Figura 2. Radiaciones emitidas por un núcleo atómico</b>	<b>31</b>
<b>Figura 3. Ecógrafo</b>	<b>62</b>
<b>Figura 4. Doppler</b>	<b>68</b>
<b>Figura 5. Tomógrafo</b>	<b>78</b>
<b>Figura 6. Esquema básico de un tomógrafo axial computarizado moderno</b>	<b>80</b>
<b>Figura 7. Resonador</b>	<b>88</b>
<b>Figura 8. Principios básicos de la resonancia magnética</b>	<b>89</b>
<b>Figura 9. Principios básicos de la resonancia magnética</b>	<b>90</b>
<b>Figura 10. Momento magnético global</b>	<b>91</b>
<b>Figura 11. Cambios en la dirección del eje del momento magnético</b>	<b>93</b>
<b>Figura 12. Gammacámara</b>	<b>97</b>
<b>Figura 13. Sinusitis</b>	<b>104</b>
<b>Figura 14. Anquilosis fibroósea</b>	<b>104</b>
<b>Figura 15. Fractura de tabla mandibular</b>	<b>106</b>
<b>Figura 16. Artificio de imagen por material metálico</b>	<b>106</b>
<b>Figura 17. Fractura maxilar inferior</b>	<b>107</b>
<b>Figura 18. Quiste radicular</b>	<b>108</b>

<b>Figura 19 a. Quiste intraoseo simple panorámica</b>	<b>108</b>
<b>Figura 19 b. Quiste intraoseo simple dental Scann</b>	<b>109</b>
<b>Figura 19 c. Quiste intraoseo simple tomografía</b>	<b>109</b>
<b>Figura 20. Quiste dentífero</b>	<b>110</b>
<b>Figura 21. Teratoquiste</b>	<b>110</b>
<b>Figura 22. Ameloblastoma en Panorámica</b>	<b>111</b>
<b>Figura 23. Lesión tumoral de maxilar inferior</b>	<b>112</b>
<b>Figura 24. Ameloblastoma</b>	<b>113</b>
<b>Figura 25 a. Ameloblastoma en panorámica</b>	<b>113</b>
<b>Figura 25 b. Ameloblastoma en Tomografía Computarizada</b>	<b>113</b>
<b>Figura 25 c. Ameloblastoma en gammagrafía</b>	<b>114</b>
<b>Figura 25 d. Ameloblastoma reconstrucción tridimensional (lateral oblicua)</b>	<b>114</b>
<b>Figura 25 e. Ameloblastoma reconstrucción tridimensional (anteroposterior)</b>	<b>115</b>
<b>Figura 25 f. Ameloblastoma reconstrucción tridimensional (anteroposterior)</b>	<b>115</b>
<b>Figura 25 g. Ameloblastoma reconstrucción tridimensional (lateral oblicua homoinjerto)</b>	<b>116</b>
<b>Figura 26. Radiolisis del agua</b>	<b>127</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Hitos de las radiaciones en física	20
Tabla 2. Hitos en la historia de los rayos X	22

## **ADVERTENCIA**

**TODAS LAS IMÁGENES RECOPIADAS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO DE GRADO FUERON OBTENIDAS CON PREVIA AUTORIZACIÓN Y APROBACIÓN DE CADA INSTITUCION Y PERSONAL IMPLICADO; CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL MISMO ESTÁN ABSOLUTAMENTE PROHIBIDAS.**

## INTRODUCCION

Este trabajo fué preparado y documentado a través de libros, artículos científicos actualizados, personal especializado en el área y una acertada selección de imágenes para la aplicación de patologías del macizo maxilofacial con un léxico adecuado y dirigido a nuestros medio. Ya que debido al progreso que se está presentando en la actualidad relacionado con los medios de ayudas diagnósticas que le brindan apoyo no sólo al odontólogo especialista sino también al general en su práctica privada, permitiendo un adecuado y correcto uso de interpretación de las mismas para participar activamente en las discusiones e interconsultas que presenta la práctica medica.

## **1. CONTEXTO DE LA INVESTIGACION**

### **1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Ante el avance tecnológico y científico para el diagnóstico de las patologías en el macizo maxilofacial, cabe preguntarnos:

¿Cuáles son las indicaciones y contraindicaciones de la diferentes técnicas imagenológicas disponibles en la actualidad?

## **1.2 PROPOSITO**

Esta revisión bibliográfica tiene el propósito de informar adecuadamente al odontólogo general, a cerca de los diferentes tipos de imágenes de diagnóstico, sus indicaciones y contraindicaciones para permitirle un adecuado y correcto uso e interpretación de las mismas, de modo que haga más racional el uso de estas técnicas.

### **1.3 JUSTIFICACION**

La odontología como profesión paramédica, se ve abocada a enfrentar diversas patologías, es por eso que el odontólogo general debe conocer, los diferentes medios diagnósticos de que se dispone hoy en día, para identificar con ellos las estructuras anatómicas propias del macizo maxilo-facial, así como las alteraciones que se puedan presentar en el.

## 1.4 MARCO TEORICO

La radiología es la ciencia que estudia las radiaciones en general.

- **RADIOLOGÍA CLÍNICA:** es el estudio del uso clínico, diagnóstico y terapéutico de las radiaciones ionizantes.
- **RADIODIAGNOSTICO:** o radiología diagnóstica que estudia el uso diagnóstico de los rayos X.
- **ONCOLOGIA RADIOTERAPICA:** hasta hace poco llamada radioterapia o radiología terapéutica. Trata del uso terapéutico de las radiaciones ionizantes provenientes de aparatos de radiación o de isótopos radiactivos encapsulados en un tubo.
- **MEDICINA NUCLEAR:** trata del uso diagnóstico y terapéutico de los isótopos radiactivos no encapsulados, inyectables o suministrados por cualquier vía y su importancia, como la de las anteriores, la hace hoy en día un pilar fundamental en cualquier rama de la medicina moderna.

### 1.4.1 HISTORIA Y CONCEPTOS DE LA RADIOLOGÍA

Se comienza ya bien entrando el siglo XVII cuando **Isaac Newton** (Tabla 1), descubre el espectro de la luz solar y decide afirmar que aquella se componía de partículas que interaccionaban con los órganos de nuestros sentidos.

**Christian Huighens** se permite dudar de la afirmación de Newton y apunta la posibilidad de que en realidad se trate de ondas. ¿Cómo podía viajar una onda por el espacio sin nada que vibrara?. Hay que esperar más de un siglo hasta que en 1801, cuando **Thomas Young** descubre por primera vez la posibilidad de conseguir interferencias en la luz, lo cual por supuesto respaldaba la teoría de la onda.

En 1860, **Maxwell** consigue elaborar las cuatro ecuaciones que rigen el comportamiento de las ondas, relacionando además la electricidad y el magnetismo. Calcular la velocidad de esas ondas que coincidió con la de la luz. Hoy se sabe que la velocidad de la luz en el vacío es de 299.727,2 Km/seg.

En el siglo XIX, el físico alemán **Max Karl Ernest Ludwig Planck** concluye que la radiación se compone de pequeños paquetes de energía que son múltiplos enteros de una constante que llamo "h" y así, la energía que componía esa unidad de radiación llamada "cuanto" se podía calcular multiplicando "h" por la frecuencia de la radiación. Tanto la energía, como la frecuencia, en cualquier onda son inversamente proporcionales a la longitud de onda.

Por fin llega **Einstein**, y en sus manos se encuentra el trabajo de **Planck** y comprende las consecuencias que puede tener esa transmisión cuántica (dividida en cuantos) de la luz y concluye que si la materia se compone de átomos, la luz se puede dividir en cuantos llamados fotones cuya energía está dada por el producto de la frecuencia por la constante de **Planck** y además se comportan como partículas (al fin **Newton** tenía razón) o como ondas.

La energía es igual a la masa por el cuadrado de la velocidad de la luz.

$$E= mc^2$$

**TABLA 1. Hitos de las radiaciones en física.**

1666	Newton	Espectro de la luz solar
1678	Huighens	Ondas
1801	Young	Interferencias
1860	Maxwel	Ecuaciones
1900	Planck	Cuantos de energía
1905	Einstein	Teoría especial de la relatividad
1915	Einstein	Teoría general de la relatividad
1923	D Broglie	Onda asociada a partícula
1958	Mossbauer	Emisión absorción

Fuente: Radiobiología general, fundamentos del radiodiagnostico pag. 45

### 1.4.1.1 Historia de los Rayos X

**Wilhelm Conrad Roentgen** catedrático de física de la Universidad de Wurzburg, el 8 de Noviembre de 1895, trabajaba en su laboratorio con un tubo especial de rayos catódicos que había descubierto **Lennard** en 1892. Para el trabajo con rayos catódicos necesitaban pantallas fluorescentes (fluorescencia: propiedad que tienen algunos cuerpos de producir luz cuando están bajo el efecto directo de la luz - fosforescencia: emisión de luz sobre sustancias que siguen emitiendo efecto lumínico una vez cesa la acción de la luz, básicamente implican la presencia de fósforo) y cual no fue su sorpresa al encontrar que una pantalla que accidentalmente había dejado en un extremo del laboratorio comienza a ser fluorescencia al encender el tubo. Los rayos catódicos con su limitadísimo alcance no podían llegar hasta allí, así que tenía que ser algún tipo de radiación desconocida hasta ese momento, a lo que llamó X y en la que trabajó febrilmente.

Posteriormente empiezan los usos diagnósticos y terapéuticos y todo el mundo científico de la época comienza a trabajar con Rayos X. Como lo hicieron **Kerst** y **Wideroe** en 1940 con el Betatron.

El otro gran hito de la radiología fue en 1972, cuando **Hounsfield** y **Cormack**, unos ingenieros ingleses de la casa EMI, deciden utilizar ordenadores para averiguar la densidad a los Rayos X de pequeños volúmenes del organismo, basados en la suma de densidades desde distintos ángulos de aquella zona. Un detector numérico de radiación y el uso intensivo de los ordenadores de la compañía consiguió la primera tomografía computarizada,

procedimiento que hoy ya esta consagrado y que se utiliza masivamente con resultados diagnósticos increíbles.

**TABLA 2. Hitos en la historia de los rayos X.**

1879	Crookes	Rayos catódicos
1892	Lennard	Tubo R. Catódicos
1895	Roenghen	Rayos X
1911	Louue	Difracción Rayos X
1940	Wideroe	Betatron
1973	Hounsfield	Tomografía computarizada

Fuente: Radiobiología general, fundamentos del radiodiagnóstico pag. 50.

#### 1.4.1.2 Historia de los Isótopos

Isótopo: cuerpo que tiene los mismos elementos químicos que otro pero de peso atómico diferente.

La historia de la radiactividad y de los isótopos radiactivos esta directamente relacionada con la búsqueda del átomo.

En la Sorbona trabajaba por entonces **Henri Becquerel**. Al conocer, en enero de 1896, los trabajos de **Roeghen**, imaginó un experimento que consistía en tratar de averiguar si la radiación solar al producir fenómenos de fluorescencia sobre el uranio producía también Rayos X. Para ello introdujo en un sobre opaco a la luz una película radiográfica y encima

sembró uranio para sacarlo al sol y observar si se producían Rayos X impresionando la película. Y pensando en que la película se hubiese estropeado decidió revelarla para cambiarla por otra, y se encontró con una de esas sorpresas con las que todos los científicos sueñan: las películas se habían velado en la zona en la que estaban cerca del uranio. Esto quería decir que un elemento de la naturaleza era también capaz de emitir radiaciones capaces de atravesar objetos opacos. Había descubierto la radiactividad natural.

Posteriormente **María Curie**, junto con su marido trabajan sobre el descubrimiento de **Becquerel** (radioactividad) en el uranio; descubren el primer elemento radioactivo llamado polonio y también en 1898 descubren el radio, elemento importante en tratamientos de tumores malignos y base de la radioterapia intersticial. En 1903 leen su tesis a la que se le atribuye aplicación diagnóstica (gammagrafía) y tratamientos de anaplasias (medicina nuclear). La radiología se engrandece gracias al avance de la tomografía computarizada entre otros elementos, al conseguir imágenes basadas en la resonancia magnética nuclear (RMN), descubierta en 1946 (**F. Bloch** y **E. Purcel**, con un premio Nobel en 1952). Luego del descubrimiento de la tomografía computarizada. **Lauterburg** propone utilizar la resonancia magnética nuclear para obtener una imagen de un corte tomográfico del organismo. El primer aparato capaz de conseguir una imagen topográfica se consigue en 1977 y el 1981 se construye el primer aparato con utilidad médica.

Y para un mejor entendimiento del lector se describen a continuación algunos hechos físicos básicos que son considerados importantes.

El átomo descubierto por **Antoine Lavoisier** (1743 - 1794), se define como la unidad básica y estructural de un elemento que puede entrar en combinación química. En investigaciones realizadas en 1850 se demostró que los átomos en realidad poseen estructura interna, es decir que están formados por partículas subatómicas; esta investigación llevó al descubrimiento de tres de esas partículas: electrones, protones y neutrones.

El descubrimiento y estudio del electrón se dió gracias a la invención de un tubo de vidrio al vacío con dos polos, uno positivo o ánodo y el otro negativo o cátodo, el cual emite partículas negativas o electrones al paso de una corriente eléctrica de alta frecuencia constituyendo así el haz catódico.

La superficie del tubo está recubierta con un material fluorescente, como sulfuro de zinc el cual se hace lumínico cuando la superficie es bombardeada por electrones.

Se han sugerido diferentes concepciones de modelo atómico de los cuales el universalmente aceptado es el de **Niels Bohr** propuesto en 1913 y que tiene una sorprendente semejanza con nuestro sistema solar. Esto es una masa central llamada núcleo y un sistema de partículas con carga negativa (electrones) que gravitan en rededor del núcleo en diferentes niveles de energía conocidas como órbitas.

El núcleo del átomo está constituido por partículas y subpartículas atómicas. Dentro de las partículas mencionaremos los protones de carga eléctrica positiva y los neutrones o partículas eléctricamente neutros.

Los protones presentes en el núcleo de un átomo permanecen ahí durante los cambios químicos ordinarios, pero los electrones (cargados negativamente) se ganan o se pierden con facilidad. Cuando se agregan o eliminan electrones a un átomo o molécula neutra, se forma una partícula cargada llamada ión. Un ión con carga neta positiva se llama catión y un ión con carga neta negativa se llama anión.

Por ejemplo: un átomo de sodio (Na) puede perder con facilidad un electrón para convertirse en un catión, representado por  $\text{Na}^+$  (el catión sodio):

Atomo de Na	Ión $\text{Na}^+$
11 protones	10 protones
11 neutrones	10 electrones

## 1.4.2 CONCEPTOS BASICOS

### 1.4.2.1 Onda

Es una perturbación que se propaga en un medio elástico o en el vacío, originando así lo que denominamos movimiento ondulatorio; las ondas que se propagan en el vacío son llamadas electromagnéticas, que se mencionaran más adelante; dentro de estas se encuentran: ondas de luz, radio, televisión, etc. Otras son las ondas mecánicas, como las observadas en el agua o las que propagan el sonido y son una perturbación que no implica propagación de materia.

- LA LONGITUD DE ONDA: es la distancia entre cresta y cresta o valle y valle y se identifica por la letra  $\lambda$ .
- LA REFLEXION DE ONDAS: es un fenómeno que ocurre cuando el movimiento ondulatorio parte de un centro de vibración, se transmite a través de un medio y en el camino de su propagación encuentra un obstáculo contra el cual choca, y el movimiento retrocede en forma de ondas.
- REFRACCION DE ONDAS: es el fenómeno que tiene lugar cuando un movimiento ondulatorio atraviesa la superficie de separación de dos medios de diferentes propiedades y en los que el movimiento ondulatorio se propaga con velocidades diferentes.
- INTERFERENCIA DE ONDAS: es el fenómeno que se produce cuando a un mismo punto de un medio concurre simultáneamente, dos o más movimientos ondulatorios.
- DIFRACCION DE ONDAS: es la propiedad que tienen las ondas de bordear los obstáculos, al ser interrumpidas por ellos al propagarse.
- POLARIZACION DE ONDAS: es la reducción de todos los planes posibles de vibración a uno solamente.

### 1.4.2.2 RADIACIONES

Se define energía como la capacidad de un cuerpo para realizar un trabajo o su equivalencia en calor. Se clasifica así: radiación Corpuscular y Radiación Electromagnética.

- **RADIACION:** conjunto de rectas o de planos que pasan por un punto, acción o efecto de radiar.
- **LA RADIACION CORPUSCULAR:** es la transmisión de energía con participación de materia. Encontrándose aquí la energía cinética y la energía potencial. Existen tres representantes de dicha energía como son: Alfa, Beta y Rayos catódicos.
- **LA RADIACION ELECTROMAGNETICA:** no posee masa y se transmite a través del espacio; se clasifica en lo que constituye el espectro electromagnético, dependiendo de su longitud de onda pueden ser ionizantes y no ionizantes.

Se recuerda al famoso científico Inglés **Isaac Newton** cuando sostuvo un prisma de vidrio sobre un pequeño orificio en el postigo de una ventana a través del cual entraba en la habitación un haz de luz solar. El resultado en vez del punto de luz blanca fue una banda de colores un espectro rojo en su extremo y violeta en el otro. Así demostró que la luz llamada comúnmente blanca es una mezcla de colores (rojo naranja, amarillo, verde, azul de añil, violeta). Así mismo **Newton** sostuvo un segundo prisma que giró en la dirección opuesta y dejó que la banda de colores incidiese sobre él; la luz que emergió finalmente era de nuevo blanca (había decisión puesta y compuesta de nuevo de luz).

Años después el físico Holandés **Christian Huygens** publicó una bien elaborada teoría ondulatoria en la que, la luz está compuesta por ondas cuya longitud determina el color, los más largos alrededor 16000 por centímetro (produce lo que llamamos rojo) la más corta alrededor  $1/28000$  de centímetros de longitud (produce lo violeta y entre medio están las longitudes de onda de otros colores del espectro visible).

Aproximadamente a comienzos del siglo XIX los científicos descubrieron que el espectro no sólo presentó la gama de radiación que puede ver el ojo humano, sino que más allá de ambos extremos existen otros rayos que son invisibles. El primer descubrimiento fue hecho por el Inglés **William Herschel**, quien se basa en Newton utilizando prismas y termómetros de colores para ver cual producía el mayor espectro calorífico. Su respuesta de todas las partes visibles produjo elevación de temperatura, luego la luz roja del espectro elevó más la temperatura y más allá de este extremo señalando claramente la presencia de lo que se llaman rayos térmicos invisibles.

De esta manera **Herschel** demostró la existencia de lo que ahora se conoce como RAYOS INFRAROJOS, (Debajo o por debajo) los cuales presentan una frecuencia de onda más baja que los rojos. Así mismo descubrió que podría reflejarlos con espejos y enfocarlos con los lentes, exactamente como se refleja y enfoca la luz visible.

Un año después el Físico Alemán **Johan Wihelm Rither** descubrió que también al otro lado del espectro no se producía color y podía producirse efectos químicos. **Rither** sabía que el compuesto blanco que se denomina cloruro de plata se negrea cuando se expone a la luz.

Luego éste colocó esta sustancia al extremo y más allá de la parte violeta (donde no brillará luz visible) con un espectro solar el cloruro se ennegreció más rápido que en la región donde podía verse la luz.

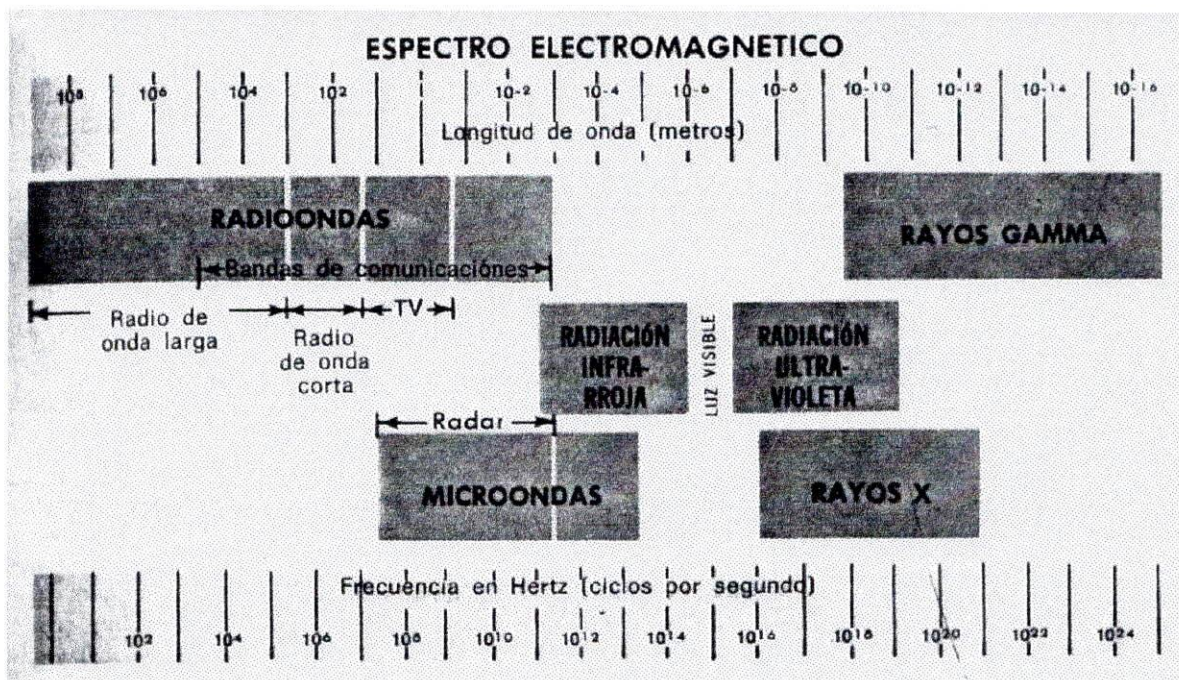
Así pues se descubrieron los RAYOS ULTRA VIOLETA. Estos rayos están situados más allá de la longitud de onda más corta del espectro visible.

**Radioondas:** son una gama de radiación electromagnética con longitudes de ondas superiores a unos cuantos milímetros. **Maxwell**, mostró por medio de sus ecuaciones, que ésta perturbación electromagnética, al propagarse, debería presentar todas las características de un movimiento ondulatorio, a su vez dicha radiación electromagnética experimentaría reflexión, refracción, difracción e interferencia. Entonces esta perturbación constituida por la propagación de campos eléctricos y magnéticos recibirá el nombre de ONDA ELECTROMAGNETICA.

- **ONDAS DE RADIO:** reciben esta denominación por ser las que emplean las estaciones de radiocomunicación o radiodifusión, para realizar sus transmisiones.
- **MICROONDAS:** al considerar frecuencias más elevadas que las de ondas de radio, se llega a las ondas electromagnéticas denominadas Microondas. Estas tienen frecuencias comprendidas aproximadamente, entre  $10^8$  Hz y  $10^{12}$  Hz.

- **LOS RAYOS GAMA:** en la figura 1, se observa que las ondas electromagnéticas que muestran las frecuencias más altas conocidas son los rayos gama. (Entiéndase como RAYO la dirección en que avanza una determinada forma de energía que se propaga en una onda luminosa o en cualquier onda electromagnética.). Esta radiación es emitida por los núcleos atómicos de los elementos al desintegrarse.

**FIGURA 1. Espectro electromagnético.**

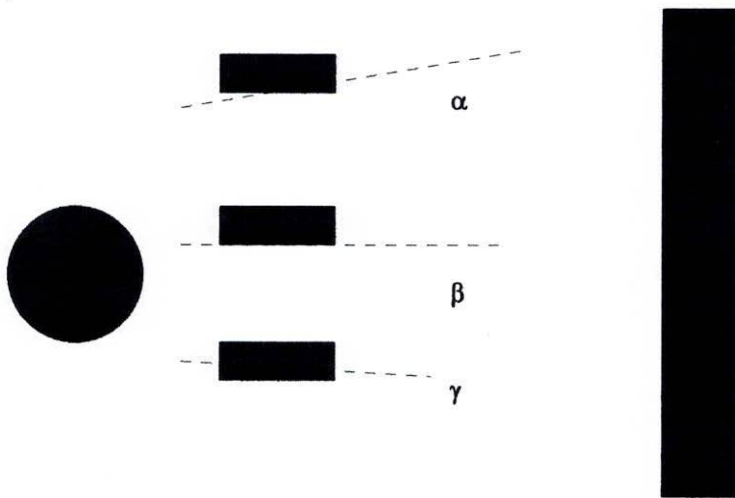


Fuente. Radiobiología general, fundamentos del radiodiagnóstico.

Cuando un Núcleo Atómico se desintegra, emite 3 tipos de radiaciones: Alfa, beta, Gamma ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ). Al hacer pasar estas radiaciones por un campo eléctrico, Fig. 2, se ve que tales radiaciones se separan. Los rayos  $\alpha$  se desvían hacia un lado (puesto que son partículas de cargas positivas,) los rayos  $\beta$  desvían hacia el lado opuesto (partículas negativas) y los rayos  $\gamma$  no sufren desviación alguna, pues no son partículas electrizadas, sino ondas

electromagnéticas de alta frecuencia. Entonces cómo no decir que los rayos gama (al igual que los rayos X) pueden ocasionar daños irreparables a las células animales.

**FIGURA 2. Radiaciones emitidas por un núcleo atómico.**



Fuente. Radiobiología general, fundamentos del radiodiagnóstico.

➤ **LOS RAYOS X:** son un tipo de radiación la cual está constituida por ondas electromagnéticas. Su rango está entre 0.1 y 0.5 de unidades Amstrong.

Como se ha observado según el color de su frecuencia recibe una denominación especial, ondas de radio, ondas infrarrojas, rayos X, etc. Es por esto que se dice entonces que el

conjunto de todos estos tipos de ondas de radiaciones se llama ESPECTRO ELECTROMAGNETICO.

Todos las ondas que constituyen esta gama se propagan en el vacío con la misma velocidad y son originadas por la aceleración de una carga eléctrica. Entonces siempre que una carga eléctrica es acelerada, radía cierto tipo de onda electromagnética, lo cual depende del valor de la aceleración de la carga.

### **1.4.2.3 SONIDO**

La fuente de los diversos sonidos es simplemente una serie de cambios de presión. La palabra "sonido" se refiere a las ondas de presión emitidas por una perturbación particular.

Al igual que otras clases de ondas, las sonoras tienen longitud y amplitud definidas. En el caso de una onda sonora, la longitud de onda representa la distancia desde un punto en que la concentración de moléculas es máxima o mínima, hasta el punto similar contiguo.

La longitud de onda y la amplitud representan la línea sonora como una línea curva que pasa, alternativamente, por encima y por debajo de una recta; la recta representa la presión normal del aire circundante y la curva, la presión por encima y por debajo de la normal ocasionada por la onda sonora. La distancia entre la cresta, o punto más elevado, de una curva y la siguiente es la longitud de onda. La amplitud es la distancia perpendicular desde la cresta o el vientre hasta la recta.

Una onda sonora pasa por un punto dado en el espacio a razón de tantos pares de ciclos por segundo, es lo que se denomina la frecuencia de tal sonido. Cuanto mayor es la frecuencia, tanto más corta es la longitud de onda y viceversa, deducción que permite afirmar que cada cuerpo tiene su frecuencia natural esto es, la razón a la que vibra cuando se le hace emitir una onda sonora.

Si un objeto no es interferido de ningún modo luego que ha comenzado a vibrar, la vibración se extinguirá con el tiempo y cesará la radiación del sonido. Esto se denomina vibración libre.

En algunos casos, se hace vibrar un objeto en una frecuencia diferente de la que le es natural. Las vibraciones resultantes se denominan vibraciones forzadas.

#### ➤ RESONANCIA

Si la frecuencia de una onda sonora que surge de otra fuente coincide con la natural de un cuerpo, se provocan vibraciones intensas: es el fenómeno llamado resonancia. A veces se pueden generar vibraciones destructoras como consecuencia de la resonancia.

Toda onda sonora libera cierta cantidad de energía y produce cierta cantidad de fuerza. La cantidad de energía generada por las ondas sonoras que producen el sonido audible es sumamente pequeña. En condiciones de laboratorio el oído puede captar sonidos con una potencia de un billonésimo de vatio por metro cuadrado de superficie, si se producen las frecuencias en que el oído es más sensible.

La energía producida por una onda sonora cuando pasa a través de una superficie perpendicular en dirección a la onda se denomina intensidad del sonido en esa superficie. La intensidad disminuye rápidamente a medida que la onda sonora se aleja de su fuente. La razón de ello es que la energía de una onda en expansión tiene que difundirse sobre una superficie cada vez mayor, y en consecuencia se desplaza menos energía por unidad de superficie lejos de la fuente. La intensidad disminuye en relación directa al cuadrado del incremento de la distancia. El sonido siempre se transmite a través de un medio determinado, que puede ser un gas, como el aire o un líquido, como el agua o un sólido, como el acero. No se le puede transmitir en modo alguno donde no hay medio esto es, el vacío.

La velocidad del sonido depende del medio en que se desplaza: a través del aire seco a 0°C, lo hace a una velocidad de 330 mts por segundo; su velocidad aumenta a medida que asciende la temperatura y llega a 700 mts por segundo a una temperatura de 1.000°C. En el agua la velocidad es de unos 1.400 mts por segundo. La cifra exacta depende de la constitución y temperatura del agua. La velocidad del sonido, en el cobre, es de 3.560 mts por segundo y de 5100 mts por segundo en el aluminio.

Tales variaciones en el índice de velocidad se deben a las diferencias de elasticidad y densidad del medio a través del cual pasa la onda sonora. La velocidad aumenta a medida que disminuye la densidad y también a medida que aumenta la elasticidad. El sonido se transmite a través del agua con mayor rapidez que en el aire, ya que el agua es mucho más densa que aquel. La respuesta es que el agua, si bien es alrededor de 800 veces más densa que el aire, es mucho más de 800 veces más elástica que él.

Todos los sonidos transmitidos a través del mismo medio tienen igual índice de velocidad, aun cuando sus frecuencias sean diferentes.

El medio en el cual se desplaza una onda sonora puede experimentar ciertos cambios; si es aire, se puede volver más denso o más enrarecido; o bien la onda sonora puede chocar con un medio enteramente distinto. Cuando las ondas sonoras penetran en un medio diferente, son refractadas, esto es, cambian de dirección.

Cuando la energía sonora se transforma en calor, se absorbe el sonido. La cantidad de energía en el sonido es muy pequeña y en consecuencia también es la cantidad de calor que se produce en el proceso de absorción. El oído humano puede captar sonidos con frecuencias que van desde 20 hertz hasta unos 20.000. Los sonidos que superan esta frecuencia se denominan ultrasónicos.

### 1.4.3 NATURALEZA Y PRODUCCION DE LOS RAYOS X

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda es del orden de los  $10^8$  cm y están situados en la escala electromagnética por encima de los rayos U.V. Tienen por tanto longitudes de onda muy cortas, propiedad que les permite penetrar en la materia, siendo esta su característica fundamental y son ionizantes. Ellos se producen al chocar una corriente de electrones que se mueve a gran velocidad contra una placa metálica o punto focal; tras este choque, su energía se transforma, una parte en calor (98%) y otra en rayos X. La manera más frecuente de producirlos es mediante el tubo de rayos X o tubo de Coolidge.

#### 1.4.3.1 EL TUBO DE RAYOS X

Consta de:

- Un filamento incandescente que actúa como fuente de electrones (CATODO). La intensidad de este filamento se mide en miliamperios (mA), dependiendo de su variación de la cantidad de rayos X producidos.
- Una pieza metálica de forma circular llamada ANODO o polo positivo y que es el blanco que va a frenar a los electrones acelerados.
- Un TUBO de vidrio PIREX, en el que se mantiene un alto vacío y donde se encuentran tanto el ánodo como el cátodo. De la TENSION APLICADA en el interior del tubo,

entre el ánodo y el cátodo, dependerá la fuerza que acelera los electrones. Esta tensión se mide en KV y de ella depende la calidad de los rayos X.

- Un ESTUCHE PLOMADO que encierra el tubo y que está provisto de una ventana por donde únicamente pasa el haz de rayos X útil. Presenta también un sistema de diafragmas plomados que permiten reducir la dimensión del haz de los rayos X según la región a examinar y los sistemas de refrigeración, aceite, radiadores y ánodo giratorio.

Los electrones se producen al calentar y ponerse incandescente el filamento; estos electrones acelerados por una gran fuerza eléctrica debido a una diferencia de potencial, son conducidos hacia la placa o punto focal y tras este impacto, dan lugar a calor 98% y una corriente de rayos X 2% que se emite en ángulo hemisférico de 180 grados que rodea el punto focal. La ventana del estuche plomado permitirá solo la salida del tubo del haz de los rayos X útil.

#### **1.4.3.2 PROPIEDADES DE LOS RAYOS X**

- Penetran la materia orgánica y absorben en mayor o menor proporción según el número atómico, la densidad y el espesor de los elementos atravesados.
- Producen luminiscencia (emisión de luz) al incidir sobre ciertas sustancias cristalinas como el sulfuro de cinc, el platino-cianuro de bario, el wolframato de calcio, etc.

- Bajo el concepto de luminiscencia se engloban los fenómenos de fluorescencia y de fosforescencia. Es la propiedad luminiscente de estas sustancias la que permite hacer perceptibles por el ojo humano las invisibles radiaciones X. La diferente emisión de luz de los distintos puntos de la pantalla fluoroscópica nos proporcionará una imagen orientativa sobre las estructuras atravesadas.
  
- Producen un efecto fotoquímico al actuar sobre la emulsión de las películas fotográficas que se manifiesta, tras el revelado y el fijado de la misma, con un mayor o menor ennegrecimiento, dependiendo de las características del haz incidente. Este efecto, junto con el luminiscente, constituyen la base de las imágenes radiográficas. Sólo un porcentaje muy pequeño de las radiografías, generalmente de pequeñas secciones (ej. : radiología dental) se basa únicamente en el efecto fotoquímico.
  
- Ionizan cuando chocan con suficiente energía contra la materia, esto es aprovechado para crear una imagen electrostática de la zona examinada mediante el efecto xerox.
  
- Producen EFECTOS BIOLÓGICOS, BASE DE SU UTILIZACIÓN en radio terapia, a diferencia del radiodiagnóstico cuyo compromiso de radiación es mínimo; dentro de estos efectos la radioprotección juega un papel importante. Los rayos X al penetrar en un cuerpo determinan una reacción de radiación-atenuación, ésta se refiere al cambio de la intensidad del haz de rayo que incide, con respecto al haz de rayo que sale del órgano, teniendo en cuenta los diferentes números atómicos, densidades y espesores de los mismos y su comportamiento con las intensidades de los rayos recibidos.

➤ La atenuación de la radiación X en un cuerpo depende de:

- 1- El número atómico de los elementos atravesados (naturaleza): dependiendo del número atómico de los elementos que conforman los diferentes órganos, se determinan y distinguen 5 tipos de densidades, incluyendo las producidas por productos artificiales (medios de contraste), cuyo número atómico es muy alto en relación al de los componentes orgánicos. Estas densidades son: densidad del aire, grasa, agua, hueso y metal. Se puede decir, resumiendo, que aparecerán radiológicamente radiotransparentes aquellos órganos y estructuras que son fácilmente atravesadas por los rayos X, y aparecerán radiopacos aquellos que absorben mayor cantidad y por ello, el haz de rayos X que llega a la placa es escaso.
- 2- La densidad del medio: la reacción es de proporcionalidad directa, de forma tal que cuanto mayor es el número de átomos por unidad de volumen con igual número atómico (es decir, cuanto mayor sea la densidad), más alta será la atenuación. Su influencia en la absorción es mucho menor que la del número atómico.
- 3- El espesor atravesado: existe también una relación directa, cuanto mayor sea la capa que los rayos X han de atravesar, mayor será la atenuación a que estarán sometidos.
- 4- La longitud de onda de la radiación (calidad o dureza): es muy influyente en la atenuación. Las pequeñas diferencias en la longitud de onda aplicada generan grandes diferencias en su absorción, es decir, si la longitud de onda es larga (rayos blandos 40 - 90 Kv), la absorción será muy intensa y si la longitud de onda es muy corta (rayos duros 100 - 130 Kv), la absorción será pequeña.

El coeficiente de atenuación por efecto fotoeléctrico, que es por el que principalmente se absorben los rayos X, empleados en radiodiagnóstico, responde a la fórmula:

$$\mu = c \cdot z^3 \lambda^3$$

Siendo c una constante, z el número atómico de los elementos atravesados, y  $\lambda$  la longitud de onda de la radiación utilizada.

### **1.4.3.3 FORMACION DE LA IMAGEN RADIOLÓGICA**

Las imágenes radiológicas se obtienen al someter a la zona orgánica a explorar a un haz de rayos X que, por sus propiedades, se absorberá en mayor o menor proporción.

De la radiación homogénea que ha incidido sobre el paciente parte de ella se absorbe, parte se dispersa y parte atraviesa las estructuras orgánicas; en definitiva, del sujeto sale un haz de rayos X, ahora ya heterogéneo y de intensidad y calidad diferente.

Al objetivar las diferencias de intensidad y la heterogeneidad de la radiación salida, se obtiene una indicación de cómo han sido absorbidas por el medio.

Para objetivar estas diferencias de intensidad, que en definitiva constituyen el contraste de la radiación y que, en principio, forman una imagen latente, invisible al ojo humano, disponemos de dos métodos que aprovechan la propiedad luminiscente y el efecto fotoquímico de los rayos X: son éstos la fluoroscopia o radioscopia y la radiografía. Será

necesario registrar la imagen y conseguir que dé la máxima información, para lo que se debe procurar que sea lo más nítida y exacta posible y que posea un máximo de contraste y claridad.

Estos conceptos y las características técnicas necesarias para obtener este objetivo se analiza a continuación:

➤ **CONTRASTE:** manifiesta las diferencias entre las distintas tonalidades de zonas blancas, grises y negras, contenidas en una placa radiográfica. Es tan importante como la nitidez en una exploración radiológica. Está relacionado con la diferencia de los coeficientes lineales de atenuación que a su vez dependen de la calidad de la radiación y de la naturaleza de los medios.

La radiación poco o moderadamente energética (rayos blandos) proporciona, por tanto, una placa rica en contrastes; por el contrario la radiación muy energética (rayos duros) da lugar a placas poco contrastadas.

No siempre es muy deseable obtener un gran contraste. En ocasiones se obtienen con mayor facilidad los datos buscados con tensiones altas que, por otra parte, hacen que puedan ser menores el tiempo de exposición y la dosis recibida por ejemplo en endodoncia.

Será necesario, en definitiva, utilizar un tipo de radiación que no sea ni poco energética, ya que se absorbería casi totalmente sin dar imágenes contrastadas, ni muy energética, ya

que se absorbería poco y en un tiempo reducido no podría impresionar suficientemente la placa y tampoco proporcionar imágenes suficientemente contrastadas. Dependiendo de la región a examinar y de lo que se busque, se seleccionarían las características técnicas apropiadas.

Otros factores influyen también en la obtención de un buen contraste; son éstos la radiación difusa o dispersa, la naturaleza de las placas, su tratamiento posterior y la agudeza visual del observador.

- **RADIACION DIFUSA:** los rayos X al interactuar con la materia, producen una radiación secundaria o difusa en todas las direcciones que actúa como pequeños focos de rayos X que parten tanto de los puntos del espesor atravesado y que pretende explorar, como los que se encuentran más allá del mismo. Esta radiación difusa altera el contraste de la imagen obtenida en la exploración radiológica, por lo que representa una radiación indeseable. Aumenta con el espesor del objeto a radiografiar y con el kilovoltaje de la radiación utilizada.

La radiación primaria, de dirección perpendicular a la placa pasará entre las láminas paralelas y las láminas de plomo absorberán e impedirán el paso de la radiación difusa que se está intentando eliminar.

- **NITIDEZ:** el objetivo del radiodiagnóstico es obtener imágenes lo más claras y exactas posible, siendo dos factores que contribuyen a lograr esta exactitud, la nitidez y el tamaño de la imagen.

La imagen radiológica esta constituida por las sombras proyectadas de los órganos y estructuras atravesados por el haz de rayos X y que tienen transparencia radiológica distinta. La proyección de la imagen radiológica obedece a reglas geométricas simples. Los rayos X que proceden de un foco se propagan en línea recta, atraviesan el objeto y llegan a la pantalla o placa radiográfica. Cuanto más pequeño sea el foco y cuanto menor sea la distancia entre el objeto y la película, la imagen será más definida y exacta. Será necesario, por tanto, reducir al máximo la superficie del punto focal teniendo siempre en cuenta que un foco de pequeño tamaño no puede tener una gran potencia. El rayo central, procedente del foco, debe ser perpendicular al objeto; si no es así se produce una alteración en la forma de la imagen, que aparecerá "distorsionada".

Por último, a fin de conseguir imágenes lo más exactas posibles, se debe alejar cuanto sea posible el foco del objeto y cuidar que el plano de interés se encuentre paralelo a la película radiográfica. Evitando el movimiento de la zona a radiografiar en el momento de la exposición y teniendo en cuenta las normas expuestas se asegura la suficiente calidad de imagen para su utilidad diagnóstica.

- **REGISTRO:** tras atravesar las estructuras orgánicas y en función del número atómico, densidad y espesor de las mismas, el haz de radiación homogéneo, procedente del tubo

de rayos X, se transforma en un haz heterogéneo en intensidad cuyos contrastes darán origen a la imagen radiológica. Esta imagen radiológica, invisible puede hacerse perceptible al ojo humano de dos formas:

- Como imagen transitoria en una pantalla fluorescente.
- Como imagen permanente en una película fotosensible especial.

#### **1.4.3.4 PANTALLA FLUOROSCOPICA**

Aprovecha la propiedad de los rayos X de producir luminiscencia al actuar sobre determinadas sustancias. A lo largo del tiempo se han utilizado diversos materiales fluorescentes en la construcción de estas pantallas. Las primeras fueron de platino-cianuro de bario pero, en la actualidad están confeccionadas con sulfuro de cinc y cadmio, sal estable cuya luminosidad amarillo-verdosa está muy cerca del máximo de sensibilidad del ojo humano.

La pieza fundamental de las pantallas fluoroscópicas es una delgada capa fluorescente de sulfuro de cinc y cadmio en forma de cristales; esta capa está pegada a un fino soporte junto al cual existe una sustancia blanca que refleja los rayos visibles que vienen en su dirección procedentes de los cristales y los incorpora a la radiación luminosa de salida en dirección al observador.

### 1.4.3.5 PLACA RADIOGRÁFICA

Aprovecha la propiedad de los rayos X de producir efecto fotoquímico al actuar sobre las emulsiones fotográficas.

Los rayos X al incidir sobre estas emulsiones, transforman los granos de sales de plata en plata metálica negra que, suspendida en gelatina, es lo que constituye la imagen radiológica tras el revelado. Puesto que la placa radiográfica se impresiona con más facilidad por la luz visible que por los rayos X, se ideó un sistema mediante el cual, el efecto predominante de la impresión de la placa radiográfica fuera la radiación luminosa; consistió en adosar a ambas caras de la película unas hojas fluorescentes de wolframato de calcio, que se llamaron por su efecto, hojas de refuerzo.

La placa radiográfica estaría constituida por:

- La película radiográfica, pieza fundamental.
- Las hojas de refuerzo.

La placa radiográfica va dentro de un recipiente hermético llamado chasis, constituido por metales ligeros o de plástico, permeables a los rayos X con pequeña absorción a su nivel, y que preserva la película de la luz del día. Esta película se encuentra entre dos hojas fluorescentes, las hojas de refuerzo y todo ello dentro del chasis.

Cuando los rayos X atraviesan este conjunto o placa radiográfica se producen los siguientes fenómenos: al llegar a la primera capa fluorescente, emplean parte de su energía en producir en esta capa un conjunto de puntos luminosos que formaran una imagen visible de la zona examinada e impresionará la emulsión sensible de la película fotográfica. La radiación restante llegará directamente a la película radiográfica impresionando, por efecto fotoquímico, sus dos caras; con la energía restante, la radiación llega a la segunda hoja de refuerzo cediendo de nuevo energía para, por efecto fluorescente, formar un nuevo conjunto de puntos luminosos que impresionan a su vez la película fotográfica. Finalmente, la energía sobrante se absorbe en la cara externa del chasis y el resto sale al exterior.

En definitiva la placa radiográfica sufre dos tipos de impresión:

- Una directa de los rayos X.
- Una indirecta debido a las imágenes visibles anterior y posterior formadas por las hojas de refuerzo en íntimo contacto con la película radiográfica.

El empleo de las hojas de refuerzo tiene como ventajas, el obtener un mayor contraste en la imagen y el ahorro de energía, ya que con una misma exposición se produce la suma de efectos fotoquímico y fluorescente en la impresión de la película; como inconveniente, la menor definición de la imagen radiológica que presenta, con su utilización, un pequeño difuminado de las estructuras finas.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Presentar en forma didáctica, diferentes tipos de imágenes y técnicas disponibles hoy en día en nuestro medio, para diagnóstico de las diversas patologías.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar las diferentes estructuras normales de la anatomía radiográfica y topográfica del macizo maxilo-facial.
- Identificar las características imagenológicas de las diferentes patologías, que permitan hacer un correcto diagnóstico diferencial y definitivo.
- Presentar las diferentes técnicas imagenológicas con sus correspondientes características.
- Describir los efectos biológicos generados por las técnicas imagenológicas, no solamente en pacientes sino también en el personal paramédico.

## **2. MÉTODO**

### **2.1 TIPO DE ESTUDIO**

Revisión bibliográfica

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 CARACTERÍSTICAS Y ANÁLISIS DE UNA IMAGEN DIAGNOSTICA**

Para la realización de un análisis radiográfico se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Identificar la imagen radiográfica ante la que se está:
  - a. Región del cuerpo explorado.
  - b. Posición del paciente para dicha imagen.
  - c. Corrección o incorrección de la técnica empleada.
2. Determinar si la imagen analizada es normal o patológica.

Para esto hay que tener unos conocimientos básicos de anatomía topográfica, variantes anatómicas de la zona, su traducción radiológica y la correcta posición, forma y medidas comparativas de las estructuras estudiadas.

Si se considera normal el análisis, se da fin al estudio radiográfico o se solicita una proyección diagnóstica de mayor poder de resolución según la historia clínica del paciente. Si se considera patológica, se centra el análisis en la imagen patológica sin olvidar el resto de las estructuras anatómicas.

3. Situar la imagen patológica en el órgano o la región donde se encuentra.
4. Delimitar el número de lesiones (única o múltiple).
5. Determinar su tamaño.

6. Describir su forma (esférica, fusiforme, triangular, en rosario, etc.)
7. Describir la densidad.

Son sinónimos: **opacidad y aumento de la densidad** y traducen una zona anormal y blanca en la placa.

**Hiperclaridad, disminución de la densidad e hipertransparencia** son zonas más oscuras o más negras que las normales en la placa radiográfica.

Las zonas que aparecen opacas traducen escasa penetrabilidad de los rayos X con importante absorción a su nivel y las zonas que aparecen hipertransparentes traducen gran penetrabilidad de los rayos X con escasa absorción a su nivel.

8. Descubrir el patrón arquitectónico tanto interno como externo:
  - a. Interno: homogéneo, encuadrado, en líneas verticales u horizontales, punteado, de densidad agua, aire o calcio, tamaño y forma de las calcificaciones, etc.
  - b. Externo o margen: bien o mal definido, con o sin línea de demarcación, grosor, festoneado, espiculado o en cepillo, geográfico, laminado, etc.
9. Considerar el tiempo de evolución en el caso de que sea posible.
10. Considerar la respuesta al tratamiento mediante un estudio comparativo con las imágenes radiográficas anteriores en caso de que existan.
11. Hacer una síntesis diagnóstica y un diagnóstico diferencial integrado:
  - a. Las características de la lesión.
  - b. La incidencia estadística de las enfermedades sospechadas según el patrón radiopatológico observado.

- c. La edad, el sexo, el estado general del paciente y sus antecedentes.
- d. Los datos objetivos, tanto sintomatológicos como analíticos encontrados.

## **3.2 TECNICAS RADIOLOGICAS CONVENCIONALES**

### **3.2.1 RADIOGRAFÍA**

Es un método que utiliza la placa radiográfica, cuya película es impresionada por la acción directa de los rayos X y la indirecta de la luminosidad emanada de las hojas de refuerzo; y es tratada posteriormente mediante el revelado, fijado, lavado y secado para transformar la imagen latente en una imagen permanente, ennegrecida con mayor o menor intensidad según la radiación que hasta ella haya llegado y que depende, a su vez, de las estructuras atravesadas.

Entre sus ventajas encontramos:

- a. Mayor perceptibilidad de detalle.
- b. Menor grado de radiación para el paciente y nula para el operador.
- c. Es un documento permanente que puede ser comparado con otros estudios.

Sus desventajas son:

- a. No permite el estudio de órganos en movimiento.
- b. Su elevado costo.

- **RADIOGRAFÍAS CON CONTRASTE.** Para hacer visible un órgano o parte del cuerpo que en su estado natural no presenta diferencia alguna de absorción con lo que le rodea; se debe rellenar con alguna sustancia de número atómico diferente al de las zonas vecinas; estas sustancias son los medios de contraste, los cuales deben ser absolutamente inocuos para el cuerpo humano y se deben eliminar por completo del mismo.

Se debe distinguir entre:

- a. **Contrastes positivos:** son sustancias que tienen un número atómico alto y se distinguen de las partes blandas por su mayor absorción de los rayos X. Son los medios de contraste radiopacos; los más utilizados son compuestos de yodo y bario.
- b. **Contrastes negativos:** son sustancias como el oxígeno y el aire que absorben menor cantidad de radiación que las partes blandas, ya que, aunque tengan un número atómico similar a las mismas, tienen una menor densidad. Son los medios de contraste radiolúcidos.

- **RADIOGRAFÍAS SERIADAS:** son radiografías en serie que representan una sucesión de imágenes de un órgano en movimiento. Si en una radiografía de órgano móvil se observa una imagen sospechosa determinada, será necesario demostrar la persistencia de la misma para poder afirmar que es patológica y que no se debe a una visión instantánea de una fase normal de su movilidad.

Para su realización se utilizan los seriadores o dispositivos acoplados a la pantalla radioscópica, que tienen en su interior un chasis cargado a la espera de su uso.

- **RADIOGRAFÍAS AMPLIADAS:** son las que se obtienen alejando la placa radiográfica del objeto y manteniendo constante la distancia foco-objeto.

La imagen se amplía en superficie de forma proporcional al cuadrado de la distancia, pierde nitidez con la ampliación y el grado de magnificación está limitado por el tamaño del foco o de lo contrario no se conseguirán los detalles óptimos deseados, ya que la mayor penumbra producida al separar objeto y placa originará una importante borrosidad en los bordes.

### **3.2.2 TOMOGRAFÍA CONVENCIONAL**

La imagen radiográfica es la representación bidimensional de una estructura tridimensional. En una radiografía simple las imágenes de todos los planos del individuo se superponen en la película, por lo que en 1973 se creó la tomografía, la cual nos permite analizar imágenes por planos o por secciones del órgano afectado.

La imagen se consigue por un mecanismo especial que mueve el tubo de rayos X y la placa simultáneamente y en direcciones opuestas por medio de una palanca conectada con el tubo de rayos X y el transportador de la película.

La tomografía convencional esta indicada sobretodo en casos en los que se pretende delimitar con mayor exactitud una lesión que se ha hecho más o menos visible o que se sospecha en las radiografías simples, así como también en el estudio de regiones orgánicas no accesibles, por sus características o localización, a las radiografías estándar.

Entre las múltiples aplicaciones podemos citar el estudio tomográfico de laringe, senos paranasales, silla turca, ATM, oído interno, mediastino, parénquima pulmonar, esternón y columna vertebral, entre otros.

### **3.3 TÉCNICAS RADIOGRAFICAS INTRAORALES**

Los exámenes intraorales constituyen el eje central de la radiología odontológica. Existen tres categorías de radiografías intraorales:

#### **3.3.1 RADIOGRAFÍA PERIAPICAL**

Radiografía que muestra todo un diente, incluyendo el hueso vecino. Para la radiografía periapical se pueden emplear dos técnicas de proyección, las cuales tienen como objetivo principal minimizar la distorsión de la imagen:

- **TÉCNICA PARALELA:** Conocida también como técnica de ángulo recto o cono largo. Radica en que la película radiográfica se mantiene paralela al eje largo de los dientes y el

rayo central del haz se dirige perpendicularmente, formando un ángulo recto con los dientes y la película.

Esta orientación de la película, los dientes y el rayo central minimiza la distorsión geométrica. Es importante que la fuente de rayos X este situada relativamente lejos de los dientes. Además, el empleo de una distancia fuente-objeto larga reduce el tamaño del punto focal aparente. Esos factores conducen a la obtención de imágenes con menos ampliación y mayor definición.

- **TÉCNICA DE BISECCION DEL ÁNGULO:** Se basa en un teorema geométrico simple, la regla de isometría de Cieszynski: dos triángulos son iguales cuando comparten un lado completo y tienen dos ángulos iguales (además sus lados correspondientes son iguales). La radiología odontológica aplica el teorema del siguiente modo: colocar la película lo más cerca posible de la superficie lingual de los dientes, apoyada en el paladar o el piso de la boca.

El plano de la película y el eje largo de los dientes forman un ángulo con su vértice en el punto donde la película entra en contacto con los dientes. Cuando un plano imaginario, biseca este ángulo, forma dos ángulos congruentes con un lado común (el bisector imaginario). Una línea que representa el rayo central (del haz de rayos X), completa el tercer lado de dos triángulos cuando está dirigido (a través de los ápices de los dientes) perpendicular al plano de bisección. Los dos triángulos serán rectángulos y congruentes, con los lados correspondientes iguales. Dos de los lados correspondientes, la hipotenusa

de cada triángulo congruente imaginario, están representados por el eje largo de la película. En consecuencia, las imágenes recogidas en la película cuando se satisfacen esas condiciones tienen en teoría la misma longitud que el objeto proyectado (para reproducir con exactitud la longitud de cada raíz de un diente con múltiples raíces, se debe considerar una angulación distinta del haz central para cada raíz).

### **3.3.2 RADIOGRAFÍA DE MORDIDA O CORONAL**

También llamadas interproximales, incluyen las coronas de los dientes superiores e inferiores y la cresta alveolar en la misma placa. Las placas de mordida tienen un valor particular para detectar caries interproximales en estadios precoces de desarrollo, antes de hacerse clínicamente aparentes.

Gracias al ángulo de proyección horizontal, pueden revelar también caries secundarias debajo de restauraciones, que quizás escapen al reconocimiento en las proyecciones periapicales. Las proyecciones de mordida son útiles también para evaluar el estado de las estructuras periodontales. Proporcionan una buena perspectiva de la cresta ósea alveolar, y el cambio de la altura del hueso se puede evaluar con exactitud mediante comparación con los dientes adyacentes. Además, gracias al ángulo de proyección directa a través de los espacios interproximales, la placa de mordida resulta especialmente efectiva y útil para detectar los depósitos de cálculos en las áreas interproximales.

### 3.3.3 RADIOGRAFÍA DE OCLUSIÓN U OCLUSAL

Muestra un segmento relativamente grande de la arcada dental. Puede incluir el paladar o el piso de boca y una extensión razonable de las estructuras laterales contiguas. Además, las radiografías de oclusión son útiles con frecuencia cuando el paciente no puede abrir la boca lo suficiente para las radiografías periapicales o cuando por otras razones no pueden aceptar la radiografía periapical. Debido a que las radiografías de oclusión se exponen en un ángulo pronunciado, se pueden combinar con radiografía periapicales convencionales para determinar la localización de objetos en las tres dimensiones.

Las radiografías de oclusión tienen utilidad especial para los fines que se describen a continuación:

1. Localizar con precisión raíces y dientes supernumerarios no brotados e impactados. Esta técnica tiene utilidad especial en casos de impactación de los caninos y los terceros molares.
2. Localizar cuerpos extraños en las mandíbulas y cálculos en los conductos de las glándulas sublinguales y submandibulares.
3. Demostrar y evaluar la integridad de los contornos anterior, medial y lateral del seno maxilar.

4. Complementar el examen del paciente con trismo que solo puede abrir la boca unos pocos milímetros, por lo que la radiografía intraoral quizás resulte imposible o muy dolorosa.
5. Obtener información sobre la localización, naturaleza, extensión y desplazamiento de las fracturas maxilares.
6. Determinar la extensión medial y lateral de ciertas lesiones (ej: quistes, osteomielitis, neoplasias malignas) y detectar su presencia en el paladar o el piso de boca.

### **3.4 TÉCNICAS RADIOLOGICAS EXTRAORALES**

#### **3.4.1 PROYECCION POSTEROANTERIOR VERTICAL**

Esta debe su nombre a que el haz de rayos X pasa en dirección postero-anterior a través del cráneo. Se emplea en el examen de cráneo para enfermedades, traumatismo o anomalías de desarrollo; proporciona un buen registro para detectar cambios progresivos en las dimensiones verticales del cráneo. También ofrece una mayor visualización de las estructuras faciales, senos frontales y etmoidales, fosas nasales y órbitas.

#### **3.4.2 PROYECCION LATERAL DEL CRANEO ( CEFALOMETRIA LATERAL)**

Es utilizada para observar el cráneo y huesos faciales en busca de datos de traumatismo, enfermedad o anomalía del desarrollo. Esta proyección revela los tejidos blandos

nasofaríngeos, los senos paranasales y el paladar duro. En cirugía oral y odontoprotésica proporciona registros antes y después del tratamiento. La proyección cefalométrica lateral revela el perfil de los tejidos blandos.

### **3.4.3 PROYECCION DE WATERS (OCCIPITO-METONIANA)**

Es una variación de la posteroanterior, tiene utilidad particular en la evaluación de los senos maxilares, además muestra los senos frontales y etmoidales, la órbita, la sutura cigomático-frontal y la cavidad nasal. También demuestra la posición de la apófisis coronoides del maxilar inferior entre el superior y el arco cigomático.

### **3.4.4 PROYECCION DE TOWNE INVERSA**

Utilizada en casos de sospecha de fractura del cuello del cóndilo, es muy adecuada para revelar un cóndilo desplazado hacia la línea media. Además muestra la pared postero-lateral del antro maxilar.

### **3.4.5 PROYECCION SUB-MENTO-VERTEX (AXIAL COMPLETA)**

Usada para demostrar la base craneal, la posición y orientación de los cóndilos, el seno esfenoidal la curvatura del maxilar inferior, la pared lateral de los senos maxilares y el desplazamiento de los fragmentos en casos de fractura del arco cigomático. Suele también mostrar las placas pterigoides medial y lateral y los agujeros de la base del cráneo.

### **3.4.6 PROYECCION MANDIBULAR LATERAL OBLICUA**

Existen dos proyecciones laterales oblicuas, empleadas con frecuencia para examinar el maxilar inferior, una para el cuerpo y otra para la rama.

Aunque estas proyecciones han sido sustituidas en gran parte por las radiografías panorámicas los odontólogos lo usan todavía cuando consideran necesario una imagen con mayor resolución que la ofrecida por la proyección panorámica o cuando no disponen de una maquina panorámica.

### **3.4.7 RADIOGRAFÍA PANORAMICA (PANTOMOGRAFIA O RADIOGRAFÍA DE ROTACION)**

Se destina a obtener imagen de las estructuras faciales, incluyendo los maxilares superior e inferior y los elementos de soporte.

Ventajas:

- Cobertura anatómica amplia.
- Baja dosis de radiación para el paciente.
- Conveniencia del examen.
- El hecho de poder usarse en pacientes incapaces para abrir la boca.

- Poco tiempo de ejecución y accesibilidad del paciente para tomarla.

#### Desventajas:

- La radiografía obtenida no resuelve el detalle anatómico fino apreciable en las radiografías periapicales intraorales como enfermedad periodontal y caries.
- Esta no es suficiente para diagnosticar y obtener un excelente plan de tratamiento.
- Ampliación.
- Distorsión geométrica.
- Superposición de imágenes dentales sobretodo a nivel de región de premolares.
- Desubicación de zonas anatómicas importantes para el diagnóstico.
- Costos.

Estas radiografías pueden ser útiles en una serie de tareas específicas, sobretodo cuando se desea una cobertura amplia mandibular.

#### Indicaciones:

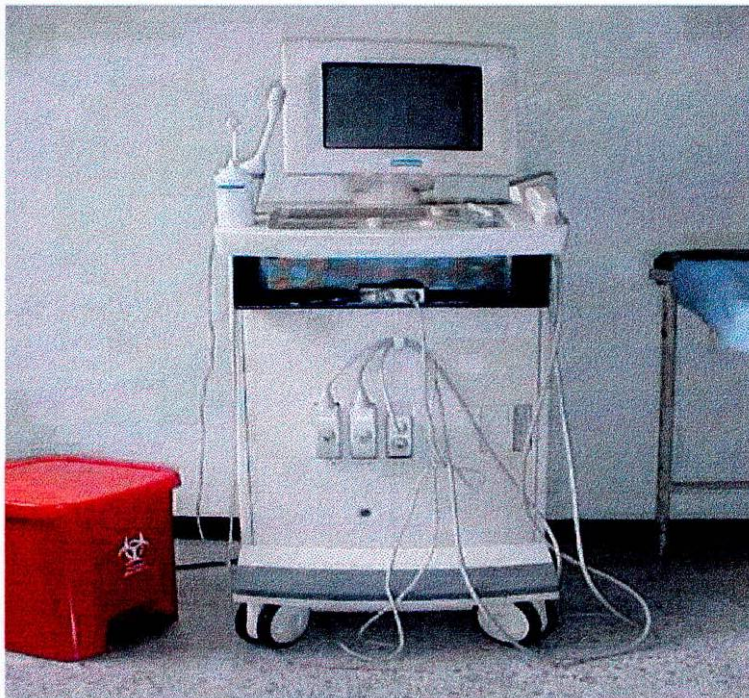
- Evaluación traumal.
- Terceros molares.
- Enfermedades extensas.
- Desarrollo dental "dentición mixta".
- Retención dental.
- Anomalías del desarrollo.
- Pacientes con lesiones grandes conocidas o sospechadas.

**Contraindicaciones:**

- Exámenes diagnósticos que requieran resoluciones altas.

**3.5 TÉCNICAS IMAGENOLÓGICAS ACTUALES****3.5.1 BASADA EN ULTRASONIDO**

El diagnóstico ecográfico utiliza como agente físico los ultrasonidos, que son ondas mecánicas de frecuencia superior a los 16.000 Hz.

**FIGURA 3 . Ecógrafo.**

Fuente. Hospital Militar Central.

Las ondas mecánicas se propagan por un medio determinado aprovechando las características elásticas de ese medio y son capaces de transmitir energía de un punto a través del medio. Es importante señalar que las partículas del medio no tienen por qué cambiar de situación sino que simplemente oscilan transmitiendo esa vibración a la partícula más inmediata.

Conviene señalar, por un lado, que ésta forma de transmisión de energía necesita desde luego un medio para que vibre y por tanto en el vacío no solo no se transmiten sino que es imposible siquiera imaginar su existencia. Por otro lado hay que recordar que su velocidad de transmisión es mucho menor que la de la luz y cualquier otra onda del espectro electromagnético.

Recordemos que el sonido es más lento que la luz, por lo que se clasifica según su frecuencia en:

- **INFRASONIDOS:** que son ondas por debajo de 16 vibraciones por segundo, o, lo que es igual, de menos de 16 Hz, que es también el límite inferior de audición del oído humano. Vibraciones más lentas podremos quizá notarlas, pero nunca oírlas.
  
- **SONIDOS:** son las ondas entre 16 y 16.000 Hz, y que conforman todo el espectro de sonidos que el hombre es capaz de escuchar. Hay animales, perros, delfines, mosquitos,

capaces de oír sonidos más agudos, de 25 kHz y aun más, pero estas ondas ya no entran dentro del espectro de los sonidos.

- **ULTRASONIDOS:** son las ondas mecánicas que tienen una frecuencia superior a los 16.000 Hz, aunque los usados en medicina son habitualmente de frecuencia superior a 1 millón de hertzios (MHz). Suelen oscilar entre 1 y 10 MHz.

El método utilizado para la producción de ultrasonidos que pueden ser usados para el diagnóstico es el que se basa en el efecto piezoeléctrico que tienen los cristales de cuarzo y algunas otras sustancias.

Dependiendo de la dirección en la que vibren las partículas del medio podemos encontrar ondas transversales en las que la dirección de vibración es perpendicular a la dirección del haz y que naturalmente no son útiles en absoluto. Las ondas que forman el haz son ondas longitudinales y en ellas las partículas vibran y se transmiten unas a otras su vibración siguiendo la dirección del haz.

Además, interesa que el frente de ondas sea plano, de forma que todas las partículas que estén en el mismo plano transversal al haz vibren a la vez y en el mismo sentido. En adelante la referencia será siempre a estas ondas ultrasónicas longitudinales y planas, que son adecuadas para el diagnóstico ultrasónico.

La velocidad a la que los ultrasonidos se transmiten por un medio determinado depende de la densidad y de la elasticidad de dicho medio; ésta velocidad es fundamental para el diagnóstico ecográfico, pues no sólo es uno de los factores que intervienen en la producción del eco sino que además es la base para poder calcular la distancia a la que se ha producido dicho eco. El único dato de que dispone el aparato de ecografía para averiguar la distancia del eco es el tiempo transcurrido desde que lanza el pulso ultrasónico hasta que detecta el eco. Por lo tanto, precisa asumir una determinada velocidad de transmisión de ultrasonido por los tejidos del organismo por donde ha pasado el haz y el eco a la vuelta.

La longitud de onda de un haz de ultrasonido es la distancia existente entre dos planos inmediatos de partículas del medio que están en el mismo estado de movimiento. Es igual, como en cualquier otro tipo de onda, a la velocidad de propagación de la onda dividida por la frecuencia.

Se debe tener en cuenta que la frecuencia se va a mantener constante en los modos ecográficos más habituales, pero la velocidad va a depender del medio que esté atravesando en ese momento, por lo que al ser la velocidad muy variable en tejidos orgánicos, la longitud de onda también lo será.

La impedancia es una característica del medio que atraviesa el ultrasonido. Relaciona la velocidad que la partícula adquiere en el momento de su vibración y la presión a la que esta sometida. Da idea de la facilidad que un determinado medio ofrece al paso de ultrasonidos a través del mismo.

Se la conoce habitualmente con la letra  $Z$  y es igual al producto de la densidad del medio multiplicado por la velocidad de transmisión del ultrasonido por ese medio. Es el fundamento de la producción de ecos, de manera que la reflexión se produce al intentar pasar el ultrasonido de un medio a otro con distinta  $Z$ .

El haz de ultrasonidos lleva una determinada cantidad de energía producida por el transductor, que se considera por unidad de tiempo y se llama potencia del haz. Desde el punto de vista de diagnóstico ultrasónico, lo que interesa es sobre todo la intensidad que sería igual a la potencia por unidad de superficie.

Así pues, para saber la cantidad de ultrasonidos que están llegando a una zona o que se están reflejando se debe dar en unidades de potencia: Watios (miliwatios en el caso que ocupa a este trabajo) por unidades de superficie, habitualmente en  $\text{cm}^2$ .

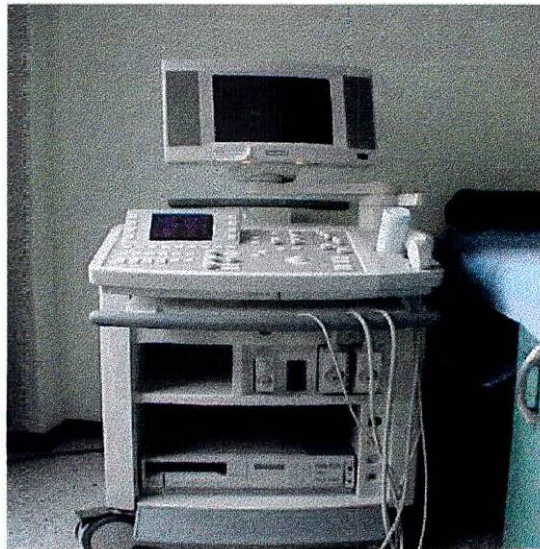
El haz de ultrasonido va perdiendo intensidad conforme va avanzando por los tejidos y a esa pérdida por unidad de longitud se le llama atenuación. La atenuación se produce a causa de diferentes factores, entre los que están desde la propia absorción de ultrasonidos por el medio hasta diversas reflexiones que se puedan producir por no-homogeneidad del medio. También se producen dispersiones y pérdidas de dirección por refracción que lo hacen inútil a efectos diagnósticos. La atenuación es directamente proporcional a la frecuencia del ultrasonido utilizado, por lo que deberemos esperar una mayor pérdida de intensidad del haz en profundidad con ultrasonidos de mayor frecuencia. Si para estudiar órganos profundos

seusan frecuencias más bajas que cuando se exploran órganos más superficiales o niños pequeños.

En un medio homogéneo los ultrasonidos se propagan en línea recta y cuando están producidos por un cristal forman un haz del cual sólo es útil la parte más cercana al transductor, que es donde el frente del ultrasonido aparece plano y que se llama zona de Fresnel. A partir de esa zona el haz comienza a abrirse en la llamada zona de Fraunhofer. Aunque existen y de hecho se usan diversas técnicas para focalizar el haz, es importante recordar que la directividad del haz es mayor cuan más elevada sea su frecuencia.

- EFECTO DOPPLER. Si la interfase entre dos medios con la que chocan los ultrasonidos está en movimiento, la frecuencia del eco no será igual a la del ultrasonido de origen sino que será un poco mayor o un poco menor dependiendo de que el objeto productor del eco se esté acercando o alejando de la onda exploradora. Este efecto de cambio de frecuencia con el movimiento se llama efecto Doppler.

**FIGURA 4 . Doppler.**



Fuente. Hospital Militar Central.

➤ **MODALIDADES DE DIAGNOSTICO ULTRASONICO**

1. **MODO A.** Es una de las formas más simples de diagnóstico ultrasónico. Consiste simplemente en aplicar la sonda sobre la zona a estudiar detectando, como en los demás modos ecográficos, el retraso en la llegada de los ecos y su intensidad.

Para presentarlos gráficamente se colocan en forma de ángulos más o menos altos según su intensidad y dispuestos sobre un eje, de manera que estén más o menos cerca del origen según el rastro en la llegada.

El modo A es de una sola dimensión y no es capaz de dar idea de forma alguna. Su utilidad actual reside en la exactitud de sus medidas. Ha sido el primer sistema que

permitió la utilización diagnóstica en medicina de los ultrasonidos. Comenzó usándose para detectar la existencia de alguna desviación de la línea media del cerebro. Se ha usado también en oftalmología e incluso para localizar órganos y quistes en el abdomen. Se usa sobretodo como ayuda a otras modalidades ecográficas.

2. MODO TM. TM son las siglas de tiempo-movimiento. El modo TM es pues, un modo unidimensional en el espacio pero que incorpora el tiempo de la imagen, permitiéndolo observar una gráfica de movimiento.

3. MODO B. El modo B o escáner B es sin duda el más utilizado en la actualidad y el que ha sufrido mayores innovaciones en los últimos años, siendo el verdadero responsable de la importancia actual de la ecografía en el diagnóstico por imagen.

El fundamento consiste en que en lugar de aparecer en pantalla flechitas como en el modo A, aparecen una serie de puntos correspondientes al lugar donde se han producido los ecos.

4. DOPPLER CONTINUO. En el que un transductor está continuamente emitiendo ultrasonidos y otro, a su lado, recibe también continuamente los ecos y permite detectar el movimiento.

5. DOPPLER PULSADO. En este sistema se lanzan pulsos de ultrasonidos y se espera la respuesta. Esto permite no solo detectar la existencia de movimiento sino averiguar también

por el retraso del eco con frecuencia diferente, la profundidad a la que se ha producido ese movimiento.

6. MODO DOPPLER DUPLEX. Este modo consiste en presentar simultáneamente en la imagen un modo Doppler pulsado con un modo B de imagen sectorial en tiempo real lo que permite al operador fijar el punto donde se requiere medir el movimiento que puede ser, por ejemplo, el flujo de un vaso.

#### ➤ APARATOS DE DIAGNOSTICO POR ULTRASONIDO

Estos aparatos se han transformado en una técnica habitual e imprescindible en la medicina actual; lo que realmente ha revolucionado este campo son los ecografos que transforman los ecos en imágenes diagnósticas, lanzando un corto pulso ultrasónico y recogiendo después los ecos que este pulso ha producido en los distintos tejidos que ha atravesado. El aparato no presentará de manera gráfica la intensidad del eco y la distancia a la que se ha producido. Los ecografos utilizan el mismo cristal para producir el pulso y para detectar los ecos. La frecuencia alta mejora la exactitud en la dirección del haz y la resolución, sin embargo para explorar un órgano profundo se debereducir la frecuencia pues se ha visto que estas frecuencias penetran muy poco.

Con los aparatos de ultrasonido en el diagnóstico medico es posible cambiar una serie de elementos para adecuarlos a la zona concreta a estudiar. La utilización de sistemas de

distintos niveles de grises en lugar de simple blanco o negro ha sido la clave del desarrollo de los ecografos. Es necesario distinguir entre ecos más y menos intensos para elaborar diagnósticos precisos.

## ➤ TIPOS DE ECOGRAFOS

Por su nivel de información existen:

1. ECOGRAFOS ANALOGICOS: la imagen aparece en su lugar y con su correspondiente nivel de gris en una pantalla, pero, aunque muy mejorados, tienen menos posibilidades que los digitales.
2. ECOGRAFOS DIGITALES: incorporan ya las técnicas de tratamiento informatizado de la imagen. Se basa en la digitalización de la imagen. Una imagen puede ser dividida en múltiples pequeños cuadros y a cada uno de ellos se le puede asignar un valor numérico (digitalización).

Por el retrazo en la imagen pueden ser:

1. ECOGRAFOS DE TIEMPO REAL: permiten observar la imagen en el mismo momento en que se esta tomando, puede por tanto visualizarse el movimiento de la zona que estamos explorando.

2. **ECOGRAFOS DE TIEMPO DIFERIDO:** n los cuales se forma una imagen estática bajo un control más directo del operador. Para la técnica de exploración el paciente debe tener desnuda la parte a explorar y esta zona se cubrirá con algún gel o aceite para un adecuado contacto entre sonda y piel. Deben hacerse múltiples cortes en distintas proyecciones para asegurar una adecuada visualización de toda la zona.

Conociendo bien la anatomía ecográfica de la región, se trata de identificar las alteraciones que aparezcan analizando las imágenes patológicas, sus bordes, tamaño, localización exacta y mayor o menor presencia de ecos en su interior. Es importante observar tanto los ecos de entrada como los de salida del haz, así como si produce sombra acústica o si por el contrario los ecos posteriores se encuentran reforzados.

Dentro de las características diferenciales de una imagen líquida y una sólida, encontramos que al ser el líquido puro muy homogéneo no se observan ecos en su interior, la atenuación del haz es menor, por lo que los ecos de salida y los de detrás de la estructura aparecerán reforzados por la curva de ganancia.

Los aspectos diferenciales más importantes son los ecos de salida y los posteriores a la imagen; así un líquido con zonas sólidas en su interior tendrá ecos en el interior pero mantendrá un fuerte eco de salida y refuerzo por detrás, cuanto más irregular sea una estructura mayor será la dificultad de paso de los ultrasonidos lo que permitirá con frecuencia diagnosticar un cálculo, burbujas de aire o lesión calcificada. La forma de la

sombra y de los ecos de salida, así como los que conforman la imagen, pueden variara dependiendo del metodo de barrido empleado.

En la imagen ultrasónica pueden observarse algunos puntos que no corresponden a estructura alguna, son los artefactos que pueden provenir de ruido electrónico inherente al aparato que se produce, sobre todo en aparatos analógicos, una sombra que debe borrarse con supresión de ecos pequeños.

A veces en ecos intensos puede producirse el fenómeno del doble eco, que consiste en que un eco intenso y cercano puede rebotar de nuevo en nuestro transductor y otra vez la misma interfase apareciendo en imagen como un eco de la misma forma y justo al doble de la distancia.

El ultrasonido se considera un método en expansión inocuo, atraumático y sin radiaciones ionizantes, son indispensables en obstetricia y ginecología, urología, cardiología, gastroenterología, cirugía vascular y otras áreas.

Ofrece la posibilidad de practicar punciones con sondas perforadas dirigidas para vaciar un quiste o tomar citología de lesiones sospechosas.

## ➤ ECOGRAFIA

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

Varias razones han intervenido en este proceso de generalización del uso de la ecografía. La más importante sin duda es el mejoramiento técnico de los aparatos con el consiguiente perfeccionamiento de la imagen, cada vez más precisa y exacta. La incorporación primero de las pantallas con escalas de grises y posteriormente la informatización y digitalización de todo el proceso de obtención de imagen han revolucionado toda la radiología diagnóstica y en particular, la ecografía. Otra buena razón es la actual preocupación por las dosis de radiación recibidas por la población en las técnicas de radiodiagnóstico clásico que hacen que, a igualdad de capacidad diagnóstica, se deba escoger la ecografía por su inocuidad y ausencia absoluta de radiación ionizante para el paciente.

En 1947, **K.T. Dussik** desarrolló la que puede ser la primera aplicación de los ultrasonidos al diagnóstico médico. Usando dos transductores en lados opuestos de la cabeza medía los perfiles de transmisión afirmando de que era capaz de detectar tumores, hidrocefalias y otras alteraciones intracraneales.

Pocos años después, en 1952, **Howry** y **Bliss** estaban intentando construir un ecógrafo que ofreciera una imagen bidimensional y en los años siguientes se perfeccionaron los distintos

aparatos multiplicando sus aplicaciones en oftalmología, diagnóstico de cálculos biliares y sobre todo en obstetricia.

Se debe aguardar hasta 1972, cuando **Kossoff** y **Robinson** introducen la escala de grises que abrió el camino a los modernos ecógrafos y que reciben su impulso definitivo con la incorporación de los ordenadores en el tratamiento de imágenes.

### **3.5.2 BASADAS EN LA INFORMATICA**

#### **3.5.2.1 IMAGEN DIGITAL**

El radiodiagnóstico a parte de los rayos X, con la utilización del ordenador para obtener y manipular una imagen se ha visto en continua innovación. El primero en utilizar ordenadores para obtener una imagen digitalizada fue el ingeniero inglés **Hounsfield**, con la tomografía computarizada abriendo camino al uso masivo de ordenadores en radiología.

Posteriormente y con la mejora en las técnicas aparecen la resonancia magnética o la angiografía digital, que propone alternativas en el mundo del diagnóstico por la imagen, poniendo en peligro la radiografía clásica.

Los ordenadores son digitales actualmente, lo que determina trabajar con una imagen reduciéndolo a un conjunto más o menos largo de números que contengan la mayor información de la imagen en cuestión.

Para conseguirlo se establece una matriz que consiste en dividir la imagen en cuadros pequeños, con lo cual, se da a cada cuadro de matriz un determinado valor que representa el nivel medio de gris que tiene esa zona en la imagen original, y se ha conseguido reducir a números gran parte de la información existente en la imagen. Estos cuadros se denominan "pixel" cuya información numérica está dada por el número que expresa su situación en el eje X de la matriz, el correspondiente al eje Y, y un tercero que indica el nivel de gris que le corresponde.

Al aumentar los cuadros de la matriz, aumenta la información, pero esta se parecerá más a la realidad.

En las técnicas modernas de angiorradiología digital con campos anatómicos amplios de visión pueden elegir matices de 1.024 X 1.024.

En cuanto a los grises, aunque el ojo humano puede distinguir entre 20-30 es importante que el ordenador amplíe la información para que el técnico responsable, se valga de esto para obtener una imagen más confiable.

### **3.5.2.2 RADIOGRAFÍA DIGITAL**

Esta se obtiene cuando la imagen radiográfica clásica se transforma en una sucesión de números ya descrita y que son la matriz numérica de la información radiográfica.

Para lograrlo se utiliza el sistema base de la angiografía digital, es decir, la digitalización de la imagen en un intensificador donde la imagen descrita por una matriz a partir de intensificador es obtenida o transmitida en un monitor de televisión, con el único inconveniente de lograr una imagen menos clara que la radiográfica.

Otro procedimiento consiste en la lectura secuencial punto por punto de la imagen radiográfica pasando un haz de láser por cada cuadro de la matriz en que se divide la radiografía, detectando sus oscurecimientos y guardándolo en el ordenador; sin embargo la imagen obtenida es análoga y limitada, lo que genera una información poco exacta.

También podría colocarse la radiografía en un negatoscopio y con una cámara de televisión grabarla; el inconveniente es que la realidad de la imagen es alterada y a comparación del láser la información por sonido se ve anulada.

### **3.5.2.3 ANGIOGRAFIA DIGITAL**

La angiografía se ha visto ayudada por la utilización de imagen digital y consiste en la visualización de los vasos sanguíneos a partir de un medio de contraste yodado hidrosoluble que al tener mayor densidad radiológica que los tejidos y la sangre resalta en la radiografía la imagen del trayecto del vaso en cuestión.

El único inconveniente es que la cantidad de contraste utilizado implica el uso de catéteres invasivos en el vaso a estudiar.

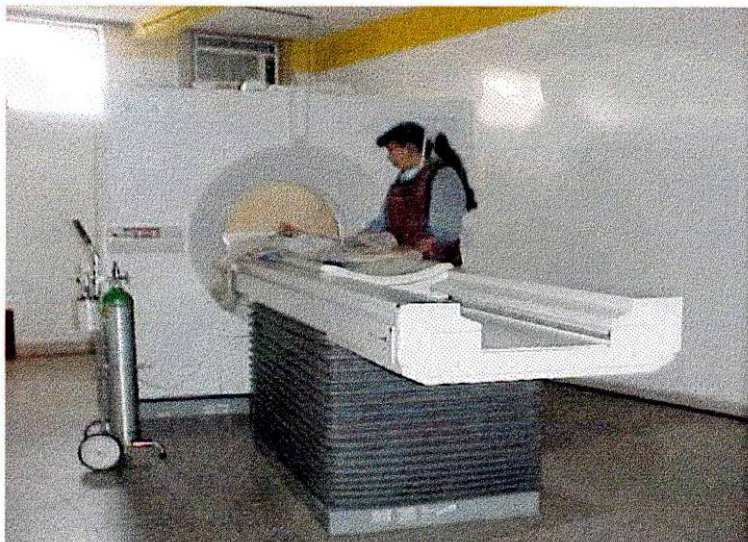
La angiografía digital consiste en:

- Tomar primero una imagen del vaso sin contraste con un intensificador "mascara".
- Luego tomando el contraste se inyecta vía intravenosa (aun para las arterias).
- Se toma de nuevo con el intensificador la imagen sucesivamente y se digitaliza.
- Se procede a la sustracción que consiste en tomar pixel por pixel sumar la imagen y restar la de la máscara obteniéndose la imagen casi pura.

#### 3.5.2.4 TOMOGRAFIA COMPUTARIZADA

La tomografía computarizada (TC) fue descrita y puesta en practica por el doctor **Godfrey Hounsfield** en 1972. Por ello, se le concedió el premio Nobel de Medicina en 1979.

**FIGURA 5. Tomógrafo.**



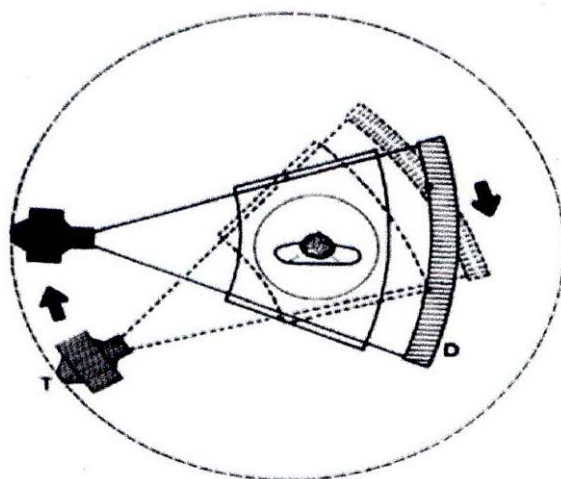
Fuente. Hospital Simón Bolívar.

La idea básica de **Hounsfield** partía del hecho de que los rayos X que pasaban a través del cuerpo humano contenían información de todos los constituyentes del cuerpo en el camino del haz de rayos y que mucha de esta información, a pesar de estar presente, no se recogía en el estudio convencional con las placas radiográficas.

La tomografía computarizada es la reconstrucción por medio de un computador de un plano tomográfico de un objeto. La imagen se consigue por medio de medidas de absorción de los rayos X hechas alrededor del objeto (figura 6). La fidelidad y la calidad de la imagen dependerá de la naturaleza de los rayos X, de los detectores, del número y la velocidad con la que se hacen las mediciones y de los algoritmos que van a utilizarse para la reconstrucción.

En el TC, el ordenador se emplea para sintetizar imágenes. La unidad básica para sintetizar imágenes es el volumen del elemento. Cada corte de TC está compuesto por un número determinado de elementos volumétricos, cada uno de los cuales tiene una absorción característica que se representa en la imagen de TV como una imagen bidimensional de cada uno de estos elementos (pixels). Aunque el pixel que aparece en la imagen de TV es bidimensional, en realidad representa el volumen, y por eso habría que considerarlo tridimensional, porque cada unidad, además de su superficie, tiene su profundidad, a semejanza del grosor de un corte tomográfico. A esta unidad de volumen es a lo que se llama "voxel".

**FIGURA 6. Esquema básico de un tomógrafo axial computarizado moderno.**



Fuente. Diagnóstico por imagen, Pedrosa.

Los elementos básicos de un equipo de tomografía axial computarizada consisten en una camilla para el paciente, un dispositivo, denominado "gantry", que es un conjunto en el que se instala el tubo de rayos X y los detectores, los elementos electrónicos que van a conseguir la toma de datos, un generador de rayos X y un ordenador que sintetiza las imágenes y está conectado con las diferentes consolas, tanto de manejo como de diagnóstico.

### ➤ ASPECTOS TECNICOS

Todos los scanners presentan un sistema para la recogida de datos, el sistema de procesado de los mismos y reconstrucción de la imagen y un sistema de visualización de archivo.

a. *Sistema de recogida de datos.* La energía se obtiene a través de un generador de alta tensión, similar a los utilizados en radiología convencional y un tubo de rayos X que produce la radiación necesaria. El haz de rayos, marcadamente colimado, produce un haz de energía primaria. Las estructuras que son atravesadas por este haz absorben una cantidad de radiación proporcional a su coeficiente de atenuación. El coeficiente lineal de atenuación depende de la energía que es absorbida al chocar los fotones de rayos X con el cuerpo humano y por tanto, está en relación con la densidad del objeto, con el número atómico del mismo y con el espesor.

*Los detectores.* Se han utilizado a lo largo de las diferentes generaciones, diversos tipos de detectores de radiación. Los detectores de escintilación demostraron pronto que tenían propiedades superiores a los de yoduro de sodio. De los dos tipos existentes, los de fluoruro de calcio y los de permanganato de bismuto, estos últimos demostraron una efectividad mejor y son los que más se han utilizado. Recientemente algunos scanners emplean detectores de escintilación de yoduro de cesio, siendo una ventaja importante de estos detectores sólidos el poder fabricarse de cualquier tamaño y configuración. Una alternativa a estos detectores fueron las cámaras de ionización que están llenas de gas xenón y que son probablemente los detectores más usados en los scanners de tercera generación.

La señal que transmite el detector se transforma electrónicamente y se recoge por un tubo fotomultiplicador. Esta señal, que es proporcional a la radiación atenuada, por medio de un convertidor analógico-digital es transformada en valores digitales que

pasaran posteriormente al ordenador, donde se producirá el tratamiento y reconstrucción de la imagen. El ordenador es el corazón de cualquier unidad de tomografía axial computarizada. La reconstrucción de las imágenes por el tratamiento de los datos, a través de los detectores, sólo se puede manejar a través de un ordenador, por lo que, probablemente, toda la técnica de la tomografía axial computarizada no podría haberse desarrollado mucho antes de los años 70.

- b. Toma de los datos por el equipo.* El sistema de adquisición de datos (SAD) constituye el mecanismo de interfase entre la producción de los rayos X y la unidad central que se encargará de la reconstrucción de las imágenes. Este SAD recibe la señal eléctrica que le envían los detectores, convierte esta señal en el formato digital necesario para el tratamiento por el ordenador y transmite la señal convertida a la unidad central. La señal eléctrica que envían los detectores debe amplificarse, y después de una amplificación logarítmica, la señal que proviene de los detectores se almacena en los circuitos de integración. La función de estos circuitos de integración es proporcionar una señal de salida que represente la suma de todas las señales de entrada recibidas en un periodo concreto de tiempo.

La señal almacenada en estos circuitos de integración se transfiere entonces a un convertidor analógico-digital, cuya función es transformar esta señal en formato digital. Para la reconstrucción de la imagen es necesario que el ordenador reciba múltiples señales después de explorar al paciente en diferentes ángulos. Cuanto

mayor sea el número de barridos efectuados, mayor será el número de datos que se pueden llevar al ordenador.

La tercera generación usa una técnica llamada de "fanbeam", es decir, de haz de abanico, en la cual una corona circular de detectores gira a la vez que el tubo de rayos X alrededor del paciente, consiguiéndose tiempos de exploración de alrededor de los 2 a 4 segundos.

c. *Proceso de los datos.* La reconstrucción de la imagen se logra gracias a la potencia de los ordenadores, que lo consiguen en pocos segundos. El proceso de reconstrucción es matemático y se basa en una serie de procesos algorítmicos que se han ido perfeccionando en los últimos tiempos. Se han empleado tres métodos matemáticos para estas reconstrucciones, que son: la proyección posterior simple, la proyección posterior filtrada y los mecanismos interactivos de reconstrucción. La mayor parte de estos cálculos se basa en la llamada "transformada de Fourier", que permite un análisis matemático de alta velocidad.

d. *Reconstrucción del objeto.* El problema de la reconstrucción es la síntesis de los valores de atenuación para cada elemento volumétrico y la asignación a éste de un valor numérico, conocido como "número CT". La suma total de todas estas medidas obtenidas durante el barrido permite al ordenador determinar los coeficientes de atenuación individuales para cada una de estas unidades. Asumiendo que el grosor de estas unidades volumétricas es constante, cada uno de estos elementos puede

representarse en una red bidimensional de pixels, que se llama "matriz" y que es como una cuadrícula dividida en pequeños elementos. La resolución de la imagen mejora mucho al disminuir el tamaño de cada unidad o pixel. En las máquinas modernas, el volumen del pixel (voxel) o espesor de corte, que originalmente era de unos 13 mm, ha descendido hasta los 2 mm, mientras que el pixel tiene entre 1 y 1,5 mm. En la práctica, al reducirse el tamaño del pixel, se gana en definición no solamente por haber mayor número de pixels, sino también porque para un volumen dado, cuanto más pequeño es éste, más cercano a la realidad se encuentra. El registro digital sobre la matriz está directamente relacionado con las diferencias de los coeficientes de atenuación lineal de los materiales, que se agrupan en una escala llamada "escala de números Hounsfield", que va desde el +1.000 para el hueso hasta - 1.000 para el aire, siendo 0 el valor correspondiente al agua.

- e. *Reconstrucción multiplanar.* El ordenador puede utilizarse para reconstruir planos distintos del axial. De esta manera, a través de la información digital existente, se pueden conseguir imágenes en cortes sagitales, coronal e incluso oblicuos. La utilización de la reconstrucción multiplanar o "imágenes reformadas", es interesante, si bien la resolución que tienen en la actualidad todavía no alcanza a la de las imágenes axiales.
  
- f. *Dosis de radiación.* La dosis de radiación que recibe el paciente durante un examen con CT varía de una unidad a otra de tomografía computarizada y también de la sección del tejido expuesto durante el examen. La dosis absorbida durante una

exploración depende principalmente del nivel de ruido que sea tolerable en la imagen, en relación con la exposición. Otros factores incluyen el pico de kilovoltaje empleado para el examen, el tipo de tubo utilizado, la cantidad de filtración que se haga al tubo de rayos X, etc. Cada uno de estos factores debe examinarse cuidadosamente en cada unidad para estar seguros que se obtiene una información diagnóstica adecuada con la menor dosis de radiación posible. A pesar de la colimación, es evidente que los estudios de scanner producen radiación sobre el paciente.

*g. Aspectos clínicos de la tomografía computarizada.* Los estudios de TAC de la mayor parte de los órganos se efectúan con y sin introducción del medio de contraste. El realce de las estructuras con la inyección es un hecho bien conocido. Este realce está influenciado por la distribución de contraste en los espacios intra y extravascular, y ello depende del tipo de tejido y su vascularidad, la dosis administrada, la excreción renal y el tiempo de barrido, así como algunas condiciones locales del órgano estudiado.

### **3.5.3 BASADAS EN MEDICINA NUCLEAR**

#### **3.5.3.1 SPECT Y PET**

La instrumentación en SPECT (tomógrafo computarizado simple de emisión de fotones), surgió después de la aparición de la tomografía computarizada (TC).

Un sistema SPECT consiste en una gamma cámara dotada de un sistema rotativo, que permite obtener imágenes del paciente desde cualquier orientación y de un equipo informático que controla el giro del dispositivo y la adquisición de las imágenes, realiza su reconstrucción y permite la visualización y el tratamiento de los diferentes cortes tomográficos. Toda la información se va almacenando en la memoria del ordenador.

El paciente debe permanecer inmóvil durante el tiempo que dura la exploración. Luego de finalizada, un programa informático reconstruye las imágenes. Esta permite además conseguir información correspondiente a un tercer plano del espacio (PROFUNDIDAD).

Los SPECT constituyen, cada vez más una técnica de gran importancia dentro de la medicina nuclear, puesto que permite solucionar uno de los problemas más importantes de las imágenes planares, como lo es la superposición de estructuras que impiden la visualización de lesiones pequeñas.

La instrumentación en PT (tomógrafo emisor de positrones) constituye el último avance tecnológico desarrollado dentro del campo de la medicina nuclear. Utiliza emisiones de positrones (es decir, elementos radiactivos que sufren desintegración beta con carga positiva) de vida media ultracorta. Con ellos se marcan sustratos metabólicos o moléculas que el organismo utiliza para su metabolismo, por lo que, tras su administración al paciente permite estudiar procesos bioquímicos y fisiológicos como el metabolismo de la glucosa, el consumo de oxígeno o la síntesis de proteínas, calcular el

flujo sanguíneo de diversos tejidos o estudiar los neuroreceptores de enzimas, fármacos y neurotransmisores.

Un sistema PET esta integrado por cuatro componentes:

- a. **CICLOTRON:** instrumento utilizado para la producción de los radionuclidos emisores de positrones con los que se marcan las moléculas que se utilizan en los estudios de PET.
- b. **UNIDAD DE PROCESADO RADIOQUIMICO:** en esta unidad se lleva a cabo el marcado de los diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos mediante los radionuclidos que se han obtenido del ciclotron.
- c. **CAMARA DE POSITRONES:** utilizados para la obtención de las imágenes, está formada por uno o varios anillos constituidos por pequeños detectores de centelleo adosados, cuyos cristales son de un material de mayor numero atómico que el utilizado en las gammacámaras, para conseguir una mayor eficacia en la detección.
- d. **ORDENADOR:** debe tener una gran capacidad de memoria puesto que ha de recoger y almacenar numerosos datos.

### **3.5.3.2 RESONANCIA MAGNÉTICA**

**Félix Bloch**, de la Universidad de Stanford, y **Edward M. Purcell**, de Harvard, establecieron las bases experimentales de la espectroscopia por RM hace ya más de treinta años, por cuyo trabajo recibieron el premio Nobel en 1952. En la actualidad, la RM es un

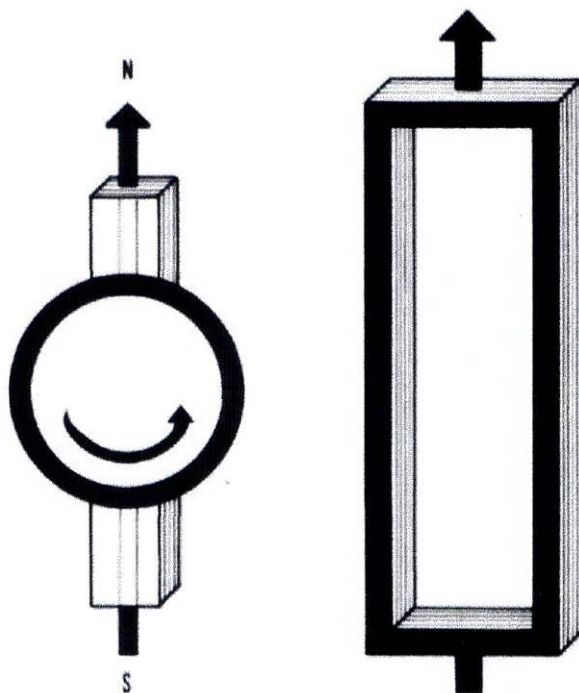
método para generar imágenes del cuerpo muy parecidas a las que produce el TC. Hoy en día se sabe que muchos núcleos atómicos tienen un momento angular derivado de su propiedad intrínseca de rotación, el spin. Por estar los núcleos eléctricamente cargados, el spin corresponde a un flujo de corriente en torno al eje del spin, que genera a su vez un pequeño campo magnético de manera que los protones con propiedad de spin se comportan igual que un pequeño magneto, con un polo N y un polo S. Las características de este magneto se representan por medio de un vector llamado "momento magnético" que define simultáneamente la dirección y sentido del eje magnético de orientación de cada pequeña magneto y su grado de magnetización.

**FIGURA 7 . Resonador.**



Fuente. Hospital Simón Bolívar.

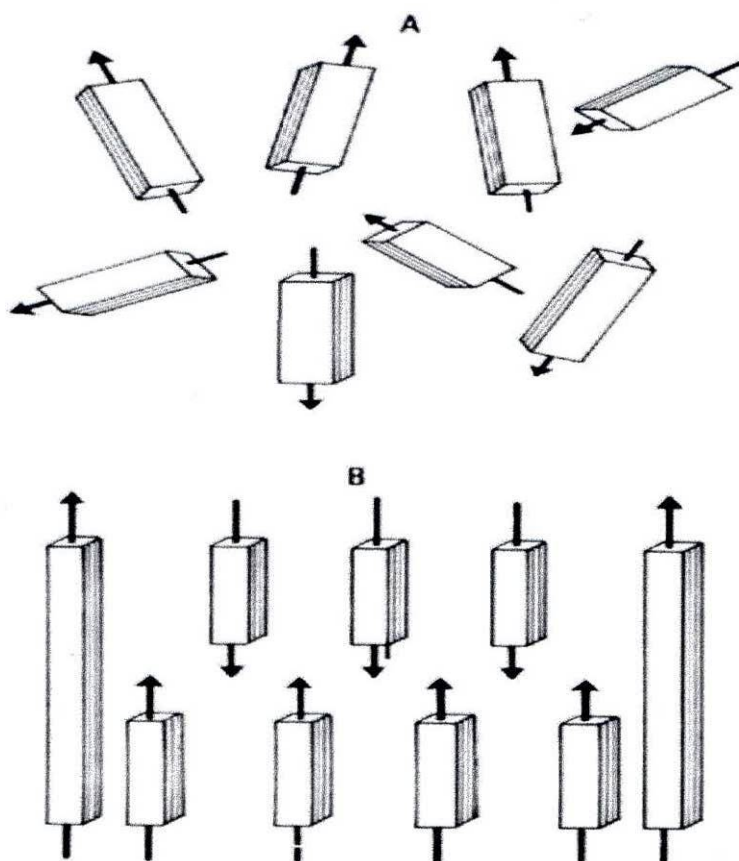
**FIGURA 8 . Principios basicos de la resonancia magnética (RM).**



Fuente. Diagnóstico por imagen, Pedrosa.

Aplicando un campo magnético externo, se produce una orientación de los momentos magnéticos particulares de cada protón de forma paralela o antiparalela a la dirección de este campo. La orientación paralela a la dirección del campo externo es un estado de menor energía, por lo que el número de protones que se orientan paralelos a la dirección del campo magnético es mayor y esto hace que la magnetización neta o lo que podría llamarse la suma de todos los momentos magnéticos, sea de la misma dirección que el campo magnético externo.

**FIGURA 9. Principios básicos de resonancia magnética.**

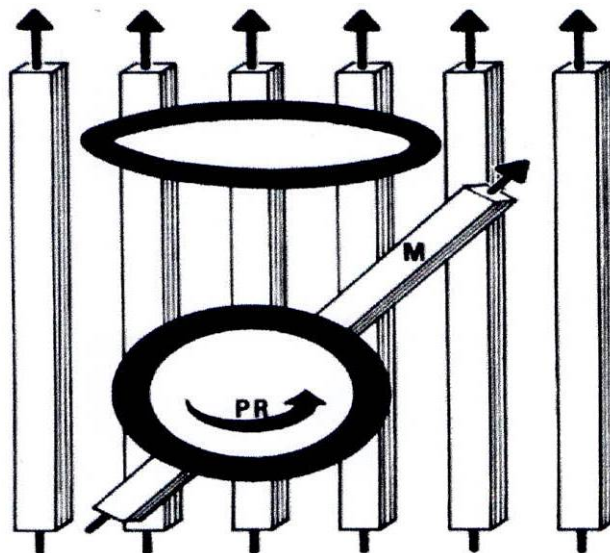


Fuente. Diagnóstico por imagen , Pedrosa.

Los núcleos en rotación, los protones con spin, se comportan de forma muy similar a pequeños giroscopios. Si se inclina el eje de un giroscopio en rotación, alejándolo de la vertical, éste girará alrededor de su anterior eje en un movimiento que describe la pared de un cono. Este movimiento recibe el nombre de "precesión" y se ha comparado habitualmente al de una peonza o un trompo. Asimismo, si la magnetización global o neta correspondiente a una agrupación de núcleos en rotación en un campo magnético, se aleja de la dirección de su eje, este momento magnético global efectuará un movimiento de precesión alrededor de su propio eje. Esta inclinación se consigue aplicando un campo magnético mucho menor,

que gire en un plano en ángulo recto con el campo estático. Para inclinar el vector del spin macroscópico, o momento global y alejarlo de su propio eje la frecuencia de la radiación electromagnética aplicada debe ser igual a la frecuencia de la precesión natural de los núcleos de la muestra, de ahí la expresión "resonancia magnética".

**FIGURA 10. Momento magnético global.**



Fuente. Diagnóstico por imagen, Pedrosa.

En la actualidad, las imágenes médicas de resonancia magnética producidas, se han obtenido principalmente utilizando la resonancia de los núcleos de hidrógeno. Otros núcleos con capacidad de resonancia tienen una menor sensibilidad intrínseca y se encuentran en el cuerpo humano en concentraciones mucho menores por lo que son más difíciles de excitar. Así que los cambios en la dirección o en la magnitud del vector de magnetización global, producen una corriente que puede detectarse en un receptor y que representa la señal básica de la resonancia magnética para producir imágenes. Es decir, cuando el campo de

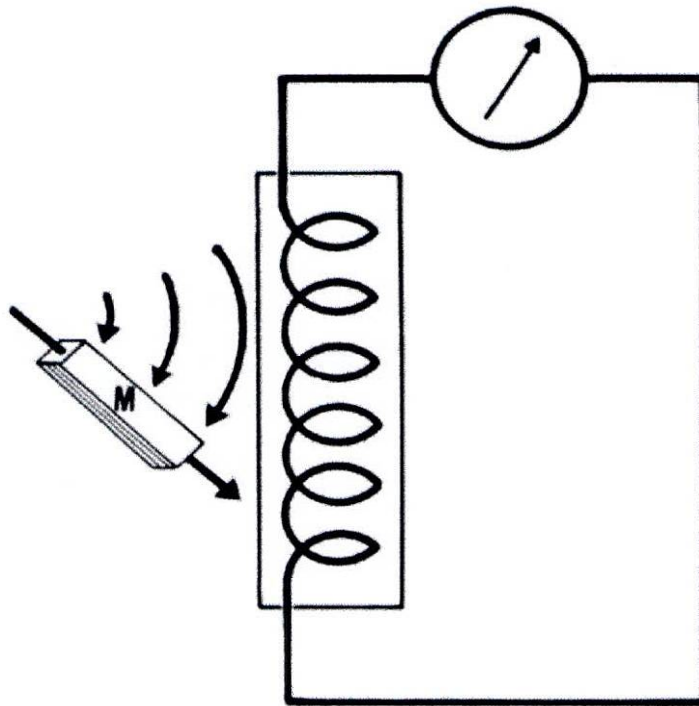
radiofrecuencia oscila en la frecuencia de resonancia apropiada a cada núcleo, éste absorberá energía. Este paso de un momento de baja energía a uno de alta energía causará un cambio en la orientación del vector de magnetización global con respecto al campo magnético externo estable. Cuando el campo de radiofrecuencia desaparece, la magnetización global tenderá a realinearse nuevamente con el campo magnético externo para establecer el equilibrio. Al hacer esto, es cuando se puede generar una señal que, detectada por un receptor y tratada adecuadamente en un ordenador de manera similar a como lo hace el CT, puede producir las imágenes.

El ángulo de desplazamiento entre el vector de magnetización global y la dirección del campo magnético estático aumenta de forma continua durante todo el tiempo que se aplica la onda de radiofrecuencia.

Cada núcleo, al comportarse como un magneto que genera un pequeño campo magnético, afecta a los otros núcleos. Si éstos son alterados en su estado de equilibrio por la aplicación de la radiofrecuencia, todos tienen la precesión inicialmente en fase uno con otro o en la llamada fase de coherencia. Sin embargo, debido a la interacción de giro entre los núcleos, unos se aceleran y otros se desaceleran, porque pueden tener diferentes campos magnéticos. Además, se utilizan algunos otros parámetros como la densidad nuclear, o número de señales nucleares por unidad de volumen, que se miden en moles/m<sup>3</sup> y lo que se llama el desplazamiento químico que es "la variación que se observa en las frecuencias de resonancia de los núcleos en diferentes entornos". La duración del pulso de radiofrecuencia determina la

magnitud de la rotación del vector de magnetización global con respecto a su alineamiento original.

**FIGURA 11. Cambios en la dirección del eje del momento magnético.**



Fuente. Diagnóstico por imagen, Pedrosa.

Otro perfil de pulsos adoptados frecuentemente es el de la secuencia de "inversión-recuperación". La secuencia de inversión-recuperación proporciona una imagen de mayor contraste que las secuencias de saturación-recuperación, pero a cambio de un mayor tiempo de formación de imágenes o de una reducción de la resolución espacial. Otro tipo de secuencias utilizadas es la llamada de "spin-eco".

Es evidente, por tanto, que seleccionando una secuencia apropiada de pulsos puede conseguirse que la imagen de resonancia magnética refleje uno o más de los diversos parámetros de resonancia inherentes al tejido sometido a dicho examen. Dichos parámetros, a su vez, son sensibles al entorno físico-químico de los núcleos y subrayan la convicción de que la formación de imágenes de resonancia magnética pueden desempeñar un gran papel en la detección precoz de enfermedades y en la caracterización tisular.

La gran cantidad de opciones, diferentes secuencias, fuerza del campo, etc., que afectan a la producción de imagen en RM dificulta la selección idónea de cada caso. La producción de imágenes se realiza por un tratamiento por ordenador de las señales de resonancia de manera muy similar a la utilidad en la tomografía axial computarizada. Debe subrayarse que la resolución espacial de una imagen de resonancia magnética no viene dada por la longitud de onda de la radiación que produce, sino que depende de la uniformidad del campo magnético estático y de la fuerza de los campos de gradiente.

### ➤ APARATOS DE RESONANCIA MAGNETICA

Lo importante de los aparatos de resonancia es el campo magnético que debe ser intenso y homogéneo que produzca buenas imágenes en tiempos razonables.

La intensidad del campo se mide en Teslas ( $1\text{T} = 10.000$  gauss) y los aparatos actuales ofrecen intensidades de hasta 1.5 o 2 T. Estos aparatos requieren de imágenes que al ser

permanentes tienen inconveniente en el tamaño y tiempo de exposición por las bajas intensidades.

Estos aparatos disponen también de ordenadores muy potentes capaces de reconstruir la imagen a gran velocidad y de múltiples utilidades para tratar la imagen y para seleccionar las secuencias de los pulsos más adecuadas para el estudio en concreto.

#### ➤ **Indicaciones**

- Diferencia con buen contraste de alteraciones de partes blandas.
- SNC por la capacidad de distinguir zonas desmielinizadas con indicaciones amplias y crecientes.
- Diagnóstico de enfermedades de la médula espinal.
- Sistema musculoesquelético (alteraciones articulares)

#### ➤ **Contraindicaciones**

Aunque al utilizar frecuencias por debajo de 2.5 T no se hayan presentado alteraciones es importante prevenir:

- El daño de tarjetas de crédito (bandas magnéticas), relojes, por lo tanto determinación de un espacio restringido.

- El retiro de prótesis antes de la exploración, clips quirúrgicos y su naturaleza, restos de metralla que podría desplazarse, etc.
- Portadores de marcapasos son ampliamente contraindicados dada la exploración.

### 3.5.3.3 GAMMAGRAFIA

Es una técnica diagnóstica basada en la representación gráfica de la distribución de la radiactividad depositada en el interior del esqueleto después de inyectar un isótopo radiactivo con selectividad hacia ese órgano, aprovechando la radiación gamma emitida mediante una instrumentación adecuada. El registro obtenido es proporcional a la capacidad de fijación del isótopo en las diferentes zonas que componen el sistema óseo variando según las condiciones patológicas que asientan en él. La gammagrafia ósea es inferior a otras técnicas diagnósticas en cuanto a la representación de estructuras anatómicas, ofreciendo sin embargo una imagen funcional del esqueleto.

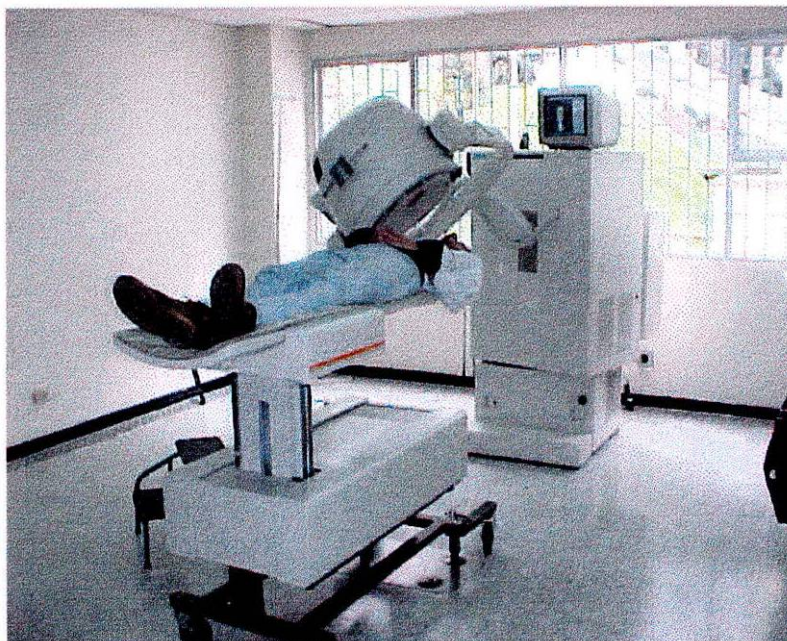
Precisamente es esta propiedad de detectar los cambios funcionales que aparecen antes que los estructurales, lo que hace que esta técnica sea mucho más sensible que la radiológica. Es por esto que la razón de ser de la gammagrafia estriba en la precocidad de los hallazgos, que nos permiten detectar las lesiones óseas en los estadios más precoces, cuando aun no existe evidencia radiológica de las mismas.

Hasta hace algunos años los exámenes paraclínicos de que se disponía en patología ósea consistían fundamentalmente en:

- Determinaciones de laboratorio, tales como niveles de Ca y P, fosfatasa alcalina, hidroxiprolina, etc.
- Radiología del esqueleto.
- Biopsia ósea.

Se concibe entonces que ante estas limitaciones, se haya desarrollado un método como la gammagrafia que complete eficazmente las investigaciones precedentes, permitiendo al clínico un arma diagnóstico de primer orden y ofreciendo al paciente una atención médica de la máxima calidad.

**FIGURA 12. Gammacámara**



**Fuente. Hospital Militar Central.**

## ➤ RADIOFARMACOS

La exploración gammagráfica del esqueleto ha visto desde sus comienzos la aparición de numerosos elementos radiactivos que han sido utilizados y abandonados en rápida sucesión. En 1971 el Doctor **Subramanian** y col. marcaron con Tc moléculas de polifosfatos, logrando asociar las inmejorables características físicas del tecnecio tales como : a) fácil disponibilidad y manejo b) corto periodo de semidesintegración c) emisión monoenergética y d) baja energía al empleo de la gamma cámara, permitiendo aumentar la dosis, reducir el tiempo de exploración, disminuir el peligro de irradiación y alcanzar una alta calidad de la imagen gammagráfica. En la actualidad los más empleados son los difosfanatos y concretamente el metilendifosfato debido a su estabilidad y alto rendimiento del marcaje, aclaramiento plasmático elevado, su afinidad por las lesiones óseas y su escasa actividad en los tejidos blandos.

Cuando se trata de estudiar procesos infecciosos no tumorales dentro de la exploración osteoarticular se utilizan otros radionúclidos o compuestos radiactivos que, complementariamente, permiten una mayor precisión diagnóstica al aumentar la sensibilidad y especificidad de la gammagrafía. Estos son fundamentalmente el citrato de galio - 67 y los leucocitos marcados con indio - 111 y con tecnecio - 99m.

## ➤ MECANISMOS DE FIJACION

Aunque el mecanismo íntimo de acción se desconoce, si parece demostrada autoradiográficamente la incorporación del trazador radiactivo al hueso mediante intercambio iónico en la cubierta hidratada externa de los cristales de hidroxiapatita. Existe también fijación aunque en menor proporción en la matriz orgánica del hueso, así como en el tejido osteoide inmaduro.

## ➤ TÉCNICA DE EXPLORACION

Se administran por vía intravenosa de 2 a 20 mCi del compuesto fosfórico, generalmente metilendifosfanato, marcado con tecnecio - 99m, sin necesidad de preparación previa por parte del paciente.

La exploración rutinaria del esqueleto se realiza entre las 2 y 4 horas siguientes a la administración del radiofármaco, efectuando un rastreo de cuerpo total o exploraciones parcelares del esqueleto mediante una cámara de campo grande con colimador de baja energía y alta resolución. Es frecuente, sobretodo en función de la patología sospechada o diagnóstico de presunción, efectuar la gammagrafia en tres fases inyectando la dosis con el paciente situado debajo del detector de la gamma cámara, analizando en diferentes tiempos la incorporación del trazador al hueso:

- *Primera fase. Fase de vascularización - flujo sanguíneo.* Se obtienen imágenes secuenciales dinámicas cada 2-3 segundos desde el instante de la inyección durante 1 minuto.
  
- *Segunda fase. Fase precoz o de "pool" sanguíneo.* Durante los cinco primeros minutos de la inyección se obtienen imágenes estática.
  
- *Tercera fase. Fase tardía.* Es la gammagrafía propiamente dicha o fase metabólica.

La gammagrafía en tres partes permite hacer diagnósticos diferenciales de las lesiones objetivadas, valorando la vascularización de las mismas. En ocasiones, se obtienen imágenes cuantitativas mediante el análisis por ordenador de diferentes zonas generalmente simétricas, delimitadas por áreas de interés, comparándolas entre si con otra área de referencia. Esta técnica intenta mediante contajes objetivizar la información obtenida visualmente.

También se pueden efectuar estudios comparativos de estructuras simétricas, realizando cortes a determinados niveles para poder obtener así perfiles de actividad, que es otra forma de objetivar acúmulos patológicos del material radiactivo. Como requisito previo a la exploración es necesario evacuar la vejiga debido a la normal eliminación renal del radiofarmaco. Aproximadamente a las dos horas se excreta por vía renal el 50% del complejo fosfórico inyectado.

## ➤ FACTORES QUE PUEDEN ALTERAR LA CALIDAD DE LA IMAGEN GAMMAGRAFICA

Pueden alterar la imagen gammagrafica factores derivados de la manipulación y marcaje del fármaco, que por bajo rendimiento, al quedar tecnecio libre no incorporado a la molécula, impida la definición de las estructuras óseas y permita la visualización de partes blandas.

Situaciones clínicas como edemas u obesidad empeoran la imagen al frenar la radiación. Niveles de hierro excesivos en pacientes con hemocromatosis disminuyen la captación ósea, aumentando la captación de partes blandas y tracto urinario.

El grado de hidratación y la situación renal del paciente son factores que pueden influir por déficit en el aclaramiento del trazador.

### 3.5.4 RECONSTRUCCIÓN TRIDIMENSIONAL Y DENTAL SCANN

La radiografía convencional es un tipo de imagen que muestra la anatomía en sólo dos dimensiones por lo cual no permite medir profundidad (grosor) de la proyección.

En la búsqueda continua de método, para tener acceso a los datos de la tercera dimensión, se inventaron técnicas como la adquisición de imágenes esterotópicas en par y la tomografía. Estos son avances técnicos muy valiosos, pero no proporcionan la información cuantitativa exacta en las tres dimensiones del volumen de la estructura.

La tomografía computarizada (TC) es un tipo de imagen que nos permite identificar cambios pequeños en el diferenciamiento de tejidos. Una de las muchas áreas en las cuales la

tecnología del TC en la imagen tridimensional, presenta gran importancia dentro de la clínica odontológica en cirugía plástica y protésica.

Estas imágenes de bloque del cuerpo son adquiridas de manera secuencial sin brechas y se aplica para crear una imagen de volumen en los cortes secuenciales adquiridos la estructura blanco se mueve en una dirección perpendicular al plano de corte. El movimiento de la mesa puede ser tan pequeño como de 0.5mm. Si el grosor del corte es mayor de los incrementos de posición de la mesa hay un transplante de los bordes; el computador luego identifica el borde del transplante y lo elimina en los datos reconstruidos.

Por otro lado si la frecuencia del corte se incorpora brechas dentro de ellos, resultan de un volumen tridimensional, reconstruido de manera parcial que contiene espacios vacíos y que corresponde a las brechas. Existen unos métodos de reconstrucción por computador de las imágenes tridimensionales a partir de los datos obtenidos, en cortes secuenciales, siendo primera la fijación del umbral.

Por otro lado el dental scann es un estudio o método de evaluación preciso que se realiza para aplicar un tipo de programa reformado multiplanar, para la delineación y evaluación cuántica de la ATM realizando cortes coronales y sagitales y utilizando los datos de la TC; a su vez estos cortes se reconstruyen en planos oblicuos, frontales y sagitales.

Otro uso de este programa en nuestro medio odontológico es la evaluación de los maxilares de pacientes aptos para implantes dentales. Realizando como primera medida una imagen de tipo panorámica en la cual se realiza un corte axial a nivel de la mandíbula o maxilar por medio del TC utilizando el programa de software dedicado a reformatear los datos de dicha imagen así mismo como en imágenes de cortes transversales y perpendiculares al plano curvo a través de la arcada.

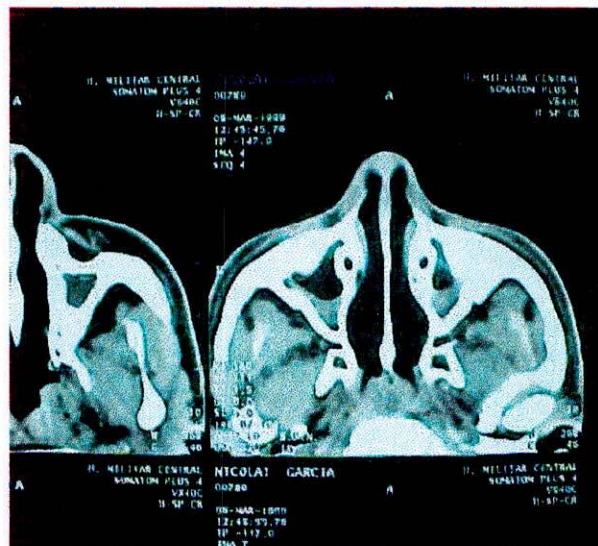
Otro paquete del mismo software se puede utilizar para dirigir un diseño por computador, de fabricación auxiliado (CAD-CAM ) de manera que pueda formarse un modelo de la mandíbula para utilizarse en la fabricación del armazón del implante subperióstico. Es importante que las clínicas que deseen ordenar este tipo de scanner para sus pacientes, es recomendable ser muy específico en la descripción del problema clínico y el tipo de respuesta requerido, de manera que el técnico auxiliar de radiología junto con el radiólogo pueda ajustar la necesidad clínica del paciente y poder llegar a un diagnóstico acertado.

### **3.6 DETERMINACION DE LESIONES**

#### **3.6.1 LESIONES DE TIPO INFLAMATORIO**

La Inflamación en maxilares y huesos de la cara es un proceso común y puede presentarse por diversas causas siendo una de ellas entre las mas frecuentes de inflamación pulpar a consecuencia de una caries con la respectiva muerte pulpar.

Aunque las infecciones apicales suelen circunscribirse a esa región periapical, algunas veces se extiende más allá llegando así hasta huesos, ocasionando una osteomielitis. Las heridas postquirurgicas (Odontológicas) , son la segunda causa más frecuentes de infecciones óseas, aunque esta presenta menos episodios de inflamación en huesos faciales, que las pulpares.

**FIGURA 13. Sinusitis.**

Fuente. Hospital Militar Central.

Descripción. TAC de una sinusitis crónica proliferativa con contenido líquido. Observese el engrosamiento radiopaco de mucosa sinusal y la presencia de exudado en los dos senos.

**FIGURA 14 . Anquilosis fibro-ósea.**

Fuente. Hospital Central de la Policía.

Descripción. Tomografía lineal. Obsérvese el en la parte posterior de cavidad glenoidea y cóndilo mandibular el borramiento del espacio interarticular radiopaco que insinúa un proceso fibro-óseo que lleva a una anquilosis con movimiento de apertura limitado.

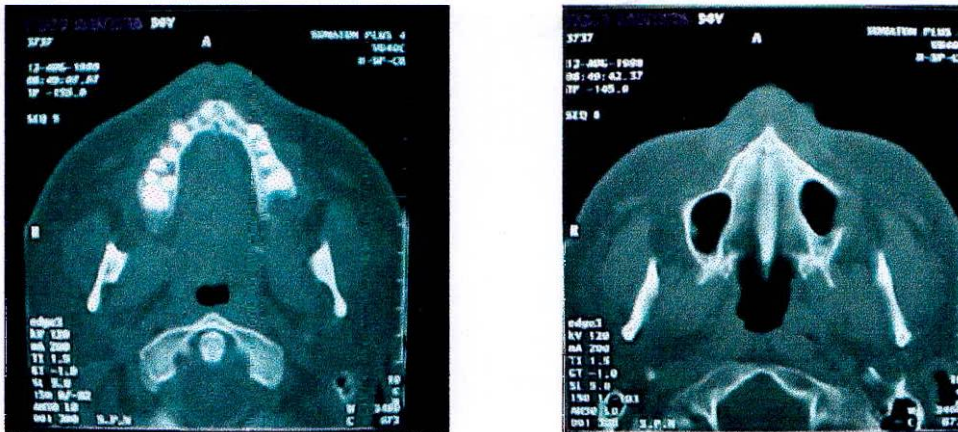
### **3.6.2 LESIONES POR TRAUMA**

Las lesiones de huesos faciales pueden afectar de uno a varios huesos. Frecuentemente las fracturas faciales más encontradas son las del pómulo y maxilar inferior y en menos proporción las del maxilar superior.

Es importante efectuar un buen examen clínico y radiografía de cada diente o dientes traumatizados, incluyendo placas craneales en ángulo recto que permita la identificación de la localización de la fractura y el grado de separación de los fragmentos óseos y reconocer reacciones de los tejidos blandos.

Se debe tener en cuenta que los fragmentos de algunas fracturas no sufren desplazamiento y quedan oblicuos a la dirección del haz de rayos por lo que no quedan plasmados en las radiografías.

**FIGURA 15. Fractura de tabla mandibular.**



Fuente. Hospital Militar Central.

Descripción. Tomografía computarizada donde muestra la fractura de tabla mandibular con compromiso de seno y presenta fistula oroantral.

**FIGURA 16. Artificio de imagen por material metálico.**



Fuente. Hospital Simón Bolívar.

Descripción. Resonancia magnética de cráneo en corte coronal que muestra artificios de imagen por material metálico.

**Figura 17. Fractura maxilar inferior.**



Fuente. Hospital Militar Central.

Descripción. Tomografía computarizada en corte axial donde se observa fractura en maxilar inferior con pérdida de la continuidad de la tabla vestibular y lingual.

### 3.6.3 LESIONES QUISTICAS

Las lesiones quísticas se presentan más frecuentemente en los maxilares que en otro hueso, ya que la mayoría de ellas se forman a partir de diversos restos epiteliales odontogénicos que quedan después de la formación dental los quistes constituyen la segunda causa de radiolucides patológica de maxilares.

Algunos quistes suelen originarse en hueso y otros ocasionalmente aparecen en tejidos blandos. Los quistes orales de hueso crecen generalmente de manera lenta como respuesta a una presión hidrostática. Radiográficamente presentan zonas de radiolucides con un borde

bien delimitado. Quiste de gran tamaño abomban las corticales aunque los límites óseos permanecen intactos.

**FIGURA 18. Quiste radicular.**



Fuente. Hospital Central de la Policía.

Descripción. Dental scann. Permite observar quiste radicular en región molar inferior derecha, obsérvese la reabsorción radicular en la raíz distal en un corte anteroposterior.

**FIGURA 19. Quiste intraóseo simple.**

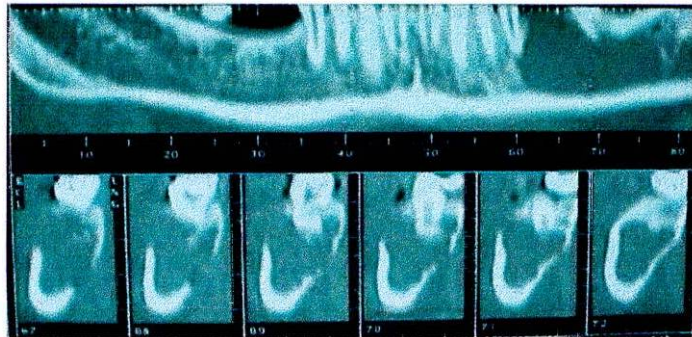
a.



Fuente. Hospital Central de la policía.

Descripción. Panorámica Se observa zona radiolúcida bien definida en maxilar inferior izquierdo.

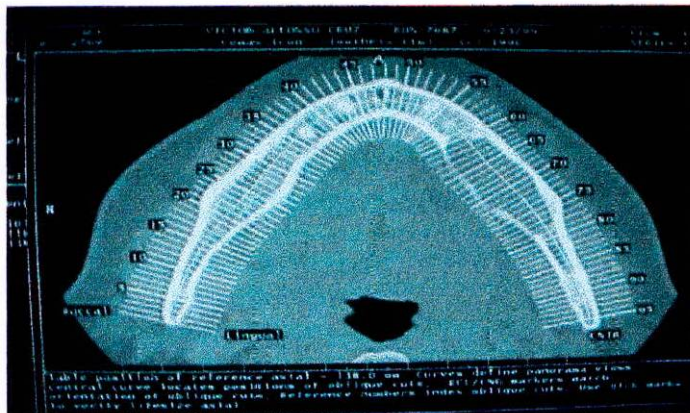
b.



Fuente. Hospital Militar Central.

Descripción. Dental Scann del mismo quiste intraoseo simple en diferentes cortes. Obsérvese que la lesión quística compromete la tabla ósea tanto vestibular como lingual así como el compromiso del nervio dentario inferior.

c.



Fuente: Hospital Central de la Policia.

Descripción. Tomografía computarizada donde se observan los trazos tomográficos mediante los cuales se delimita la lesión en maxilar inferior.

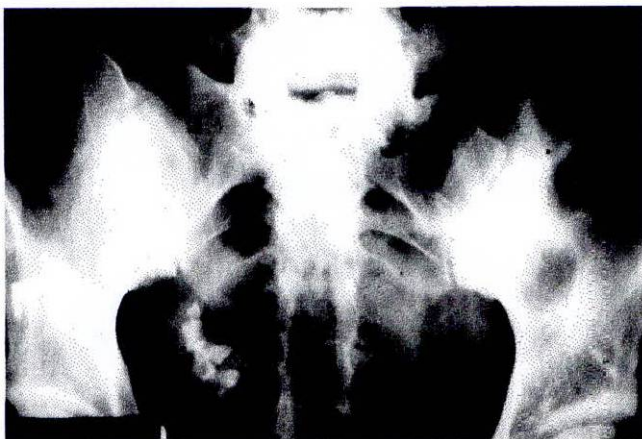
**FIGURA 20. Quiste dentífero.**



Fuente. Dr. Castro Delgado.

Descripción. Se observa una lesión radiolúcida circunscrita alrededor de la corona de un canino superior sin erupcionar unilocular y no incluye en su interior la raíz del diente.

**Figura 21. Teratoquiste**



Fuente. Radiología oral, principios e interpretación Goaz White.

Descripción. Quiste dermoide con dientes en su interior localizado en el ovario.

### 3.6.4 LESIONES TUMORALES

Para el estudio de lesiones tumorales es necesario tener imágenes radiopacas que proporcionen información a cerca de:

- Localización de relaciones anatómicas tridimensionales, densidad radiopaca, tamaño, forma, estructura, del tejido tumoral, configuración de los límites de la lesión y efectos de la lesión sobre las estructuras contiguas dada la predilección anatómica específica de numerosos tumores, la localización de una neoplasia, tiene una gran importancia en su diagnóstico diferencial.

La densidad radiopaca de tumores benignos es una característica importante como que proporciona pruebas sobre el comportamiento de la lesión. Tanto en tumores malignos como benignos pueden ser radiolúcidos por tanto es necesario emplear otros caracteres radiográficos para diferenciarlos tales como: la forma y configuración de los bordes la uniformidad en la forma del tumor etc.

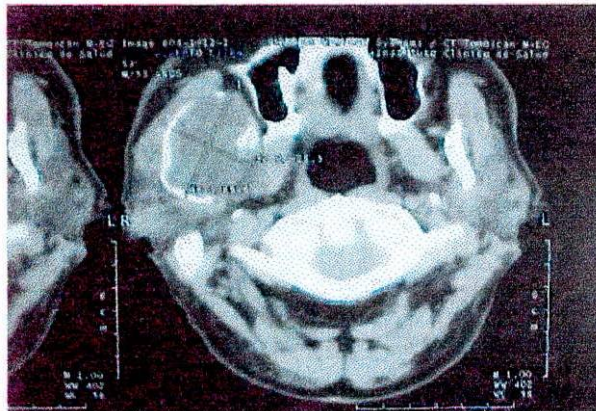
**FIGURA 22. Ameloblastoma .**



Fuente. Hospital Central de la Policía.

Descripción. Radiografía panorámica inicial donde se observa la lesión multilocular comprometiendo la parte del cuerpo de la rama ascendente del lado derecho, nótese la deformidad en sentido transversal y en altura de la masa tumoral.

### FIGURA 23. LESION TUMORAL DE MAXILAR INFERIOR



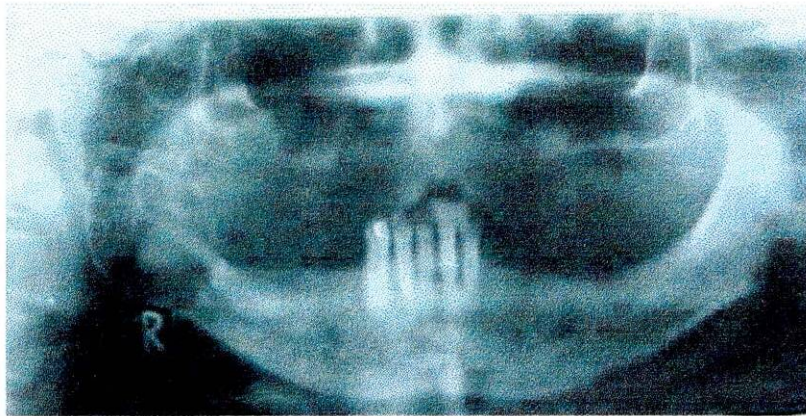
Fuente. Hospital Central de la Policía.

Descripción. Tomografía computarizada en corte axial donde se observa una expansión de la cortical de la rama horizontal de la mandíbula con destrucción de la misma.

### FIGURA 24. AMELOBLASTOMA

A continuación mostraremos las secuencias de imágenes de un paciente que llega a consulta odontológica general.

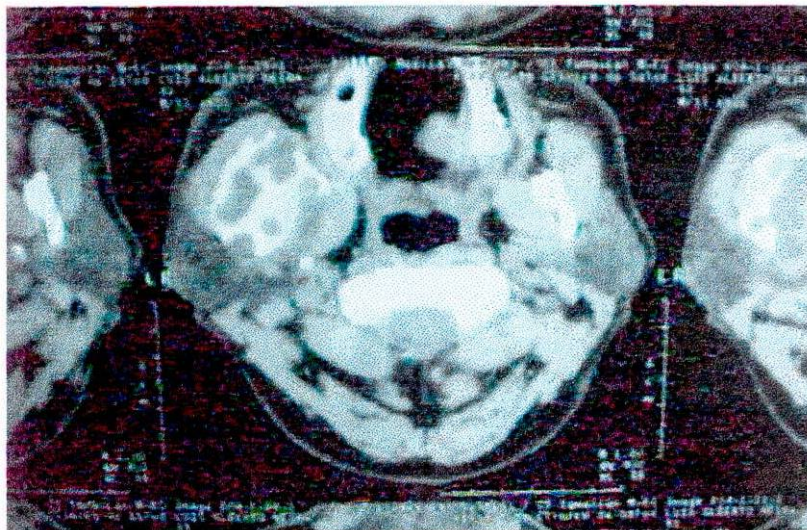
A.



Fuente. Hospital Central de la Policía.

Descripción. Imagen panorámica inicial en la cual se observa, una lesión multilocular con pérdida de la continuidad de la cortical de la rama ascendente de la mandíbula tanto en la parte vestibular como en su parte lingual.

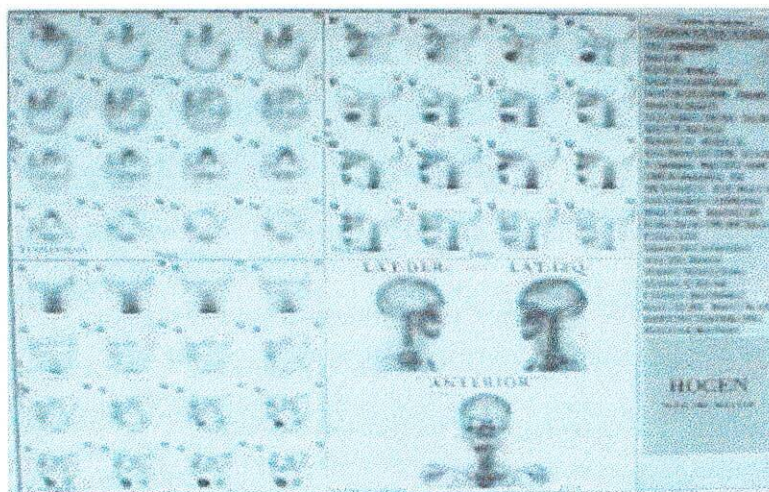
B.



Fuente. Hospital Central de la Policía.

Descripción. Imagen de TC en un corte axial en el cual se observa una masa heterogenea multiloculada que en su interior presenta contornos bien definidos.

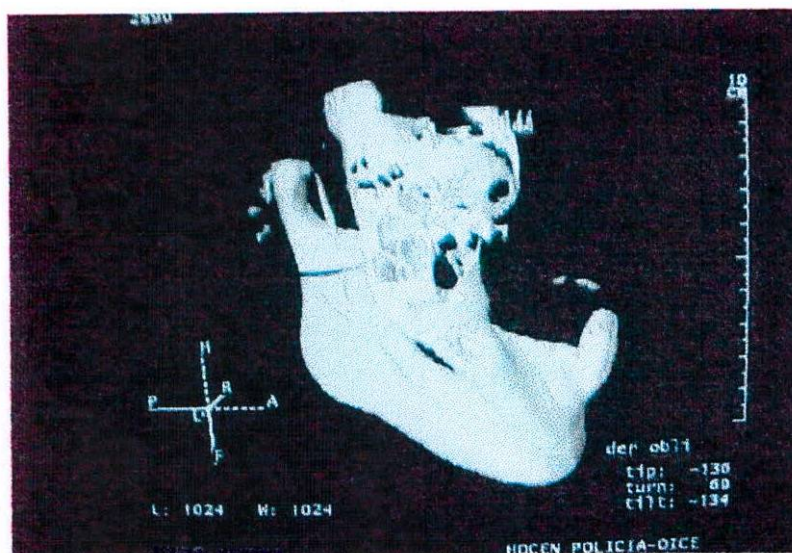
C.



Fuente. Hospital Central de la Policía.

Descripción. Gammagrafía, imagen en la cual se puede observar la mayor captación de isotopos en el lado derecho, lo que se corrobora en la proyección anteroposterior.

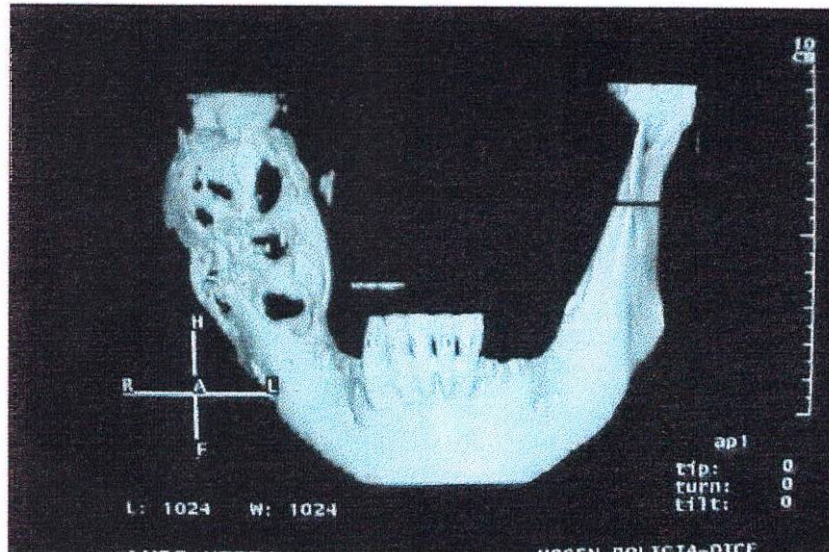
D.



Fuente. Hospital Central de la Policía.

Descripción. Reconstrucción tridimensional, imagen en la cual se observa lesión expansiva, en toda la rama ascendente de la hemimandibula derecha.

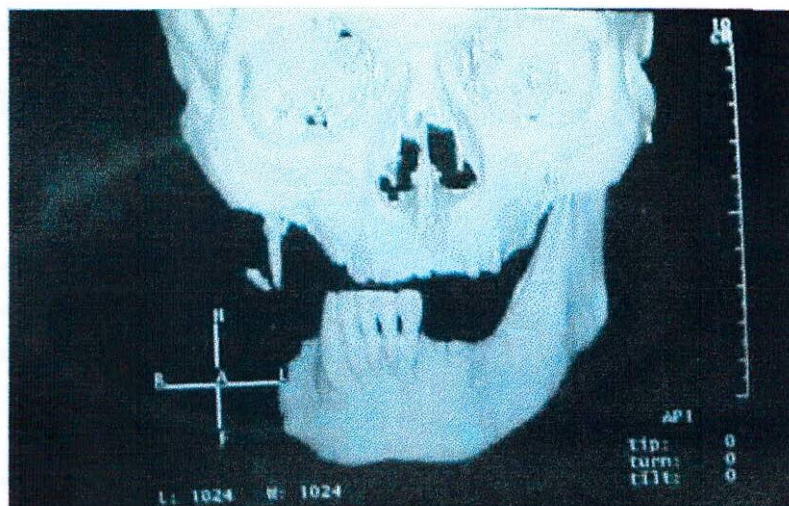
E.



Fuente. Hospital Central de la policía.

Descripción. Reconstrucción tridimensional en 3D que muestra una lesión expansiva del maxilar con compromiso de la apófisis coronoides ipsolateral.

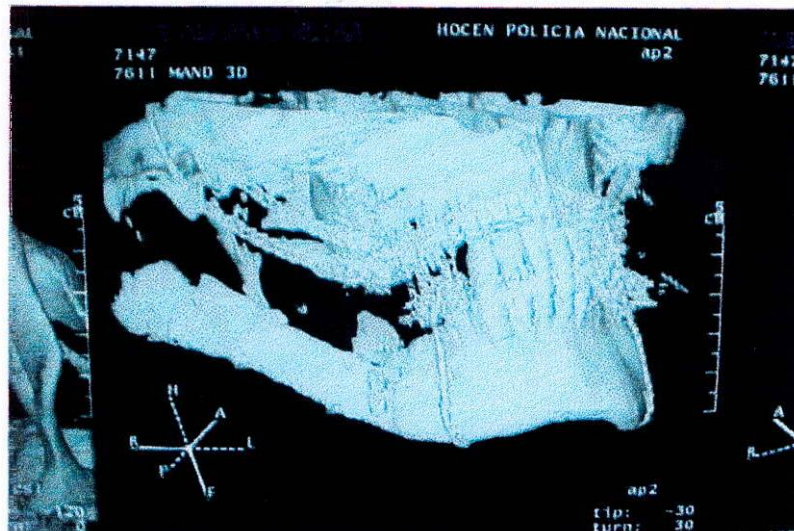
F.



Fuente. Hospital Central de la policía.

Descripción. Reconstrucción tridimensional en 3D donde se observa ausencia de la rama vertical y una porción de la horizontal de la hemimaxila derecha para efecto quirúrgico.

G.



Fuente. Hospital Central de la Policía.

Descripción. Reconstrucción tridimensional en 3D que muestra parte de cuerpo y rama ascendente de la mandíbula mediante un homoinjerto de costilla falsa.

### 3.7 EFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES SOBRE EL ORGANISMO

Los efectos por irradiación en el organismo son de diversa índole y dependen de la dosis y parte del organismo irradiado, de manera cuantitativa (zonas extensas) y de manera cualitativa (órganos sensibles). Obviamente la situación extrema será la irradiación total y por consiguiente muerte del individuo.

#### 3.7.1 RADIACION TOTAL Y DOSIS LETAL

La irradiación total del organismo se puede originar con fines terapéuticos (supresión de inmunidad) o ser causados accidentalmente (guerras). Esta irradiación al presentarse en

todo el organismo, genera reacciones de cada uno de sus órganos y según su radiosensibilidad, responde a la agresión de una, varias o todas sus partes.

Por otra parte la dosis letal, es aquella que elimina al organismo que la recibe. Sin embargo se observan variaciones individuales de supervivencia del tiempo capaz de sobrevivir. Es así que la dosis letal se expresa con dos indicativos que determinen:

- Porcentaje de individuos irradiados muertos.
- Tiempo en que se ha producido la muerte.

### **3.7.2 EFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES SOBRE LOS TEJIDOS**

Cuando el organismo es sometido a irradiaciones solo en un sitio determinado y a dosis muy elevadas este se verá lesionado considerablemente al producirse la muerte celular, la cual si es intensa, determinará la necrosis del órgano o tejido en cuestión. De igual manera la respuesta del órgano será diferente según su radio sensibilidad.

#### **3.7.2.1 PIEL**

Es la primera barrera que el organismo pone a las radiaciones ionizantes. Como sabemos, la piel en su capa basal presenta células indiferenciadas, con gran capacidad de división y radiosensibilidad: además su localización superficial, hace que puedan ser irradiadas por rangos muy pequeños como radiación ultravioleta. Antes de utilizarse la radio terapia de

supervoltaje en piel, la dosimetría dependía de la tolerancia del paciente lo que permitió, conocer ampliamente los efectos de las radiaciones ionizantes sobre ésta. Hasta llegar al punto de usar los términos: Dosis eritema, dosis descamación y dosis depilación. Donde el eritema, se presenta como vasodilatación de los capilares de la dermis, a partir de una dosis única de  $3^{10}$ . Si la dosis se eleva, el eritema sigue a una descamación o radiodermatitis seca, producida por el incremento de la división de células muertas.

Por otra parte la depilación se presenta como respuesta a bajas dosis de radiación ionizante, disminuyendo en diámetro y longitud el folículo piloso (tratamiento de afecciones en cabello como las Tiñas).

### **3.7.2.2 MEDULA ÓSEA Y SANGRE PERIFERICA**

El adulto presenta dos tipos de médula ósea : La roja, que dá origen a elementos sanguíneos que pasan a la circulación y la blanca, que en casos de no poder hacer su función la roja, ésta dará origen a células pluripotenciales, precursores de elementos sanguíneos y células sanguíneas que aún no pasan a circulación.

Las células de la médula ósea amarilla, son de radiosensibilidad variable. Esta radiosensibilidad se manifiesta como disminución en el número de células madre, las cuales se observan en la sangre periférica, cuando las células maduras circundantes mueren y son sustituidas por las células lesionadas por radiaciones ionizantes.

La disminución de células circundantes repercute en la salud del individuo, según las respectivas funciones de las células correspondientes: Aumento del riesgo de infecciones, anemia, cuagulopatías, etc.

### **3.7.2.3 TESTICULOS**

Constituyen un órgano de radiosensibilidad elevada. Contienen células radioresistentes (espermatozoides maduros) y células radiosensibles (espermatogonias), siendo estas últimas responsables de la sensibilidad de la gónada.

El efecto de la irradiación de espermatogonias y posteriormente espermatozoides maduros, es la lesión y despoblación de los mismos, proceso responsable después de un tiempo de la esterilidad temporal o permanente del individuo, según las dosis a que se haya sometido. Como también la probabilidad de producirse aberraciones cromosómicas, transmitidas a generaciones siguientes.

### **3.7.2.4 OVARIOS**

En la mujer las células germinales se dividen cíclicamente lo que determina su posibilidad de resistir a radiaciones ionizantes. Aunque los efectos y la dosis necesaria para producir esterilidad en las mujeres están en función de la edad, también está en función del periodo de maduración del folículo.

Dentro de las alteraciones que se presentan en el ovario están: la atrofia del mismo en edades tempranas, supresión total o parcial de la fertilidad en la pubertad y esterilidad por dosis elevadas en mujeres adultas, como también aberraciones cromosómicas y mutaciones genéticas.

### **3.7.3 EFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES SOBRE EL EMBRION O EL FETO**

El ciclo celular es aquel proceso de duplicación de todos los constituyentes de la célula, seguida de su división en dos células hijas, en el cual se presentan cuatro fases que son: El periodo de replica de DNA durante la interfase que se denomina **fase S**. El tiempo entre la división mitótica y el comienzo de la duplicación de DNA que se denomina **fase G1**. Después de completada la fase S, la célula no suele estar dispuesta para dividirse inmediatamente, sino que permanece en un pequeño intervalo de tiempo al que se denomina **fase G2**, la cual está marcada por el comienzo de la división mitótica, que es la **fase M**.

Es por esto que es importante la situación celular en el momento en que se produce la irradiación ya que es un factor biológico que influye notablemente en la radiosensibilidad. Se han realizado estudios en poblaciones celulares sincrónicas, (en la misma fase del ciclo celular) y las respuestas de las células en las distintas fases del ciclo han sido analizadas observando que: las células presentan más radiosensibilidad en la fase G2 y M, son menos sensibles en G1 y menos sensibles aún en la fase S, durante la síntesis de ADN. De esta forma se considera la fase M la más radiosensible y la fase S la más radiorresistente.

En general los efectos por radiación en el embrión y el feto son:

- Efectos letales, que determinan la muerte del embrión o el feto .
- Anomalías congénitas, manifestadas en el nacimiento.
- Efectos tardíos, observables después del nacimiento.

Los efectos sobre el embrión pueden ser inducidos por mutaciones a nivel del óvulo o espermatozoide o por la exposición del embrión a las radiaciones.

Por naturaleza el embrión es más radiosensible que el organismo en cualquier otra fase de la vida, debido a su actividad mitótica y de diferenciación celular que presenta. Siendo más radiosensible en el primer trimestre de gestación.

### **3.8 CONCEPTOS BASICOS DE RADIOBIOLOGIA**

A raíz de la observación de los efectos biológicos que se desprendieron de las primeras aplicaciones empíricas de las radiaciones ionizantes y su desmedida utilización se empezaron a realizar estudios sobre dichos efectos biológicos.

Más tarde, este interés se incrementaría con la trágica experiencia de los desastres atómicos, en los que se observaron los grandes daños que generaban las altas dosis de radiaciones

ionizantes en el cuerpo humano. Pero han sido dos grandes razones las que han impulsado a los científicos para profundizar más en este tema.

1. Poder utilizarlas de forma segura en todas las aplicaciones medicas que sean necesarias, la que constituye el principio básico de la radioprotección.
2. Poder emplearlas de forma efectiva en el tratamiento del cáncer, lesionando lo menos posible el tejido sano, es decir, la base fundamental de la radioterapia.

Los efectos de las radiaciones ionizantes sobre la materia viva son el resultado final de las interacciones físicas (ionización y excitación) de los fotones o las partículas con los átomos que las componen.

Las radiaciones ionizantes actúan de forma **no selectiva**, pues no existe una célula en particular por la cual sientan una apetencia especial, lo que genera un fenómeno **aleatorio**, y más aún, las manifestaciones y efectos de las radiaciones ionizantes son **inespecíficos**.

Se deduce entonces de todo esto, que las acciones de las radiaciones ionizantes sobre los seres vivos presentan por tanto tres características principales:

- Aleatoria
- No selectiva
- Inespecífica

Los efectos de las radiaciones ionizantes sobre los seres vivos pueden clasificarse desde 3 puntos de vista diferentes:

➤ **SEGÚN EL TIEMPO DE APARICIÓN**

◆ **EFFECTOS INMEDIATOS**

Aparecen minutos u horas después de haberse producido la exposición a las radiaciones ionizantes. Ej. Eritema cutánea, náuseas, vómitos, etc.

◆ **EFFECTOS TARDIOS**

Se manifiestan meses o años después de la exposición a las radiaciones ionizantes. Ej. Radiodermatitis crónica, mutaciones genéticas, cáncer radioinducido, etc.

➤ **DESDE EL PUNTO DE VISTA BIOLÓGICO**

◆ **EFFECTOS SOMÁTICOS**

Solo se manifiestan en el individuo que ha sido sometido a radiaciones ionizantes. Ej. Eritemas, Osteonecrosis, etc.

◆ **EFFECTOS GENÉTICOS**

No se manifiestan en el individuo sino en su descendencia, al lesionarse las células germinales del primero. Ej. Mutaciones genéticas.

## ➤ **SEGÚN LA DEPENDENCIA DE LA DOSIS**

### ◆ **EFFECTOS ESTOCLASTICOS**

Son absolutamente aleatorios, probabilísticos, pudiendo aparecer tras la exposición a pequeñas dosis de radiaciones ionizantes. No es necesaria una dosis "umbral" para que se generen. Un solo fotón o una sola partícula bastaría para producir un efecto estocástico, aunque, al aumentar la dosis, aumenta la probabilidad de aparición de estos efectos, que son generalmente tardíos. Ej. Cáncer radioinducido.

### ◆ **EFFECTOS NO ESTOCLASTICOS**

Necesitan de una "dosis umbral" para producirse por debajo de la cual la probabilidad de aparición es extremadamente baja; estos efectos son generalmente precoces. Ej. Eritema cutáneo, aplasia medular, etc.

## **3.8.1 TRANSFERENCIA LINEAL DE ENERGÍA Y EFICACIA BIOLÓGICA RELATIVA**

Las radiaciones corpusculares y electromagnéticas producen alteraciones al interactuar con la materia, fenómenos de ionización y excitación, según la importancia de la energía cedida al medio. Dicha importancia está determinada por la distribución espacial de energía desde el punto donde incide la radiación y a lo largo de su trayectoria.

Al iniciar la radiación, ésta se compone de un haz primario el cual cede parte de su energía al medio generando así las primeras ionizaciones y excitaciones.

La fracción restante continúa su trayectoria cediendo energía más adelante, mediante nuevas ionizaciones y excitaciones. Luego, los electrones resultantes de dichas ionizaciones ceden su energía al medio muchas veces magnificada, dando a conocer las características de las radiaciones desde el punto de vista radiobiológico. Es lo que se conoce como transferencia lineal de energía.

Las radiaciones electromagnéticas, al no tener masa, tienen gran poder de penetración y las interacciones se producen muy espaciadas unas de otras, por lo que presentan una baja transferencia de energía lineal. Al contrario, las radiaciones corpusculares que si tienen masa, poseen una mayor probabilidad de interactuar con los átomos del medio. Estas radiaciones, que pierden energía rápidamente produciendo muchas ionizaciones en poca distancia, es radiación de transferencia lineal de energía alta. Este tipo de radiación produce mayor respuesta biológica.

La respuesta biológica no es una función exacta, ella radica en que los fenómenos biológicos están regidos por leyes biológicas, que son mucho más aleatorias que las físicas.

La eficacia biológica relativa es un concepto para comparar la eficacia biológica de las radiaciones de distintas transferencias de energía lineal; ella compara la dosis necesaria de un

tipo de radiación para producir un efecto determinado y la dosis de una radiación estándar necesaria para producir el mismo efectos.

La eficacia biológica relativa se define sobre dosis absorbida y no sobre dosis de exposición, siempre se refiere a un hecho biológico específico (ejemplo: opacificación del cristalino, descamación de la piel, etc.).

La relación entre transferencia de energía lineal y eficacia biológica relativa depende del efecto biológico considerado. En aquellos sistemas donde una sola ionización es suficiente para producir el efecto biológico, la eficacia biológica relativa es máxima para radiaciones de baja transferencia de energía lineal y decrece continuamente a medida que la transferencia de energía lineal aumenta, pues cuanto menor es el volumen donde se deposita la energía, hay más ionizaciones que posibilidades de obtener respuesta.

La realidad es aún más compleja, ya que, a medida que la radiación se propaga a través de la materia, perdiendo su energía, su transferencia de energía lineal aumenta después de cada interacción hasta que la radiación se extingue, por lo que su eficiencia biológica relativa irá modificándose progresivamente.

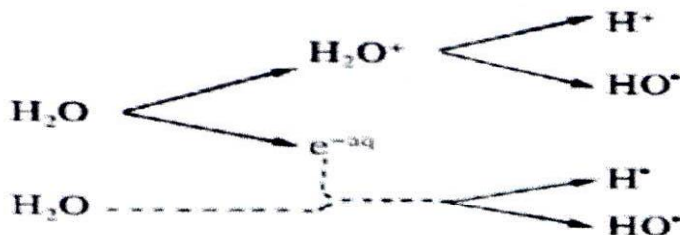
La relación entre transferencia de energía lineal y eficiencia biológica relativa depende, además de otros factores, como el entorno químico de la célula en el momento de la irradiación, y la tasa de dosis, que es la expresión de la velocidad con que se realizan las interacciones.

### 3.8.2 RADIOLISIS DEL AGUA

Los efectos biológicos se deben en gran parte a la acción de las radiaciones sobre el agua. Esto se debe a la elevada presencia de la molécula de agua en los seres vivos y a la acción que ejerce como medio en el que se disuelven otras moléculas y en el que tienen lugar importantes reacciones químicas aunque la radiólisis del agua es un proceso muy complejo, se pueden resumir en dos pasos claves: la promoción de radicales libres y la descomposición molecular del agua.

La ionización producida por la radicalización en la molécula de agua da lugar a la aparición de un ión radical ( $\text{H}_2\text{O}^+$ ) y un electrón libre. El ión radical  $\text{H}_2\text{O}^+$  es muy inestable y se descompone rápidamente en un ión  $\text{H}^+$  y un radical oxidrilo ( $\text{OH}^\bullet$ ). El electrón libre puede reaccionar con otras moléculas orgánicas o con una segunda molécula de agua, produciendo radicales  $\text{H}^\bullet$  y  $\text{OH}^\bullet$ . Entonces cuando se forman radicales que poseen electrones no apareados, lo que los hace altamente reactivos, bien sea como agentes oxidantes o reductores.

**FIGURA 26. Radiólisis del agua.**



Fuente: Radiobiología general. Fundamentos de radiodiagnóstico.

Los radicales se distribuyen de forma heterogénea a lo largo de la trayectoria de la radiación dependiendo de la transferencia lineal de energía de la radiación. Posteriormente, los radicales pueden recombinarse entre ellos dando lugar a moléculas  $H_2O$ ,  $H_2O_2$  y  $H_2$ .

### **3.8.3 EFECTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES**

Al incidir un fotón o una partícula ionizante sobre una solución acuosa, ellos pueden interactuar directamente con una molécula de soluto, alterándola por ACCION DIRECTA o también modificarla mediante una reacción con los productos de la radiólisis del agua, ACCION INDIRECTA. Se dice entonces, que sea cual sea el mecanismo directo o indirecto, todas las moléculas del medio terminarán por alcanzar un estado estable, pero algunas de ellas quedarán modificadas químicamente.

En otra escala de dimensiones, una célula puede asimilarse esquemáticamente a una solución acuosa; de este modo se puede hablar también de acción directa e indirecta de las radiaciones ionizantes a nivel celular.

### **3.8.4 CONCEPTO GENERAL DE RADIOSENSIBILIDAD**

Radiosensibilidad es un término que expresa la magnitud de respuesta de la estructuras biológicas, provocadas por las radiaciones ionizantes. Es por eso, que un elemento biológico es más radiosensible cuanto mayor es su respuesta a una dosis determinada de radiación.

Pero también se puede decir que un elemento biológico es más radiosensible cuando necesita menos dosis de radiación para alcanzar un efecto determinado.

No existe célula, ni tejido normal o patológico radiorresistente de manera absoluta, pues si se aumenta ilimitadamente la dosis de radiación, siempre puede alcanzarse su destrucción. Si se administra una dosis mínima en órganos o tejidos se observarán diferentes grados de alteraciones morfológicas y/o funcionales según las líneas celulares de que se trate.

### **3.8.5 ESCALA DE RADIOSENSIBILIDAD CELULAR**

Las células según su estirpe tienen diferente grado de sensibilidad. Tomando como punto de referencia la muerte celular pueden clasificarse en cinco grupos, de mayor o menor radiosensibilidad.

- Muy radiosensibles: linfocitos, eritroblastos, espermatogonias.
- Relativamente radiosensibles: células de la granulosa, mielocitos, células de las criptas intestinales, célula basales de la epidermis.
- Sensibilidad intermedia: células endoteliales, células de las glándulas gástricas, osteoblastos, condroblastos, espermatoцитos, espermátidas.
- Relativamente radiorresistentes: granulocitos, osteocitos, espermatozoides, eritrocitos.
- Muy radiorresistentes: fibrocitos, condrocitos, células musculares, células nerviosas.

### **3.8.6 RADIOSENSIBILIDAD HISTICA**

Un tejido u órgano está constituido por dos compartimentos: parénquima y estroma. El parénquima es el compartimento que contiene las células características del tejido en cuestión. La complejidad del funcionamiento de un tejido implica que en todo momento coexisten en él células en actividad mitótica, en reposo, y con buena o mala oxigenación, factores que le hacen tener una radiosensibilidad diferente. Además, un tejido puede estar integrado por distintos tipos de células, cada uno con mayor o menor sensibilidad intrínseca.

El estroma, esta formado por tejido conjuntivo y vasos y presenta una radiosensibilidad diferente a la del parénquima. Se deduce entonces, que existen dos tipos de factores que afectan la radiosensibilidad hística:

#### **3.8.6.1 FACTORES INTRÍNSECOS**

- Número de células diferenciadas e indiferenciadas
- Duración del ciclo de las distintas células constituyentes
- Radiosensibilidad de la célula madre o precursora
- Capacidad de reparación celular

#### **3.8.6.2 FACTORES EXTRÍNSECOS**

- Vascularización, que determina el estado de oxigenación celular

- Estado de los tejidos vecinos, lo que influye en la capacidad de reparación

### **3.8.7 RADIOBIOLOGIA CELULAR**

#### **3.8.7.1 EFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES SOBRE EL ADN Y LOS CROMOSOMAS**

La lesión de las moléculas de ADN desempeñan un gran papel entre los efectos radiobiológicos. De igual manera, los mecanismos de reparación del ADN son esenciales, pues de la falta de reparación o de la reparación anómala del ADN alterada, provienen lesiones importantes como: muerte celular, incapacidad de reproducción o mutaciones.

La secuencia de nucleótidos en el ADN es el soporte de la información genética. Cada nucleótido está identificado por las bases púricas o pirimidínicas (adenina, guanina, citosina y timina) que hacen de puente entre las dos cadenas de la doble hélice de que se compone el ADN. La molécula de ADN constituye la composición de un cromosoma desde un extremo al otro, de modo que la integridad funcional de un cromosoma está ligada a la continuidad de la molécula de ADN.

Las radiaciones pueden generar diferentes tipos de lesiones para las moléculas de ADN, según el componente de éstas que sea afectado. Las lesiones mejor conocidas son:

1. **Las roturas de cadena.** Son las más frecuentes IN VIVO, pueden ser simples, cuando se rompe sólo una de las dos cadenas, o dobles, cuando se fragmentan las dos cadenas en una zona relativamente próxima. El número de roturas simples crece proporcionalmente con las dosis.
2. **Alteración de las bases.** Ellas pueden ser destruidas o modificadas químicamente. El orden decreciente de radiosensibilidad es: timina, citosina, adenina, guanina
3. **La destrucción de los azúcares y alteraciones en los puentes .** El orden decreciente de radiosensibilidad es: timina, citosina, adenina, guanina.

La desoxirribosa puede alterarse por oxidación. Se pueden formar puentes o "cross link" que pueden ser: intracadenas, cuando se unen dos partes de una misma cadena, intercadenas, cuando se unen las dos cadenas, o entre moléculas de ADN y proteínas.

4. **La formación de dímeros.** Se generan por la acción de las radiaciones ionizantes sobre las bases adyacentes de una misma cadena uniéndose entre si. Al formarse estos dímeros se interrumpe la replicación del ADN. Los más comunes son timina-timina, son muy estables y parecen tener mucha relación con la carcinogénesis de la luz solar, pues los rayos UV también forman dímeros.

**5. Lesiones voluminosas o múltiples locales.** Son numerosas lesiones locales sobre diversas estructuras, cadenas, bases, puentes, etc., son lesiones voluminosas e irreparables. Se producen por radiaciones de alta transferencia de energía lineal.

Dependiendo del sitio de afectación en el DNA, las lesiones tendrán mayor o menor importancia biológica.

La pérdida o sustitución de una base o las roturas de cadena de ADN provocan una alteración en la secuencia de bases, que es precisamente el código de almacenamiento y transmisión de información genética. Los cambios inducidos en el ADN se reflejan en los cromosomas sino son reparadas.

Las alteraciones estructurales en un cromosoma pueden producirse por ionización directa de átomos integrantes del cromosoma (acción directa), o bien por la reacción con los productos de la radiólisis del agua (acción indirecta). En ambos casos, el resultado es el mismo: la rotura del cromosoma en dos o más fragmentos, ellos pueden unirse o permanecer separados produciendo cromosomas anómalos.

Las radiaciones pueden producir:

- Rotura simple en un cromosoma o cromátida.
- Roturas múltiples en un cromosoma o acromática.
- Adhesión o apelotonamiento de cromosomas.

Una lesión cromosómica de este tipo, que repercutirá en la célula y su porvenir cariocinético, tendrá diferente significación según el tipo de célula afectada: somática o germinal.

### **3.8.7.2 ACCIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES SOBRE OTRAS ESTRUCTURAS CELULARES**

No solamente se alteran los cromosomas, también se altera la permeabilidad de las membranas celulares, afectando o su función de transporte y reguladora de concentraciones moleculares exterior e interior. Según sea la membrana afectada, los efectos serán diferentes.

### **3.8.7.3 ACCIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES SOBRE EL CICLO Y LA DIVISIÓN CELULAR**

Se han realizado diferentes estudios de la respuesta celular a las radiaciones en grupos celulares asincrónicos y sincrónicos.

Los cambios que más se presentan son:

**a. Muerte e interfase.** Una de las respuestas de la célula a las radiaciones es la muerte antes de entrar en mitosis, es decir en la interfase. Esto puede ocurrir en células que se dividen constantemente (médula ósea). O en células de división más lenta (neuronas).

El mecanismo por el que se produce esta muerte parece no estar muy relacionado con la mitosis sino con cambios bioquímicos que tienen lugar en la célula.

**b. Retraso en la división.** En las poblaciones celulares asincrónicas existen células en mitosis. A este grupo de células y su proporción se le llama índice mitótico.

Es aquí donde la radiación actúa, pues estas células terminan su división, pero aquellas que están a punto se retrasan en  $G_2$ . Esto quiere decir, que presenta una disminución en el índice mitótico, generándose a su vez un retraso en la división.

Canti y Spear (1924) demostraron que la reducción en el índice mitótico y la duración del retraso en la división depende de la dosis y que además, que a una dosis de unos 3G, la población no recupera posteriormente su índice mitótico normal.

**c. Fallo reproductivo.** Se denomina fallo reproductivo a la respuesta que se genera después de la irradiación de una población celular y un porcentaje de las células supervivientes pierde su capacidad reproductiva.

Estas células pueden considerarse biológicamente muertas, pues han perdido la continuidad de la función biológica en el tiempo que correspondería a su descendencia.

#### **3.8.7.4 MODIFICADORES DE LA RADIOSENSIBILIDAD CELULAR**

La acción de las radiaciones sobre los tejidos y grupos celulares, está sujeta a varios factores modificadores. Estos factores aumentan o disminuyen la radiosensibilidad celular, modificando los efectos indirectos de las radiaciones.

Los factores más importantes y conocidos son:

1. El oxígeno.
2. La hipertermia.
3. Los radiosensibilizadores químicos.

**1. OXÍGENO.** El oxígeno es un radiosensibilizador cuya presencia aumenta la respuesta celular o la irradiación, disminuyendo la supervivencia celular. Es el radiosensibilizador universal, pues potencia la acción de las radiaciones en todo tipo de células, bacterias y microorganismos.

La potenciación en la respuesta biológica es mayor cuando el oxígeno está en el momento de la irradiación.

Las dos teorías que más se aproximan a la explicación de los mecanismos íntimos de acción del oxígeno como agente radiosensibilizador son:

- El oxígeno potencia la formación de radicales libres y/o hace que los radicales libres, entren en reacciones en cadena produciendo las lesiones.
- Muchos de los cambios químicos que se producen como resultado de la irradiación son reversibles, si el oxígeno no está presente y que su presencia bloquea los procesos de restauración.

El efecto oxígeno varía considerablemente según la transferencia lineal de energía de la radiación. Es más pronunciado para radiaciones de baja transferencia lineal de energía, lo que se explica asumiendo que las radiaciones de transferencia lineal de energía elevada producen gran cantidad de lesiones irreparables y por lo tanto el oxígeno no puede potenciar una respuesta, que es de por sí intensa, debido al tipo de radiación.

El efecto del oxígeno es especialmente importante en radioterapia, pues las situaciones de vascularización tumoral deficiente e hipoxia disminuyen la radiosensibilidad de los tumores.

## **2. RADIOSENSIBILIZACIONES QUÍMICAS. Los más estudiados son:**

- **Las pirimidinas halogenadas.** Son compuestos análogos de las bases pirimidínicas del ADN. Si se encuentran presentes en la célula, se incorporan de forma selectiva al ADN

en lugar de la timina, modificando su célula y haciéndola más sensible a las radiaciones ionizantes. Otro de los mecanismos de acción de estos compuestos es interferir los mecanismos de reparación de la lesión celular que se ponen en marcha en el momento de la irradiación.

- **Los análogos de la purina.** Estos compuestos son menos selectivos, pues se incorporan tanto al ADN como al ARN. Su acción sensibilizadora depende de la presencia del oxígeno en el medio.
- **La vitamina K.** Actúa en tres niveles diferentes: En un principio se vio que actuaba bloqueando la síntesis de ácidos nucleicos, más tarde se comprobó que producía una reducción de los grupos sulfhidrilos, por último, se descubrió que se trata de un agente con afinidad electrónica, como el oxígeno, lo cual favorece la formación de radicales libres y explica su efecto sobre células hipóxicas.
- **Los derivados nitroimidazólicos.** Son sustancias oxigenomiméticas, que aumentan la radiosensibilidad mediante el mismo mecanismo anterior. Se han utilizado el metronidazol y el misonidazol, inadecuadas para utilizarse como radiosensibilizadores en radioterapia por presentar importantes efectos indeseables.
- **Agentes citotóxicos.** Los que se utilizan en el tratamiento del cáncer son radiosensibilizadores. Particularmente los fármacos específicos de la fase S del ciclo celular, como el metotrexato y las hidroxiureas, son radiosensibilizadores. La

actinomicina D, inhibidor de la síntesis del ARN es también una sustancia radiosensibilizadora en células oxigenadas e hipnóticas.

- **Inhibidores de la glucólisis anaerobia.** Se destacan la 5-tio-D-glucosa y el ácido butírico. El ácido butírico aumenta la respuesta a la radiación debido en parte a la inhibición de la glucólisis anaerobia.

3. **HIPERTERMIA.** Se ha demostrado que el efecto producido por las radiaciones aumenta si los tejidos irradiados son sometidos a hipertermia. Los mecanismos de radiosensibilización de este tipo varían según la hipertermia sea aplicada antes o después de la irradiación.

#### 4. CONCLUSIONES

1. A partir de conceptos básicos de anatomía topográfica se obtuvo una correcta descripción radiográfica.
2. La radiografía convencional y las imágenes diagnósticas como la tomografía computarizada, resonancia magnética, ultrasonido, reconstrucción tridimensional, dental scann y medicina nuclear, son campos en que el odontólogo puede explorar para llegar a un diagnóstico adecuado por lo cual es importante la técnica y el equipo utilizado con sus características e indicaciones correspondientes.
3. La decisión de usar una imagen diagnóstica se basa en el juicio profesional, de acuerdo a su necesidad y teniendo en cuenta beneficios probables para la salud global del paciente.
4. Los riesgos potencialmente asociados con el uso de radiaciones ionizantes son responsabilidad netamente del profesional a cargo.
5. El odontólogo general debe conocer medios diagnósticos como tomografía computarizada, resonancia magnética, ecografía y gammagrafia para estar a la vanguardia con los avances tecnológicos.

## BIBLIOGRAFIA

- GIL Gayarre Miguel. DELGADO Macias María Teresa. MARTINES Murillo Manuel. OTAN Sanches claudia. Manual de radiología clínica. Edit. Mosby/Doyma Libros. Madrid, España, 1994.
- PEDROSA Cesar. Diagnóstoco por imagen. Tratado de radiología clínica. Edit. Interamericana Mc Graw-Hill, Madrid, España. 1994.
- GOAZ-WHITE. Radiología oral. Principios e interpretación. Edit. Mosby/Doyma Libros, Madrid, España. 1994.
- REGEZI- SCIUBBA. Patología bucal. Segunda edición. Edit. Interamericana Mcgraw Hill, 1995.
- ENCICLOPEDIA DE LAS CIENCIAS vol.5 promotora editorial S.A de C.V. Méjico.
- RAYMOND CHANG. Química cuarta edición. Mcgraw Hill Méjico 1992.

## FUENTES DE INFORMACION

- STEPHANIE E. P. DOWKER Y COL. Oral and maxillofacial radiology . X- ray microtomography. vol 83 No 4 april 1997.
- KOICHI YONETSU Y COL. Oral surgery oral medicine oral pathology Vol 83 No 4 april 1997. Idiopathic Osteosclerosis of the jaws.
- T. WARNKE, F. R.CARLS, H. F. SAILER A new method for assesing the temporomandibular joint quantitatively by dental scan. J. Of Cranio-Maxillofacial Surgery 1996, 24 168-172.
- TORU CHIKUI Y COL. Imaging findings of lipomas in the orofacil región with CT, US, and MRI. Oral Surgery Oral medicine Oral pathology volumen 84, No1.
- RÜDIGER EMSHOFF Y COL. The diagnostic value of ultrasonography to determine the temporomandibular joint disk position. Oral surgery oral medicine oral pathology vol. 84 No 6 December 1996.
- Hospital Militar Central, Departamento de imágenes diagnósticas, Departamento de medicina nuclear.
- Hospital Central de la Policía, Departamento de imágenes diagnósticas, Departamento de cirugía maxilofacial.
- Organización de Imagenología Colombiana (OIC) Hospital Simón Bolívar, Departamento de imágenes diagnósticas.
- Dr. Alvaro Castro Delgado, Odontólogo radiólogo.

## ANEXO

IMAGEN	TIPO DE LESION	PATOLOGIA
PERIAPICAL	<p>LESION INFLAMATORIA LESIONES QUISTICAS</p> <p>LESION HIPERPLASICA</p> <p>LESIONES TUMORALES BENIGNAS</p> <p>LESIONES TUMORALES MALIGNAS</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Absceso periodontal.</li> <li>2. Quiste radicular.</li> <li>3. Quiste dentigero.</li> <li>4. Quiste residual.</li> <li>5. Quiste odontogenico calcificante.</li> <li>6. Queratoquiste.</li> <li>7. Torus palatino.</li> <li>8. Exostosis.</li> <li>9. Hemangioma.</li> <li>10. Ameloblastoma.</li> <li>11. Fibroma.</li> <li>12. Mieloma múltiple</li> <li>13. Osteosarcoma</li> <li>14. Carcinoma.</li> </ol>
OCLUSAL	<p>LESION INFLAMATORIA LESIONES QUISTICAS</p> <p>LESIONES HIPERPLASICAS OSEAS LESIONES TUMORALES BENIGNAS</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>15. Osteomielitis de Garre.</li> <li>16. Quiste nasopalatino.</li> <li>17. Quiste nasoalveolar.</li> <li>18. Quiste odontogénico.</li> <li>19. Exostosis.</li> <li>20. Torus.</li> <li>21. Hemangioma.</li> <li>22. Mixoma.</li> </ol>
PANORAMICA	<p>LESION INFLAMATORIA LESION TRAUMÁTICA</p> <p>LESIONES QUISTICAS</p> <p>LESION HIPERPLASICA LESIONES TUMORALES BENIGNAS</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>23. Osteomielitis de Garre.</li> <li>24. Fractura rama mandibular.</li> <li>25. Fractura del cuerpo.</li> <li>26. Quiste radicular.</li> <li>27. Quiste dentigero.</li> <li>28. Quiste odontogenico.</li> <li>29. Torus.</li> <li>30. Ameloblastoma.</li> <li>31. Fibroma.</li> </ol>

	LESIONES TUMORALES MALIGNAS	32. Displasia fibrosa. 33. Osteoma. 34. Condroma. 35. Mieloma múltiple. 36. Osteosarcoma.
RADIOGRAFÍA EXTRAORAL	LESIONES INFLAMATORIAS LESION Traumática LESIONES TUMORALES	37. Sinusitis. 38. Artritis condilar. 39. Fractura de condilo. 40. Ameloblastoma. 41. Osteoma. 42. Condrosarcoma. 43. Mieloma múltiple.
SIALOGRAFIA	LESION TUMORAL	44. Neoplasias glandulares
TOMOGRFIA COMPUTARIZADA	LESIONES QUISTICAS  LESIONES TUMORALES BENIGNAS  LESION TRAUMÁTICA  LESIONES TUMORALES  LESION INFLAMATORIA	45. Quiste radicular. 46. quiste dentígero. 47. quiste odontogénico. 48. Queratoquiste. 49. Quiste nasopalatino 50. Hemangioma. 51. Ameloblastoma. 52. Osteomielitis de Garre. 53. Mixoma 54. Fibroma 55. Fractura de los maxilares. 56. Fractura de condilo. 57. Osteoma. 58. Condrosarcoma. 59. Anquilosis condilar
RESONANCIA MAGNÉTICA	LESIONES QUISTICAS  LESIONES TUMORALES BENIGNAS  LESION INFLAMATORIA LESION TRAUMÁTICA  LESION TUMORAL	60. Quiste radicular. 61. quiste dentígero. 62. Quiste odontogénico. 63. Quiste nasopalatino. 64. Queratoquiste. 65. Hemangioma. 66. Ameloblastoma. 67. Fibroma . 68. Mixoma. 69. Osteoma. 70. Osteomielitis de Garre 71. Fractura de los maxilares. 72. Fractura de cóndilo 73. Condrosarcoma.

	MALIGNA LESIONES INFLAMATORIAS (meniscos y ligamentos articulares)	74. Artritis condilar. 75. Anquilosis condilar.
ECOGRAFIA	LESIONES QUISTICAS TUMOR BENIGNO	76. Quiste glandular. 77. Hemangioma.
GAMMAGRAFIA	LESIONES TUMORALES BENIGNAS LESIONES TUMORALES MELIGNAS	78. AMELOBLASTOMA. 79. HEMANGIOMA. 80. CONDROSARCOMA.

Se debe tener en cuenta que para la INTERPRETACIÓN de las imágenes diagnósticas se emplea la siguiente terminología, según la modalidad de imagen a emplearse:

IMAGEN	Modalidad	>	<
Radiografía	Captación de los rayos X	Radiopaco	Radiolucido
Tomografía computarizada	Coefficiente de atenuación	Hiperdenso	Hipodenso
Resonancia magnética	Comportamient o magnético	Hiperintenso	Hipointenso
Gammagrafia	Captación de isotopos	Hipercaptante	Hipocaptante
Ecografía	Coefficiente de absorción y reflexión de los tejidos	Hiperecoico	Hipoecoico