

PROTECCIÓN EN RADIOLOGÍA ODONTOLÓGICA

Fernando Finestres Zubeldia

Departamento de Odontoestomatología

PROTECCIÓN EN RADIOLOGÍA ODONTOLÓGICA

Fernando Finestres Zubeldia

Departamento de Odontoestomatología

Índice

PRÓLOGO	13
OBJETIVOS	15
 Capítulo 1 CONCEPTOS BÁSICOS: INTRODUCCIÓN SOBRE LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA	
1. INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA DE LA RADIOLOGÍA. ESTRUCTURA DEL ÁTOMO	17
1.1. Nomenclatura	17
1.2. Distribución en capas de los electrones.....	19
2. INTERACCIÓN DE LOS ELECTRONES CON LA MATERIA	20
3. PRODUCCIÓN DE RAYOS X	21
3.1. Radiación de frenado y radiación característica	22
3.2. Espectro de los rayos X.....	23
4. CUALIDADES DE LOS RAYOS X	23
4.1. Cesión de energía en el medio que atraviesan, provocando a su paso excitaciones o ionizaciones	24
5. NATURALEZA DE LOS RAYOS X	25
5.1. Espectro electromagnético.....	26
6. INTERACCIÓN DE LOS RAYOS X CON LA MATERIA	26
6.1. Efecto fotoeléctrico (absorción del fotón).....	27
6.2. Efecto Compton (dispersión del fotón)	28
7. ATENUACIÓN DE LA RADIACIÓN	28
7.1. Espesor hemirreductor y decimorreductor	30
8. LEY DEL INVERSO DEL CUADRADO DE LA DISTANCIA	31
9. FORMACIÓN DE LA IMAGEN RADIOLÓGICA	31
9.1. Interacción del haz con la materia	32
 Capítulo 2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS EQUIPOS Y HACES DE RAYOS X	
1. GENERADOR: TRANSFORMADOR, RECTIFICADOR Y TEMPORIZADOR	35
2. TUBO. DISPOSITIVOS ASOCIADOS	36

2.1.	Ampolla de vidrio.....	36
2.2.	Filamento.....	36
2.3.	Cátodo.....	37
2.4.	Ánodo.....	37
2.5.	Sistema de refrigeración.....	38
2.6.	Sistema de colimación.....	38
2.7.	Filtro.....	38
2.8.	La carcasa.....	39
3.	CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN PRODUCIDA POR UN EQUIPO DE RAYOS X.....	39
3.1.	Kilovoltaje aplicado.....	39
3.2.	Naturaleza del ánodo (véase 2.4).....	40
3.3.	Filtración.....	40
3.4.	Intensidad de la corriente.....	40
3.5.	Sistema de colimación.....	40
4.	SISTEMAS DE IMAGEN.....	40
4.1.	Conjunto chasis – cartulina reforzadora – película.....	41
4.1.1.	Chasis.....	41
4.1.2.	Cartulina reforzadora.....	41
4.1.3.	Película.....	41
5.	REJILLA ANTIDIFUSORA.....	42

Capítulo 3

MAGNITUDES Y MEDIDA DE LA RADIACIÓN

1.	MAGNITUDES Y UNIDADES RADIOLÓGICAS APLICABLES AL RADIODIAGNÓSTICO.....	43
1.1.	Exposición y tasa de exposición.....	43
1.2.	Concepto de Kerma.....	44
1.3.	Concepto de dosis.....	44
1.3.1.	Dosis absorbida y tasa de dosis.....	44
1.3.2.	Dosis equivalente y tasa de dosis equivalente.....	45
1.3.3.	Dosis equivalente efectiva.....	45
2.	DETECCIÓN Y MEDIDA DE LA RADIACIÓN. FUNDAMENTOS FÍSICOS.....	46
2.1.	Consideraciones generales.....	46
2.2.	Sistemas de detección basados en la ionización.....	47
2.3.	Tipos de detectores gaseosos.....	48
2.3.1.	Cámaras de ionización.....	50
2.3.2.	Contadores proporcionales.....	50
2.3.3.	Contador Geiger-Müller.....	50
2.3.4.	Otros detectores basados en la ionización.....	51
2.3.4.1.	Detectores de centelleo.....	51
2.3.4.2.	Detectores semiconductores.....	51
2.4.	Sistemas de detección basados en la visualización.....	52
2.4.1.	Emulsiones fotográficas.....	52
2.4.2.	Detectores de termoluminiscencia.....	52

2.4.3.	Dosímetros personales	53
2.4.3.1.	Dosímetros de lectura directa.....	53
2.4.3.2.	Dosímetros de lectura indirecta	53
3.	DOSIMETRÍA EN PACIENTES	54
3.1.	Dosimetría individual.....	54
3.2.	Dosimetría de área	55

Capítulo 4

EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

1.	ASPECTOS GENERALES DE LA INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON EL MEDIO BIOLÓGICO	57
1.1.	Reacciones químicas	58
1.2.	Efectos sobre el ADN	59
1.2.1.	Efectos sobre los cromosomas	60
1.2.2.	Efectos sobre otros elementos celulares	60
2.	PROBABILIDAD DEL EFECTO BIOLÓGICO	60
2.1.	Factores que influyen en la respuesta celular	62
2.2.	Factores físicos.....	62
2.3.	Factores químicos.....	63
2.4.	Factores biológicos.....	64
2.5.	Factores ambientales	64
2.6.	Respuesta celular a la radiación	64
2.7.	Efectos en tejidos y órganos.....	65
2.8.	Efectos sobre sistemas	66
2.9.	Síndromes de radiación en humanos	69
3.	EFFECTOS SOMÁTICOS	70
3.1.	Efectos estocásticos	70
3.2.	Efectos no estocásticos o deterministas	70
4.	EFFECTOS GENÉTICOS	71

Capítulo 5

NORMATIVA Y LEGISLACIÓN BÁSICA EN INSTALACIONES DE RADIODIAGNÓSTICO

5.1.	Ley 25/1964 sobre energía nuclear	74
5.2.	Ley 33/2007. Reforma de la ley de creación del consejo de seguridad nuclear.....	75
5.3.	Real decreto 783/2001. Reglamento de protección sanitaria contra radiaciones ionizantes	93
5.4.	Real decreto 1085/2009. Reglamento de instalación y uso de rayos X con fines de diagnóstico médico.....	126
5.5.	Real decreto 1132/1990. Protección de pacientes.....	143
5.6.	Real decreto 1836/1999. Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas ..	144
5.7.	Real decreto 1976/1999. Criterios de calidad en radiodiagnóstico.....	151

5.8.	Real Decreto 413/1997. Protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiación ionizante por intervención en zona controlada.....	167
5.9.	Real Decreto 815/2001 sobre justificación del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas	171
5.10.	Orden del Ministerio de Sanidad y Consumo, de 12 de julio de 1982, sobre exploraciones radiológicas en medicina e higiene escolar.....	176
5.11.	Orden de 18 de octubre de 1989 por la que se suprimen las exploraciones radiológicas sistemáticas en los exámenes de salud de carácter preventivo	176
5.12.	Ordre 16 de setembre de 1997. Acord Generalitat – CSN.....	177
5.13.	Normativa del CSN aplicable.....	178

Capítulo 6

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA BÁSICA

1.	OBJETIVOS	179
1.1.	Organismos españoles e internacionales de protección radiológica	179
1.2.	Fuentes de radiación natural y artificial	180
2.	PRINCIPIOS: JUSTIFICACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y SISTEMA DE LIMITACIÓN DE DOSIS ...	183
2.1.	Justificación	183
2.2.	Criterios de justificación	183
2.3.	Optimización.....	185
2.4.	Criterios de optimización	186
2.5.	Sistema de limitación de dosis	186
2.5.1.	Valores de los límites de dosis	187
3.	NORMAS BÁSICAS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA OPERACIONAL	190
3.1.	Riesgo radiológico en la instalación.....	190
3.1.1.	Establecimiento y clasificación de las zonas de trabajo.....	190
3.2.	Señalización de las áreas de trabajo	191
3.3.	Clasificación del personal	192
3.3.1.	Miembros del público	192
3.3.2.	Trabajadores profesionalmente expuestos.....	192
3.4.	Contratación y traslado de los trabajadores profesionalmente expuestos	192
3.5.	Vigilancia médica de los trabajadores expuestos.....	193
3.5.1.	Clasificación médica.....	193
3.5.2.	Historial médico	194
3.6.	Evaluación del riesgo de exposición.....	194
3.7.	Criterios para la determinación de las dosis.....	194
3.8.	Registro de las dosis	195
3.9.	Protección del personal profesionalmente expuesto.....	195
3.10.	Evaluación de las dosis recibidas por los profesionales expuestos.....	196
3.11.	Significación de los informes dosimétricos	197
4.	CRITERIOS GENERALES DE REDUCCIÓN DE DOSIS	198
4.1.	Dependencia de la dosis absorbida con la distancia, el tiempo y el blindaje.....	198
4.1.1.	Distancia.....	198

4.1.2.	Blindaje.....	198
4.1.3.	Tiempo de exposición	199
4.2.	Tasa de rechazo o de repetición de imágenes	199
4.3.	Procedimientos relacionados con el revelado	199

Capítulo 7

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA ESPECÍFICA EN INSTALACIONES DE DIAGNÓSTICO DENTAL

1.	CONSIDERACIONES GENERALES	201
1.1.	Justificación del estudio radiológico frente a otras alternativas de diagnóstico	201
1.2.	Optimización desde el punto de vista de la protección radiológica.....	201
2.	CONDICIONES BÁSICAS DE PROTECCIÓN PARA LA CORRECTA OPERACIÓN DE LAS INSTALACIONES RADIATIVAS.....	203
2.1.	Servicios y unidades de protección radiológica.....	204
3.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS SALAS DE RADIODIAGNÓSTICO	204
3.1.	Planificación del servicio de radiodiagnóstico.....	205
3.2.	Almacén de películas	206
3.3.	Sala de exploración.....	206
3.4.	Procesado de las películas intraorales.....	206
3.5.	Procesado de las radiografías extraorales	207
3.6.	Sala de espera	207
3.7.	Zona de visualización de placas.....	207
3.8.	Equipo de rayos X y puesto de control	208
3.9.	Otros equipos de diagnóstico por la imagen al servicio de la odonto- estomatología	209
3.10.	Selección del equipo.....	210
3.11.	Consideraciones para la selección del equipo de procesado	211
3.12.	Referente a los dispositivos de protección.....	211
3.13.	Referente a dispositivos adicionales.....	211
3.14.	Marca CE.....	212
3.15.	Niveles de dosis.....	213
3.16.	Cálculo de blindajes.....	213
4.	DESARROLLO DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA OPERACIONAL.....	214
4.1.	Organigrama de la unidad de radiodiagnóstico dental	214
4.2.	Responsabilidades y funciones del personal de la unidad.....	215
5.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO.....	216
5.1.	Mantenimiento de reveladoras.....	216
5.1.1.	Cuidados diarios.....	216
5.1.2.	Cuidados semanales	216
5.1.3.	Cuidados bimensuales.....	217
5.2.	Mantenimientos de los líquidos de revelado.....	217
5.3.	Mantenimiento del cuarto oscuro.....	217
5.4.	Mantenimiento chasis-cartulina reforzadora.....	217

5.5. Mantenimiento del negatoscopio	217
5.6. Asistencia técnica de los equipos.....	218
6. PROCEDIMIENTOS PARA LA REDUCCIÓN DE DOSIS A PACIENTES	218
6.1. Posicionadores.....	219
6.2. Posición del operador radiológicamente protegida	219
6.3. Procedimientos de trabajo en radiología dental.....	220
7. CONSIDERACIONES DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN INSTALACIONES QUE UTILIZAN TÉCNICAS PARTICULARES	221
7.1. Radiología digital periapical	222
7.2. Ortopantomografía digital.....	224
7.3. Tomografía computadorizada (TC)	224
8. TÉCNICAS PEDIÁTRICAS	225
9. CONSIDERACIONES PARTICULARES RESPECTO A EMBARAZADAS Y NIÑOS	226

Capítulo 8

PROGRAMA DE GARANTÍA DE CALIDAD

1. IMPLANTACIÓN DE UN PROGRAMA DE GARANTÍA DE CALIDAD	227
2. JUSTIFICACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD	227
3. ORGANIZACIÓN DE UN PROGRAMA DE GARANTÍA DE CALIDAD	229
4. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL ESPECTRO	232
4.1. Métodos directos.....	233
4.1.1. Difracción por redes cristalinas.....	233
4.1.2. Espectrometría magnética	233
4.1.3. Cristales de centelleo.....	233
4.1.4. Cámara de ionización.....	233
4.2. Métodos indirectos	233
4.2.1. Determinación de la capa hemirreductora de una radiación X.....	234
4.3. Problemas en la determinación del espectro de rayos X de baja energía	234
5. DETERMINACIÓN DEL KILOVOLTAJE PICO	234
6. DETERMINACIÓN DEL PRODUCTO INTENSIDAD-TIEMPO	235
7. FOTOEXPOSÍMETRO	235
8. CALIDAD DE LA IMAGEN	236
9. REVELADORAS	237
10. CÁMARA OSCURA	237

11. ALMACENAMIENTO DE PELÍCULAS	238
12. PERCEPCIÓN VISUAL DE LA IMAGEN	238

Capítulo 9

REQUISITOS TÉCNICO ADMINISTRATIVOS

1. PROCEDIMIENTO DE DECLARACIÓN Y REGISTRO DE LOS EQUIPOS E INSTALACIONES DE RAYOS X DE DIAGNÓSTICO MÉDICO	241
2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE FUNCIONAMIENTO	241
2.1. Clasificación de las instalaciones de RX	242
2.2. Obligaciones del titular	243
2.3. Programa de protección radiológica	243
2.3.1. Medidas de prevención	244
2.3.2. Medidas de control	244
2.3.3. Medidas de vigilancia	244
2.3.4. Medidas administrativas	244
3. ESPECIFICACIONES	244
3.1. Requisitos de personal	244
3.2. Normas de actuación	245
3.3. Verificaciones periódicas y especiales	246
4. DISPOSITIVOS Y PRENDAS DE PROTECCIÓN	246
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	249
PRÁCTICAS	251

Prólogo a la primera edición

El presente manual responde al programa de la asignatura Radiobiología y Radioprotección de la licenciatura de nuestra Facultad de Odontología de la Universidad de Barcelona. A su vez este texto, junto con el cuadernillo de prácticas que incluimos al final, ha sido homologado por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) de España, lo que capacita a nuestros estudiantes y odontólogos formados con él a dirigir instalaciones de radiodiagnóstico dental, acreditación imprescindible para ejercer la odontología en España (Real Decreto 1891/1991, de 30 de diciembre).

Asimismo, con la impartición de este conocimiento nuestra Facultad da «formación en radioprotección al personal sanitario responsable de exposiciones médicas», hecho que ya contemplaba mandatariamente el Real Decreto 815/2001 de 13 de Julio. Lo que garantiza a su vez el cumplimiento de las exigencias establecidas a nivel de la Comunidad Europea (Directiva 97/43 EURATOM).

Protección en Radiología Odontológica es consecuencia de la experiencia acumulada como profesor dictante en más de 25 cursos de radioprotección homologados por el CSN y también como docente en Radiología Odontológica durante 15 años ininterrumpidos en nuestra Facultad.

Agradezco las enseñanzas recibidas del Dr. Benjamín Guix Melcior, profesor titular de Radiología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Barcelona, con quien me inicié en materia de protección radiológica. Del mismo modo agradezco la ayuda prestada por D. José Ignacio Tello Luque, radiofísico de la Fundación IMOR de Barcelona. Expreso también mi reconocimiento a D. Jesús Sotil Baylos, jefe del Servicio de Protección Radiológica del Hospital Vall d'Hebron de Barcelona, por su ayuda y colaboración. Por último y no precisamente en este lugar, agradezco a todas las personas que con su ánimo y ayuda han influido positivamente en el desarrollo de esta asignatura, especialmente a los colaboradores del texto.

Estoy convencido de que nuestros estudiantes comprenden la conveniencia, más que exigencia, de asimilar las enseñanzas de esta disciplina, lo que obrará en defensa de la salud propia, la de sus pacientes y la del público en general. Entiendo también la responsabilidad que contraemos los profesores al impartir la asignatura.

F. Finestres Zubeldia

Junio de 2003

Prólogo a la segunda edición

Resulta obvio que el fin último de esta obra permanece invariable: dar criterio a los profesionales de la odontología para que trabajen con radiaciones ionizantes del modo más correcto posible. Al igual que en la edición anterior, este texto está homologado por el CSN.

En esta segunda edición se incorporan nuevos dibujos y tablas. La pirámide legislativa viene actualizada con el Real Decreto 1085/2009 sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico, que sustituye al anterior Real Decreto 1891/1991.

Agradezco a la doctora Araceli Martínez Miravé, odontóloga y posgrado de Diagnóstico por la Imagen en Odontología por la Universidad de Barcelona, su colaboración en parte de la transcripción del manuscrito.

F. Finestres Zubeldia
Octubre de 2011

Objetivos

La parte teórica de esta obra ofrece las siguientes capacidades:

- Describir los conceptos básicos de física atómica.
- Explicar la interacción de las radiaciones ionizantes con la materia.
- Describir la formación de los rayos X y el tubo productor de dicha radiación.
- Conocer los principales sistemas de obtención de imágenes en radiología odontológica.
- Identificar las magnitudes y unidades empleadas para medir las radiaciones ionizantes.
- Describir los sistemas de detección de las radiaciones ionizantes.
- Conocer los mecanismos y los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes sobre la materia viva.
- Describir y aplicar los mecanismos de protección radiológica en el ámbito del radiodiagnóstico dental.
- Referir la legislación aplicable sobre radioprotección.

La asunción de la parte práctica permite:

- Manejar un equipo de medida de radiación de utilización en radiología, interpretar los resultados de las medidas. Criterios para el empleo del equipo idóneo en cada caso.
- Estimar la dosis que podría recibir el personal de operación y miembros del público, considerando la carga de trabajo semanal y los resultados de las medidas de la radiación ambiental.
- Comprobar la eficacia de los blindajes estructurales y elementos de protección personal.
- Comprobar la clasificación y señalización de zonas de la instalación de radiología.
- Estudiar la variación de la intensidad de dosis debida a la radiación dispersa, en función del tamaño del campo irradiado y de los parámetros de operación (kilovoltaje, miliamperaje, tiempo) y, asimismo, respecto a la posición del operador con relación al foco y al paciente.
- Aplicar procedimientos básicos de operación que supongan reducción de la dosis y eviten la repetición de placas (colimación, técnica apropiada).
- Conocer los parámetros del proceso de revelado y su influencia en la exposición del paciente y en la calidad radiográfica.

CONCEPTOS BÁSICOS: INTRODUCCIÓN SOBRE LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA

1. Introducción a la física de la radiología. Estructura del átomo

Toda la materia está compuesta por átomos, que son la parte más pequeña de un elemento que conserva todas sus propiedades físicas y químicas. En la actualidad se han descubierto 103 elementos. En estado natural sólo existen 91, siendo el más ligero el hidrógeno ($Z=1$) y el más pesado el uranio ($Z=92$). Del resto, 12 son artificiales, lo que indica que han sido obtenidos, bien por generador como el tecnecio, bien por reactor nuclear, o gracias a un acelerador de partículas denominado ciclotrón. Cada elemento se representa por un símbolo, que consiste en una o dos letras: H, para el hidrógeno, He para el helio, etc.

El tamaño del núcleo es del orden de 10^{-14} m y el total del átomo de 10^{-10} m, es decir, 10.000 veces mayor, por lo que la mayor parte del átomo está vacío.

El núcleo atómico a su vez está formado por protones y neutrones. Los protones tienen carga positiva y masa en reposo de $1,672 \times 10^{-27}$ kg, mientras que los neutrones, como su nombre indica, son eléctricamente neutros y tienen una masa en reposo similar a la del protón y que vale $1,675 \times 10^{-27}$ kg.

La corteza atómica está constituida por los electrones, que tienen carga negativa y cuya masa es muy pequeña en comparación con la del protón y la del neutrón. La masa del electrón es 1.840 veces menor a la del protón, siendo de $9,108 \times 10^{-31}$ kg.

Las cargas del electrón y del protón son del mismo valor pero de signo contrario. Los electrones se encuentran girando alrededor del núcleo, de forma que la fuerza centrífuga debida a su movimiento compensa la atracción debida a la carga de distinto signo del núcleo.

Los protones y neutrones reciben el nombre de nucleones, por ser las partículas que constituyen el núcleo. Un átomo que esté en estado neutro tiene el mismo número de protones (cargas positivas) que electrones (cargas negativas), y es eléctricamente neutro. Cuando el número de protones es distinto del de neutrones, el átomo no es eléctricamente neutro y se le llama ión.

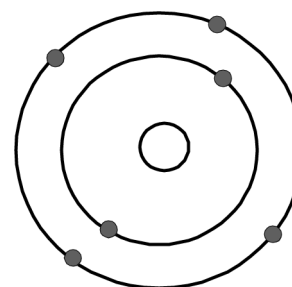


Figura 1.1. Modelo atómico del átomo de carbono (C) $Z=6$

1.1. Nomenclatura

Los elementos son sustancias constituidas por un solo tipo de átomo. Por sus propiedades químicas y estructura atómica se distribuyen formando la Tabla Periódica.

Grupo→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓ Período																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
Lantánidos				57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Actínidos				89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Se denomina número atómico Z de un elemento al número de protones presentes en el núcleo de dicho elemento.

Las propiedades físicas y químicas de un átomo vienen determinadas por el número de protones existentes en su núcleo y, por lo tanto, por su número atómico Z .

Se llama número másico, A , al número de nucleones presentes en el núcleo. El número de neutrones se representa por N y se cumple siempre la relación:

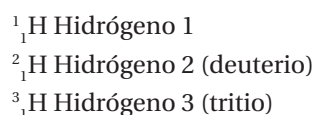
$$A = Z + N$$

Los elementos se especifican con un símbolo y el número de nucleones mediante un superíndice arriba a la izquierda. A veces se incluye el número de protones (número atómico) como subíndice a la izquierda:



Por ejemplo: ${}^1_1\text{H}$ (Hidrógeno 1), ${}^{12}_6\text{C}$ (Carbono 12), ${}^{16}_8\text{O}$ (oxígeno 16).

Se denominan *isótopos* a los elementos que tengan el mismo número de protones Z y distinto número de neutrones N , y por lo tanto distinto número másico. Por ejemplo, el hidrógeno presenta 3 isótopos:



Son *isóbaros* los elementos que tienen el mismo número másico A : ${}^{14}_7\text{N}$; ${}^{14}_6\text{C}$ ${}^{40}_{19}\text{K}$; ${}^{40}_{20}\text{Ca}$. Se llaman *isótonos* a los elementos con idéntico número de neutrones N : ${}^{10}_5\text{B}$; ${}^{11}_6\text{C}$; ${}^9_4\text{Be}$. Todos ellos tienen un $N = A - Z$ de 5.

Se denominan *isómeros* a aquellas sustancias idénticas, es decir, con igual fórmula molecular, que difieren tan sólo en sus características fisicoquímicas por estar dispuestos en forma diversa los átomos que constituyen la molécula.

1.2. Distribución en capas de los electrones

Si consideramos el modelo del átomo de Rutherford, en el cual el electrón gira alrededor del núcleo, al ser las cargas de signo contrario se crearía un campo eléctrico (dipolo oscilante) que haría que el electrón perdiese energía, velocidad, y se acercase cada vez más al núcleo. Para salvar este obstáculo (y otras propiedades físicas del átomo), Bohr propuso el modelo cuantificado del átomo. Según él, el átomo tiene ciertas órbitas en las que es estable y no radia ninguna energía. El electrón no puede ocupar cualquier lugar sino únicamente una de estas órbitas determinadas previamente. Estas órbitas se denominan capas. Se nombran desde el interior hacia el exterior con las letras K, L, M, N, O, P, etc., que corresponden a la primera, segunda, tercera, etc., capas.

En cada capa puede haber un número máximo de $2 \cdot n^2$ electrones, siendo $n = 1, 2, 3, \dots$, el número de la capa de que se trate. Así, la capa K (la primera) tiene un número máximo de 2 electrones, la L (segunda) 8 ($2 \cdot 2^2$), la M (tercera) 18 ($2 \cdot 3^2$), etc. Al número n se le llama *número cuántico principal*.

En cada capa el electrón está estable, equilibrándose su energía cinética (debida a la velocidad que lleva al girar alrededor del núcleo) y la potencial (debida a la atracción de las cargas de signo contrario). La energía total del electrón es la suma de la energía cinética y la energía de interacción de las cargas. Esta energía es de signo negativo, lo que expresa que para arrancar un electrón del átomo es necesario suministrarle energía.

Cuando un electrón pasa de una capa más externa a otra más interna, libera energía. Del mismo modo, para pasar un electrón a una capa más superficial, es necesario suministrarle energía. La energía que libera el electrón tiene forma de un fotón, de longitud de onda inversamente proporcional a su energía.

Se llama *energía de enlace* a la energía que hay que suministrar a un electrón para arrancarlo del átomo. Esta energía depende de la capa en que se halle el electrón y es mayor cuanto más cercano se encuentre al núcleo, es decir, hay que suministrar más energía para liberar un electrón situado en una capa profunda que en una capa superficial.

La energía que posee el electrón es mayor cuanto más alejado esté del núcleo (menos negativa es la energía), mientras que la energía de enlace disminuye al alejarse el electrón del núcleo. Así, los electrones de las capas más profundas (las más próximas al núcleo) tienen una energía de enlace muy elevada, por lo que es necesario comunicarles una gran cantidad de energía para arrancarlos del átomo, mientras que los de las capas superficiales, al tener una energía de enlace menor, se arrancan con mayor facilidad. Cuando un electrón pasa a una órbita más profunda, cederá más energía si la transferencia se efectúa en las capas profundas de la corteza atómica que si se realiza en las capas superficiales.

Cuando un átomo tiene a todos sus electrones en las capas de menor energía posible diremos que está en estado fundamental. En este estado es *estable*, no cede energía al medio. En el estado fundamental los electrones se distribuyen en las capas más cercanas al núcleo.

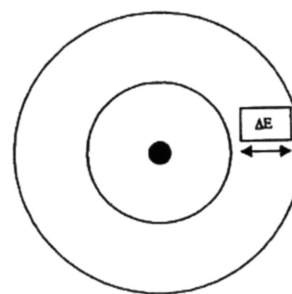


Figura 1.2. La movilidad de un electrón de una órbita a otra ocurre a expensas de una variación de su energía.