

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN PRÁCTICAS VETERINARIAS



Víctor Hernán Arcila Quiceno
Julián Ruiz Sáenz
Jhon Didier Ruiz Buitrago

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN PRÁCTICAS VETERINARIAS

Víctor Hernán Arcila Quiceno
Julián Ruiz Sáenz
Jhon Didier Ruiz Buitrago

Arcila Quiceno, Víctor Hernán

Protección radiológica en prácticas veterinarias / Víctor Hernán Arcila Quiceno, Julián Ruiz Sáenz, Jhon Didier Ruiz Buitrago. - Medellín: Universidad CES. Editorial CES, 2019.

60 páginas.

ISBN 978-958-5101-04-3

1. Medicina Veterinaria y Zootecnia. 2. Radiología Veterinaria. 3. Radiación.
4. Protección Radiológica.

CDD: 636.089075

Catalogación: Biblioteca Fundadores, Universidad CES.

Protección radiológica en prácticas veterinarias

ISBN 978-958-5101-04-3

Primera edición, noviembre de 2019.

© Víctor Hernán Arcila Quiceno, Médico Veterinario Zootecnista, MSc, cPhD.

© Julián Ruiz Sáenz, Médico Veterinario, MSc, PhD.

© Jhon Didier Ruiz Buitrago, Médico Veterinario, MSc, PhD.

Editor académico: Héctor A. Jiménez Arboleda, docente de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad CES.

Entidades editoras: © Consejo Profesional de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de Colombia – Comvezcol, © Universidad Cooperativa de Colombia y © Universidad CES.

Diseño y diagramación: Fabio Esteban Parra Rodríguez (faboepr@gmail.com).

Impresión: Extrategia Ecoprint S.A.S. Carrera 80 No 44-B-287. PXB: 4112120.

Editorial: Editorial CES, Universidad CES. Calle 10 A No 22-04, Barrio El Poblado, 4º piso Bloque A, Medellín, Colombia.

Notas legales:

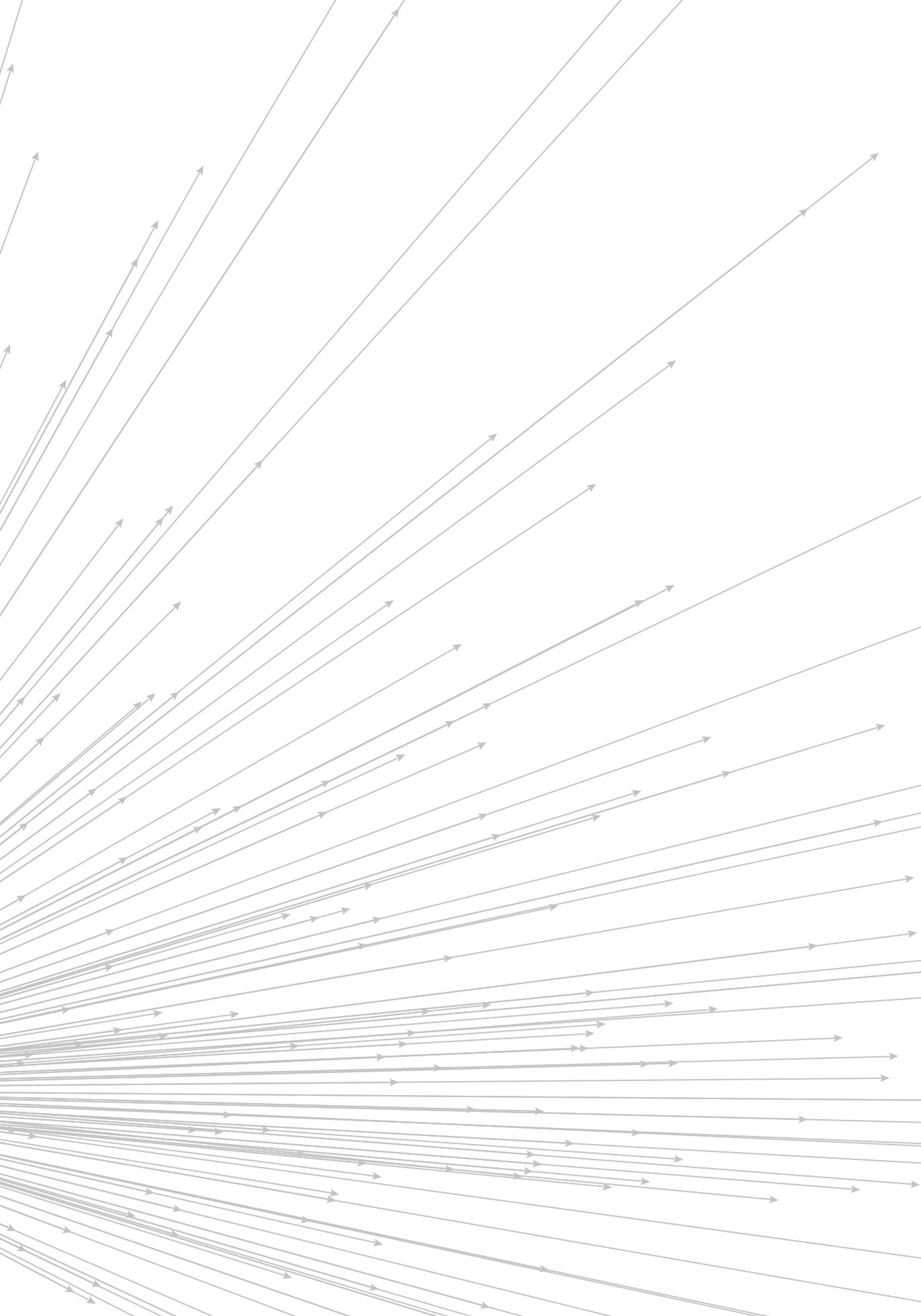
Este libro cumple con lo dispuesto en la normativa colombiana que regula el depósito legal, con el fin de “garantizar su conservación e incrementar la memoria cultural del país”.

Las ideas expresadas en esta publicación por los autores no comprometen a las entidades editoras o a la Editorial CES frente a terceros.

Está prohibido el uso total o parcial de esta obra sin autorización escrita de las entidades editoras, salvo las excepciones legales vigentes.

CONTENIDO

Presentación	5
Radioactividad	7
Átomos	7
Radiactividad y radiación	7
Radiación y tejido biológico	12
Efectos de la radiación	15
Efectos deterministas	15
Efectos estocásticos	16
Daño y sensibilidad	19
Tipos de exposición	21
Categorías de exposición	21
Aplicaciones médicas	25
Radiodiagnóstico veterinario	25
Radiografía convencional	28
Medios de contraste	28
Fluoroscopia	29
Radiología digital	31
Tomografía computarizada	32
Principios de protección radiológica	35
Justificación	36
Optimización (principio Alara)	36
Límite de dosis	37
Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE)	38
Medidas básicas de protección radiológica	39
Consideraciones en la radioprotección veterinaria	42
Dosímetros y dosimetría	43
Instalaciones físicas	47
¿Son efectivos todos estos controles?	48
Trabajadores expuestos	48
Miembros del público	49
Conclusiones y recomendaciones	51
Bibliografía	55



PRESENTACIÓN

El Consejo Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia, la Universidad CES y La Universidad Cooperativa de Colombia entienden la importancia de las buenas prácticas veterinarias y la relevancia de la normatividad establecida para el uso de equipos generadores de radiación ionizante, tanto en la clínica de grandes animales como en la de pequeños. En la actualidad, se utiliza con frecuencia el término radiación y entendemos que este concepto incluso hace parte de la naturaleza, pero ¿Qué hacemos para conocer qué es la radiación y cómo protegernos de ella? Este Manual pretende contestar algunas de las posibles preguntas con un lenguaje sencillo, pero científicamente preciso.

En Colombia, la normativa asociada al uso de equipos generadores de radiación ionizante ha regulado las prácticas en los campos de la salud como medicina y odontología e igualmente el uso industrial (1-4); sin embargo, para el caso de los médicos veterinarios, a pesar que la norma igualmente aplicaba, no se realizaba la habilitación del servicio, y esto conlleva a trabajar bajo condiciones que en algunos casos no son óptimas e implica un riesgo para la salud ocupacional, afectando el buen desempeño profesional.

Colombia, país miembro del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) se acogió a sus acuerdos de regulación, donde la OIEA ha propendido por la aplicación de las normas internacionales de seguridad para proteger la salud humana y de forma consecuente, el Estado colombiano paulatinamente ha venido implementado la aplicación de la normatividad y medidas de seguridad en favor de la salud de los profesionales (3).

Los estudios científicos han demostrado que la exposición a la radiación ionizante es considerada un factor de riesgo para la salud, pues los efectos biológicos dependen del tipo de radiación, de la cantidad y distribución de dosis, de la fragmentación y factores externos que en algunos casos no pueden ser determinados (5).

La Resolución 0482 de 2018 expedida por el Ministerio de Salud y Protección Social tiene por objeto reglamentar tanto el uso de equipos generadores de radiación ionizante y el control de calidad en prácticas médicas, veterinarias e industriales así como de investigación a través del otorgamiento de licencias; por lo anterior, hemos querido desarrollar un manual que permita ilustrar con información puntual, clara y precisa, sobre las buenas prácticas radiológicas veterinarias considerando la revisión de conceptos que serán de utilidad para comprender la importancia de la protección radiológica sumada a la generación de buenos hábitos o prácticas dentro del ejercicio profesional regular.

RADIOACTIVIDAD

Átomos

Toda la materia orgánica e inorgánica está formada por átomos. Cada átomo tiene una estructura definida por un núcleo alrededor del cual se encuentran los electrones (cargados eléctricamente de forma negativa) girando en determinadas órbitas. El núcleo contiene protones y neutrones (6). Todos los átomos de un mismo elemento químico tienen el mismo número de protones. Pueden, no obstante, tener diferente número de neutrones; entonces se llaman isótopos de ese elemento. El hidrógeno, por ejemplo, tiene tres isótopos: hidrógeno, deuterio y tritio (Figura 1).

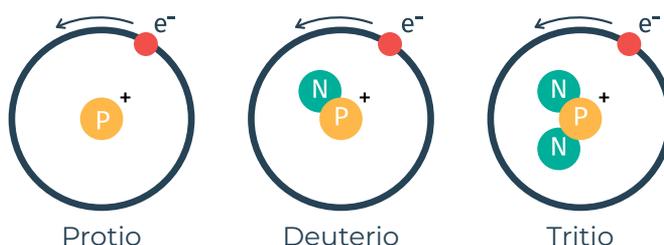


Figura 1. Isótopos de hidrógeno.
Fuente: Adaptado de Itziar Varela (www.lifeder.com).

Los átomos se identifican por el nombre del elemento y el número de protones más el de neutrones presentes en el núcleo. Los átomos del mismo o de distinto elemento se pueden combinar formando moléculas; por ejemplo, un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno forman una molécula de agua: H₂O.

Radiactividad y radiación

Los núcleos de algunos átomos son inestables y se transforman en otros núcleos más estables. Estas transformaciones (llamadas también desintegraciones) se caracterizan por la emisión de partículas (alfa, beta) o energía (fotones) y este se conoce con el nombre de **radiactividad**, descubierta por

Antoine Henri Becquerel en 1886 (7). Esas emisiones también denominadas **radiaciones ionizantes** pueden ser principalmente de tres tipos: **partículas alfa** constituidas por dos neutrones y dos protones, **partículas beta** electrones, tanto positivos como negativos, que se crean en el núcleo de los átomos, y finalmente la **radiación gamma** –constituida por fotones, es decir, radiación electromagnética similar a los rayos X y a la luz, pero más energética (Figuras 2 y 3).

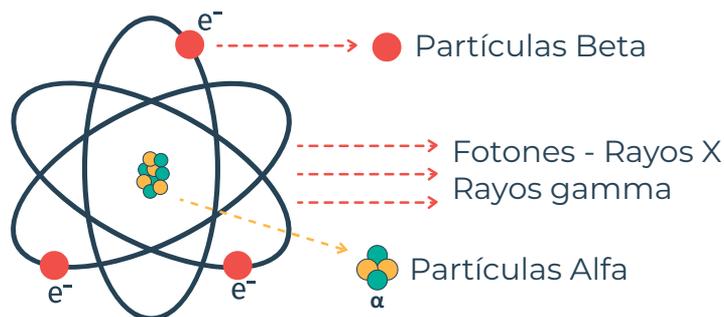


Figura 2. Radiación a partir de un átomo. Fuente: Cedeño, 2018 (8).

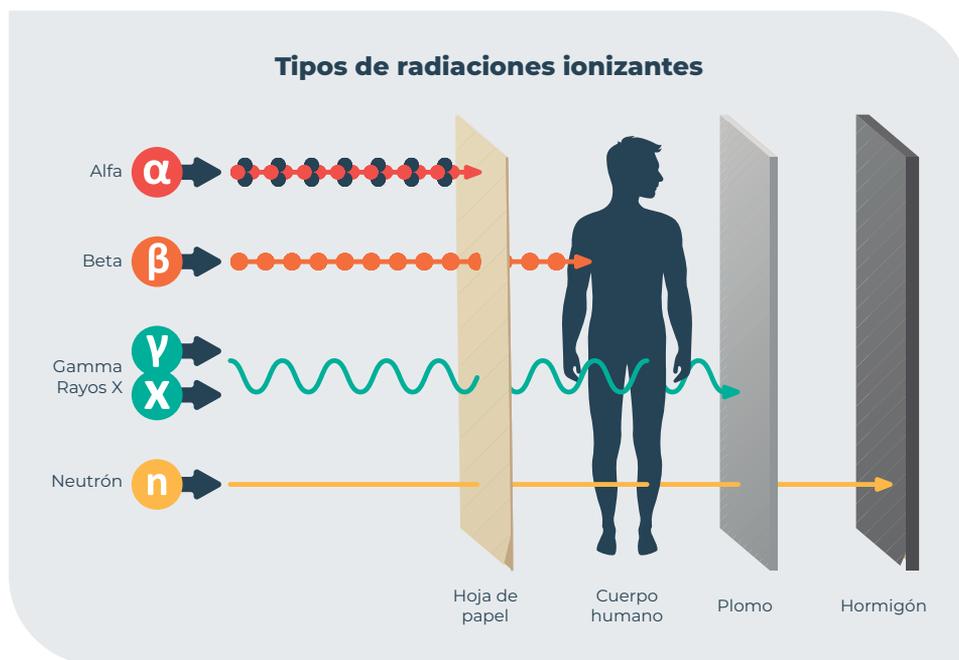


Figura 3. Tipo de radiación ionizante y capacidad de atravesar diferentes elementos orgánicos e inorgánicos (Fuente: adaptado de Foro Nuclear, 2018).

Los rayos X, son un tipo de radiación electromagnética de alta frecuencia y baja energía, producida por los saltos de electrones en las órbitas de la

corteza, resultado de interacciones con origen en el exterior o en el interior del átomo.

Los rayos X tienen las siguientes características:

- Penetran cuerpos opacos,
- Sensibilizan películas radiográficas,
- Producen fluorescencia,
- Alteran las funciones vitales celulares,
- Viajan a la velocidad de la luz,
- No pueden ser reflejados o refractados,
- Son divergentes,
- Viajan en línea recta,
- Invisibles,
- No tienen masa, ni carga, ni peso (9).

Tanto las radiaciones ionizantes como los materiales radiactivos se encuentran en la naturaleza; no obstante, dada la incapacidad del ser humano para advertir su presencia mediante los sentidos, su descubrimiento no se produjo sino hasta finales del siglo XIX entre otros, por físicos como Wilhelm Conrad Roentgen (10), época en la que comienza a disponerse de sistemas capaces de detectar su presencia; aprovechando el conocimiento de algunas de sus propiedades.

A las fuentes de radiaciones ionizantes como los rayos cósmicos, materiales radiactivos presentes en la corteza terrestre no alterada, en el aire o incorporados a los alimentos, e incluso sustancias radiactivas que se encuentran en el interior del organismo humano (K^{40} , C^{14} , etcétera.), se las denomina **radiaciones de fondo o naturales** (11). El ser humano y los animales, además de estar expuestos a la radiación de fondo natural, también están sometidos a fuentes artificiales de radiaciones.

En el campo de la salud humana y animal con regularidad se usan dispositivos generadores de radiación ionizante para la obtención de imágenes médicas con fines diagnósticos, como los equipos de rayos X (Figura 4), los tomógrafos y los fluoroscopios (12). Cada vez que estos equipos son usados se generan diferentes rangos de energía radioactiva con el suficiente potencial para afectar los tejidos vivos.



Figura 4. Prácticas radiológicas en animales. Fotografías tomadas en el Centro de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad CES por Hernán Carvajal Restrepo.

La utilización de fuentes de radiaciones ionizantes, aparatos de rayos X, sustancias radiactivas naturales o radioisótopos producidos artificialmente en actividades de la medicina, veterinaria, la industria, la agricultura o la investigación, reportan muchos beneficios a la humanidad, pero también da lugar a ciertos riesgos que no quedan limitados a un pequeño grupo de personas, sino que pueden incidir sobre grupos de trabajadores y sobre la población en su conjunto, constituyéndose en un campo de investigación para la salud pública.

Las personas y los animales podrán estar expuestos a fuentes naturales o artificiales, como se muestra en la figura 5, es decir que todo el tiempo y debido a las actividades normales de la vida cotidiana siempre estaremos recibiendo pequeñas dosis de radiación en el entorno o durante los procedimientos médicos diagnósticos como paciente o como operario.

En teoría, los animales son sometidos a las mismas condiciones y por tanto se considera que tienen un grado de exposición igual a la humana (13).

RADIACIÓN EN LA VIDA DIARIA

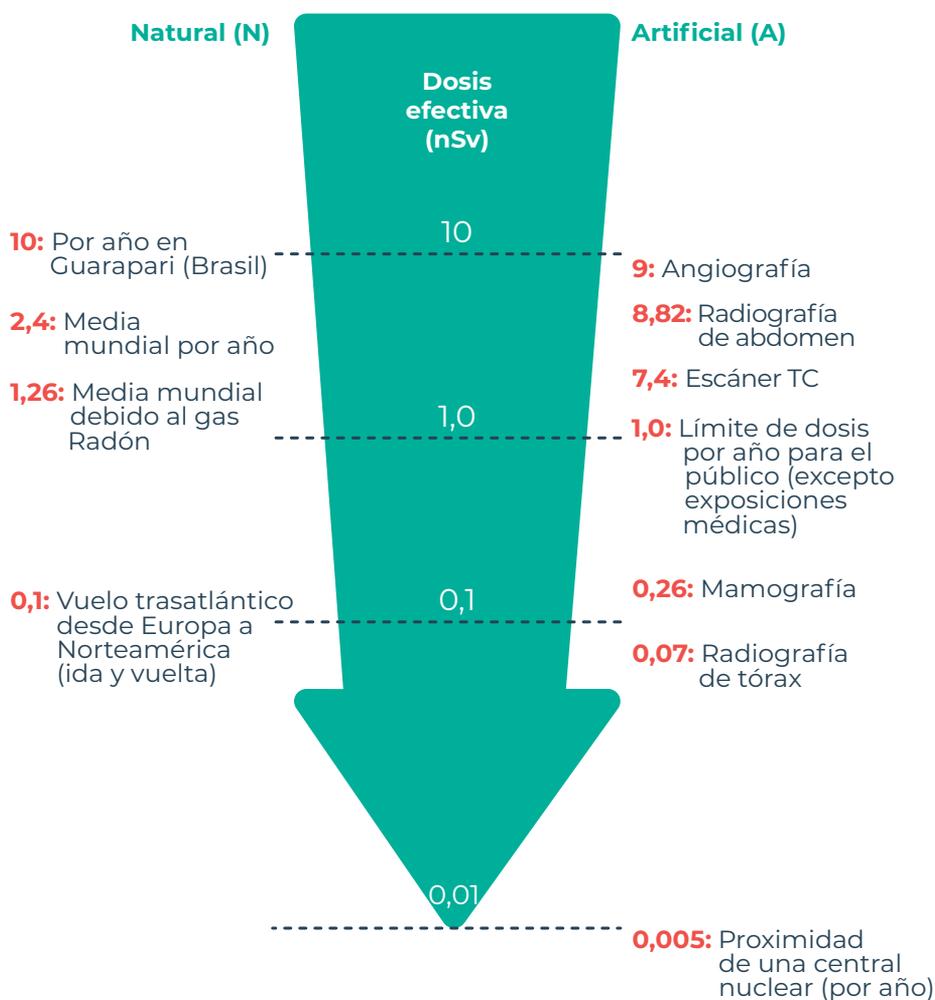


Figura 5. Radiación de la vida diaria.

Fuente: adaptado de Consejo de Seguridad Nuclear (14).

Radiación y tejido biológico

En los animales así como en los seres humanos la exposición a la radiación se desarrolla una cascada de eventos debido a las partículas cargadas - alfa, protones, fragmentos de fisión y electrones, que podrán atravesar los tejidos, y a nivel molecular y atómico movilizarán electrones de las órbitas de los átomos circundantes dando lugar a un proceso que se conoce con el nombre de **ionización** (Figura 6) (15).

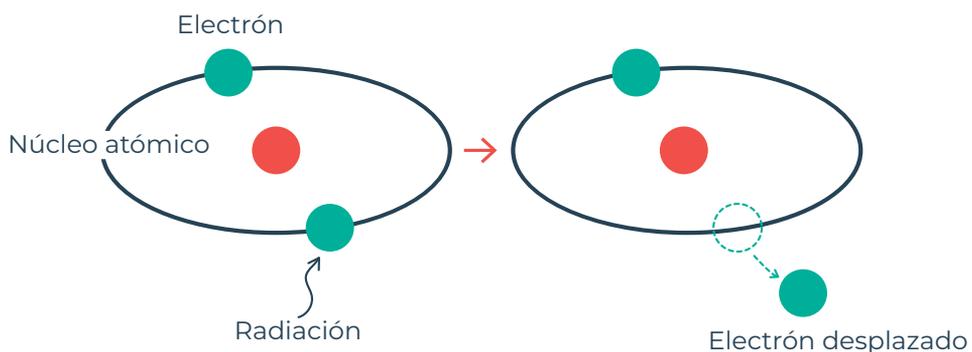


Figura 6. Proceso de ionización a nivel atómico. Fuente: Electronics and control Systems – ECE Tutorials (www.ecetutorials.com) (16).

Las ondas de radiación electromagnética, que pueden afectar la dinámica celular interactúan con mecanismos más complejos pero que también producen finalmente pérdida de electrones en los átomos circundantes. Los neutrones presentes en el núcleo del átomo son partículas neutras (sin carga eléctrica) que se liberan en determinados procesos, interactúan con la materia mediante reacciones nucleares que pueden dar lugar, a su vez, a partículas cargadas y fotones (17).

Finalmente, da lugar a partículas cargadas, por lo que el mecanismo fundamental de interacción con la materia es el de ionización. Esta es la razón por la que estas radiaciones se conocen con el nombre de **radiaciones ionizantes**. En el caso de que la materia sea tejido biológico con un alto contenido de agua, la ionización de las moléculas de agua puede dar lugar a los denominados radicales libres que presentan una gran reactividad química, suficiente para alterar moléculas importantes que forman parte de los tejidos de los seres vivos (Figura 7).

Entre esas alteraciones pueden incluirse los cambios químicos en el ADN y ARN, las moléculas orgánicas que determinan la información genética en humanos y animales. Estos cambios pueden dar lugar a la aparición de efectos biológicos, incluyendo el desarrollo anormal de las células.

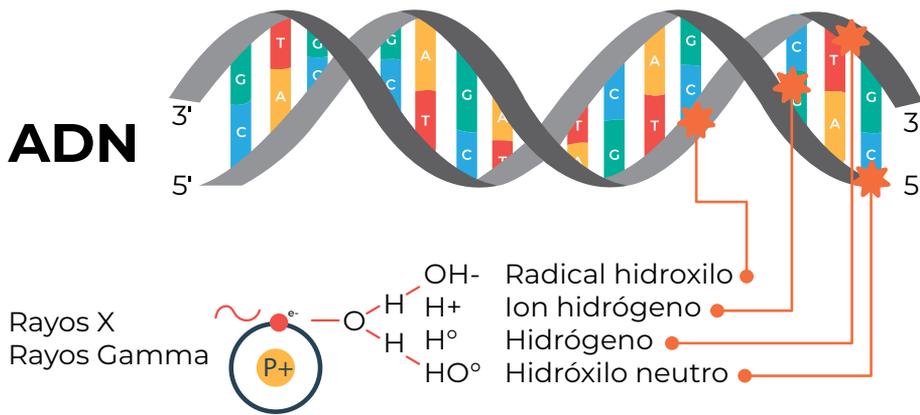


Figura 7. Formación de radicales libres y efecto sobre el ADN. Adaptado de: Teachnuclear - Canadian Nuclear Association (www.teachnuclear.ca) (18).

El daño en el ADN puede darse por dos mecanismos. El primero es la acción indirecta de la radiación permitiendo la formación de radicales libres como el radical hidroxilo y el peróxido de hidrógeno, los cuales debido a su alta reactividad reaccionan con moléculas como el ADN propiciando cambios en el código genético llevando a una mutación (11, 18, 19). El segundo mecanismo es por acción directa cuando los fotones de rayos X o rayos gamma (radiación) inciden en la estructura del ADN generando un proceso de ionización y modificando la cadena de información (Figura 8).

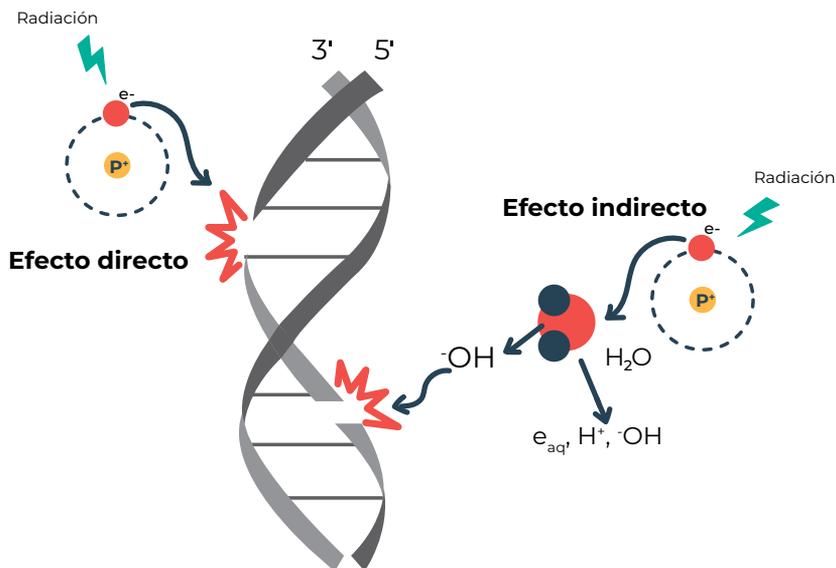


Figura 8. Mecanismos de afectación del ADN por procesos de ionización. Fuente: adaptado de Montoro *et al.*, 2014 (20).

La consecuencia directa de este fenómeno son los cambios moleculares en el ADN que afectará la información genética de la célula y con ello desencadenando un proceso de mutagénesis que regularmente es de carácter crónico (Figura 9).

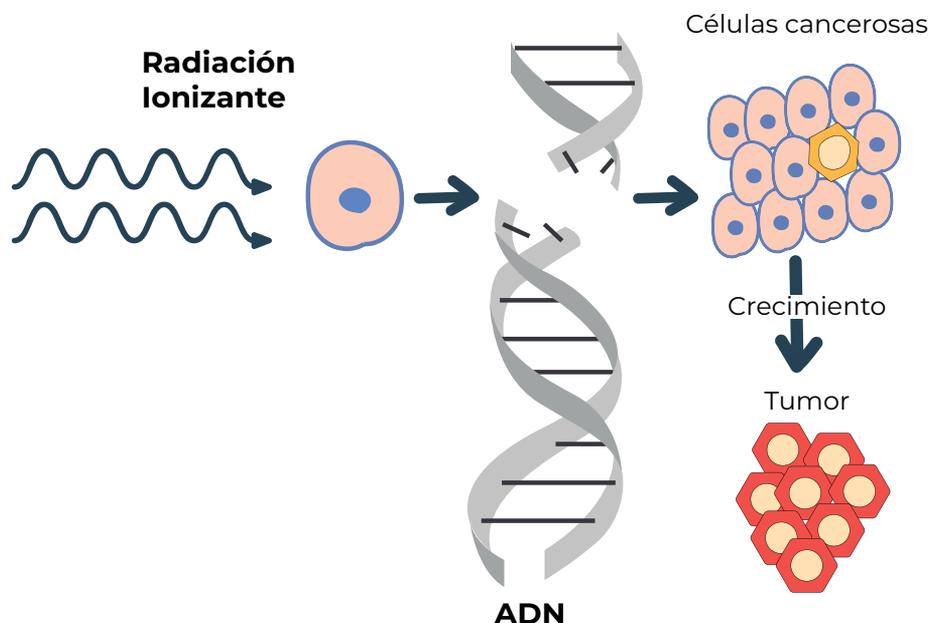


Figura 9. Formación de neoplasias por efecto de la radiación ionizante.
Fuente: adaptado de Kus, 2016 (22).

Las células de tejidos humanos y animales presentan diferentes sensibilidades frente a la radiación, lo que es determinante al momento de establecer los mecanismos de radioprotección (21).

Las células más sensibles son aquellas que tienen un elevado potencial cromosómico o aquellas células que tienen un bajo grado de diferenciación celular como las células madre o células pluripotenciales, ubicadas en la médula ósea de los huesos largos; igualmente son sensibles las células que tengan una elevada tasa de replicación como las células epiteliales que hacen parte de los tejidos glandulares y la piel (23). Sin embargo, es importante resaltar que la célula en su maquinaria molecular y el ADN tienen mecanismos propios para reparar los daños inducidos por los efectos de la radiación ionizante, minimizando los efectos directos (24).

EFECTOS DE LA RADIACIÓN

Todo ser vivo expuesto a fuentes de radiación ionizante será susceptible a dos tipos de efectos, el primero es lo que ocurre irreversiblemente al superarse un valor determinado de la dosis de radiación recibida (efectos deterministas o reacciones tisulares) y segundo los que tienen una probabilidad de ocurrencia creciente al aumentar dicha dosis (efectos estocásticos).

El sistema de protección radiológica vigente que se emplea en medicina humana, veterinaria y odontología se basa en la teoría que, por muy pequeña que sea la dosis de radiación, siempre hay un grado de riesgo biológico. Esta presunción se hace tomando como base los estudios realizados en las personas que se han expuesto a altas dosis de radiación, como en casos recientes de Chernobyl en Rusia (1986) y Fukushima en Japon (2011) y más recientemente por estudios en modelos con animales domésticos y de laboratorio (19, 25–27).

En este punto es importante señalar que los médicos veterinarios con regularidad permanecen cerca al haz primario de rayos X al momento del uso de la máquina de rayos X debido a la necesidad de inmovilizar el paciente aumentado el riesgo por exposición, y recibiendo radiaciones secundarias o residuales que pueden afectar la salud (23).

Efectos deterministas

Estos los podríamos definir a partir del nivel de radiación a la que es expuesto un individuo (humano o animal) recordando que las respuestas son individuales y los diferentes tejidos presentan sensibilidades diferenciales.

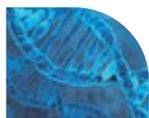
Los efectos se pueden denominar “**tempranos**” los cuales pueden variar desde la muerte en días o semanas (para niveles muy altos de radiación recibida por todo el cuerpo), quemaduras en la piel, determinado por una fuente de irradiación potente a simple enrojecimiento de la piel (para dosis elevadas de radiación recibidas durante un corto período de tiempo por una zona del cuerpo de tamaño limitado). Los efectos “**tardíos**” se presentarán de manera crónica en el tiempo debido a dosis bajas y

repetitivas, por ejemplo, en quienes trabajan en unidades de radiología humana o veterinaria e incluyen manifestaciones clínicas como el desarrollo de cataratas (opacidad del cristalino en los globos oculares), disminución en la producción espermática y el desarrollo de diferentes tipos de neoplasias (28).

Efectos estocásticos

Cuando el cuerpo humano o animal es sometido a bajas dosis de radiación, o a una dosis mayor pero que es recibida a lo largo de un largo período de tiempo, no existen efectos deterministas apreciables, pero se supone que es posible la existencia de efectos estocásticos, tales como el cáncer o la aparición de enfermedades congénitas (Figura 10).

EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LOS RAYOS X



EFFECTOS ESTOCÁSTICOS

Probabilidad de padecer cáncer o alteraciones genéticas por exposiciones bajas en tiempos largos.

No existe dosis umbral para estos efectos, solo la probabilidad.



EFFECTOS DETERMINISTAS

Aquellos con umbrales determinados; a dosis conocidas, efectos conocidos.

Esterilidad temporal (testículos)	0,15 Sv
Esterilidad permanente	3,5-5 Sv
Esterilidad permanente (mujer)	2,5-6 Sv
Cristalino (cataratas)	5,0 Sv
Médula ósea (hematopoyesis)	0,5 Sv

Figura 10. Resumen Efectos biológicos de los rayos X.
Fuente: adaptado de Uribe Navarro (29).

La información de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes es revisado periódicamente por el Comité de las Naciones Unidas sobre los efectos de las radiaciones atómicas (**Unsear**, del inglés, *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*), **emitiendo un reporte** (Figura 11) y se evalúa frente a la evidencia los rangos de los niveles de exposición a los que pueden ser sometidos los trabajadores u operarios de fuentes de radiación ionizante (30).

Estos efectos son determinantes y por ello se deben establecer mecanismos de monitoreo tanto de zona como personales con el apoyo de los dosímetros, los cuales son dispositivos que permiten medir el nivel de la exposición a la radiación para llevar un registro del nivel de exposición que recibe el operario a lo largo del tiempo (31, 32).

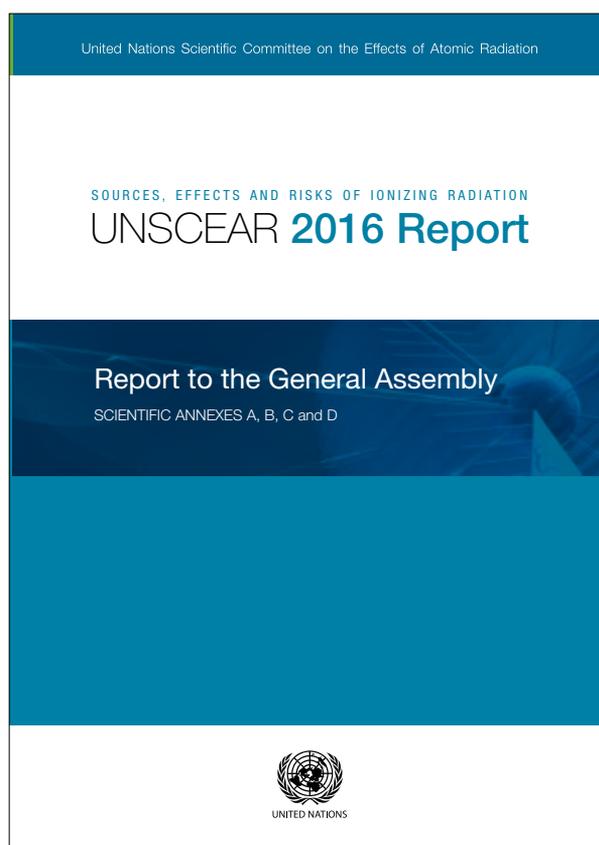
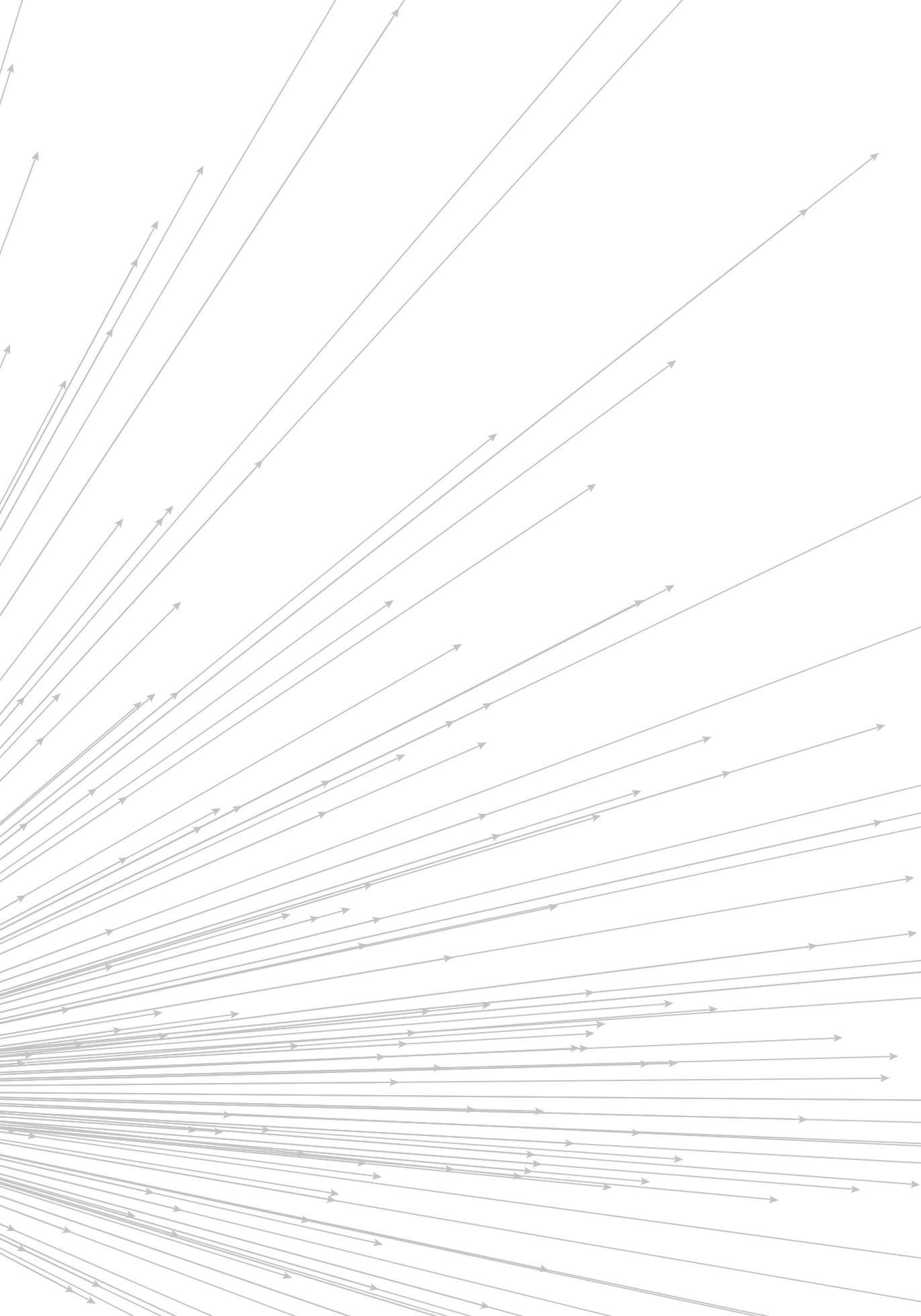


Figura 11. Reporte Unscear 2016. Fuente: *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation – Unscear, 2016.*

Los reportes del Comité regularmente tratan temas que generan impacto global y a su vez permite reevaluar las políticas frente al uso de las fuentes de radiación ionizante, contribuyendo al aporte científico de las naciones.



DAÑO Y SENSIBILIDAD

En la práctica veterinaria radiológica, son variables los niveles de exposición, debido a la cercanía que tiene el profesional con la fuente de radiación ionizante, y lo cual difiere de la exposición para los radiólogos en la práctica médica ya que regularmente no se acercan al haz primario. Para una cantidad dada de radiación, el daño producido en los tejidos por los distintos tipos de radiación es diferente (25, 33).

Las radiaciones ionizantes interactúan con la materia depositando en ella energía, produciendo ionizaciones y por tanto alteraciones en las moléculas de las células. El daño biológico producido por las radiaciones ionizantes está relacionado con la energía depositada por unidad de masa, que es la magnitud conocida como **dosis absorbida** (9).

La dosis a un órgano es una magnitud relacionada con la probabilidad de producir efectos estocásticos (principalmente la inducción de cáncer), y está definida en la Publicación 60 de la ICRP (del inglés, *International Commission on Radiological Protection*) (34) como el promedio de la dosis absorbida en un órgano, es decir, el cociente entre la energía total impartida a un órgano y la masa total de dicho órgano (35).

La energía en el Sistema Internacional, se mide en julios (J), y la masa en kilogramos (kg), por tanto, la **dosis absorbida** se medirá en J/kg, unidad conocida con el nombre de Gray (Gy). Pero el daño biológico producido por las radiaciones no solo está en función de la energía depositada en un tejido u órgano, sino que también depende del tipo de radiación.

La **dosis equivalente**, es la magnitud utilizada para expresar la cantidad de energía depositada por unidad de masa (dosis absorbida) y el tipo de radiación que suministra dicha energía. Esta magnitud también se mide en J/kg, pero recibe el nombre de Sievert (Sv)(35).

Por último, se sabe que el daño producido por las radiaciones ionizantes en un ser vivo, además de depender de la dosis absorbida y del tipo de radiación, también está influenciado por el tejido u órgano que ha sufrido la irradiación. Esto se debe a que no todos los tejidos de nuestro

organismo son igual de sensibles a la radiación y, por tanto, no todos ellos contribuirán de igual forma al perjuicio que la exposición tendrá en nuestra salud. Para tener en cuenta este factor, se ha definido la magnitud **dosis efectiva**, que al igual que la dosis equivalente, se mide en Sv (J/kg) (36).

Por eso, la cantidad de radiación absorbida (**dosis absorbida**) debe multiplicarse por unos factores de ponderación de la radiación para dar la dosis equivalente, que es la que tiene en cuenta el tipo de radiación que se ha recibido. Sin embargo, algunos órganos son más sensibles que otros a la radiación, por tanto, la dosis equivalente se multiplica por otros factores de ponderación de los tejidos, obteniéndose así la dosis efectiva que mide el daño total producido.

La dosis se mide en Sievert (Sv), aunque cuando se habla de protección radiológica es más frecuente utilizar la milésima parte de esta unidad (miliSievert, mSv) o incluso, la millonésima parte (microSievert, μ Sv). Las diferentes magnitudes para la medición de las radiaciones ionizantes son resumidas en la figura 12 (35, 36).



Figura 12. Magnitudes y unidades de medida de las radiaciones ionizantes (Fuente: adaptado de Foro Nuclear, 2018).

Cuando las personas están sometidas a radiaciones, a consecuencia de haber incorporado a su propio cuerpo algunos materiales radiactivos (contaminación interna), la dosis que recibirán durante los 50 años siguientes a esa incorporación se denomina **dosis comprometida**. En los casos en que las personas están sometidas a radiaciones procedentes del

exterior de la propia persona se habla de **irradiación** (14).

Tipos de exposición

El sistema de protección radiológica recomendada por el ICRP reconoce tres categorías diferentes de situaciones en las cuales puede resultar en exposición a la radiación:

1. *Situaciones de exposición planeadas.* Estas son situaciones en las cuales una práctica llevará a la exposición de la radiación de forma deliberada. Un ejemplo de esto es el uso de la radiación en el diagnóstico y tratamiento médico; situaciones que alternativamente se pueden presentar en la práctica veterinaria.
2. *Situaciones de exposición de emergencia.* Donde la acción urgente podría ser necesaria para evitar o reducir el efecto de una situación anormal. Por ejemplo, en el evento de un accidente nuclear, los voluntarios pueden estar sujetos a altas exposiciones de radiación en orden a salvar vidas o a restablecer el control y reducir todas las consecuencias.
3. *Situaciones de exposición existentes.* Aplica en circunstancias donde la población está siendo expuesta a una fuente de radiación existente como un resultado de, por ejemplo el efecto después de una emergencia o altos niveles de radiación natural (37, 38).

Categorías de exposición

Se han considerado tres categorías para los tipos de exposición, los cuales son importantes para determinar la carga de la radiación recibida:

1. *Exposición ocupacional.* Es aquella que se produce durante el desarrollo del trabajo con fuentes de radiación ionizante artificiales o naturales incrementadas por la acción humana. Como ejemplo, la exposición de los médicos veterinarios durante la toma de placas radiográficas (Figura 13), esto implica que reciben una alta carga de radiación por efecto de su trabajo (12, 39, 40).
2. *Exposición médica.* Este tipo de exposición es consecuencia de los procedimientos de diagnóstico o de tratamiento a que pueden ser sometidos los individuos, es decir la que recibe el paciente humano o animal, producto del procedimiento médico (Figura 14) La carga de radiación debe ser baja pues solo se toman unas pocas vistas (41).



Figura 13. Médico veterinario realizando una placa radiográfica. Fotografía tomada en el Centro de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad CES por Hernán Carvajal Restrepo.

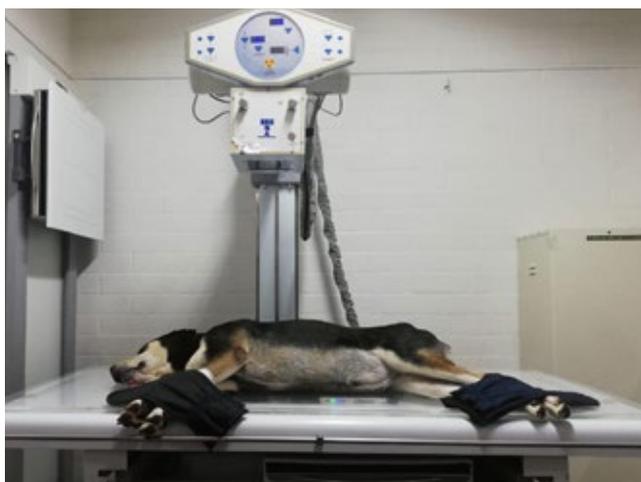


Figura 14. Exposición médica de un paciente veterinario. Fuente: Juan Pablo Villegas, docente de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad CES.

3. *Exposición del público.* Comprende todas las exposiciones no incluidas en las ocupacional o en la médica. Es decir que corresponde a la exposición que podría presentarse afectando al público que no participa del uso de fuentes de radiación ionizante. La carga de exposición debería ser nula (12, 42).

Por otra parte, hay una clara diferenciación entre las denominadas “exposiciones normales” con certeza de que se produzcan a causa de las actividades que se desarrollan en una práctica o intervención y las “exposiciones potenciales”, que solo se producirán en caso de fallo o accidente de los sistemas de seguridad y protección (14).

Una gran diferencia en la práctica veterinaria frente a los procedimientos en humanos, es la ubicación del operario respecto a la fuente emisora de radiación ionizante, debido a la necesidad regular de ayudar a la inmovilización del paciente lo cual implica la posibilidad de recibir dosis mayores durante los procedimientos, por lo anterior el uso de los blindajes es muy importante (Figura 15).

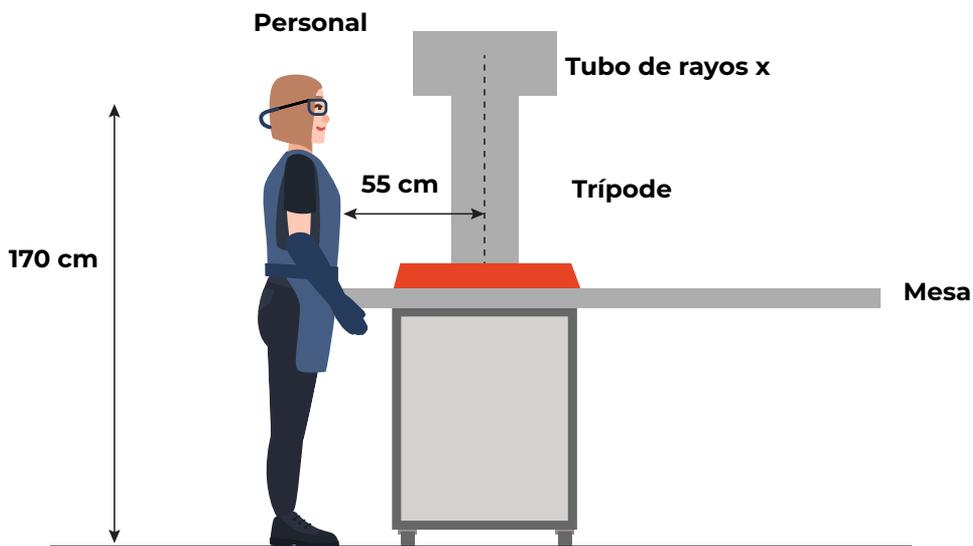


Figura 15. Posición durante la exposición ocupacional.
Fuente: Adaptado de Roth y Klaus (13).

El operario en la práctica veterinaria se ubica a una distancia aproximada de 55 cm del haz primario, cuando esta erguido, lo que implica un factor de exposición debido a la cercanía de su cuerpo al haz. Adicionalmente,

al hacer la aprehensión o restricción física del paciente el operario se desplaza hacia adelante doblando sus rodillas y acercando el rostro al haz primario, lo cual puede ser un factor mayor de riesgo, pues su cara se ubicará a distancias menores de 35 cm del haz (Figura 16) (13). Lo anterior demostraría la importancia de usar técnicas de inmovilización, fijación y control químico (manejo farmacológico mediante sedantes, tranquilizantes, hipnóticos, anestésicos) en los pacientes veterinarios pues como se expresa más adelante, ubicarse a mayor distancia de la fuente reduce de manera significativa el riesgo por exposición (43).

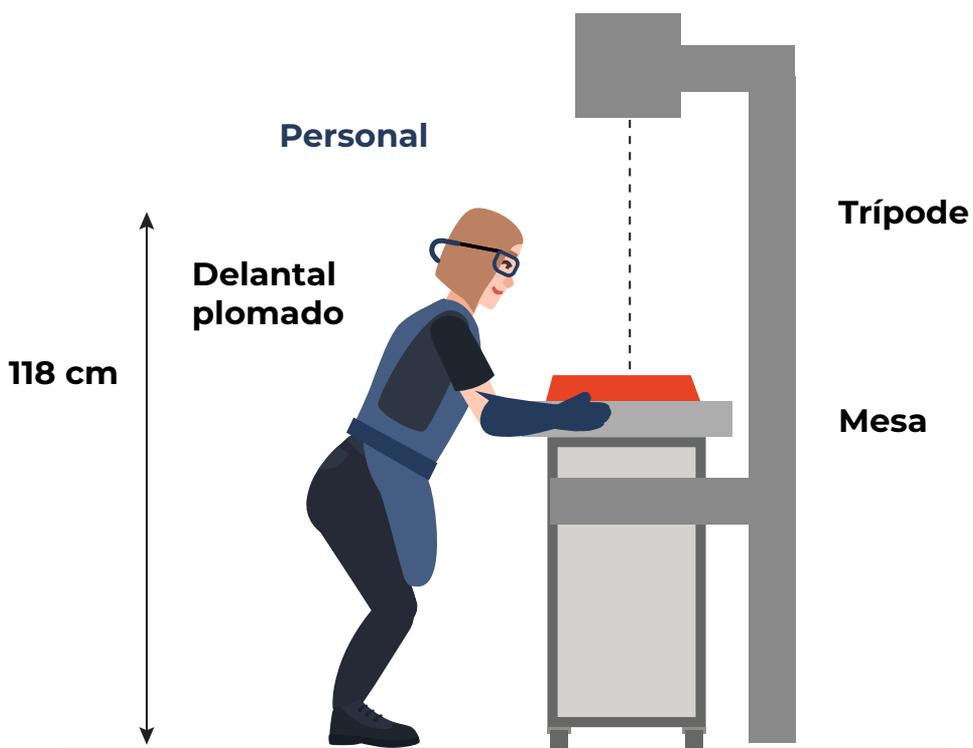


Figura 16. Posición durante la exposición ocupacional haciendo restricción sobre el paciente. Fuente: Adaptado de Roth y Klaus (13).

En el lenguaje cotidiano, el término “riesgo” tiene diferentes acepciones. Una de ellas es “la amenaza de un suceso indeseable” que incluye tanto la probabilidad de aparición como el tipo de suceso. En el campo de la protección radiológica, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) utiliza el término “riesgo” como la probabilidad de que se produzca un efecto perjudicial teniendo en cuenta, no solo su probabilidad, sino también la gravedad del suceso (14).

APLICACIONES MÉDICAS

Radiodiagnóstico veterinario

De acuerdo con la resolución 0482 de 2018 del Ministerios de Salud y Protección Social, la radiología veterinaria es la práctica que hace uso de equipos generadores de radiación ionizante para irradiar animales con fines de diagnóstico o tratamiento y que tiene una influencia directa con relación al alcance de esa exposición sobre el personal que opera dichos equipos y el público (4).

Los rayos X es una de las herramientas diagnósticas más común en la práctica de imágenes médicas veterinarias para grandes y pequeños animales. Las pruebas iniciales para lograr imágenes radiográficas posteriores al descubrimiento de los rayos X por Roëntgen fue usando modelos animales, y pocos meses después del descubrimiento se efectuaron las primeras imágenes con fines de diagnóstico veterinario y médico humano (10).

Se conoce con el nombre de **radiodiagnóstico** el conjunto de procedimientos de exploración y visualización de las estructuras anatómicas del interior del cuerpo humano y animal mediante la utilización de rayos X. Ocupa un lugar preponderante entre las técnicas de imagen debido al gran número de instalaciones, de exploraciones que se realizan y de profesionales que se dedican a esta especialidad. La continua aparición de nuevas técnicas e indicaciones hace que día a día se incrementa el número de actos médicos en los que se utilizan los rayos X (14).

A nivel de los centros de atención animal (consultorios, clínicas y hospitales), y considerando la posibilidad de la valoración de animales en granja, se han identificado dos grupos de tipos de equipos:

1. *Equipos fijos.* Esaquel dispositivo que por sus características estructurales implica permanecer en un espacio fijo, regularmente cuentan con un cabezote donde se ubica el tubo generador de rayos X; se regula la altura del tubo a partir de un brazo fijo y presenta una mesa con porta chasis o dispositivo receptor) (9), regularmente cuentan con un transformador

de voltaje de gran tamaño para generar el kilovoltaje requerido para la generación de los rayos X y suelen tener un peso superior a los 30 kg y permanecen en la sala de radiología y por su condición de estructura no se pueden movilizar. Estos equipos pueden ser:

2. *Equipos de pared de uso en odontología – remano facturados.* Son de baja potencia (generan menos de 60 Kv) y regularmente no disponen de colimador. No son recomendados por la cantidad de radiación dispersa que generan (44).
3. *Equipos de uso humano – nuevos o remanufacturados.* Ofrecen prestaciones similares a los equipos veterinarios.
4. *Equipos de uso exclusivo veterinario.* Son aquellos fabricados técnicamente para ser utilizados con animales y en entornos de riesgo para el equipo y regularmente disponen de programas o software específicos para uso en animales
5. *Equipos móviles o portátiles.* Son equipos pequeños, que pueden tener soporte de brazo y un transformador de tamaño de bajo volumen; su peso oscila entre 15 – 25 kg. Se usan en todas las especies animales. Son fácilmente transportables y pueden usar baterías como fuentes de poder.

Los equipos fijos y portátiles tienen las mismas características funcionales y estructurales, pero con la diferencia de la portabilidad o movimiento que permite hacer uso en campo o bien desplazándolo dentro de las diferentes áreas de la clínica permitiendo diferentes alternativas para la generación de la energía requerida para la toma de placas radiográficas. En la figura 17, se muestran los dos tipos de equipos:

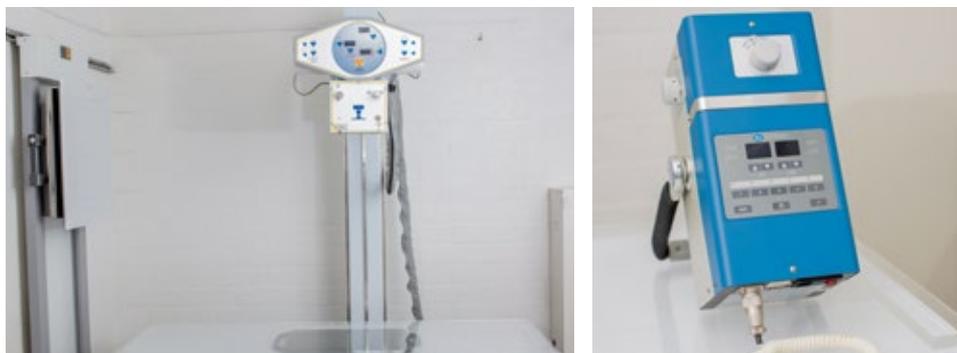


Figura 17. Tipos de equipos de uso médico veterinario (fijo y portátil).
Fotografía tomada en el Centro de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad CES por Hernán Carvajal Restrepo.

Los rayos X se producen de forma artificial en un tubo de vacío (Figura 18) que tiene en su interior un filamento denominado **cátodo** el cual está fabricado de tungsteno y que al momento de encender el equipo recibe una estimulación eléctrica activando los electrones de los átomos de tungsteno, posteriormente, al momento de hacer el disparo, o sea, aplicando una determinada tensión eléctrica, donde previamente se ha definido un valor de (kilovoltaje kV) y estableciendo un determinado miliamperaje (mA) así como un tiempo en milésimas de segundo, se propiciará el movimiento de electrones desde el **cátodo** hacia el **ánodo** al chocar contra los átomos presentes en el ánodo generan una gran cantidad de calor y temperatura hasta los 3400 grados centígrados y debido al impacto de los electrones se da la formación de fotones que caen en un rayo primario (rayos X). Cuanto mayor es la tensión aplicada, mayor es la penetración de estos rayos. Esta tensión puede variar desde 25 kV hasta 140 kV en diagnóstico general (condición que dependerá del equipo).

Los rayos X formados caen sobre el paciente atravesándolo hacia un sistema receptor que puede ser analógico (chasis y placa radiográfica), o digital (Chasis o panel flat - fotosensor) (9). La imagen radiográfica es una consecuencia de la diferente atenuación, que las distintas estructuras anatómicas del paciente producen en el haz de rayos X que incide sobre él (45).

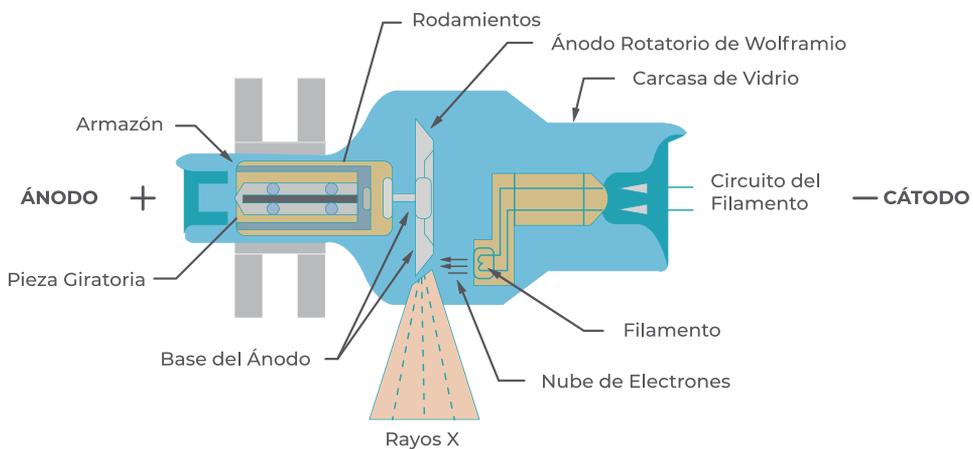


Figura 18. Estructura del tubo de rayos X. Fuente: adaptado de Sabate J, 2012 (46).

El lenguaje usado para describir las zonas anatómicas se basa en los contrastes generados por los tonos de blanco, gris y negro. Las zonas oscuras se denominan **radiolúcidas** o radiotransparentes y las zonas blancas se denominan **radiopacas** (45). Si a un paciente se le hace una radiografía

de tórax, la parte de la radiografía correspondiente al pulmón estará más oscura (radiolúcida) que una zona que represente al hueso (radiopaca), ya que los pulmones fundamentalmente tienen aire y por tanto menor densidad tisular y este atenúa menos la radiación que el hueso (mayor densidad tisular), limitando el paso de la radiación, por tanto, en la zona del pulmón la película radiográfica recibirá más radiación y aparecerá más oscura.

Radiografía convencional

En esta técnica, el sistema receptor de la imagen radiográfica es una placa fotográfica. Al incidir el haz de rayos X sobre la película, posterior a atravesar el paciente, esta se impresiona formándose una imagen latente, que se pondrá de manifiesto al realizar el proceso de revelado de la placa generando la imagen visible (45).

Dentro de la radiología convencional, existen distintos tipos de exámenes radiológicos que se denominan en función de la ubicación anatómica y sí se usan o no sustancias para generar contrastes; cuando no se usan medios de contraste se denominan placas o **radiografías simples** y sí se usa un contraste se denominan **radiografías contrastadas** y los componentes anatómicos por región anatómica son: cráneo, cuello, tórax, abdomen; columna cervical, torácica, lumbar, y coccígea; miembros anteriores y miembros posteriores, etcétera.

Otro tipo de exploraciones convencionales muy habituales son las dentales. Se realizan con equipos especiales. Las radiografías más comunes en este campo son las intraorales y las ortopantomografías (14).

Medios de contraste

Los medios de contraste son sustancias que se administran al paciente por diferentes vías (oral, rectal, intravenosa, entre otras) para poder observar órganos que no eran evidentes o no son claros en una placa simple. Estos permiten determinar la posición, el tamaño, la forma, la arquitectura interna y la función de un órgano. Por ejemplo la velocidad del vaciado gástrico (47).

Propiedades requeridas para un medio de contraste:

- Diferente poder de absorción de los tejidos.
- Sin efectos colaterales o tóxicos (mínima irritación tisular).
- Capacidad de ser miscible con fluidos internos (delineación exacta de un órgano).

- Persistencia durante un tiempo suficiente para tomar las radiografías (fácil excreción total del organismo).

Tipos de medios de contraste

Existen dos grupos de medios de contraste que se diferencian porque absorben más o menos radiación incidente, en comparación con los tejidos circundantes (48). Regularmente se clasifican en negativos, positivos, y la mezcla de los dos se conocen como técnicas mixtas o doble contraste:

1. *Negativos.* Generan imágenes con mayor radiolucidez que los tejidos circundantes por lo que se observan más oscuros. Se utilizan los gases como el Oxígeno (O₂), el dióxido de carbono (CO₂) y el aire, para obtener los contrastes negativos, el más empleado es el aire, porque es el más económico. Estos no se deben administrar por vía intravenosa. Se utilizan para neumocistografías, neumogastrografías, neumocolón o neumoperitoneografía (49).
2. *Positivos.* Son sustancias que presentan mayor densidad que los tejidos, generando imágenes radiopacas por lo que se observan más blancos. Son elementos de alto número atómico y los más empleados son el Sulfato de Bario y los yodados.

El Sulfato de Bario, es un polvo de color blanco que se debe preparar dependiendo del espesor requerido, se utiliza principalmente para el tracto gastrointestinal. Es de baja toxicidad, da un excelente detalle de las mucosas, no es absorbido y es palatable (49).

Los Yodados Iónicos y no Iónicos: se administran por vía intravenosa en el torrente sanguíneo para urogramas, cistogramas, cardioangiografía, venografía portal, entre otras. Son sustancias hidrosolubles y se metabolizan rápidamente. Los yodados igualmente son usados para las mielografías (6,47,49).

Fluoroscopia

Es una técnica poco utilizada en medicina veterinaria, limitada por el costo, pero existen publicaciones sobre su uso en abordajes quirúrgicos, así como para valoración de tráquea y esófago. La técnica se basa en que el receptor de la imagen radiográfica es una pantalla fluorescente que se ilumina al incidir sobre ella el haz de rayos X de baja potencia, pero mayor intensidad en una estructura conocida como Arco en C (Figura 19). La diferente intensidad de la luz emitida en las distintas partes de la pantalla

produce la imagen. La intensidad de esta imagen luminosa que aparece en la pantalla es amplificada por medio de intensificadores de imagen y recogida por una cámara de televisión para ofrecerla en un monitor CRT (Tubo de rayos catódicos) (50–52). La emisión de energía es constante y genera radiación ionizante durante todo el procedimiento (23, 53).



Figura 19. Fluoroscopia veterinaria en pequeños animales. Fotografía tomada en el Centro de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad CES por Hernán Carvajal Restrepo.

En este caso la emisión de radiación puede prolongarse durante un cierto tiempo, para seguir a través de la pantalla de TV el proceso dinámico que se quiera observar.

A veces interesa observar regiones anatómicas cuya densidad es muy semejante a la zona que le circunda, en este caso para visualizarlas se utilizan contrastes. Un ejemplo de esta práctica son los estudios gastro-duodenales, en los cuales el paciente se le administra una papilla de bario durante el estudio (14).

Radiología digital

En la última década en los Centros de Atención Animal se ha incrementado de forma significativa el cambio de la técnica analógica convencional que generaba imágenes sobre placas radiográficas a la técnica digital que no requiere procesos de revelado y tampoco necesita cuarto oscuro.

Sumado a lo anterior de forma lenta pero creciente han surgido nuevas tecnologías como la Tomografía Axial Computarizada conocida como TAC y la Resonancia Magnética que mejoran de forma significativa la capacidad diagnóstica por medio de las imágenes.

La aplicación de la informática al diagnóstico médico veterinario ha supuesto una importante incidencia en la obtención, almacenamiento y tratamiento de imágenes (54). El manejo digital de las imágenes médicas se utiliza en técnicas como la tomografía computarizada (TC), la angiografía digital, la medicina nuclear, y con la ayuda de potentes *software*, permite generar y reconstruir imágenes en tres dimensiones con la capacidad de manipularlas por parte del técnico para apreciar detalles anatómicos más precisos que con las técnicas de rutina como la radiografía o la ecografía. Sin embargo, aún son pocos los equipos disponibles, limitando el acceso a estas tecnologías para la práctica veterinaria (9, 48, 52).

Son varias las ventajas técnicas de las imágenes radiográficas digitales en las cuales incluimos el menor tiempo en el procesamiento de la imagen (la imagen es lograda en menos de un minuto). Una característica muy importante de la imagen digital es que esta se puede tratar, mejorando su calidad y contraste, mediante las herramientas de software con las que cuenta el dispositivo. También se pueden seleccionar determinadas zonas de la imagen para su estudio más detallado, permitiendo hacer magnificaciones digitales (9, 55, 56).

En la actualidad, el desarrollo de la informática permite no solo el tratamiento sino también la transmisión de dichas imágenes a larga distancia y la posibilidad de su archivo electrónico en formatos de fácil acceso (54). Además, permite disminuir el número de estudios repetidos por errores de la técnica de exposición, lo que conlleva una reducción de dosis a los pacientes (54).

Una aplicación muy importante de este tipo de radiología es la sustracción digital, que consiste en eliminar de una imagen radiográfica, aquellas estructuras anatómicas que no se desea estudiar, destacando previamente la zona de interés, mediante la administración por vía intravenosa de contrastes (14).

Tomografía computarizada (TC)

La tomografía es una tecnología que recientemente se ha ido introduciendo dentro de la práctica clínica veterinaria en latinoamérica, estando limitada por el alto costo de los equipos. Esta técnica permite obtener imágenes de cortes transversales a manera de tajadas o rebanadas de forma secuencial del cuerpo humano o animal cuyo tratamiento informático posibilita su reconstrucción en tres dimensiones (3D) (Figura 20), donde se aprecia un corte axial en abdomen y una reconstrucción digital 3D de la zona abdominal).

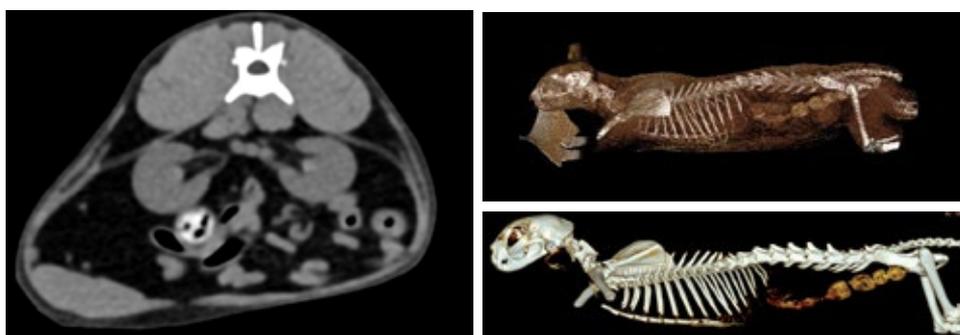


Figura 20. Tomografía abdominal veterinaria. Fuente: Juan Pablo Villegas, docente de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad CES.

Dependiendo de la tecnología desarrollada el equipo puede generar rebanadas muy delgadas mejorando la capacidad diagnóstica de la imagen. Estas, permiten visualizar con nitidez diversas estructuras anatómicas como: huesos, órganos, nervios, etc. y patologías que no se podían diagnosticar con la radiología convencional, pero no excluye la presencia de artefactos.

Un **artefacto** o **artificio** se define como una distorsión, adición o error en una imagen que no tiene correlato en el sujeto o región anatómica estudiada. Como término, deriva de las palabras latinas *artis* (artificial) y *actum* (efecto), y se refiere a un efecto artificial que altera la calidad y fidelidad de una imagen, pudiendo encubrir una patología o crear hallazgos falsos (49, 57).

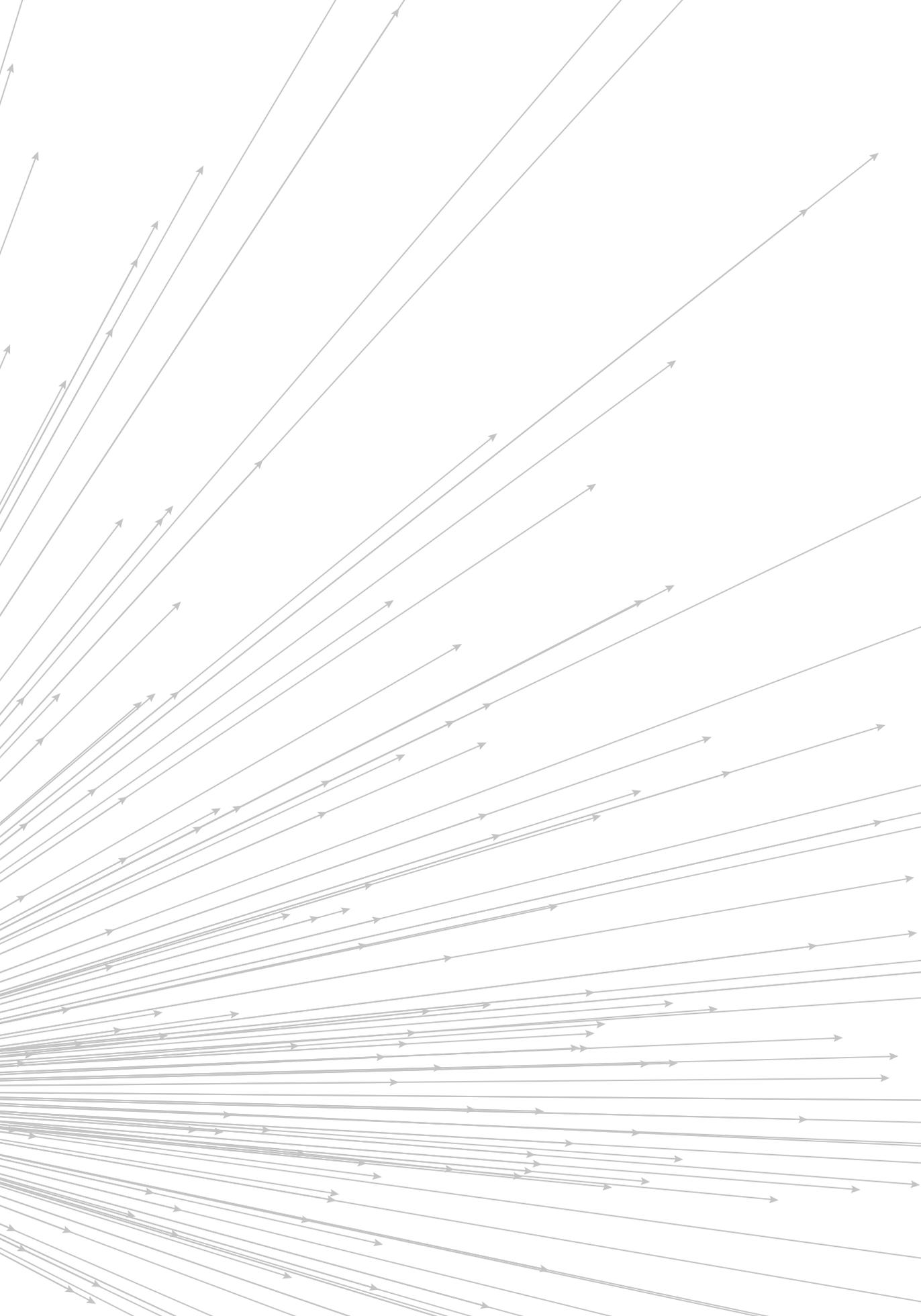
En la tomografía se utiliza un haz de rayos X muy estrecho que gira alrededor del cuerpo del paciente en una estructura llamada el Gantry (Figura 21). Las imágenes se construyen a partir de la información suministrada por unos detectores distribuidos sobre un arco, que reciben la radiación dispersada por el organismo.



Figura 21. Paciente en proceso de valoración por tomografía. Fotografía tomada en el Centro de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad CES por Hernán Carvajal Restrepo.

La actividad de la máquina genera niveles de radiación ionizante que igualmente deben ser monitoreados, aplicando los mismos mecanismos que para la radiología convencional (58).

La imagen obtenida esta representada en primera instancia en dos dimensiones y nos permite ver con gran nitidez los distintos planos tisulares del cuerpo en estudio. Con la radiología convencional podemos diferenciar en una placa radiográfica tejidos cuya diferencia de densidad es aproximadamente de 0,5%. En el caso de la TC, podemos definir y diferenciar tejidos con densidades de hasta 0,05% de variación (59).



PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

La radioprotección o protección radiológica tiene por objetivo garantizar la protección de los individuos (humanos y animales), de sus descendientes y de la humanidad en su conjunto, de los riesgos derivados de aquellas actividades que debido a los equipos o materiales que utilizan, suponen la exposición a radiaciones ionizantes y las consecuencias que esto conlleva (27, 36, 60).

Los pioneros de la radiología desconocieron los efectos lesivos de la exposición no controlada y sin protección a la radiación ionizante y muchos de ellos sufrieron sus consecuencias (10). El marco básico de la radioprotección y la radioseguridad necesariamente tiene que incluir valoraciones tanto de tipo social como científicas, porque la finalidad principal de la protección radiológica es proporcionar un mínimo de riesgo para las personas, animales y el medio ambiente (campo de la salud pública y la salud laboral), sin limitar indebidamente los beneficios que se obtienen del uso de la radiación con fines médicos, productivos o industriales. Además, se debe suponer que incluso dosis pequeñas de radiación pueden producir algún efecto perjudicial (14, 61, 62).

Las restricciones de dosis de radiación ionizante son valores individuales relacionados con la fuente, los cuales se utilizan para limitar el espectro de opciones consideradas en el proceso de optimización para la toma de la placa radiográfica.

En la práctica veterinaria es posible encontrar una gran variedad de tipos de equipos radiológicos utilizados y la capacidad potencial de generación de radiaciones de los mismos. En muchas actividades se puede establecer con certeza los valores de dosis individuales que recibirían los trabajadores en operaciones bien definidas; en estos casos es posible establecer restricciones de dosis que se aplicarían a la actividad laboral en cuestión.

Debido a que existen umbrales o límites (valores de la dosis por debajo de los cuales no se producen) para los efectos deterministas, es posible evitar

dichos efectos limitando las dosis recibidas por las personas (operarios), mediante mecanismos físicos de protección y distancia. No es posible, sin embargo, evitar del todo los efectos estocásticos porque no existe evidencia científica de un umbral para ellos, limitando las dosis sólo podemos reducir su probabilidad de aparición (42).

Debido a la evidencia científica y al uso potencial de la radiación, en el año de 1928, se creó un organismo internacional que se preocupa de la protección radiológica (protección de las personas y del medio ambiente contra los efectos de las radiaciones ionizantes): la ICRP (del inglés, *International Commission on Radiological Protection*), que emite una serie de recomendaciones (21, 34).

Como consecuencia del estado actual de conocimiento de los efectos biológicos de las radiaciones, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) considera que el objetivo principal de la protección radiológica es evitar la aparición de efectos biológicos deterministas y limitar al máximo la probabilidad de aparición de los estocásticos (21, 30, 37, 38).

Todas las recomendaciones generadas por la ICRP han sido adoptadas para las prácticas radiológicas en las ciencias veterinarias y se asumen con el mismo rigor que para las prácticas radiológicas de los humanos. Los tres principios básicos de las recomendaciones actuales de la ICRP son los que se expresan a continuación:

Justificación

No debe adoptarse ninguna práctica que signifique exposición a la radiación ionizante si su introducción no produce un beneficio neto positivo. Naturalmente, la práctica que implique la exposición a las radiaciones ionizantes debe suponer un beneficio para la sociedad. Deben considerarse los efectos negativos y las alternativas posibles (41).

Optimización (Principio Alara)

“Alara” son las siglas inglesas (*As Low As Reasonably Achievable*) de la expresión “Tan bajo como sea razonablemente posible”. Todas las exposiciones a la radiación deben ser mantenidas a niveles tan bajos como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores sociales y económicos (14, 28).

Toda dosis de radiación implica algún tipo de riesgo; por ello no es suficiente cumplir con los límites de dosis que están fijados en la normativa nacional, el médico veterinario debería estimar la potencia mínima requerida para lograr la imagen. Las dosis deben reducirse aún más, siempre que sea razonablemente posible, se deben usar las técnicas que permitan reducir el nivel de exposición (colimación y rejillas).

Límite de dosis

Las dosis de radiación recibidas por las personas no deben superar los límites establecidos en la normativa nacional, garantizando que las personas no sean expuestas a un nivel de riesgo inaceptable. Estos han de ser respetados siempre sin tener en cuenta consideraciones económicas. El uso del criterio Alara está también exigido legalmente (14, 21, 42) (Figura 22).



Figura 22. Dosis Efectiva y Dosis Equivalente.
Fuente: Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

En Colombia las recomendaciones de la ICRP están contenidas en el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (Ley 09 de 1979 y resolución 9031 de 1990, la resolución No. 18 1434 de diciembre 5 de 2002 del Ministerio de Minas y Energía y la Resolución 0482 de 2018 del Ministerio de Salud y Protección Social) (1–4). La ICRP revisó algunos de los límites de dosis en noviembre de 1990, y como consecuencia de ello, los nuevos límites han sido incorporados (Cuadro 1) en la Directiva de Protección Radiológica de la Unión Europea y en las reglamentaciones de los Estados Miembros (14).

Aplicación	Ocupacional	Público
Dosis efectiva	100 mSv en un periodo de 5 años oficiales, no superando 50 mSv en un año.	1 mSv/año de oficial
Dosis equivalente anual en:		
Cristalino	150 mSv	15 mSv
Piel	500 mSv	50 mSv

Cuadro 1. Dosis Efectiva y Dosis equivalente. Fuente CSN.

La aplicación del criterio Alara tiene especial importancia para reducir las dosis a valores sensiblemente inferiores a los fijados como límite.

Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE)

El Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) debe:

- Cumplir las reglas y procedimientos de protección y seguridad radiológica aplicables al ejercicio de sus funciones, especificados en los manuales de protección y seguridad radiológica y de procedimientos técnicos.
- Hacer uso adecuado de los elementos de protección personal, así como de los dispositivos de vigilancia radiológica individual (dosímetros) que se le suministren.
- Proporcionar al titular o al responsable de la operación y funcionamiento la información necesaria sobre sus actividades laborales pasadas y actuales, que pueda contribuir a mejorar la protección y seguridad radiológica propia o de terceros.
- Recibir y acatar la información, instrucciones y capacitación relacionadas con la protección y seguridad radiológica, a fin de realizar su trabajo de conformidad con los requisitos y obligaciones establecidos en las normas vigentes.
- Evitar todo acto deliberado o por negligencia que pudiera conducir a situaciones de riesgo por incumplimiento de las normas de protección

y seguridad radiológica vigentes, así como comunicar oportunamente al titular o al responsable de la operación y funcionamiento la existencia de circunstancias que pudieran afectar el cumplimiento adecuado de dichas normas (63).

Medidas básicas de protección radiológica

En medicina veterinaria se deben tomar exactamente las mismas medidas de radioprotección que se usan en otros campos disciplinares. La aplicación de acciones durante la práctica radiológica debe ser utilizada en cualquier punto del sistema que vincula las fuentes con los individuos (61). Tales acciones pueden aplicarse sobre:

- La fuente emisora de radiación ionizante (equipo de rayos X).
- El medio ambiente, es decir, los caminos por los que las radiaciones de las fuentes pueden llegar a los individuos (entorno).
- Los individuos expuestos (operario y paciente).

Las medidas de control sobre la fuente se consideran como medidas prioritarias, y allí el médico veterinario deberá seleccionar el kilovoltaje y miliamperaje más apropiado para la toma de la placa radiográfica además de colimar el rayo minimizando la exposición mientras que las medidas aplicables al medio ambiente y a los individuos son más complejas de aplicar y, se requiere de infraestructuras que cumplan la norma técnica referente a las instalaciones (62).

El control de la exposición al público conviene realizarlo mediante la aplicación de medidas a la fuente, adecuada infraestructura física determinado por el carácter de las instalaciones y una adecuada señalización que indique los riesgos y, solo en el caso de que puedan no ser efectivas, se aplicarán al medio ambiente o a los individuos (Figura 23).

La señalización debe ser clara, precisa, usar los logos y símbolos establecidos internacionalmente y resaltar el riesgo para mujeres en embarazo y menores de edad (4).



Figura 23. Señalización y advertencias por radiación ionizante. Fotografía tomada en el Centro de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad CES por Víctor Hernán Arcila.

Los riesgos de irradiación a la que están sometidos los médicos veterinarios y sus operarios se reducen aplicando las siguientes medidas generales de protección:

- **Distancia.** Aumentando la distancia entre el operador y la fuente de radiación ionizante, la exposición disminuye en la misma proporción en que aumenta el cuadrado de la distancia. En muchos casos bastará con alejarse suficientemente de la fuente de radiación para que las condiciones de trabajo sean aceptables. Condición que se limita en la práctica veterinaria si se sostiene el paciente.
- **Tiempo.** Disminuyendo el tiempo de exposición todo lo posible, se reducirán las dosis. Es importante que los técnicos o veterinarios que vayan a realizar operaciones con fuentes de radiación estén capacitados, en buenas prácticas radiológicas con el fin de invertir el menor tiempo posible en ellas.
- **Blindaje.** En los casos en que los dos factores anteriores no sean suficientes, será necesario interponer un espesor de material absorbente, blindaje, entre el operador y la fuente de radiación (41, 55, 64) (Figura 24).

3 Reglas de oro para evitar la irradiación



Figura 24. Tiempo, distancia, blindaje. Fuente: adaptado de Foro Nuclear.

Según sea la energía y tipo de la radiación, será conveniente utilizar distintos materiales y espesores de blindaje.

Las radiaciones **alfa (α)** recorren una distancia muy pequeña y son detenidas por una hoja de papel o la piel del cuerpo humano. Las radiaciones **beta (β)** recorren en el aire una distancia de un metro aproximadamente, y son detenidas por unos pocos centímetros de madera o una hoja delgada de metal. Las radiaciones **gamma (γ)** recorren cientos de metros en el aire y son detenidas por una pared gruesa de plomo o cemento (Figura 25).

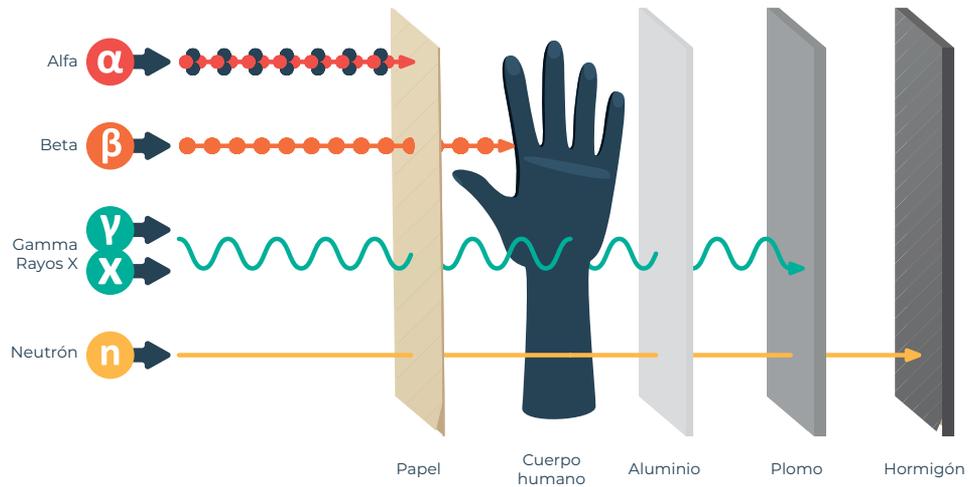


Figura 25. Radiación particulada y capacidad de penetración en el material. Fuente: adaptado de Iniguez, 2014.

Consideraciones en la radioprotección veterinaria

La radioprotección personal del médico veterinario y sus operarios, o bien del personal técnico que participe de la toma de placas radiográficas o que manipule el equipo de radiación ionizante debe usar en todo proceso de generación los siguientes implementos que actuarán como barreras físicas o blindajes para la radiación.

- Gorro protector de cráneo.
- Gafas/lentes o caretas protectores de ojos.
- Protector de cuello o tiroideo.
- Chaleco o faldón protector de pecho.
- Protector gonadal.
- Guantes plomados.

Adicionalmente a estas barreras personales estan las barreras físicas como el uso de biombos móviles que pueden ser ubicados alrededor de la mesa para radiografías aumentando las barreras físicas (Figura 26); estos biombos regularmente cuentan con una pequeña ventana con vidrio plomado que permitirá verificar el adecuado proceso realizado (12, 45, 56, 63).



Figura 26. Blindajes para la protección personal. Fuente: Manrique, 2014.

Es importante resaltar que en el caso de que el propietario ayude en el proceso de sujeción o inmovilización del paciente, este debe recibir la

indumentaria adecuada que minimice los riesgos y notificarle verbalmente los riesgos de participar de este ejercicio.

Para poder protegerse, los trabajadores del área de Radiología deben conocer el posicionamiento correcto del paciente, las técnicas radiológicas, de revelado y el uso del equipo para minimizar la repetición de estudios debido a múltiples causas, ya sea porque la sujeción no fue adecuada y se movió, por error en la técnica utilizada o cualquier otra razón, ocasionando que el personal del servicio sea doblemente expuesto a la radiación.

Se debe evitar la mala praxis que se refleja en la imagen (Figura 27) y evidencia el riesgo para el operario.

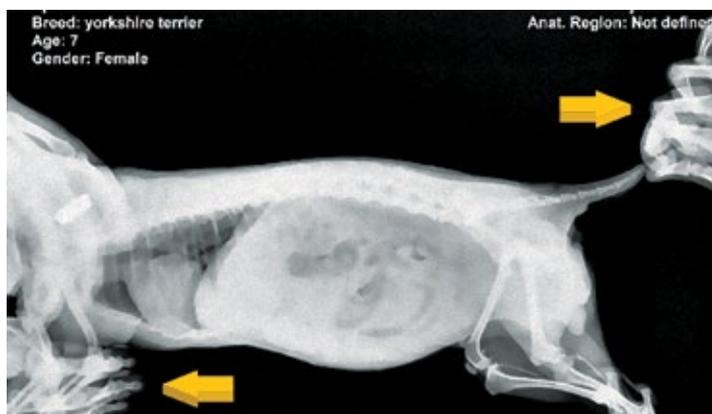


Figura 27. Ausencia de Blindaje personal en manos (véanse flechas amarillas).
Fuente: Universidad Cooperativa de Colombia, 2018.

Dosímetros y dosimetría

Dado que los órganos de los sentidos humanos no pueden percibir los rayos X, se necesitan equipos especiales de medición, y para ello se utilizan los llamados dosímetros. Las radiaciones ionizantes, por su naturaleza, requieren para su detección el empleo de dispositivos adecuados denominados genéricamente sistemas detectores (32, 65).

Estos dispositivos ponen en evidencia la presencia de un campo de radiaciones, mediante la generación de algún tipo de señal que resulte inteligible para el observador, brindando consecuentemente información cualitativa y cuantitativa acerca de la radiación de interés (31, 39).

Se consideran dos tipos de dosimetría:

- **Dosimetría de área.** En este tipo de dosimetría se usa un dispositivo que se ubica al interior del cuarto de radiología para medir los niveles de radiación que se generan y permita hacer un monitoreo permanente.
- **Dosimetría personal.** Esta dosimetría es de uso individual y se debe tener un dosímetro por cada operario técnico o auxiliar que participe de las labores de toma de placas.

Los dosímetros tienen diferentes mecanismos para medir la radiación que incluyen:

De película fotográfica cuyo principio activo es Bromuro de Plata (ion plata a plata metálica). **De termoluminiscencia o TL**, que usa como principios activos al Fluoruro de Litio y Fluoruro de Calcio (66). Adicionalmente, encontraremos **dosímetros de tipo digital** (Figura 28).

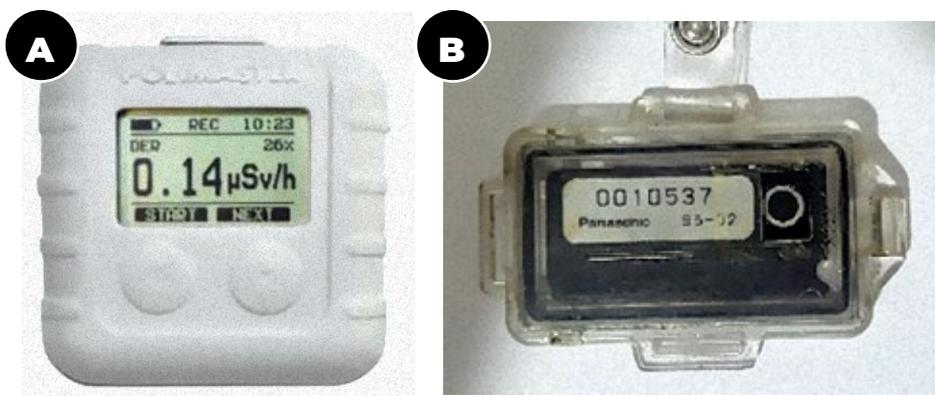


Figura 28. Dosímetros personales. (A) Tomado de Radiansa.com. (B) Fotografía tomada por Víctor Hernán Arcila.

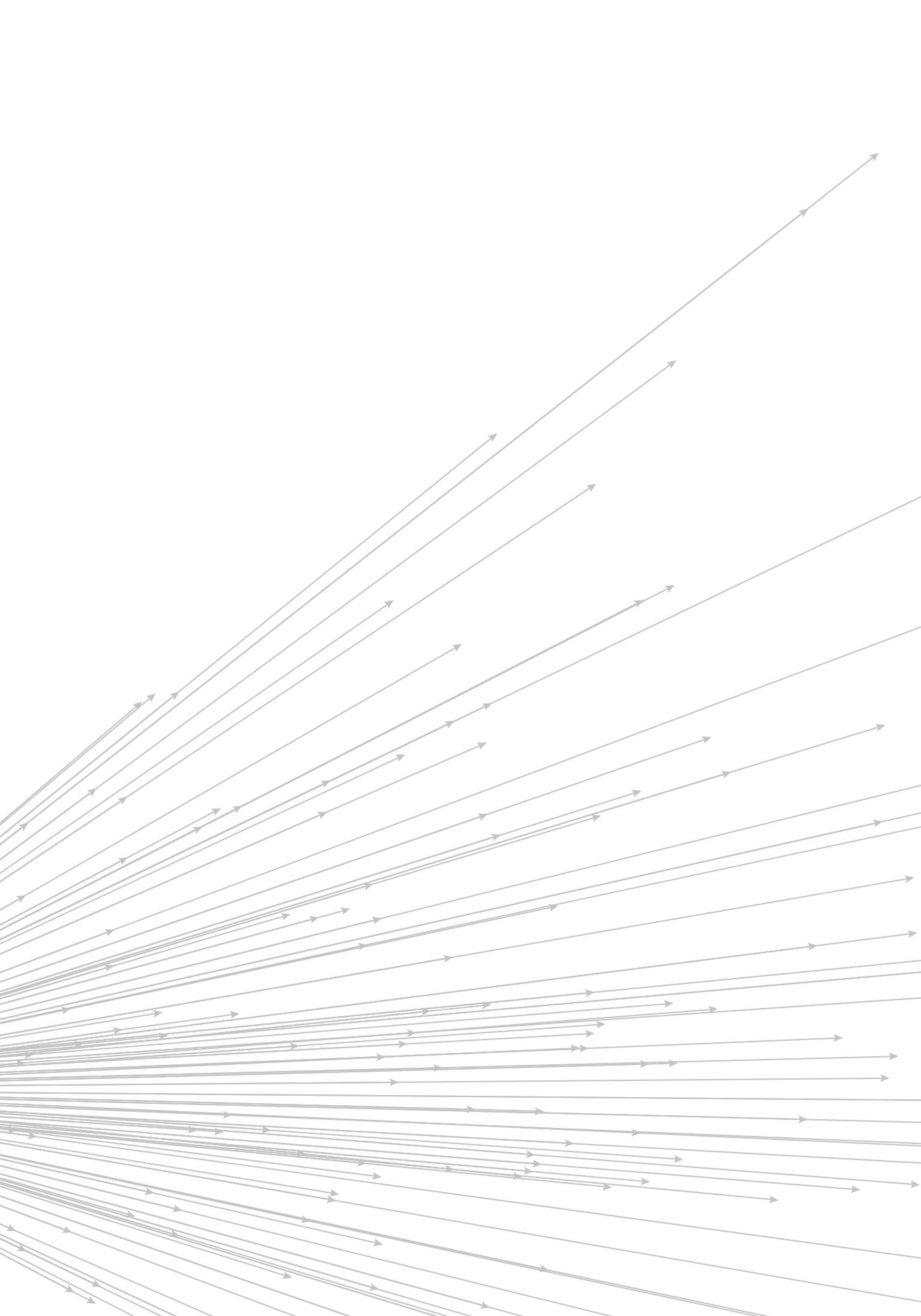
Los dosímetros pueden tener diferentes presentaciones físicas y comercialmente se pueden encontrar en forma de anillo para usar en los dedos. Igualmente, se usan dosímetros en la muñeca y el más común son los de solapa que se usan debajo del chaleco sobre el pecho del operario.

El nivel de dosis que debe ser considerado es:

- Una dosis efectiva de 20 milisievert (mSv) por año como promedio en un período de cinco años consecutivos (100 mSv en 5 años), no pudiendo excederse 50 mSv en un único año.
- Una dosis equivalente al cristalino de 150 mSv en un año.
- Una dosis equivalente a las extremidades (manos y pies) o a la piel (dosis media en 1 cm² de la región cutánea más intensamente irradiada de 500 mSv en un año.

Para estudiantes de 16 a 18 años de edad o auxiliares, que tengan que utilizar fuentes en el curso de sus estudios, la exposición ocupacional se controlará de manera que no se superen los siguientes límites:

- Una dosis efectiva de 6 mSv en un año.
- Una dosis equivalente al cristalino de 50 mSv en un año (37, 42, 67).



INSTALACIONES FÍSICAS

Definir de forma adecuada el sitio donde se ubicará la máquina de rayos X, debe ser planificado. La sala de rayos X preferiblemente no debe ser cercana a zona de permanencia de personal, como oficinas, o salas de espera, por la posibilidad de exposición pública. El área seleccionada debe ser adecuadamente señalizada en piso con el sistema de la doble línea, en paredes con los símbolos referentes a presencia de radiación, además de las advertencias precisas para evitar presencia de mujeres embarazadas y de niños en la sala de radiología.

Se deben evitar las ventanas dentro del cuarto y la existencia de las mismas obliga al uso de láminas plomadas recubriéndolas para minimizar el paso de la radiación. Igualmente, considere las condiciones de los límites externos al cuarto. La ICRP recomienda usar espacios amplios que permita una dinámica fácil durante el proceso de toma de placas radiográficas. Las paredes deben ser recubiertas con láminas plomadas o en su defecto contar con muros gruesos o contruidos con material de alta densidad que límite el paso de los rayos X.

Cuando las posibilidades de recubrimiento en plomo no sean factibles, se utilizarán otros materiales teniendo en cuenta las siguientes equivalencias: 1 mm de plomo es equivalente a:

- 17 mm de concreto y barita.
- 80 mm de concreto ordinario.
- 100 mm de ladrillo tolete.
- 200 mm de placa hueca.
- 200 mm de ladrillo hueco.

La medición técnica de la radiación ambiental mediante la dosimetría de área permitirá definir el requerimiento en cuanto al espesor de las láminas plomadas.

Aunque no es una norma obligatoria en la parte externa a la sala de radiología regularmente se instala una lámpara de advertencia que al estar encendida indica que los operarios están trabajando en la obtención de placas radiográficas y es una forma que el público externo u otros operarios evidencien el riesgo.

En este punto es importante dejar claro que comercialmente se dispone de equipos portátiles que pueden ser fácilmente movilizados por fuera de una instalación fija y que regularmente han sido usados en prácticas con grandes animales. No hay regulaciones en torno a este tema, pero se establece que todo procedimiento debe garantizar la mínima exposición ocupacional, médica y pública; cuando se trabaja en campo no se cuenta con instalaciones físicas apropiadas por lo cual se recomienda tener biombos plegables que puedan ser movilizados y ubicados estratégicamente para minimizar la radiación dispersa y los excesos de contaminación ambiental. Adicionalmente, usar soportes para mantener el chasis en posición sin que un operario reciba un rayo primario directo.

¿Son efectivos todos estos controles?

Los límites de dosis anuales fijados en Colombia, son iguales a los adoptados por otros países, definiéndose en el valor de 100 miliSieverts, acumulados en cada cinco años consecutivos con un máximo de 50 miliSieverts cada año para los trabajadores profesionalmente expuestos, y de 1 miliSievert por año para los miembros del público. Ninguno de estos valores incluye las dosis recibidas a causa de la radiactividad natural ni tampoco la recibida como consecuencia de exámenes o tratamientos médicos (41, 68).

Trabajadores expuestos

En Colombia, a partir de la entrada en vigencia de la resolución 0482 de 2018 se realizará el monitoreo continuo de las actividades que implican el uso de la radiación ionizante en centros de atención animal y a su vez por primera vez se establecerán dinámicas nacionales de registro por exposición para los médicos veterinarios, y su personal auxiliar o técnico que apoye las labores de la toma de imágenes radiográficas (4).

Miembros del público

La dosis media recibida por un miembro del público, a causa de todas las fuentes de radiación debe ser de 3 miliSieverts al año (datos de la UNSCEAR). Las dosis pueden, no obstante, variar por diversas circunstancias, desde el consumo de ciertos productos (como algún tipo de marisco), al hecho de vivir en zonas que tienen un alto nivel de radiación ambiental (30) (Figura 29).

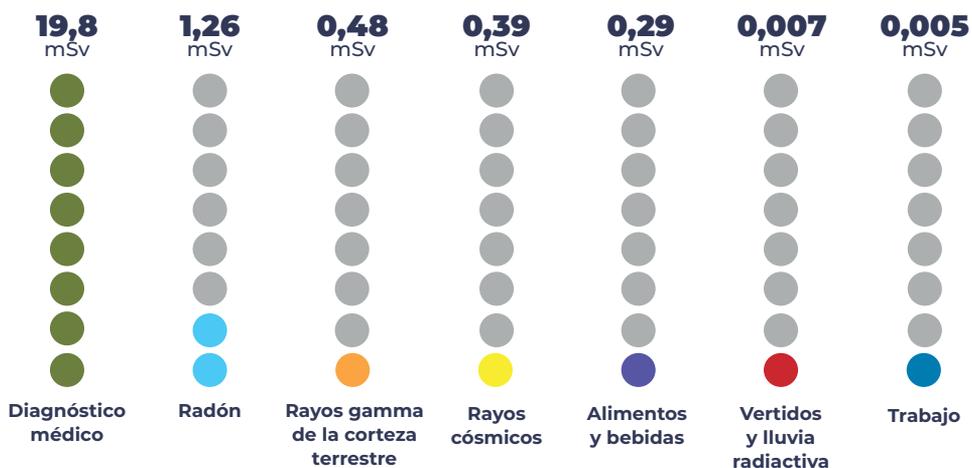
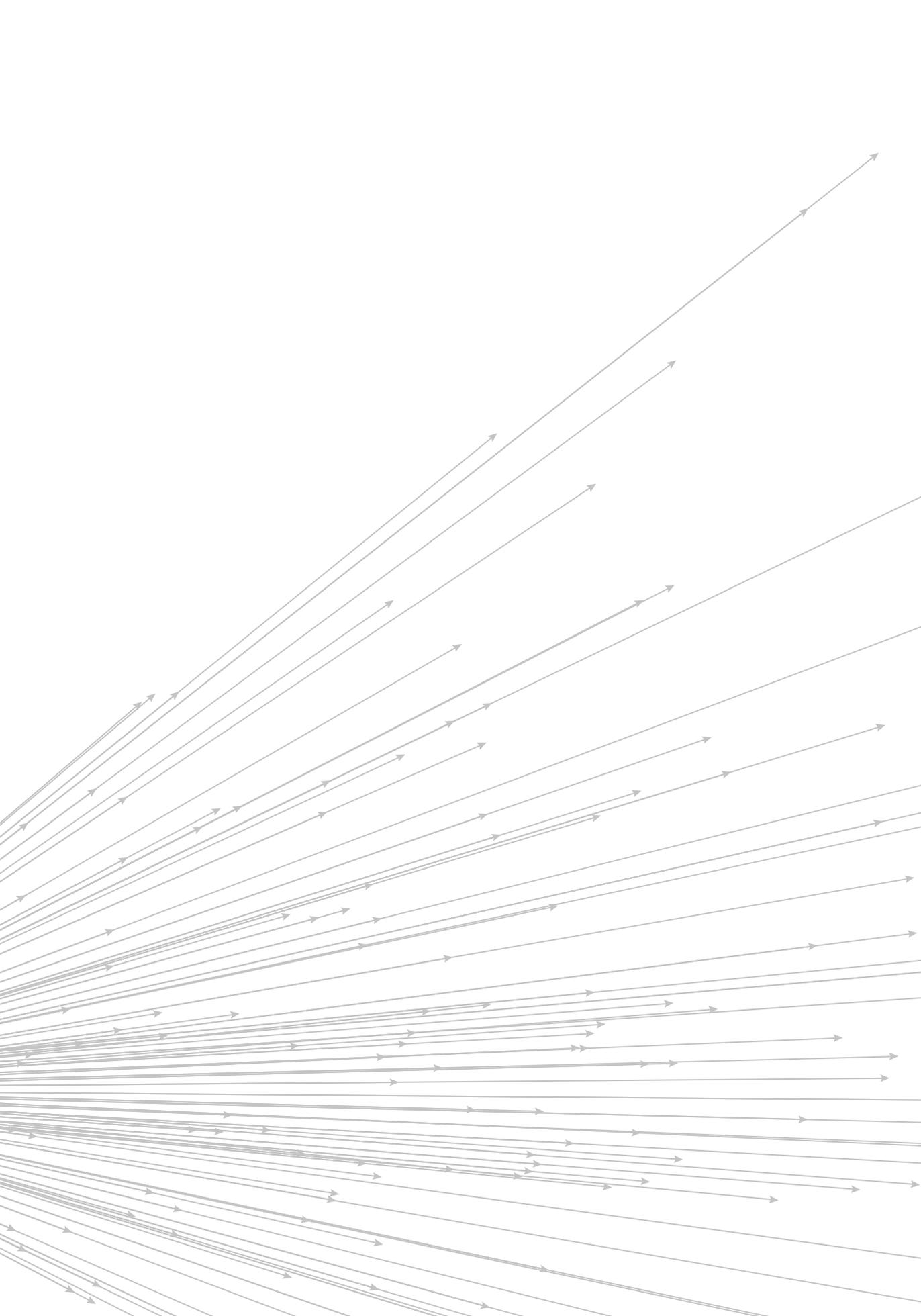


Figura 29. Fuentes alternas de radiación ionizante.

Fuente: datos tomados del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

la Resolución 482 de 2018, establece que los centros de atención animal (veterinarias) que haga uso de equipos generadores de radiación ionizante, móviles o fijos, deberán solicitar la correspondiente **“Licencia de Prácticas Médicas”** ante la entidad territorial de salud de carácter departamental o distrital de la jurisdicción en la que se encuentre la instalación donde se prevé realizar la práctica (4).



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta información técnica demuestra científicamente que la radiación ionizante es un factor de riesgo para la salud humana y animal.

Todas las personas que se expongan a radiación de cualquier tipo de fuente de radiación ionizante deberá usar elementos de protección radiológica apropiados lo cual incluye gorro, guantes, gafas o caretas, chaleco o faldón, protector de cuello y protector gonadal.

La ciencia ha demostrado en todos los casos, que al exponerse a la radiación ionizante se generan efectos estocásticos y determinísticos, por lo tanto, protegerse de la exposición es sumamente importante.

La toma de placas radiográficas debe contar con un protocolo escrito, definido previamente donde todos los operarios (profesionales, técnicos y auxiliares) conozcan tres aspectos básicos:

1. Manejo de la máquina de rayos X.
2. Importancia del uso de la radioprotección con monitoreo.
3. Manejo de tiempo, distancia y dosis.

Esto implica elegir el nivel óptimo de kilovoltaje y miliamperaje acorde al requerimiento para la toma de la placa radiográfica.

Se deben tener protocolos definidos para el control, inmovilización y sujeción de los pacientes, considerando desde los animales silvestres, acuáticos o aves, así como los animales domésticos o de producción, para disminuir la repetición de estudios y por tanto de exposición innecesaria.

Adicionalmente usar la colimación para minimizar la radiación dispersa que se pueda generar durante la actividad del tubo de rayos X.

Es muy importante contar con la infraestructura adecuada en la unidad de radiología considerando la presencia de láminas plomadas revistiendo las paredes del cuarto; la puerta de la unidad de radiología debe igualmente estar plomada bajo parámetros técnicos. Determinar la ubicación de la unidad de radiología de forma estratégica que minimice el riesgo de exposición pública o exposiciones innecesarias.

Tanto en la parte externa de la unidad radiológica como al interior de la misma, debe existir una adecuada señalización que advierta a todo individuo que está en una zona donde se genera radiación ionizante con riesgo para la salud. Además, se debe resaltar gráficamente y por texto la advertencia de no permitir el acceso a mujeres en embarazo y niños en la zona de radiología.

Se debe volver un hábito el uso del dosímetro personal e intransferible para todos y cada uno de los operarios que trabaja manipulando o apoyando la práctica radiológica y como lo exige la nueva ley realizar monitoreos mensuales del nivel de exposición alcanzado y actuar en consecuencia según los resultados.

Se deben tener protocolos de inducción y reinducción al personal que trabaja en el área de imagenología y se debe evaluar el desarrollo de las competencias técnicas mínimas.

En el caso del uso de equipos portátiles móviles, es prioritario que el profesional veterinario genere sus estrategias de radioprotección al trabajar en campo mediante el uso de biombos o materiales aislantes plomados.

Todo el personal profesional, técnico y auxiliar debe ser capacitado y actualizar sus conocimientos respecto a radioprotección y operación del equipo por instituciones certificadas.

No permita nunca que ninguna parte del cuerpo quede expuesta al haz primario ya que el plomo limita en un alto grado, pero no en el 100 por ciento.

Si debe sostener el paciente o un chasis, evite que la cabeza y la vista estén cerca del haz primario para proteger las estructuras del globo ocular como el cristalino y la córnea. Las gafas con cristal plomado protegerán frente a este efecto. Evite tomar radiografías sin el uso de los guantes, pues sus manos recibirán la energía del haz primario y esto es perjudicial para su salud.

Es muy recomendable el empleo de métodos alternativos para hacer la restricción, inmovilización y control físico del animal mediante el uso de fármacos (sedantes, tranquilizante o anestésicos), uso de bandas de esparadrapo, cuerdas, sacos o bolsas de arena, principalmente cuando utilice técnicas radiográficas de gran potencia.

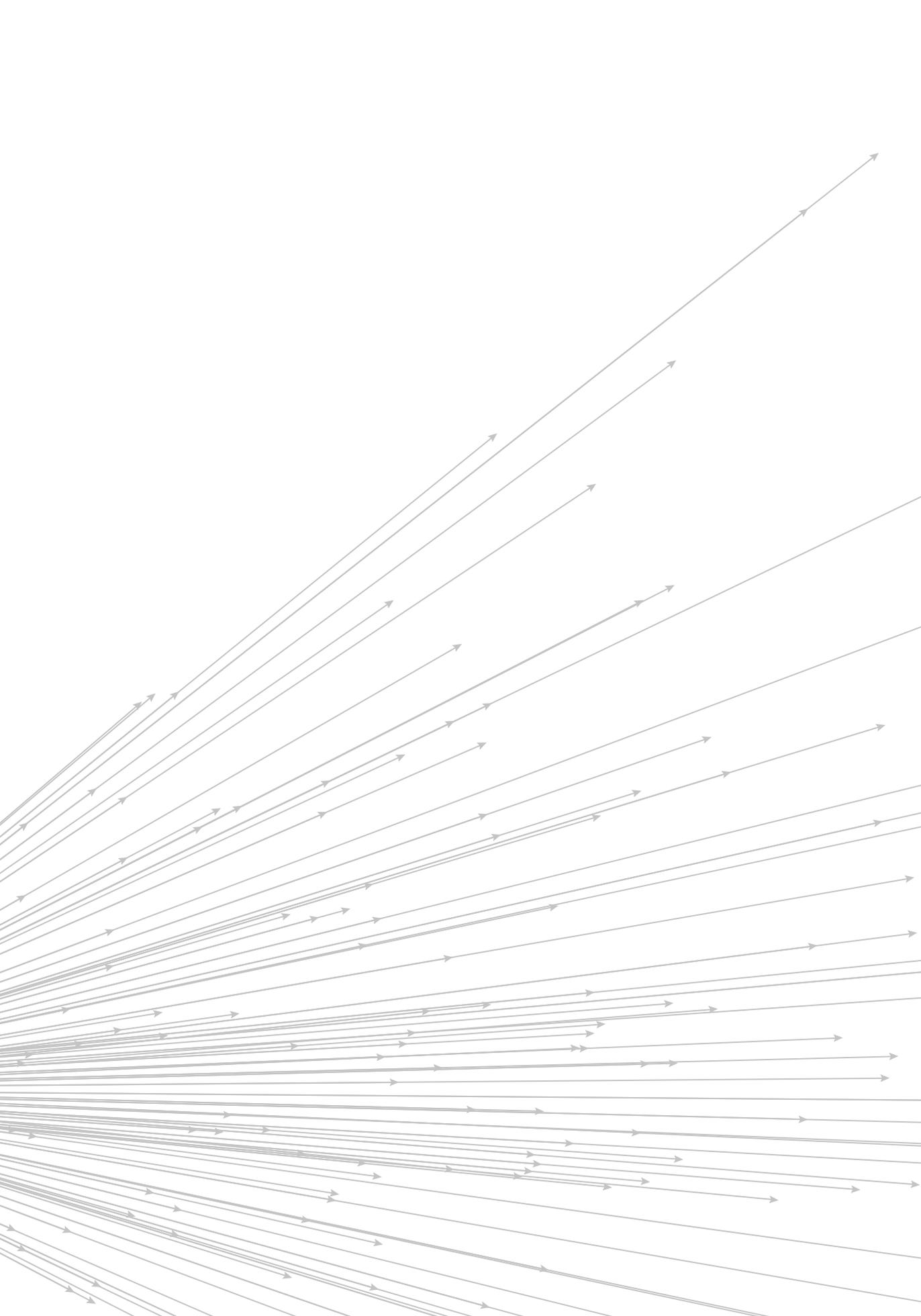
La nueva resolución 0482 de 2018 es de obligatorio cumplimiento para todos los médicos veterinarios que usen fuentes de radiación ionizante y exige que el profesional gestione una Licencia de Prácticas Médicas, frente a la entidad territorial de salud departamental y distrital, y la cual tendrá una vigencia de 6 años y considerando que los Centros de Atención Animal serán clasificados como categoría II (riesgo intermedio). Adicionalmente, el centro de atención animal tendrá un director técnico y un oficial de protección radiológica, los cuales deberán ser capacitados en temas como radioprotección y el manejo operativo del equipo de rayos X (no podrán ser la misma persona). Adicionalmente, la norma establece la contratación de un prestador de servicios de protección radiológica para el monitoreo y seguimiento de la dosimetría personal y de área.

Se deben implementar programas preventivos de vigilancia que incluyan la calibración de los equipos generadores de radiación ionizante. Y finalmente, se debe reportar el riesgo radiológico a la ARL para su respectivo seguimiento.

Toda acción que realicen los operarios en favor de mejorar las prácticas radiológicas deben ser acogidas y revisadas desde el componente técnico y científico.

La valoración para los operarios incluyendo los médicos veterinarios por parte de médicos especialistas en salud ocupacional debe ser parte de la rutina anual que debe ser seguida e implementada dentro del programa de Gestión y Seguridad de la Salud en el Trabajo.

Recuerda que la salud es lo más importante que tienes, y debes tomar todas las medidas necesarias para que tu trabajo no sea tu verdugo.



BIBLIOGRAFÍA

1. Congreso de Colombia. Ley 09 de 1979 [Internet]. Ene 24, 1979. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=1177>
2. Ministerio de Salud. Resolución número 9031 de 1990 [Internet]. p. 1-7. Disponible en: <http://www.fasecolda.com/files/4513/8670/5073/08-res.9031-1990.pdf>
3. Ministerio de Minas y Energía. Resolución 18 1434 de 2002 [Internet]. Resolución 18 1434 dic 5, 2002 p. 69. Disponible en: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23517/20914-1695.pdf>
4. Ministerio de Salud y Protección Social. Resolución 0482 de 2018 Ministerio de Salud y Protección Social [Internet]. 0482 feb, 2018. Disponible en: <http://www.bogota-juridicadigital.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=76748&dt=S>
5. Hendee WR, O'Connor MK. Radiation Risks of Medical Imaging: Separating Fact from Fantasy. *Radiology* [Internet]. el 1 de agosto de 2012 [citado el 21 de febrero de 2018]; 264 (2): 312-21. Disponible en: <http://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.12112678>
6. Thrall, Donald. *Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology*, [Internet]. 6e ed. United State: Elsevier; 2012 [citado el 26 de marzo de 2017]. Disponible en: <https://www.amazon.es/Textbook-Veterinary-Diagnostic-Radiology-6e/dp/1455703648>
7. Gallego Eduardo. *Las radiaciones ionizantes Una realidad cotidiana*. Universidad Politecnica de Madrid; 2011.
8. Cedeño, Oscar. Radiación, ondas y partículas [Internet]. Steemkr. 2018 [citado el 24 de octubre de 2018]. Disponible en: <https://steemkr.com/stem-espanol/@oscardede/radiacion-ondas-y-particulas>
9. Thrall, Donald E. *Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology*. 7th Edition. Washington (DC): Elsevier;
10. Busch U. Wilhelm Conrad Roentgen. El descubrimiento de los rayos x y la creación de una nueva profesión médica. *RAR* [Internet]. el 1 de octubre de 2016 [citado el 20 de octubre de 2018]; 80(4):298-307. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-argentina-radiologia-383-articulo-wilhelm-conrad-roentgen-el-descubrimiento-S0048761916301545>
11. CSN C de SN. Radiación natural y artificial - CSN [Internet]. Consejo de Seguridad Nuclear. 2018 [citado el 24 de octubre de 2018]. Disponible en: <https://www.csn.es/radiacion-natural-y-artificial2>
12. Bushong SC. *Manual de radiología para técnicos: física, biología y protección radiológica: décima edición*. Barcelona: Elsevier; 2013. 646 p.
13. Roth J, Klaus G. Measurement of X-ray scattering during radiography of small animals. *Schweiz Arch Tierheilkd* [Internet]. el 5 de marzo de 2016 [citado el 21 de octubre de 2018]; 158(3):187-92. Disponible en: <http://sat.gstsvs.ch/de/pubmed/?doi=10.17236/sat00055>

14. Consejo de Seguridad Nuclear. La protección radiológica en el medio sanitario / CSN. Consejo de Seguridad Nuclear; 2012.
15. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation [Internet]. First. Vol. I: Sources. New York: United Nations; 2008 [citado el 20 de febrero de 2017]. 683 p. Disponible en: http://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I.pdf
16. ECE tutorials. Photo electric effect and photo [Internet]. ECE Tutorials. Electronics and control Systems. 2014. Disponible en: <http://ecetutorials.com>
17. Cherry, Robert. Radiaciones Ionizantes. En: Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo [Internet]. Tercera. Madrid; 1998 [citado el 27 de febrero de 2017]. p. 46. Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/48.pdf>
18. Teach Nuclear. Effects of Ionizing Radiation on DNA [Internet]. [citado el 25 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://teachnuclear.ca/all-things-nuclear/radiation/biological-effects-of-radiation/effects-of-ionizing-radiation-on-dna/>
19. Gregg EC. Radiation Risks with Diagnostic X-Rays. Radiology [Internet]. el 1 de mayo de 1977 [citado el 14 de septiembre de 2016];123(2):447–53. Disponible en: <http://pubs.rsna.org/doi/10.1148/123.2.447>
20. Montoro, Alegria, Sebastiá, Natividad, Rodrigo, Regina, Hervas, David, Nacher, Oscar Alonso, Martí, Laura, *et al*. Evaluación de la radiosensibilidad del personal sanitario en procedimientos de tratamiento o diagnóstico médico con radiaciones. Seguridad y Medio Ambiente [Internet]. 2014 [citado el 25 de octubre de 2018];34(134):1–12. Disponible en: <https://seguridadypromociondelasalud.fundacionmapfre.org/n134/es/articulo2.html>
21. ICRP. International Commission on Radiological Protection [Internet]. International Commission on Radiological Protection. [citado el 28 de agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.icrp.org/index.asp>
22. Kus, Kamuran. What is radiation? [Internet]. Bilkent Universitesi. 2016 [citado el 25 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://bilheal.bilkent.edu.tr/aykonu/ay2011/radyasyoning.htm>
23. What are the health effects of exposure to ionizing radiation? - European Commission [Internet]. Health and Consumers. 2012 [citado el 10 de abril de 2017]. Disponible en: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/security-scanners/en/1-3/5-health-effect-radiation.htm
24. Gonzalez Tardío, Francesc. Información sobre radiaciones ionizantes. España: Sociedad Nuclear Española; 2015 bre de p. 15. Report No.: 03/15.
25. Hupe O, Ankerhold U. Determination of the dose to persons assisting when X-radiation is used in medicine, dentistry and veterinary medicine. Radiat Prot Dosimetry. marzo de 2011; 144 (1–4): 478–81.
26. Boice, John. Implications of radiation dose and exposed populations on radiation protection in the 21st century. Health Physics. Febrero de 2014;106 (2): 313–28.
27. Pentreath RJ. Radiological protection and the exposure of animals as patients in veterinary medicine. J Radiol Prot. Junio de 2016; 36 (2): N42-45.

28. Parikh JR, Geise RA, Bluth EI, Bender CE, Sze G, Jones AK, et al. Potential Radiation-Related Effects on Radiologists. *AJR Am J Roentgenol.* marzo de 2017; 208 (3): 595–602.
29. Uribe Navarro, José. Seguridad radiológica en Hemodinámica. 2016; Guadalajara.
30. Unsear. Sources, effects and risk of ionizing radiation. New York: United Nations; 2017 p. 512. (UnsearR report).
31. Attix, Frank Herbert. Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry [Internet]. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.; 2004 [citado el 19 de febrero de 2018]. 624 p. Disponible en: <http://paramedfac.tbzmed.ac.ir/uploads/User/28/pira/%DA%A9%D8%AA%D8%A8%20D9%81%DB%8C%D8%B2%DB%8C%DA%A9%20D9%BE%D8%B2%D8%B4%DA%A9%DB%8C/Introduction%20to%20Radiological%20Physics%20and%20Radiation%20Dosimetry%20by%20Frank%20Herbert%20Attix%201986.pdf>
32. Caspe, Natalia. Dosimetría Personal Fundamentos de la Protección Radiológica. [Buenos Aires Argentina]: Universidad Nacional General San Martín, Escuela de Ciencia y Tecnología.; 2006.
33. Tempel K, von Zallinger C. [Evaluation of occupational radiation exposure in veterinary radiographic diagnosis (a review)]. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr.* agosto de 1998;111(7–8):281–4.
34. ICRP: Annals of the ICRP [Internet]. [citado el 28 de agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.icrp.org/publications.asp>
35. IAEA. Magnitudes y unidades de radiación [Internet]. Protección Radiológica de los Pacientes. 2013 [citado el 9 de abril de 2017]. Disponible en: https://rpop.iaea.org/RPOP/RPOP/Content-es/InformationFor/HealthProfessionals/L_Radiology/QuantitiesUnits.htm
36. Foro Nuclear. Todo lo que necesitas saber sobre Protección Radiológica [Internet]. Rincón Educativo. 2018 [citado el 20 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-proteccion-radiologica-0>
37. ICRP. Las recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. ICRP-103 [Internet]. Senda Editorial S.A.; 2007 [citado el 28 de agosto de 2016]. Disponible en: http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf
38. ICRP. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 55; 1990.
39. Bielajew, Alex. Fundamentals of Radiation Dosimetry and Radiological Physics [Internet]. Firts Edition. Ann Arbor, Michigan.: Universidad de Michigan; 2005 [citado el 19 de febrero de 2018]. Disponible en: <http://www-personal.umich.edu/~bielajew/DosimetryBook/book.pdf>
40. Mejía, M. CLI Manual Radioprotección [Internet]. Fundación Universitaria San Martín; 2007 [citado el 19 de febrero de 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/222114237/CLI-Manual-Radioproteccion>
41. Guevara, Juan Camilo. Manual de Protección Radiológica. Bogotá - Colombia: ESE Carmen Emilia Ospina; 2016 mar p. 57.
42. Unidad Técnica de Protección Radiológica de la Universitat de Barcelona. Manual de Protección Radiológica de la Universitat de Barcelona. Edición 2. [Internet].

Universidad de Barcelona; 2013 [citado el 19 de febrero de 2018]. Disponible en: <http://www.ub.edu/spr/pdf/Resumen-ManualPR-generico-cast-dic2013.pdf>

43. Hupe O, Ankerhold U. Dose to persons assisting voluntarily during X-ray examinations of large animals. *Radiat Prot Dosimetry*. 2008; 128 (3): 274–8.

44. Editorial. Vets alerted to potentially hazardous handheld dental X-ray machine. *Vet Rec*. el 15 de diciembre de 2012; 171 (24): 608.

45. Han CM, Hurd CD. *Practical Diagnostic Imaging for the Veterinary Technician*, 3e. 3 edition. St. Louis: Mosby; 2004. 304 p.

46. Sabaté Garrachón, Juan. ¿Cómo se generan los Rayos X? [Internet]. *QueAprendemosHoy.com*. 2012 [citado el 25 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://queaprendemoshoy.com/como-se-generan-los-rayos-x/>

47. Albarracín-Navas JH. Guía de procedimientos para el área de imagenología diagnóstica de la clínica veterinaria Animales de Compañía. (Documento de docencia N.º 4). Bogotá: [Internet]. Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia.; 2016. Disponible en: doi: <http://dx.doi.org/10.16925/greylit.1606>

48. Lois, Angel Augusto. Apuntes de radiología práctica de pequeños animales No 5. *Redvet*. 2010; 11 (04): 1–15.

49. Sartori P, Rizzo F, Taborda N, Anaya V, Caraballo A, Saleme C, et al. Medios de contraste en imágenes. *Revista argentina de radiología* [Internet]. marzo de 2013 [citado el 25 de octubre de 2018]; 77(1): 49–62. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1852-9922013000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es

50. IAEA. Fluoroscopia [Internet]. Protección radiológica de los Pacientes. 2013 [citado el 25 de octubre de 2018]. Disponible en: https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content-es/InformationFor/HealthProfessionals/1_Radiology/Fluoroscopy.htm

51. University of South Carolina. X-Ray Safety training: The Safe Use of Fluoroscopy [Internet]. Radiation Safety Office; 2016; South Carolina. Disponible en: https://sc.edu/about/.../animal_care_x_ray_training_fluoro.ppt

52. Williams JM, Krebs IA, Riedesel EA, Zhao Q. Comparison of fluoroscopy and computed tomography for tracheal lumen diameter measurement and determination of intraluminal stent size in healthy dogs. *Vet Radiol Ultrasound*. mayo de 2016; 57 (3): 269–75.

53. Valuckiene Z, Jurenas M, Cibulskaitė I. Ionizing radiation exposure in interventional cardiology: current radiation protection practice of invasive cardiology operators in Lithuania. *J Radiol Prot*. el 24 de agosto de 2016; 36 (3): 695–708.

54. Flores Alés, Andrés J. Introducción al uso práctico de las imágenes médicas veterinarias digitalizadas en la clínica. Hospital Centro Policlínico Veterinario Málaga [Internet]. 2010 [citado el 25 de octubre de 2018]; Disponible en: http://www.veterinaria.org/ajfa/index.php?option=com_content&view=article&id=433:imagenesmedicasveterinarias&catid=99:articulos&Itemid=130

55. Easton S. *Practical Veterinary Diagnostic Imaging*. Edición: 2. Chichester: Wiley-Blackwell; 2012. 256 p.

56. Lavin, Lisa M. *Radiography in Veterinary Technology*. Edición: 4. St. Louis, Mo: Saunders; 2006. 400 p.

57. Sartori P, Rozowykniat M, Siviero L, Barba G, Peña A, Mayol N, et al. Artefactos y artificios frecuentes en tomografía computada y resonancia magnética. *Revista argentina de radiología* [Internet]. diciembre de 2015 [citado el 27 de octubre de 2018]; 79 (4): 192–204. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1852-99922015000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
58. Krille, Lucian, Hammer, Gael, Merzenich, Hiltrud, Zeeb, Hajo. Systematic review on physician's knowledge about radiation doses and radiation risks of computed tomography. *European Journal of Radiology* [Internet]. 2010 [citado el 14 de septiembre de 2016]; 76: 36–41. Disponible en: http://ac.els-cdn.com/S0720048X10004018/1-s2.0-S0720048X10004018-main.pdf?_tid=e27fe1ce-7a8a-11e6-9511-00000aacb362&acd-nat=1473864940_f62dca9f81ae6e6fe39c3a570d7a1e6c
59. Farfallini, Daniel Horacio. Tomografía Computada Veterinaria y sus aplicaciones de diagnóstico. [Internet]. *Mascotas Foyel*. 2009 [citado el 25 de octubre de 2018]. Disponible en: https://www.foyel.com/paginas/2009/12/1115/tomografia_computada_veterinaria_y_sus_aplicaciones_de_diagnostico/
60. Rodriguez, Carlos. Seguridad en la sala de radiología veterinaria [Internet]. *Gestión Sanitaria Veterinaria*. 2015 [citado el 27 de febrero de 2017]. Disponible en: http://www.foyel.com/paginas/2009/05/403/seguridad_en_la_sala_de_radiologia_veterinaria/
61. OMS (Organización Mundial de la Salud). OMS | Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección [Internet]. WHO. 2016 [citado el 12 de abril de 2017]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs371/es/>
62. Ordoñez, Gonzalo A. Salud ambiental: conceptos y actividades. *Rev Panam Salud Pública* [Internet]. 2000 [citado el 12 de abril de 2017]; 7 (3): 137–47. Disponible en: <http://www.scielosp.org/pdf/rpsp/v7n3/1404.pdf?iframe>
63. Preciado Ramírez, Mercedes. Medidas Básicas de Protección Radiológica. *Cancerología* [Internet]. 2010; (5): 25–30. Disponible en: <http://incan-mexico.org/revistainvestigacion/elementos/documentosPortada/1294860259.pdf>
64. Martin, Alan, Harbison, Sam, Beach, Karen, Cole, Peter. *An Introduction To Radiation Protection* [Internet]. Sixth edition. London, UK: Hodder Arnold; 2012 [citado el 23 de marzo de 2017]. 258 p. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/252019639/An-Introduction-To-Radiation-Protection>
65. Brasik N, Stadtmann H, Kindl P. The right choice: extremity dosimeter for different radiation fields. *Radiat Prot Dosimetry*. 2007; 125 (1–4): 331–4.
66. Hernández-Ruiz L, Jimenez-Flores Y, Rivera-Montalvo T, Arias-Cisneros L, Méndez-Aguilar RE, Uribe-Izquierdo P. Thermoluminescent dosimetry in veterinary diagnostic radiology. *Applied Radiation and Isotopes* [Internet]. diciembre de 2012 [citado el 1 de noviembre de 2016]; 71, Supplement:44–7. Disponible en: <http://www.science-direct.com/science/article/pii/S0969804312003880>
67. Niu, Shengli. Protección de los trabajadores frente a la radiación [Internet]. *Ginebra Suiza: Organización Internacional del Trabajo*; 2011 p. 21. (Serie Nota Informativa Safework). Disponible en: http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_158314.pdf
68. Andrés, P, Bellotti, M. Protección radiológica del paciente: Un tema relacionado con la salud pública. *Revista Argentina de Salud Pública*. 2016; 7(26): 33-35



EL CVZ, pionero en innovación tecnológica veterinaria

Con el resonador magnético buscamos cubrir las necesidades de los pacientes respecto a imágenes diagnósticas de alta calidad y precisión. Sin radiaciones ionizantes, brindando seguridad y comodidad a los animales y al equipo médico que los atiende.

Usos de la resonancia magnética veterinaria:



Pequeñas especies

- Sistema nervioso central y periférico.
- Cráneo.
- Cavidad nasal.
- Oídos y sistema vestibular.
- Sistema musculoesquelético.
- Articulaciones y tejido blando.
- Lesiones inflamatorias y neoplásicas.
- Glándulas, órganos y tejidos.



Grandes especies

- Sistema musculoesquelético.
- Sistema nervioso central.
- Cráneo.

Más información

Tel.: (57) (4) 336 0260 Ext.: 101

Email: ccatanog@ces.edu.co

