



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Informe preliminar del nivel de exposición a radiación ionizante en pilotos civiles de Colombia durante el año 2005 con el uso de un modelo computacional

Luz Neidy Castro González

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina
Especialidad en Medicina Aeroespacial
Bogotá, Colombia
2013

Informe preliminar del nivel de exposición a radiación ionizante en pilotos civiles de Colombia durante el año 2005 con el uso de un modelo computacional

Luz Neidy Castro González
Código: 05598726

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Medicina Aeroespacial

Director:

Doctor Hugo Alberto Fajardo Rodríguez

Codirectores:

Doctora Alba Rodríguez

Doctor Edgar Prieto

Línea de Investigación:

Radiaciones en Aviación

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina

Bogotá, Colombia

2013

*Limitar nuestra atención a cuestiones
terrestres sería limitar el espíritu humano*
Stephen Hawking

Agradecimientos

El interés creciente por el maravilloso mundo de las radiaciones inició por el enfoque que dieron a mi trabajo los docentes de la Especialidad de Medicina Aeroespacial y el Área de Toxicología de la Universidad Nacional; a ellos mis sinceros agradecimientos por un camino fascinante.

La culminación de éste trabajo se debe gracias al apoyo incondicional de mi familia y mis amigos, a ellos el esfuerzo y el fruto de mi trabajo. Mil gracias por su tiempo y amor incondicional.

A los pilotos de Aviación Civil de Colombia que participaron activamente en el proyecto, por creer en mí y brindarme la oportunidad de acceder a información confidencial y de tanta relevancia para el país y el mundo.

Resumen

Informe preliminar del nivel de exposición a radiación ionizante en pilotos civiles de Colombia durante el año 2005 con el uso de un modelo computacional

El presente informe preliminar describe, según su objetivo, una visión actualizada de la exposición a radiación ionizante en un grupo de aviadores civiles de Colombia, a través del análisis de los datos obtenidos del historial de vuelo individual y la aplicación de un cuestionario sencillo en el que se examina entre otras, el nivel de percepción del riesgo frente a la exposición a radiaciones. La exposición se cuantificó a través de la dosis calculada por un modelo computacional de las rutas internacionales operables en la muestra escogida durante el año 2005 (por corresponder al último mínimo solar y por ende, el año de máxima radiación en la tierra) y determina sí, existe exposición en el grupo analizado dentro de los parámetros de exposición establecidos para la población general o sí, es un riesgo ocupacional a radiación ionizante.

Los resultados muestran a los pilotos de aviación civil que realizan vuelos internacionales de manera exclusiva con un nivel superior de milisiverts al año en comparación a la población general mientras que, un alto porcentaje de quienes realizan rutas combinadas (nacionales e internacionales) no superan este valor en su acumulado internacional, para lo que se necesitaría contabilizar las dosis de exposición nacionales dado el carácter acumulativo de la radiación ionizante. En efecto, estos son factores importantes en la administración del riesgo ocupacional que supone priorizar las medidas de prevención. La configuración de un grupo multivariado de enfermedades encontradas en los pilotos hace parte de la multifactoriedad genética y exposicional del individuo en su quehacer diario, por lo que se requieren estudios adicionales, principalmente sobre presencia de aberraciones genéticas, en la búsqueda de correlación de la exposición a radiación ionizante y la aparición de diversos signos, síntomas y síndromes.

Palabras clave: Radiación Ionizante, Radiación Cósmica, Dosis Efectiva, Dosis Equivalente, Pilotos de Aerolínea, Tripulantes, Aviación.

Abstract

Preliminary report of exposure level to ionizing radiation in civilian pilots from Colombia in 2005 with the use of a computational model

The following research aims is to describe an updated view of exposure to ionizing radiation in a group of civilian aviators from Colombia through analysis of data obtained from individual flight history and application of a simple questionnaire which examines, among others, the level of perceived risk from radiation exposure. In this way it seeks to describe through the quantification of the dose rate, which is made by international routes operable in the selected sample in 2005 (to correspond to the last solar minimum and thus the year of maximum radiation in the land) if analyzed in the group exhibition that is outside the parameters established exposure for the general population by international authorities for occupational exposure to ionizing radiation.

The results show that civil aviation pilots on international flights exclusively exceed the annual millisivert exposure of the general population while a high percentage of those doing routes combined (national and international) do not exceed this value in its international cumulative to what would be needed to account for national exposure dose given the cumulative nature of ionizing radiation. Indeed, these are important factors in occupational risk management involve prioritizing prevention measures. Setting a multivariate group of diseases found in the pilots is part of the multifactorial genetic and expositional the individual in their daily work, so further studies are needed, particularly searching presence of genetic aberrations in exposure personal and his correlation to ionizing radiation with the appearance of various signs, symptoms and syndromes.

Keywords: Ionizing Radiation, Cosmic Radiation, Effective Dose, Equivalent Dose, Airline Pilots, Aircrew, Aviation

Contenido

	Pág.
Resumen.....	IX
Lista de ilustraciones	XIII
Lista de tablas.....	XIV
Lista de símbolos y abreviaturas	XV
Introducción.....	1
1. Planteamiento del problema.....	3
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Pregunta de investigación	4
1.3 Justificación.....	4
2. Objetivos	5
2.1 Objetivo general	5
2.2 Objetivos específicos	5
3. Delimitación de la investigación.....	7
3.1 Delimitación espacial	7
3.2 Delimitación cronológica	7
3.3 Propósito.....	7
4. Marco teórico	9
4.1 Marco normativo	9
4.2 Marco conceptual	10
4.2.1 Epidemiología	10
4.2.2 Radiaciones	11
4.2.3 Sistema de medida en radiaciones y equivalencias.....	19
4.2.4 Radiación como factor de riesgo	22
4.2.5 Efectos de la radiación.....	24
4.2.6 Radiaciones ionizantes en aviación comercial	29
4.2.7 Métodos de control y protección de las radiaciones.....	34
5. Metodología	43
5.1 Tipo de estudio	43
5.2 Población y muestra	43
5.3 Recolección de la información	45

5.4	Consideraciones éticas	46
5.5	Cálculo de radiación cósmica	46
5.6	Encuesta	47
5.7	Medición de variables y análisis estadístico	47
6.	Impacto esperado.....	48
6.1	Académico	48
6.2	Científico	48
6.3	Social	48
6.4	Económico	48
7.	Resultados y análisis de resultados	49
7.1	Descripción demográfica de la población	49
7.2	Tipo de aeronaves	52
7.3	Horas de vuelo en rutas internacionales	52
7.4	Horas de vuelo en pilotos	54
7.5	Exposición en milisieverts por ruta internacional.....	55
7.6	Exposición en milisieverts acumulado por piloto/año	57
8.	Discusión de resultados	59
9.	Problemas y Limitaciones del estudio.....	62
10.	Conclusiones	63
9.	Recomendaciones.....	65
A.	Anexo: Consentimiento Informado	67
B.	Anexo: Encuesta.....	69
C.	Anexo: Ejemplo de contenido de una bitácora de vuelo	77
D.	Anexo: Ejemplo de la base de datos	78
E.	Anexo: Explicación de un plan de vuelo.....	79
F.	Anexo: Ejemplo de una ruta de vuelo.....	81
G.	Anexo: Rutas en código IATA y OACI.....	82
G.	Anexo: Glosario	83
	Bibliografía.....	88

Lista de ilustraciones

	Pág.
Ilustración 4-1: Espectro de ondas electromagnéticas [6].....	11
Ilustración 4-2: Tipos de radiaciones [7].	12
Ilustración 4-3: Cascada electromagnetica [8].	15
Ilustración 4-4: Ciclos solares cada 11 años [13].	16
Ilustración 4-5: Manchas en la superficie del sol [14].	16
Ilustración 4-6: Campo geomagnetico [9].	17
Ilustración 4-7: Tasa de dosis efectiva de componentes secundarios [8].	31
Ilustración 4-8: Clasificación y delimitación de zonas de radiación ionizante [21,55].....	36
Ilustración 4-9: Tiempo, distancia y protección de la fuente de radiación [21].....	39
Ilustración 4-10: Capacidad de penetración de la radiación ionizante [53].....	39

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 4-1: Radiación ionizante. Tipos y propiedades [8].	14
Tabla 4-2: Exposición a radiación ionizante en tripulantes por año [15].	33
Tabla 4-3: Limitación de dosis [17,50].	37
Tabla 4-4: Historial Dosimetrico [17].	42

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>ALARA</i>	As Low As Reasonably Achievable
<i>ALI</i>	Annual Limit on Intake
<i>CME_s</i>	Coronal Mass Ejections
<i>DDREF_s</i>	Dose and Dose-rate reduction factors
<i>FISH</i>	Fluorescence in situ hybridization
<i>GCR</i>	Galactic Cosmic Radiation
<i>GLE</i>	Ground Level Enhancement
<i>ICRP</i>	International Commission on Radiological Protection
<i>LET</i>	Linear Energy Transfer
<i>REID</i>	Risk of exposure-induced death
<i>REM</i>	Röntgen Equivalent in Man
<i>SPE_s</i>	Solar Particle Events
<i>TLD_s</i>	Thermoluminescence Dosimeters
<i>TEPC_s</i>	Tissue Equivalent Proportional Counters

Introducción

La Medicina aeroespacial, tiene un papel trascendental en la identificación, evaluación y control de los riesgos que se originan en los lugares de trabajo del medio aeronáutico y, estos riesgos pueden poner en peligro la salud y el bienestar de los trabajadores. Los riesgos físicos como la iluminación, el ruido, las vibraciones, las temperaturas y las radiaciones están presentes en diferentes lugares del trabajo aeronáutico, siendo fuentes potenciales de enfermedades e incomodidades laborales que pueden dar lugar a situaciones de inseguridad en aviación y, todos son susceptibles de intervención.

Existe un creciente interés en la medicina de aviación por el estudio de las radiaciones ionizantes, como un componente de riesgo identificado mundialmente, y éste depende de variables tales como la altitud, latitud, tipo de aeronave, ruta y tiempo entre otras.

Dada la complejidad del estudio de las radiaciones ionizantes, se hace pertinente realizar un acercamiento a la exposición a éstas, a través de programas computarizados de medición, como herramientas validadas que brindan una visión objetiva de la exposición a este tipo de radiación.

Poseer un estudio descriptivo en Colombia sobre la medición de radiación ionizante en pilotos civiles, permitirá abrir una serie de hipótesis alrededor del tema, que se debe constituir en un fomento hacia la investigación que sin duda encontrará cumbre con el análisis genético, campo de la medicina moderna que determina con mayor exactitud la presencia o ausencia de puntos finales de daño celular que incluyen aberraciones genéticas, entre otros caracterizando su posible asociación con la exposición a radiaciones ionizantes.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

El estudio de las radiaciones en la medicina de aviación continúa siendo importante en el ambiente ocupacional, debido a que diversas investigaciones han mostrado algunos vínculos con la aparición de diversos síndromes y alteraciones de tipo genético que podrían aumentar la aparición de diferentes tipos de cáncer, principalmente el melanoma.

Si bien no se ha demostrado la peligrosidad de la exposición a algunos tipos de radiaciones, estaremos expuestos a ellas mientras permanezcamos habitando la tierra y sus alrededores.

El contar con datos reales y actualizados basados en la evidencia científica, permitirá orientar los procesos de prevención de la enfermedad y promoción de la salud de los trabajadores. Teniendo en cuenta que, la exposición está directamente relacionada con la radiación cósmica, no se debe ignorar la utilización de la vía aérea comercial como un medio para el transporte de sustancias peligrosas, y entre ellas sustancias radiactivas.

De acuerdo con los conocimientos actuales, la exposición a las radiaciones ionizantes por debajo de los valores o límites de dosis existentes, no implicaría riesgo de aparición de efectos determinísticos y mantendría la probabilidad de los efectos estocásticos en valores similares al riesgo existente en la actividad laboral considerada más segura. Sin embargo, los criterios de protección de los trabajadores expuestos se basan, entre otros, en el concepto de la existencia de algún grado de riesgo independientemente del nivel de exposición [1]. La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICPR) ha recomendado que las tripulaciones expuestas a radiación cósmica en vuelo sean consideradas como pertenecientes al grupo de exposición ocupacional (ICPR 1991), sin embargo las tripulaciones no son monitorizadas ni existen regulaciones específicas al respecto en Colombia. El Comité Directivo Europeo (Euratom) a partir de 1996

recomendó el uso de dosímetro en tripulaciones para establecer el nivel de radiación y su riesgo [2].

1.2 Pregunta de investigación

¿A Qué cantidad de radiación ionizante puede estar expuesto un piloto de aviación civil de ala fija que realice vuelos internacionales, en un año de mínimo solar?

1.3 Justificación

La gran cantidad de diferentes tipos de radiación proveniente del cosmos llevan a la necesidad de entender los efectos biológicos de éstos sobre el ser humano, principalmente para tripulantes de aerolíneas, pasajeros y astronautas.

Las radiaciones ionizantes de origen natural conviven con el hombre desde que éste existe, propiciando cambios evolutivos. Esto aumenta su importancia, dado que la teoría evolucionista está generalmente aceptada [3]. Las diferencias en cuanto a dosimetría de la radiación, riesgos y protección en el ambiente de cada uno de estos grupos de personas justifica la aplicación de principios de exposición al riesgo, la limitación o contención del mismo y, el principio de “tan bajo como sea razonablemente posible”.

El médico aeroespacial tiene la responsabilidad de dilucidar a la luz de la medicina basada en la evidencia, las medidas de control sobre la exposición a radiaciones a las que están expuestos los pilotos, la tripulación de cabina y el personal aeronáutico con el fin de establecer medidas de protección que minimicen los riesgos potenciales de este tipo de exposición y fortalezcan la seguridad aérea.

Los marcos normativos mundiales en materia de prevención de riesgos laborales suponen, entre otras cuestiones, el cambio radical en la práctica de los reconocimientos médicos aplicados a los trabajadores. De ser exámenes médicos inespecíficos, cercanos a los clásicos chequeos o cribados de carácter preventivo general, deben pasar a ser periódicos, específicos frente a los riesgos derivados del trabajo, con el consentimiento informado del trabajador, y no deben ser utilizados con fines discriminatorios ni en perjuicio del trabajador [1].

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Aplicar un modelo computacional para dosificar la exposición a radiaciones ionizantes en pilotos de la Aviación Civil Colombiana, en las principales aerovías internacionales del país, en el año 2005

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar demográficamente a los pilotos de aviación civil base de estudio.
- Determinar las principales aerovías internacionales del país en el año 2005 a través de las bitácoras de los pilotos de aviación civil en Colombia
- Calcular la dosis-ruta, en milisieverts, de exposición a radiación ionizante durante el último año correspondiente a un mínimo solar.

3.Delimitación

3.1 Delimitación espacial

El presente estudio se realizó en la Universidad Nacional de Colombia ubicada en la ciudad de Bogotá D.C., Colombia.

3.2 Delimitación cronológica

La recolección de la información se realizó desde enero de 2012 a Junio de 2013, mediante encuestas y las bitácoras de vuelo

3.3 Propósito

El propósito de este trabajo es tipificar la exposición a radiación ionizante en un grupo de aviadores civiles de Colombia pertenecientes a las diferentes aerolíneas del país, herramienta para un sistema de vigilancia especial.

4.Marco Teórico

4.1 Marco normativo

La reglamentación sobre radiaciones ionizantes se apoya, desde 1928, en las recomendaciones de la ICPR, autoridad científica independiente reconocida en el mundo entero [15]. Los procesos que utilizan fuentes emisoras de radiaciones ionizantes, están sujetas a la vigilancia y control de los entes del estado, control ejercido por los Ministerios de Protección social, Minas y Energía. En reciente actuación, el Ministerio del Medio Ambiente y de Relaciones Exteriores ha dictado normas referentes a la importación de fuentes y manejo de desechos radiactivos.

El Código Laboral Colombiano, o Código Sustantivo del Trabajo ha contemplado en el transcurso de los años la energía nuclear. En tal sentido hace referencia el Decreto 694 de 1975, donde establece el estatuto de personal para el sistema nacional de Salud. La Ley 9ª de 1979-aprueba el Código Sanitario Nacional y legisla sobre las radiaciones ionizantes y los materiales radioactivos. El Decreto 614 de marzo 14 de 1984, se refiere a la necesidad de proteger a los trabajadores contra las radiaciones ionizantes. La Constitución política de Colombia también tiene apartes importantes relacionados con el acceso a la salud en el art 49, 64 y 95; de los trabajadores en el art 54, del derecho a la salud, finalidad y protección en los artículos 44, 366 y 49 respectivamente. La resolución 099 de 1996 del INEA (Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas), por la cual se establecen requisitos para la prestación de servicios de dosimetría personal individual. El decreto 2090/2003, por el cual se definen las actividades de alto riesgo para la salud del trabajador y se modifican y señalan las condiciones, requisitos y beneficios del régimen de pensiones de los trabajadores que laboran en dichas actividades. De manera más reciente está el decreto 2742 de 2009 por el cual se adoptan unas disposiciones relativas a tiempos de vuelo, servicio y descanso para tripulantes de aeronaves.

4.2 Marco conceptual

4.2.1 Epidemiología

La inducción de cáncer es el principal efecto tardío provocado por la exposición a la radiación ionizante. En la actualidad se ha adoptado la hipótesis conservadora donde cualquier dosis de radiación ionizante es capaz de inducir cáncer en las personas a ella expuestas, (Hipótesis de relación dosis-efecto lineal sin umbral), de forma que, la probabilidad de su aparición, crece con la dosis de radiación recibida [1].

La principal fuente de información sobre los riesgos del cáncer inducido por radiación ionizante, proviene del seguimiento a largo plazo que se ha hecho a los supervivientes de las bombas atómicas lanzadas en Hiroshima y Nagasaki. Esta base de datos ofrece información sobre una población de más de 90.000 personas que han sido seguidas desde 1950, con individuos de todas las edades, considerándose que la totalidad del organismo fue expuesto a la radiación. La información de este seguimiento se complementa con estudios realizados en personas expuestas por motivos de tratamientos médicos con radiaciones ionizantes, por exposición ocupacional, o exposiciones accidentales [1].

En las recomendaciones de la publicación N° 60 de la ICRP (Comisión Internacional de Protección Radiológica), se reevaluaron los datos epidemiológicos de los supervivientes de Hiroshima y Nagasaki, en conclusión se incremento la estimación de riesgo a los cánceres inducidos por radiación. Este incremento de los valores se debió en parte a una revisión de la dosimetría de los supervivientes a la bomba atómica, también a un seguimiento más largo de la población y principalmente, a los cambios realizados en el modelo matemático que ahora se utiliza para proyectar los riesgos que ocurrirán a lo largo de la vida [1].

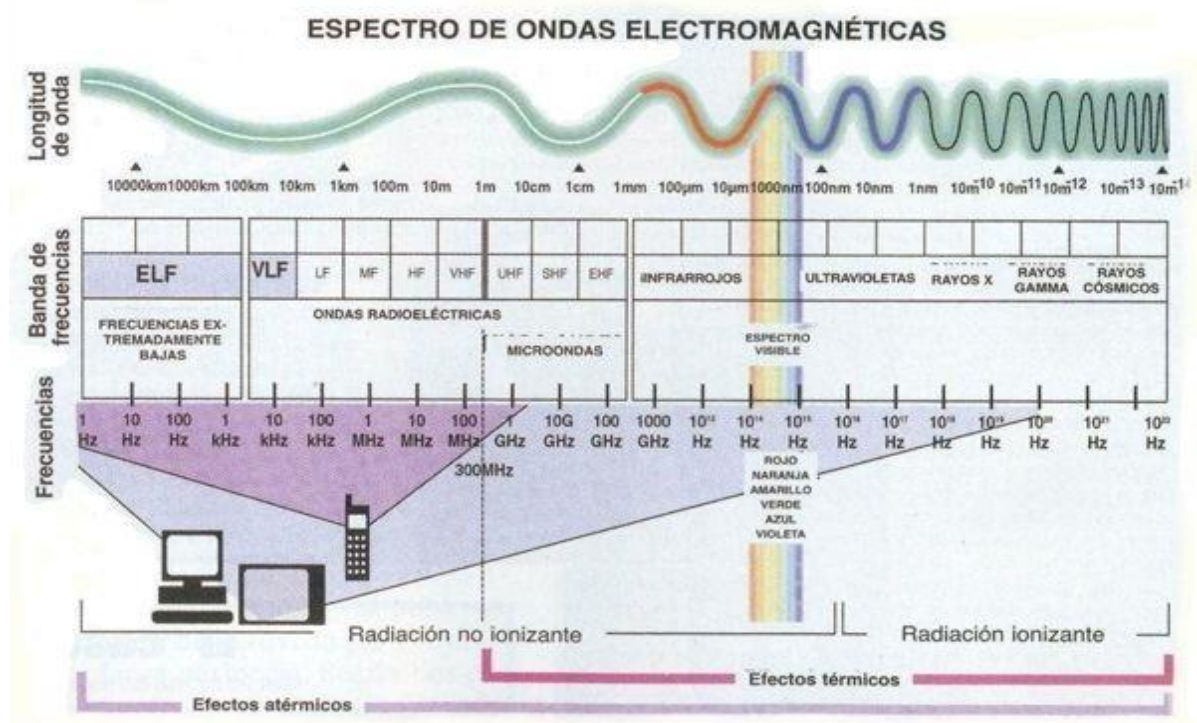
4.2.2 Radiaciones

Las radiaciones pueden ser definidas en general, como una emisión y propagación de energía a través del espacio o de un medio material [4]. Las radiaciones son ondas electromagnéticas o corpusculares emitidas por diferentes materiales y equipos, en ciertas condiciones, es energía en tránsito [5].

Las características que diferencian las distintas radiaciones son: la masa, la carga eléctrica y la energía de las partículas que las constituyen [3]. Las ondas electromagnéticas, son una forma eléctrica y magnética de la energía, se agrupan en forma de fuerza de acuerdo a la frecuencia y longitud de onda

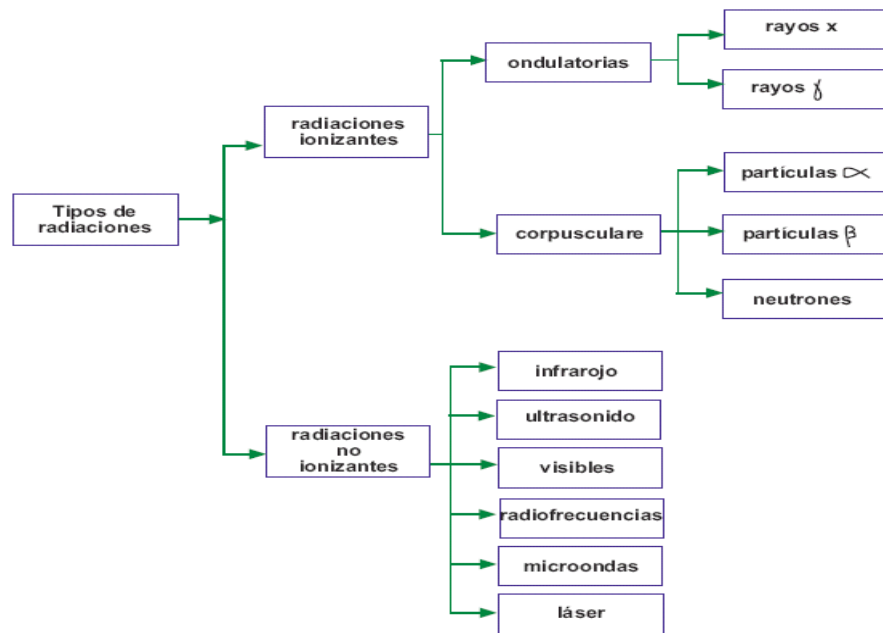
En la ilustración 4-1 se observan las agrupaciones de estas ondas que les dan características particulares

Ilustración 4-1: Espectro de ondas electromagnéticas [6].



La radiación se clasifica según su interacción con la materia en ionizantes y no ionizantes

Ilustración 4-2: Tipos de radiaciones [7].



RADIACIONES IONIZANTES

Se trata de ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia (sobre los 2400 millones de MHz), que tienen la suficiente energía como para producir ionización (creación de partes eléctricamente cargadas, una positiva y una negativa), rompiendo los enlaces atómicos que mantienen a las moléculas unidas en las células.

Una radiación es ionizante cuando interacciona con la materia, rompe átomos y origina partículas con carga eléctrica (iones). Cuando éste evento sucede en los tejidos del cuerpo pueden generarse efectos sobre la salud por fallas en los mecanismos de auto-reparación del cuerpo humano [8].

Las radiaciones ionizantes pueden ser:

- **Electromagnéticas:** Fotones (rayos X y rayos Gamma).
- **Corpúsculares:** Partículas subatómicas denominadas Alfa, Beta, neutrinos, iones pesados, nucleones (protones y neutrones), mesones, piones y muones [3].

Debido a la dualidad onda-partícula, todas las partículas que se mueven también tienen carácter ondulatorio. Las partículas de mayor energía muestran con más facilidad características de partícula mientras que las partículas de menor energía muestran con más facilidad características de onda.

A su vez, pueden ser de origen natural, es decir, de fuentes naturales como la tierra (emitidas por rocas o el suelo), los alimentos (mariscos principalmente) y el cosmos (radiación solar y galáctica (también conocida como estelar)); así como de fuentes artificiales generadas por el hombre, siendo utilizadas principalmente en la industria nuclear y la medicina (rayos X de diagnóstico y gammaterapia entre otras) [3].

Los rayos cósmicos fueron descubiertos en 1911 por el físico austriaco, Victor Hess [8]. Alrededor de este importante suceso, aumenta de manera significativa el conocimiento sobre ésta área y es de esa manera cómo ahora es posible entender a profundidad fenómenos tan importantes como las explosiones de partículas energéticas desde el sol, conocidas como eventos de partículas solares (EPSs) que generan un flujo importante de radiación ionizante hacia la tierra.

La principal fuente de radiación cósmica se cree que es derivada de las supernovas (estrellas en explosión), aunque disturbios electromagnéticos en la atmósfera solar (erupciones solares ó emisiones de masa coronal) conducen a un aumento de las partículas de radiación con energía suficiente para penetrar el campo magnético terrestre y entrar a la atmósfera. Los efectos protectores dados por el campo magnético solar y viento solar, el campo geomagnético y la atmósfera se extienden a los ocupantes de las aeronaves comerciales volando a niveles subsónicos, aunque los efectos pueden ser complejos para aeronaves que vuelan a altas altitudes y latitudes [8,9,10,11].

Los tipos de radiaciones ionizantes y sus propiedades pueden ser vistos en la tabla 4-1

Tabla 4-1: Radiación ionizante. Tipos y propiedades [8].

<i>Tipo de radiación</i>	<i>Consiste de</i>	<i>Rango en el aire</i>	<i>Rango en el tejido humano</i>	<i>sitio de riesgo *</i>
Partículas β	Un electrón	varios metros	pocos milímetros	interno +externo
Partículas γ	Rayo electromagnético	muchos metros	muchos centímetros	interno +externo
Rayos X	Rayo electromagnético	muchos metros	muchos centímetros	externo
Protones	protones libres	poco a muchos centímetros	poco a muchos centímetros	externo
Neutrones	neutrones libres	muchos metros	muchos centímetros	externo
Partículas α	2 protones + 2 neutrones (helio)	pocos centímetros	no penetran la piel	interno
alta carga y núcleos de energía (HZE)	núcleo de átomos con n-neutrones y z- protones	pocos a muchos centímetros	poco a muchos centímetros	externo

* El sitio de riesgo se refiere al ambiente en el que el tipo de radiación ejerce el efecto por ingestión o inhalación (interno) ó si puede penetrar el cuerpo humano (externo)

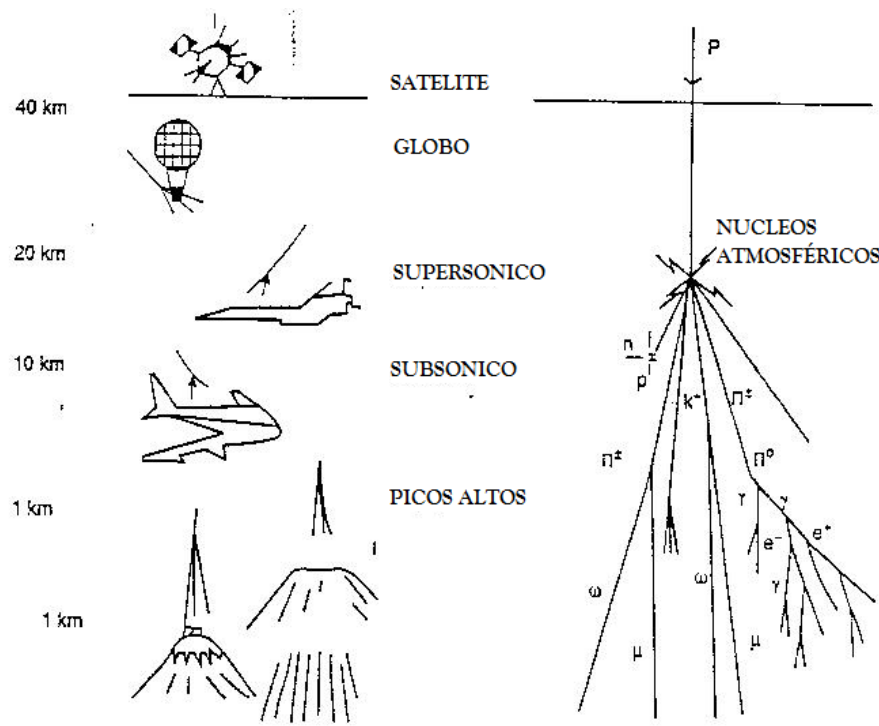
** Traducida al español de Capítulo 8. Michael Bagshaw y Francis A. Cucinotta. Cosmic Radiation. Fundamentals of Aerospace Medicine. Fourth Edition. Jeffery R. Davis et al

La radiación galáctica es 98% núcleos atómicos y 2% electrones. De los núcleos energéticos, 85- 87% son protones, 12 % son iones de helio y 1% son iones pesados. (Numancia, 2003) La energía de ésta radiación es expresada en megaelectrovoltios por unidad de masa atómica y se encuentran entre 10 Megaelectrovoltios (MeV) a 1000 MeV; $1 \text{ mMeV/u} = 9.64853336 \times 10^{13} \text{ m}^2/\text{s}^2$.

Cuando las partículas cargadas atraviesan la atmósfera terrestre, pierden energía y se someten a interacciones nucleares; los iones pesados son convertidos a protones y neutrones. Cuando las partículas colisionan con núcleos de nitrógeno y oxígeno se desencadenan partículas adicionales de radiación ionizante conocidas como partículas secundarias.

A altitudes en las que normalmente se desplazan los vuelos de aviación comercial, la radiación de origen cósmico consiste principalmente en neutrones, protones, electrones, positrones y fotones. Los muones y neutrinos alcanzan la superficie terrestre y la superficie de los océanos. La atmósfera actúa así, como escudo protector de la tierra evitando que lleguen a su superficie partículas de muy alta energía, ya que la van perdiendo en los sucesivos choques. El “escudo” mejora al disminuir la altitud, porque aumenta el número de partículas de aire con las que puede “chocar” y disminuir así, su energía [3]. Esta interacción se entiende mejor al observar la Ilustración 4-3.

Ilustración 4-3: Cascada electromagnética [8]. Cascada Electromagnética con producción de partículas secundarias en la atmósfera. Traducida al español del Fundamentals of Aerospace Medicine. Fourth Edition. Jeffery R. Davis et al. Capítulo 8. Michael Bagshaw y Francis A. Cucinotta. Cosmic Radiation



El sol tiene una variación del campo magnético con un componente dipolo básico el cual cambia de dirección aproximadamente cada 11 años, ver ilustración 4-4, lo que se traduce en ciclos de máxima actividad solar y por ende mayor probabilidad de aparición de eventos de partículas solares. La probabilidad es directamente proporcional al número de manchas solares observadas en la superficie del sol como se aprecia en la ilustración 4-5.

Ilustración 4-4: Ciclos solares cada 11 años [13].

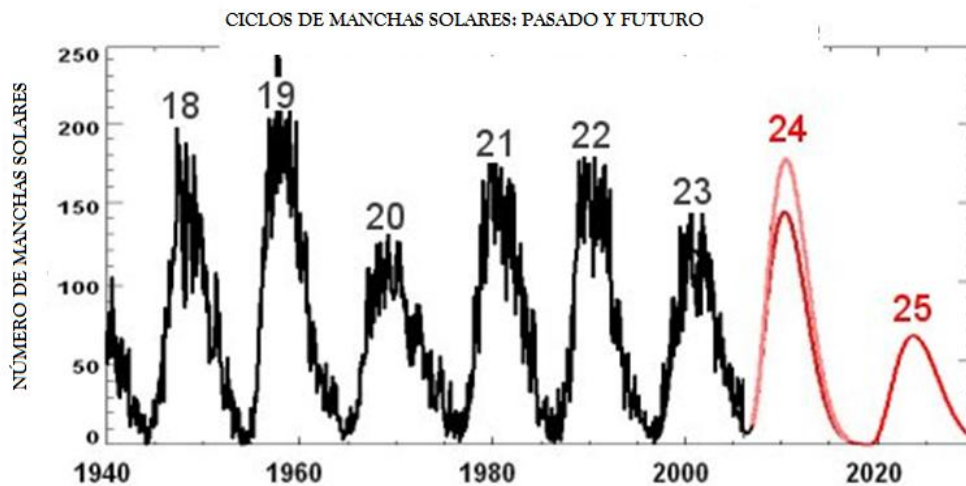
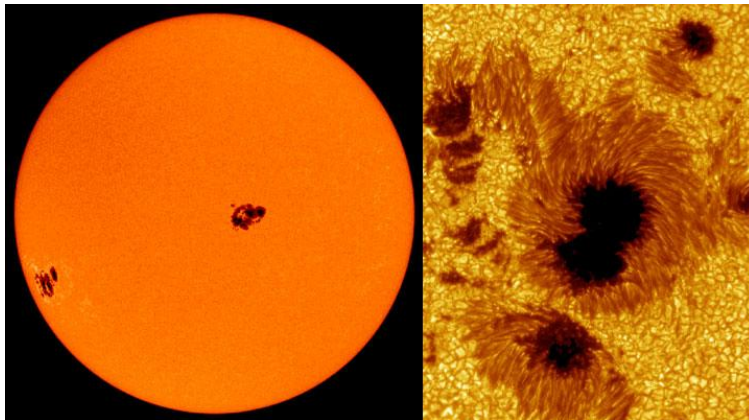


Ilustración 4-5: Manchas en la superficie del sol [14].

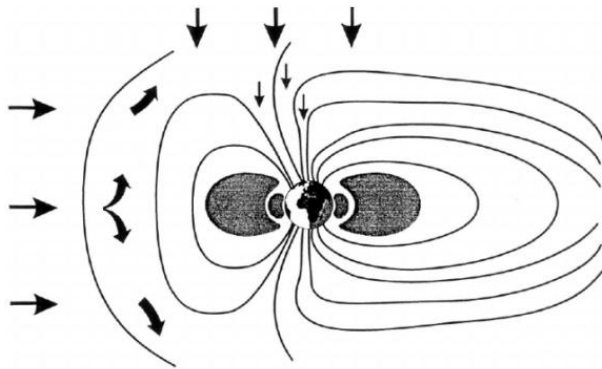


La imagen izquierda muestra todo el sol con dos grupos de manchas solares y la imagen derecha es una aproximación a una de estas manchas [13].

Cuando el campo magnético solar es fuerte, los caminos de los iones cargados eléctricamente son deflectados y menor radiación galáctica alcanza la tierra. Por lo tanto un máximo solar causa una radiación mínima y un mínimo solar es el tiempo de radiación máxima. El efecto de esto depende de, otras 2 variables, la altitud y la latitud geomagnética [15]. Cerca al ecuador, el campo geomagnético es casi paralelo a la superficie terrestre mientras en los polos es más vertical, lo que explica que en las

latitudes polares los rayos cósmicos alcanzan con mayor facilidad la atmósfera. Esos niveles altos de radiación cósmica en la región polar que van disminuyendo a medida que se aproximan al ecuador, dependen además de la altitud y el punto de ciclo solar [3,8].

Ilustración 4-6: Campo Geomagnético con sus respectivos cinturones de Van Allen [9].



La radiación incrementa con la altitud aproximadamente 15% por cada 2000 ft (~600m) dependiendo de la latitud, lo que permite entender que la atmósfera contribuye con diferentes componentes al flujo de radiación como una función de la profundidad atmosférica; siendo ésta a nivel del mar de 1.033 kg/cm^2 y a 75 km de altitud de 0.056 kg/cm^2 compuesta principalmente por nitrógeno 75,6%, oxígeno 23,2% y argón 1,2% y, los campos magnéticos [9,10,11].

La interacción característica de la radiación con la materia se puede estudiar mediante la transferencia lineal de energía, LET. Es una magnitud que estima la cantidad de energía depositada en la materia por unidad de recorrido, lo que permite comparar el efecto de distintos tipos de radiaciones sobre una misma sustancia o los de una radiación sobre distintas sustancias. En general las partículas con menor masa (fotones, electrones) también presentarán menor LET ya que tienen menos posibilidades de encontrar algún núcleo con el que interactuar. Por el contrario, las partículas con mayor masa y tamaño (protones, neutrones, iones pesados), colisionarán de inmediato con los átomos del material irradiado y perderán mucha energía en muy poco recorrido lo que implicará

mayores valores de LET [3]. La energía perdida por unidad de distancia = voltios de kilo electrón por micrómetro y varía de 0.2 a 1000 keV/um.

TIPOS DE RADIACION IONIZANTE MÁS COMUNES

Partículas alfa

Son emitidas por un núcleo de átomos radioactivos y producen una ionización de intensidad alta, pueden ser detenidos por una hoja de papel o por la capa de células muertas de la piel, por lo tanto la radiación alfa no es un peligro interno.

Partículas alfa: Una partícula alfa es un conjunto de dos protones y dos neutrones estrechamente unidos. Es idéntica a un núcleo de helio.

Los emisores alfa no plantean por lo general ningún peligro de radiación externa. Sólo son peligrosos si se captan al interior del cuerpo. Como depositan su energía a corta distancia, las partículas alfa constituyen una radiación de alta transferencia lineal de energía LET [16, 17].

Partículas beta

Son partículas emitidas por el núcleo de átomos radioactivos, poseen una penetración suficiente como para producir quemaduras en la piel y pueden constituirse en un peligro interno.

Una partícula beta es un electrón o positrón muy energético. (El positrón es la antipartícula del electrón) Las partículas beta son radiación de baja LET [16, 17].

Neutrones

Se producen por emisiones secundarias de un neutrón con otros rayos alfa o beta, producen daño tisular; por lo tanto el peligro para la salud se deriva de la capacidad para liberar radiación secundaria. La exposición de los seres humanos a los neutrones ocurre cerca de reactores nucleares [16, 17].

Radiación gamma

Es radiación electromagnética emitida por un núcleo cuando experimenta una transición de un estado de energía más alta a un estado energético más bajo. El número de

protones y neutrones del núcleo no varía en estas transiciones. Los rayos gamma se emiten a menudo inmediatamente después de una desintegración alfa o beta. Son emitidos por el núcleo de átomos radiactivos altamente potentes y constituyen un peligro externo de exposición [16, 17].

Rayos X

Son altamente potentes, los rayos X constituyen un subproducto de los aceleradores de partículas en la física de alta energía, sobre todo los que aceleran electrones y positrones.

Los efectos dependen de la dosis; la fragmentación de la radiación, la energía, la distribución de la dosis, la edad (el efecto es mayor en el embrión, el niño y el joven), los órganos más afectados son: la médula ósea, los testículos y la mucosa gástrica [16, 17].

DOSIS EQUIVALENTE, DOSIS EFECTIVA E INTENSIDAD DE LA EXPOSICIÓN

Dosis equivalente. Es la dosis absorbida por el individuo, considerando el daño o efecto biológico producido. Depende del tipo de radiación, su distribución y el tejido irradiado. Se expresa en REM o en Sv [16].

Dosis efectiva. La dosis efectiva es la suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo [16].

Intensidad de la exposición. Expresada en roentgen, la cual es una medida del grado de ionización en el aire producida por la radiación [16].

4.2.3 Sistema de medida en radiaciones y equivalencias de utilidad

Existen varias unidades de medida de la radiación ionizante, unas tradicionales y otras del sistema internacional de unidades (SI).

Unidades tradicionales: Son el Roentgen, el Rad, el Rem.

Unidades del sistema internacional: Son las más utilizadas, y están: el Culombio/kg, el Gray (Gy) y el Sievert (Sv).

Curio (Ci)

Unidad de cantidad de material radioactivo, equivalente a $3,7 \times 10^{10}$ desintegraciones por segundo.

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ desintegraciones por segundo (dps)}$$

Becquerel (Bq)

Unidad de radiactividad del Sistema Internacional, que equivale a una desintegración nuclear por segundo.

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

Rad

Es la unidad de dosis absorbida de radiación ionizante, que equivale a la energía de 100 ergios por gramo de materia irradiada. Esta unidad ya no está en uso. Ha sido reemplazada como unidad científica estándar por el gray.

La diferencia entre el rad y el gray es un factor de proporcionalidad:

$$100 \text{ rads equivalen a un gray.}$$

Roentgen Equivalent Man (REM)

La cantidad de radiación ionizante requerida para producir el mismo efecto biológico que un rad de rayos X de alta penetración.

Esta unidad ya no se usa. Ha sido reemplazada por el Sievert.

$$100 \text{ rems equivalen a un sievert.}$$

Roentgen

Es la unidad de exposición con respecto al aire. Cantidad de radiación X o gamma que produce $1/3 \times 10^{-9}$ coulombs de carga eléctrica en un centímetro cúbico de aire seco en condiciones estándar.

Aunque el roentgen describe una propiedad diferente de la energía absorbida por unidad de masa, el efecto de un roentgen en aire seco es aproximadamente igual a un rad.

Esta unidad ya no se usa. Ha sido reemplazada por el rad y posteriormente por el gray.

Gray (Gy)

Unidad de dosis absorbida de radiación ionizante del Sistema Internacional, equivalente a una absorción de un julio por kilogramo.

El gray es la unidad correcta que se debe usar cuando se desea medir la energía absorbida por unidad de masa.

Sievert (Sv)

Unidad de dosis equivalente de radiación del Sistema Internacional, igual a un julio por kilogramo. Cantidad de radiación ionizante requerida para producir el mismo efecto biológico que un rad de rayos X de alta penetración, equivalente a gray para los rayos X. Mide la dosis de radiación equivalente.

El Sievert es la unidad correcta que se debe usar cuando se desea medir el peligro biológico de la radiación. La radiación nuclear describe todas las formas de energía radiactiva que tiene sus orígenes en el núcleo de un átomo radioactivo.

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Existen diversos tipos de instrumentos que pueden captar y medir la cantidad de radiación ionizante que absorbe la materia.

La dosis de radiación cósmica absorbida y dosis equivalente han sido medidas usando contadores proporcionales en tejidos por superficie corporal (TEPC), también contadores rem, cámaras de ionización y radiómetros y han sido comparados con la dosis estimada

o calculada mediante el programa de computador CARI-6Q desarrollado por la Aeronáutica Civil de los Estados Unidos, estima la dosis equivalente en médula ósea y tejido esquelético, similar al desarrollado en Europa denominado EPCARD (European Program Package for the Calculation of Aviation Route Doses). En dichos programas se establece el promedio de radiación cósmica anual, la dosis colectiva por vuelo, la dosis anual por ruta, la dosis colectiva cósmica por año y la dosis acumulativa individual [2,9,18]. Otros programas similares descritos son: LUIN, FLUKA, AIR, FREE, SIEVERT y PC-AIR

Los dosímetros, son dispositivos que permiten medir o evaluar una dosis absorbida, una exposición o cualquier otra magnitud radiológica. Los dosímetros emplean distintos procedimientos para las medidas de la dosis: emulsiones fotográficas sensibles a la radiación (dosímetro fotográfico), materiales que absorben la energía de la radiación y después la liberan en forma de luz (dosímetros de termoluminiscencia), sustancias químicas que se transforman en presencia de la radiación (dosímetros químicos, dosímetros de Fricke), un condensador eléctrico (dosímetro de condensador), etc. También hay diferentes tipos de dosímetros en función de su utilización: dosímetro de bolsillo, de solapa, de mano, tipo pluma, etc [3].

4.2.4 Radiación como factor de riesgo

La estimación del riesgo ha sido desarrollada por diversas organizaciones científicas, entre las que se incluyen la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), y el Comité Científico de las Naciones Unidas para el estudio de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes (UNSCEAR). Globalmente, los riesgos a lo largo de la vida calculados en los últimos años no son muy diferentes entre los distintos estudios. La ICRP ha adoptado para los Trabajadores Expuestos un coeficiente de riesgo de 4×10^{-2} Sv⁻¹ (4 muertes por cáncer de cada 100 individuos expuestos a 1 Sv). Este coeficiente es el que ha sido utilizado para el desarrollo de los nuevos límites de dosis, debiendo tener en cuenta que está basado en los datos obtenidos a altas dosis y tasas de dosis, no siendo éste el caso de la exposición ocupacional. En bajas tasas de dosis se propuso un coeficiente de reducción de riesgo de 2.

Percepción de riesgo por parte de la población

Las fuentes percibidas como potencialmente peligrosas por la población general son, principalmente, las líneas de alta tensión, las estaciones base de telefonía móvil y los teléfonos móviles. Los datos muestran también que la percepción del riesgo ha disminuido significativamente desde el año 2002 al 2006, entre las razones están: 1) los ciudadanos no están suficientemente informados de los niveles reales de riesgo relacionados con la exposición a radiaciones ambientales y/o 2) las medidas reguladoras para la protección radiológica ante exposiciones crónicas a radiaciones arbitradas por las autoridades no han sido efectivas en el control de la percepción del riesgo. Además, existen indicios de que la citada percepción de riesgo puede intervenir significativamente en el desarrollo de patologías con un potencial componente psicosomático, como el Síndrome de Hipersensibilidad Electromagnética Percibida que, según distintos estudios, aparece en la población con una incidencia que varía entre 0,05‰ y 0,1% [19].

Por término medio, una persona recibe aproximadamente 360 mrem cada año, la mayor parte de ella, a partir de fuentes naturales de radiación. Según datos de 1992, la dosis media recibida por los trabajadores de una Central de Energía Nuclear en USA era de 300 mrem, además de la irradiación basal, que se denomina radiación de fondo, aquella que cualquier habitante recibe por término medio, aún sin estar expuesto a ninguna fuente de radiación.

Es poco probable que un ciudadano normal pueda recibir dosis de más de 5 rem por año, por lo que las estimaciones del riesgo de la radiación suelen basarse más en los aumentos de la frecuencia de las neoplasias que en las muertes debidas directamente a la radiación.

No obstante, excepcionalmente, y como consecuencia de accidentes en que está implicado material radiactivo, o a causa de controles defectuosos de los instrumentos que son empleados en el diagnóstico médico por imagen, o en terapéutica con radiaciones para el tratamiento de neoplasias, algunos sujetos pueden recibir dosis mucho más elevadas. Más allá de los 100 rem, se considera comienzan a desarrollar la enfermedad por radiación.

La estimación de los riesgos procedentes de la radiación externa ha tropezado con abundantes dificultades, ya que la mayoría de los casos conocidos de irradiación del organismo entero en humanos, lo han sido en dosis cercanas a las recibidas a partir de la radiación de fondo.

Los datos fundamentales siguen siendo los extraídos a partir de los supervivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki, los cuales recibieron dosis bastante elevadas, por extrapolación. Dado que la radiación no es la única causa de aparición de neoplasias, es preciso tomar en cuenta en cada población estudiada este mismo riesgo para el grupo étnico, la frecuencia habitual de cánceres, la frecuencia de hábitos tabáquicos o de otro tipo que pudieran influir en la tasa de neoplasias, etc. Según el BEIR V, el riesgo de muerte por cáncer es de 0.08% por rem para las dosis recibidas de forma rápida, y hasta 2-4 veces menor (0.04-0.02%) por rem si las dosis se reciben durante un periodo prolongado. Dado que esta es una estimación global, sin distinción de sexo, grupos de edad, ni de formas concretas de neoplasias, hay un elevado nivel de incertidumbre asociado con estas cifras.

4.2.5 Efectos de la radiación

La interacción de la radiación con las células se da en función de probabilidad, es decir, pueden o no interaccionar y pueden o no producirse daños. La interacción de la radiación con una célula no es selectiva: la energía procedente de la radiación ionizante se deposita de forma aleatoria en la célula. Los cambios visibles producidos no son específicos, no se pueden distinguir de los daños producidos por otros agentes físicamente agresivos o contaminantes químicos. Los cambios biológicos se producen sólo cuando ha transcurrido un determinado período de tiempo que depende de la dosis inicial y que puede variar desde unos minutos hasta semanas o años [17].

Los efectos biológicos de las radiaciones pueden clasificarse de acuerdo a varios criterios. De acuerdo a quién afecta se distinguen:

- **Efectos Somáticos:** Si afectan al propio individuo que recibe la radiación
- **Efectos Genéticos:** Si afectan a los descendientes de la persona radiada

- **Efectos Teratogénicos:** Efectos observables en niños expuestos a radiación durante su desarrollo embrionario o su vida fetal

Los principales efectos son:

- ✦ Alteraciones en el sistema hematopoyético: pérdida de leucocitos, disminución o falta de resistencia ante procesos infecciosos y disminución del número de plaquetas y glóbulos rojos provocando marcada tendencia a las hemorragias y anemia importante.
- ✦ Alteraciones en el aparato digestivo: inhibe la proliferación celular y por lo tanto lesiona el revestimiento produciendo una disminución o supresión de secreciones, pérdida elevada de líquidos y electrolitos, especialmente sodio así, como el paso de bacterias del intestino a la sangre.
- ✦ Alteraciones en la piel: inflamación, eritema y descamación seca o húmeda de la piel.
- ✦ Alteraciones en el sistema reproductivo: puede provocar la esterilidad en el hombre y la mujer. La secuela definitiva va a depender de la dosis y el tiempo de radiación además de la edad de la persona irradiada.
- ✦ Alteraciones en los ojos: el cristalino puede ser lesionado o destruido por la acción de la radiación.
- ✦ Alteraciones en el sistema cardiovascular: daños funcionales al corazón.
- ✦ Alteraciones sistema urinario: alteraciones renales como atrofia y fibrosis renal.

La exposición de los tejidos vivos a las radiaciones ionizantes ocasiona daños a las células, y sus efectos se pueden agrupar en:

- Efectos inmediatos: son aquellos que aparecen cuando el individuo recibe una dosis de radiación alta en un tiempo corto. Se manifiesta con náuseas, vómitos, diarreas, fiebre, ulceraciones, pérdida de cabello, hemorragias y pérdida de linfocitos.

- Efectos diferidos: aparecen años después de la radiación. El desarrollo de leucemia y otras formas de cáncer y el envejecimiento prematuro.

Los efectos de la radiación pueden ser agudos, que aparecen corto tiempo después de la exposición a la radiación, o crónicos, que aparecen a menudo muchos años después de recibir la exposición. También pueden clasificarse en somáticos, genéticos, si afectan a las células germinales y dan lugar a efectos en la descendencia de los individuos irradiados, o teratogénicos, si afectan al feto durante la gestación [17].

La clasificación de los efectos en función de la probabilidad de que ocurran, permite dividirlos en 2 grandes grupos [3,15]:

- **Efectos Estocásticos o probabilísticos**

Son aquellos que ocurren al azar, por lo que no tienen umbral y su efecto puede aparecer independientemente de la dosis recibida. Al estar basados en probabilidades, la posibilidad de aparición del efecto aumenta con el incremento de las dosis y sus efectos son tardíos. Un ejemplo es la mayor incidencia de cáncer.

- **Efectos no Estocásticos o Deterministas**

Es el efecto que se da si el número de células que mueren es considerable, por lo que se observará daño al tejido u órgano afectado, y consecuentemente, al individuo. Este tipo de daño ocurrirá en aquellos individuos que reciban una dosis de radiación por encima del umbral determinado para cada efecto.

Los efectos no estocásticos están directamente relacionados con la cantidad de la radiación recibida, con lo que el efecto es más severo cuanto mayor sea la dosis, por ejemplo, las quemaduras. Típicamente tienen una dosis umbral, por debajo de la cual, se estima que el efecto nocivo no aparece. Dependen de la dosis recibida y acumulada existiendo efectos agudos y efectos tardíos, aunque normalmente son inmediatos [3].

Estudios en sobrevivientes de la bomba atómica y en accidentes por radiación han determinado que la radio sensibilidad depende de la edad, tiempo de radiación, y un componente genético para el desarrollo de cáncer o de síndromes que comprometen los mecanismos de reparación del DNA. Los tejidos y órganos más activos son sensibles a la

radiación, tales como: la médula ósea, el colón, el pulmón, y el estómago, mientras que tejidos radio resistentes son el nervioso y el muscular.

EFFECTOS BIOLOGICOS DE LA RADIACIÓN

Las células de los tejidos vivos poseen mecanismos de reparación, que actúan también en el caso de lesión por radiación. Es decir, que las células son capaces de “autorrepararse” cuando detectan algún tipo de lesión interna [3].

- **Efectos termodinámicos:** la radiación ionizante es capaz de depositar suficiente energía localizada para arrancar electrones de los átomos con los que interactúa. Así, cuando la radiación colisiona al azar con átomos y moléculas al atravesar células vivas, da lugar a iones y radicales libres que rompen los enlaces químicos y provoca otros cambios moleculares que dañan las células afectadas [17].
- **Efectos sobre el ADN:** Cualquier molécula de la célula puede ser alterada por la radiación, pero el ADN es el blanco biológico más crítico, debido a la información genética que contiene. Una dosis absorbida de radiación lo bastante grande puede originar centenares de lesiones en las moléculas de ADN. La mayoría de estas lesiones son reparables, pero las producidas por una radiación ionizante directa (por ejemplo, un protón o una partícula alfa) son en general menos reparables que las generadas por una radiación ionizante indirecta (por ejemplo, un rayo X o un rayo gamma) [17].
- **Efectos sobre los genes.** El daño del ADN que queda sin reparar o es mal reparado puede manifestarse en forma de mutaciones [17].
- **Efectos sobre los tejidos.** Las células maduras que no están en división son relativamente radorresistentes, pero las que se dividen dentro de un tejido son radiosensibles, por lo que la irradiación intensiva puede matar un número suficiente para que el tejido se atrofie [17].

La respuesta de las células a la radiación puede verse afectada por distintos factores biológicos, físicos y químicos.

➤ **Factores Biológicos**

Dependiendo de la capacidad proliferativa de las células irradiadas , éstas serán más radorresistentes (las células funcionales maduras) o mas radiosensibles (las células madre). Existen muchos otros factores como por ejemplo, la fase del ciclo celular.

➤ **Factores Físicos. Influyen**

- **La tasa de dosis:** Que es la cantidad de radiación recibida por unidad de tiempo. Cuando la dosis es baja permite que se produzca la reparación antes de que se acumule daño suficiente para causar la muerte celular.
- **La transferencia lineal de energía, LET:** Las radiaciones de muy baja LET, especialmente a tasas bajas, es muy raro que produzcan lesiones graves. A medida que aumenta la LET, a dosis iguales, aumenta la muerte reproductiva. A muy alta LET sin embargo, ocurre que toda la energía se reparte en muy pocos acontecimientos (impactos), siendo radiaciones también poco eficaces para provocar la muerte de un elevado número de células

➤ **Factores Químicos**

Existen sustancias radiosensibilizadoras (el. Pirimidinas halogenadas, oxígeno molecular) que aumentan los efectos de las radiaciones, y sustancias radioprotectoras (compuestos sulfhidrilos o los sulfuros), que los disminuyen.

Los sistemas reparativos en los daños producidos por la radiación dependen de la dosis, aunque las tripulaciones tienen una baja exposición a neutrones y bajas LET (Transferencia lineal de energía), la exposición es heterogénea en cuanto al patrón de ionización [2,9,18].

DOSIS RECIBIDAS Y DOSIS LÍMITE

El intervalo de tiempo que transcurre entre la exposición, y la aparición del efecto de la radiación se denomina **periodo de latencia**. La dosis umbral, para cada determinado

efecto biológico es, la dosis mínima de radiación que produce el efecto. La dosis máxima permisible es aquella con la cual se espera no ocasione lesión apreciable en la persona irradiada en ningún momento de su existencia.

Los límites suelen expresarse como dosis máxima permitida anual, son revisados cada cierto tiempo, y son diferentes cuando se considera una exposición total de todo el cuerpo del individuo, o cuando se considera la exposición localizada de una zona, y también para las personas en riesgo de exposición laboral, o para el público en general.

Se define como trabajadores profesionalmente expuestos a aquellas personas que, por las circunstancias en que se desarrolla su trabajo, son susceptibles de recibir dosis superiores a un décimo de cualquiera de los límites anuales de dosis. Por ley, todos ellos deben utilizar obligatoriamente un dosímetro. Estas dosis pueden ser revisadas, pues en 1995, la International Commission of Radiation Protection (ICRP) recomendaba disminuir los estándares previos, sobre todo, porque la extrapolación de los efectos de dosis elevadas, a las dosis bajas puede no ser adecuada

Muchos de los datos acerca de las dosis de radiación permitidas han sido extraídos de fuentes norteamericanas, australianas o del Reino Unido, a partir de los datos recogidos en los distintos accidentes radiactivos, de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki, y de algunos datos experimentales [15]. La mayoría de la información es perfectamente extrapolable al público español. De hecho, los límites de la tabla antes expuesta coinciden exactamente con los de la legislación americana. Para los menores, y los fetos, las dosis máximas son de 5 mSv/año o su equivalente, respectivamente.

4.2.6 Radiaciones ionizantes en aviación comercial

Los seres vivos están expuestos a niveles bajos de radiación ionizante procedente del sol, las rocas, el suelo, fuentes naturales del propio organismo, residuos radiactivos de pruebas nucleares en el pasado, de ciertos productos de consumo y de materiales radiactivos liberados desde hospitales y desde plantas asociadas a la energía nuclear y a las de carbón [8].

Los trabajadores expuestos a mayor cantidad de radiaciones son los astronautas (debido a la radiación cósmica), el personal médico o de rayos X, los investigadores, los que trabajan en una instalación radiactiva o nuclear y los trabajadores de las industrias NORM. Además se recibe una exposición adicional con cada examen de rayos X y de medicina nuclear, y la cantidad depende del tipo y del número de exploraciones [8].

No se ha demostrado que la exposición a bajos niveles de radiación ionizante del ambiente afecte la salud de seres humanos. De hecho existen estudios que afirman que podrían ser beneficiosas (la hipótesis de la hormesis). Sin embargo, los organismos dedicados a la protección radiológica oficialmente utilizan la hipótesis conservadora de que incluso en dosis muy bajas o moderadas, las radiaciones ionizantes aumentan la probabilidad de contraer cáncer, y que esta probabilidad aumenta con la dosis recibida (Modelo lineal sin umbral). A los efectos producidos a estas dosis bajas se les suele llamar efectos probabilistas, estadísticos o estocásticos [8].

La exposición a altas dosis de radiación ionizante puede causar quemaduras de la piel, caída del cabello, náuseas, enfermedades y la muerte. Los efectos dependerán de la cantidad de radiación ionizante recibida y de la duración de la irradiación, y de factores personales tales como el sexo, edad a la que se expuso, y del estado de salud y nutricional. Aumentar la dosis produce efectos más graves.

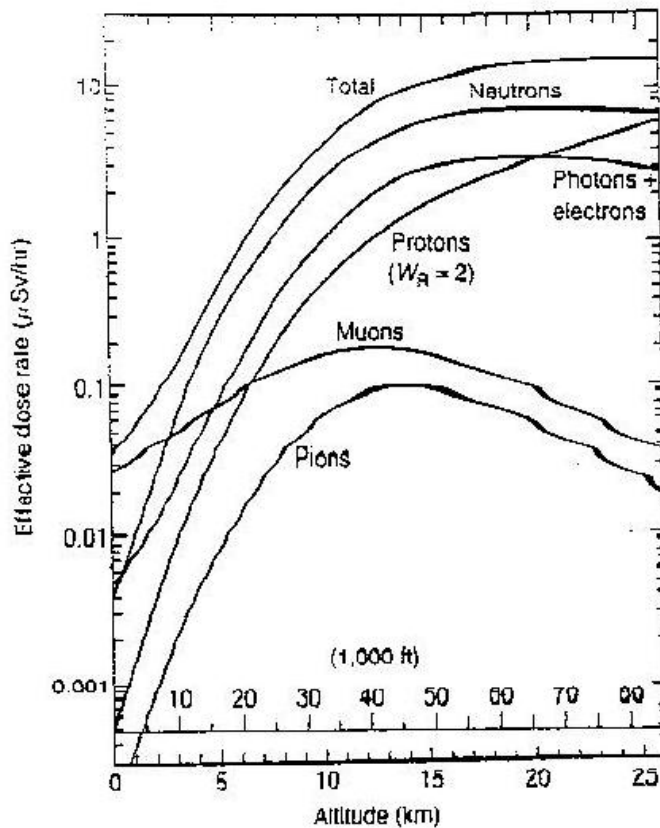
Está demostrado que una dosis de 3 a 4 Sv produce la muerte en el 50 % de los casos. A los efectos producidos a altas dosis se les denomina deterministas o no estocásticos en contraposición a los estocásticos [8].

Los efectos biológicos potenciales de la radiación cósmica en ocupantes de aeronaves son directamente dependientes de la altitud, si bien la tasa de dosis aumenta tanto con la altitud como con la latitud.

La tasa de dosis efectiva calculada de cada uno de los componentes secundarios producidos por radiación cósmica en razón de la altitud dada la localización en el borde de la meseta polar durante el mínimo solar del año 1997(radiación máxima) se puede observar en la ilustración N.7 donde se nota claramente que en todas las altitudes desde 10000ft a mas de 80000ft (3 a 25 km), los neutrones son el componente dominante. Ellos

son menos dominantes a bajas altitudes pero aún así contribuyen con el 40 a 65% de la dosis total equivalente [8].

Ilustración 4-7: Tasa de dosis efectiva de componentes secundarios [8].



Los eventos de partículas solares (erupciones solares y eyecciones de masa coronal) son usualmente de insuficiente energía para contribuir al campo de radiación a altitudes de la aviación; sin embargo en ocasiones, partículas de protones son producidas con energía suficiente para penetrar en el campo magnético terrestre y entrar en la atmósfera.

Radiocomunicaciones de largas distancias son algunas veces interrumpidas por incrementos en la ionización de la capa superior de la atmósfera terrestre (exósfera) por rayos x, protones o radiación ultravioleta proveniente del sol. Si bien éste fenómeno se puede presentar en ausencia de excesivos niveles de radiación ionizante a altitudes de aviación comercial. De manera similar, las auroras boreales y australes no son una indicación de aumento de radiación ionizante a altitudes de vuelo.

La energía de partículas solares primarias puede ser suficiente para producir partículas secundarias detectables en tierra por monitores de neutrones, entonces se habla de GLEs por sus siglas en inglés: Ground Level Enhancement. Son raros, en promedio una vez al año alrededor de un máximo solar, su duración puede ser de horas a varios días.

Los disturbios magnéticos fuertes asociados a eventos de partículas solares pueden conducir a disminuciones significativas de rayos cósmicos durante horas como resultado del mayor viento solar. El disturbio en el campo geomagnético puede permitir acceso fácil a rayos cósmicos y partículas solares a latitudes bajas, particularmente por eventos de partículas solares.

La predicción de cuál Evento de Partículas Solares pudiera incrementar significativamente la tasa de dosis a altitudes en las que operan las aeronaves comerciales, no es posible realizarla en la actualidad y se continúa trabajando en éste aspecto [8].

Desde el año 1942, un total de 64 GLEs han sido registrados hasta el año 2003. Con excepción del GLE (febrero 1956), ninguno ha presentado riesgo de alcanzar una dosis anual de 1 mSv (límite de exposición al público recomendado por la ICRP). La aeronave supersónica CONCORD, de la British Airways estuvo volando durante este evento solar y el equipo de monitoreo a bordo no activó la alarma, la cual se activaba a los 0.5 mSv/hr [8].

El nivel de exposición de los pilotos comerciales se encuentra en un rango de 0,2 a 5 milisieverts (mSv), mientras que otros adultos expuestos en sus labores tienen un promedio anual de 1,1 mSv. A nivel del mar, la dosis es de 0,1 mSv por hora de vuelo y a 1500 metros de altitud se duplica a 0,2 mSv. Las tripulaciones que vuelan entre 700 a 900 horas al año, se estima que reciben una dosis de radiación entre 2 a 5 mSv en adición de 2 a 3 mSv por radiación natural. En rutas polares la dosis equivalente vuelo es de 98,6 μ Sv, si sus actividades implican un tiempo promedio de 600 horas de vuelo al año a 10 km de altitud, se estima una exposición de 9 mSv. En tanto, en misiones espaciales es de 100 μ Sv a 4 mSv día por vuelo o exposición. En 1990 la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), que es una autoridad científica reconocida mundialmente, estableció como límite ocupacional al año 20 mSv, 2 mSv para mujeres embarazadas y 1 mSv en la población general. El significado médico de la

exposición ocupacional crónica a bajos niveles de radiación cósmica en tripulantes de vuelos aéreos y viajes espaciales es desconocido, al parecer no hay efectos agudos, pero no se descartan secuelas [29].

Se han hecho estimaciones de radiación anual en tripulantes a diferentes altitudes, países y empresas aéreas [20].

Tabla 4-2: Exposición a Radiación ionizante en tripulaciones por año [15].

EXPOSICION A RADIACION IONIZANTE EN TRIPULACIONES POR AÑO.		EXPOSICION mSv año
FAA	1989	0.2-9.1
Concorde. British Airways.	1996	3-6
Air France.	1993	2-3
Lufthansa.	1993	3-5
UNSCEAR.	1993	2.5-3.5
Australian Airlines.	1994	1-1.8
Canadian Aircrew.	1998	0.7-4.2
Air Canada.	1996	6
Finnair Aircrew.	1998	1-3

RADIACIONES IONIZANTES EN EL MEDIO OCUPACIONAL

La exposición ocupacional de todo trabajador se controlará de forma que no se excedan los siguientes límites [17]:

- Una dosis efectiva de 20 mSv por año como promedio en un período de cinco años consecutivos;
- Una dosis efectiva de 50 mSv en cualquier año;
- Una dosis equivalente al cristalino de 150 mSv en un año;
- Una dosis equivalente a las extremidades (manos y pies) o la piel (dosis media en 1cm² de la región cutánea más intensamente irradiada) de 500 mSv en un año.

4.2.7 Métodos de control y protección de las radiaciones

Las medidas de protección radiológica contra las radiaciones ionizantes se basan en el principio de la utilización de las mismas con plena justificación y en relación a los beneficios que aporta y han de efectuarse de forma que el nivel de exposición y el número de personas expuestas sea lo más bajo posible, procurando no sobrepasar los límites de dosis establecidos para los trabajadores expuestos, las personas en formación, los estudiantes y los miembros del público. Estas medidas consideran los siguientes aspectos [17].:

- Evaluación previa de las condiciones laborales para determinar la naturaleza y magnitud del riesgo radiológico y asegurar la aplicación del principio de optimización.
- Clasificación de los lugares de trabajo en diferentes zonas, considerando la evaluación de las dosis anuales previstas, el riesgo de dispersión de la contaminación y la probabilidad o magnitud de las exposiciones potenciales.
- Clasificación de los trabajadores expuestos en diferentes categorías según sus condiciones de trabajo.
- Aplicación de las normas y de las medidas de vigilancia y control relativas a las diferentes zonas y las distintas categorías de trabajadores expuestos, incluida, si es necesaria, la vigilancia individual.
- Vigilancia sanitaria.

CLASIFICACIÓN DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS

Los trabajadores se consideraran expuestos cuando puedan recibir dosis superiores a 1 mSv por año y se clasificaran en dos categorías:

- Categoría A: personas que, por las condiciones en que se realiza su trabajo, pueden recibir una dosis superior a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente

superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades [1].

Categoría B: personas que, por las condiciones en que se realiza su trabajo, es muy improbable que reciban dosis superiores a 6 mSv por año oficial o 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades [1].

CLASIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE ZONAS

El titular de la actividad debe clasificar los lugares de trabajo, considerando el riesgo de exposición y la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales, en las siguientes zonas [1]:

Zona controlada. Zona en la que exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalentes para cristalino, piel y extremidades. También tienen esta consideración las zonas en las que sea necesario seguir procedimientos de trabajo, ya sea para restringir la exposición o evitar la dispersión de contaminación radiactiva o prevenir o limitar la probabilidad y magnitud de accidentes radiológicos o sus consecuencias. Se señala con un trébol verde sobre fondo blanco.

Las zonas controladas se pueden subdividir en:

Zona de permanencia limitada. Zona en la que existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites anuales de dosis. Se señala con un trébol amarillo sobre fondo blanco.

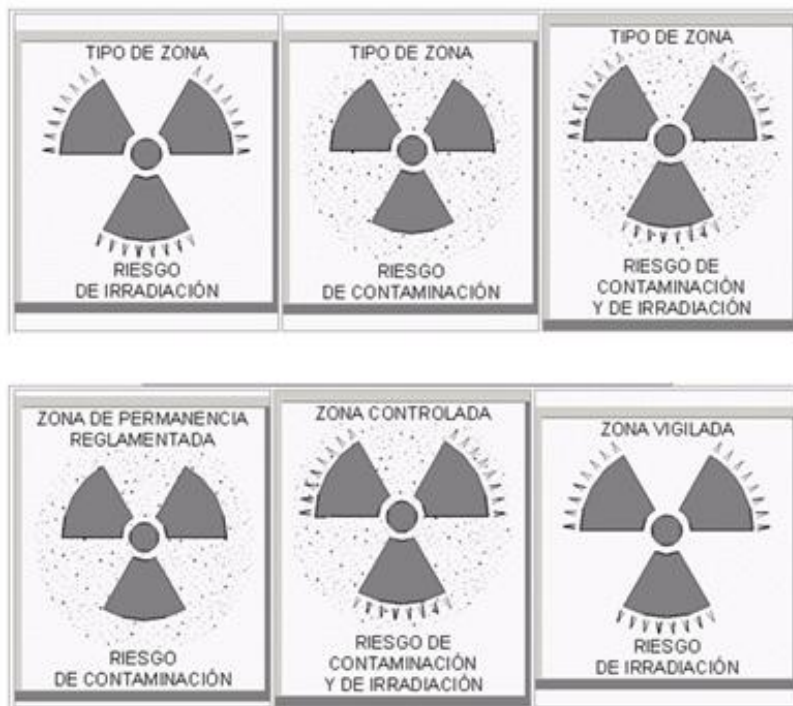
Zona de permanencia reglamentada. Zona en la que existe el riesgo de recibir por cortos periodos de tiempo una dosis superior a los límites de dosis. Se señala con un trébol naranja sobre fondo blanco.

Zona de acceso prohibido. Zona en la que hay riesgo de recibir, en una exposición única, dosis superiores a los límites anuales de dosis. Se señala con un trébol rojo sobre fondo blanco.

Zona vigilada. Zona en la que, no siendo zona controlada, exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de

los límites de dosis equivalente para cristalino, piel y extremidades. Se señala con un trébol gris/azulado sobre fondo blanco.

Ilustración 4-8: Clasificación y delimitación de zonas de radiación ionizante [21,55].



TIPO DE ZONA	COLOR DE IDENTIFICACIÓN
ZONA VIGILADA	GRIS
ZONA CONTROLADA	VERDE
ZONA DE PERMANENCIA LIMITADA	AMARILLO
ZONA DE ACCESO PROHIBIDO	ROJO
ZONA DE PERMANENCIA REGLAMENTADA	NARANJA



En caso de que el riesgo fuera solamente de irradiación externa, el trébol va bordeado de puntas radiales y si fuera de contaminación radiactiva el trébol está bordeado por un campo punteado. Sí se presentan los dos riesgos conjuntamente el trébol está bordeado con puntas radiales sobre campo punteado

LIMITACIÓN DE DOSIS

La observación de los límites anuales de dosis constituye una medida fundamental en la protección frente a las radiaciones ionizantes. Los límites de dosis son valores que nunca deben ser sobrepasados y que pueden ser rebajados de acuerdo con los estudios de optimización adecuados y se aplican a la suma de las dosis recibidas por exposición externa e interna en el periodo considerado. Los límites de dosis actualmente en vigor, están referidos a un periodo de tiempo de un año oficial y diferencian entre trabajadores expuestos, personas en formación o estudiantes y miembros del público. También están establecidos límites y medidas de protección especial para determinados casos, como mujeres embarazadas y en período de lactancia y exposiciones especialmente autorizadas.

Tabla 4-3: Limitación de dosis [17,50].

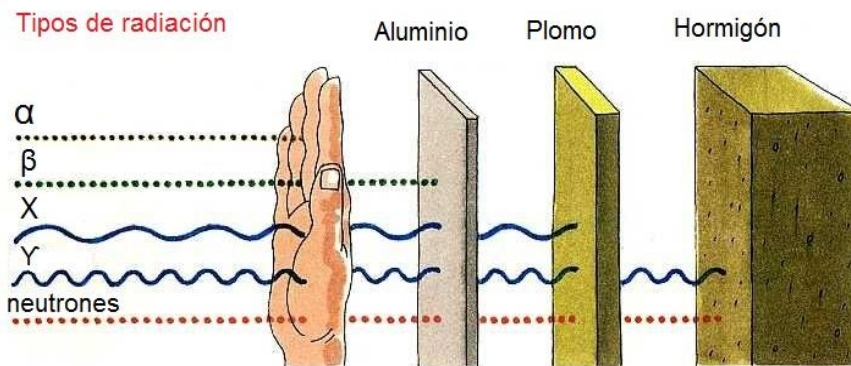
DOSIS EFECTIVA	Personas profesionalmente expuestas	Trabajadores	100 mSv/5 años oficiales consecutivos (máximo: 50 mSv/cualquier año oficial) ⁽²⁾
		Aprendices y estudiantes (entre 16 y 18 años)	6 mSv/año oficial
	Personas profesionalmente no expuestas	Público, aprendices y estudiantes (menores de 16 años)	1 mSv/año oficial
DOSIS EQUIVALENTE	Personas profesionalmente	Trabajadores	
		Cristalino	150 mSv/año oficial

	expuestas	Piel	500 mSv/año oficial
		Manos, antebrazos, pies y tobillos	500 mSv/año oficial
		Aprendices y estudiantes (entre 16 y 18 años)	
		Cristalino	50 mSv/año oficial
		Piel	150 mSv/año oficial
		Manos, antebrazos, pies y tobillos	150 mSv/año oficial
	Personas profesionalmente no expuestas	Público, aprendices y estudiantes (menores de 16 años)	
		Cristalino	15 mSv/año oficial
		Piel	50 mSv/año oficial
CASOS ESPECIALES	Embarazadas (feto)	Debe ser improbable superar	1 mSv/embarazo
	Lactantes	No debe haber riesgo de contaminación radiactiva corporal	
EXPOSICIONES ESPECIALMENTE AUTORIZADAS	Sólo trabajadores profesionalmente expuestos de categoría A: en casos excepcionales las autoridades competentes pueden autorizar exposiciones individuales superiores a los límites establecidos, siempre que sea con limitación de tiempo y en zonas delimitadas.		

Como norma general, la exposición a las radiaciones disminuye a medida que aumenta la distancia entre el foco emisor y el trabajador. El aumento de la distancia corresponde a una medida preventiva para disminuir la exposición a campos magnéticos estáticos.

Ilustración 4-9: Tiempo, Distancia y protección de la fuente de radiación [21].

Las radiaciones que inciden en un objeto lo pueden atravesar, estas pueden ser absorbidas o ser reflejadas por dicho objeto. La capacidad de penetración depende de la longitud de onda de las mismas y de las características estructurales del material del objeto.

Ilustración 4-10: Capacidad de penetración de la radiación ionizante [53].

VIGILANCIA DEL AMBIENTE DE TRABAJO

Teniendo en cuenta la naturaleza y la importancia de los riesgos radiológicos, en las zonas vigiladas y controladas se debe realizar una vigilancia del ambiente de trabajo que comprende:

La medición de las tasas de dosis externas, indicando la naturaleza y calidad de la radiación.

La medición de las concentraciones de actividad en el aire y la contaminación superficial, especificando la naturaleza de las sustancias radiactivas contaminantes, así como su estado físico y químico.

Estas medidas pueden ser utilizadas para estimar las dosis individuales en aquellos casos en los que no sea posible o resulten inadecuadas las mediciones individuales.

VIGILANCIA INDIVIDUAL

Está en función de la categoría del trabajador y de la zona.

Trabajadores expuestos de categoría A y en las zonas controladas. Es obligatorio el uso de dosímetros individuales que midan la dosis externa, representativa de la dosis para la totalidad del organismo durante toda la jornada laboral. En caso de riesgo de exposición parcial o no homogénea deben utilizarse dosímetros adecuados en las partes potencialmente más afectadas. Si el riesgo es de contaminación interna, es obligatoria la realización de medidas o análisis pertinentes para evaluar las dosis correspondientes.

Las dosis recibidas por los trabajadores expuestos deben determinarse cuando las condiciones de trabajo sean normales, con una periodicidad no superior a un mes para la dosimetría externa, y con la periodicidad que amerite cada caso en la dosimetría interna para trabajadores expuestos al riesgo de incorporar radionucleicos.

Los trabajadores de “Categoría A” estarán sometidos, además, a Exámenes de Salud Periódicos que permitan comprobar que las condiciones de trabajo no están generando efectos nocivos sobre la salud del trabajador. Estos exámenes se realizarán cada 12 meses o más frecuentemente, si fuese necesario, a criterio médico, el estado de salud del trabajador, sus condiciones de trabajo o los incidentes que puedan ocurrir [1].

Trabajadores expuestos de categoría B. Las dosis recibidas se pueden estimar a partir de los resultados de la vigilancia del ambiente de trabajo. La vigilancia individual, tanto externa como interna, debe ser efectuada por Servicios de Dosimetría Personal expresamente autorizados por el Consejo de Seguridad Nuclear. El titular de la práctica o, en su caso, la empresa externa debe transmitir los resultados de los controles dosimétricos al Servicio de Prevención que desarrolle la función de vigilancia y control de salud de los trabajadores.

En caso de exposiciones accidentales y de emergencia se evalúan las dosis asociadas y su distribución en el cuerpo se realiza una vigilancia individual o evaluaciones de las dosis individuales en función de las circunstancias. Cuando a consecuencia de una de estas exposiciones o de una exposición especialmente autorizada hayan podido superarse los límites de dosis, debe realizarse un estudio para evaluar, lo más rápidamente posible, las dosis recibidas en la totalidad del organismo o en las regiones u órganos afectados [1].

VIGILANCIA SANITARIA

La vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos se basa en los principios generales de la Medicina del Trabajo y en la ley sobre la Prevención de Riesgos Laborales, y Reglamentos que la desarrollan.

Toda persona que vaya a incorporarse a un trabajo que implique exposición a radiaciones ionizantes que suponga su clasificación como trabajador expuesto de categoría A debe someterse a un examen médico de salud previo, que permita conocer su estado de salud, su historia laboral y, en su caso, el historial dosimétrico que debe ser aportado por el trabajador y, en consecuencia, decidir su aptitud para el trabajo. A su vez, los trabajadores expuestos de categoría A están obligados a efectuar exámenes de salud periódicos que permitan comprobar que siguen siendo aptos para sus funciones. Estos exámenes se deben realizar cada doce meses y más frecuentemente si, fuese necesario a criterio médico, por el estado de salud del trabajador, o por sus condiciones de trabajo o los incidentes que puedan ocurrir [17].

Registro y notificación de los resultados

En el historial dosimétrico de los trabajadores expuestos deben estar los documentos correspondientes a la evaluación de dosis y a las medidas de los equipos de vigilancia, así como los informes referentes a las circunstancias y medidas adoptadas en los casos de exposición accidental o de emergencia, deben ser archivados por el titular, hasta que el trabajador haya o hubiera alcanzado la edad de 75 años, y nunca por un período inferior a 30 años, contados a partir de la fecha de cese del trabajador. El titular debe facilitar esta documentación al Consejo de Seguridad Nuclear y, en función de sus propias competencias, a las Administraciones Públicas, en los supuestos previstos en las Leyes, y a los Juzgados y Tribunales que lo soliciten. En el caso de cese del trabajador,

el titular debe facilitarle una copia certificada de su historial dosimétrico. A los trabajadores expuestos de categoría A se les abrirá un historial médico, que debe mantenerse actualizado durante todo el tiempo que el trabajador pertenezca a dicha categoría y que debe archivar hasta que el trabajador alcance los 75 años y, nunca por un período inferior a 30 años desde el cese de la actividad, en los Servicios de Prevención que desarrollen las funciones de vigilancia y control de la salud de los trabajadores 17.

Tabla 4-4: Historial dosimétrico [17].

POSIBILIDAD DE EXPOSICIÓN	1 MSV < DOSIS ANUAL ≤ 6 MSV	DOSIS ANUAL > 6 MSV
Clasificación de trabajadores	Clase B	Clase A
Clasificación de zonas	Vigilada	Controlada
Vigilancia del ambiente de trabajo	Sí Dosimetría de área	Sí Si hay riesgo de contaminación: EPI y detectores de radiación obligatorios
Vigilancia individual	No	Sí Dosimetría personal
Vigilancia específica de la salud	No	Sí Inicial y anual
Nota: Por debajo de una dosis anual de 1 mSv se considera que no hay exposición		

5. Metodología

5.1 Tipo de estudio

Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos para ésta investigación y dar respuesta a la pregunta del problema, el tipo de estudio que se propuso es descriptivo. Un estudio descriptivo es la etapa preparatoria del trabajo científico que permite ordenar el resultado de las observaciones, de las conductas, las características, los factores, los procedimientos y otras variables de fenómenos y hechos. Este tipo de investigación no requiere de hipótesis explicativas.¹

Los estudios descriptivos miden de manera independiente los conceptos o variables para decir cómo es y cómo se manifiesta el fenómeno de interés, requieren considerable conocimiento del área que se investiga para formular las preguntas específicas que busca responder. La descripción puede ser más o menos profunda, pero en cualquier caso se basa en la medición de uno o más atributos del fenómeno descrito. Los estudios descriptivos pueden ofrecer la posibilidad de predicción²

Las variables a estudiar se tomarán de las bitácoras de vuelo que facilitará cada uno de los pilotos/copilotos participantes en el estudio.

5.2 Población y muestra

Se escogió un grupo de pilotos de aviación civil comercial con licencia ante autoridad civil de aviación (Unidad Administrativa Especial De Aeronáutica Civil-UAEAC). Se

1 CANALES. Alvarado Pineda. Metodología de la Investigación Manual para el desarrollo de personal de Salud .Editorial Limusa S.A. México 1.988. p 52.

2 HERNANDEZ Sanpieri Roberto y Cols. Metodología de la Investigación. Editorial Mc Graw Hill Interamericana Editores S.A. México D.F. 1991. P 93.

recolectaron los correos electrónicos de 600 pilotos de aviación civil por diferentes medios y se les hizo llegar las instrucciones acerca del estudio (ver anexo A). Se calculó una muestra de 100 pilotos; de ellos, solo 54 pilotos, que constituyen el universo del estudio, de primera y segunda clase; diligenciaron una encuesta de valoración socio-demográfica y firmaron un consentimiento informado en el que aceptan prestar sus bitácoras de vuelo para la recolección de datos. De éstos, solo 28 cumplieron con los criterios de inclusión para el estudio final y 3 no dieron aprobación para prestar su bitácora después de haber diligenciado la encuesta, por lo que queda un total de 25 para estudio. Por lo que aquí se muestra en los resultados un informe preliminar hasta completar la muestra.

5.2.1 Criterios de inclusión

- Piloto acreditado con licencia de primera clase certificados:
 - Pilotos de transporte de línea (PTL)
 - Pilotos comerciales de avión (PCA)
- Piloto acreditado con licencia de segunda clase certificados:
 - Pilotos privados de avión (PPA)
- Nacionalidad Colombiana
- Más de 200 horas de vuelo anuales
- Tener vuelos internacionales en el año 2005

Se escogieron para cuantificación las aerovías internacionales, por ser aquellas de mayor duración, por requerir altitudes mayores para la realización del vuelo y porque la mayoría contiene todas las variables necesarias para el cálculo de la radiación en el software e-cari online.

5.2.2 Criterios de exclusión

- Pilotos de aviación militar
- Personal aeronáutico que no posea licencia que los habilita como pilotos PTL, PCA, PCH, PPA, PPH (los ingenieros de vuelo)
- Nacionalidad extranjera
- Menos de 200 horas de vuelo anuales

- No tener vuelos internacionales en el año 2005

Debido a que el software E- cari^q tiene disponibilidad para realizar cálculos online a partir del año 1996, se escogió el último periodo de mínimo solar (año 2005) en el que la evidencia nos muestra mayor incidencia de rayos cósmicos en el planeta; por lo que los pilotos que no habían iniciado vuelos en este periodo anual ó no tuvieran vuelos internacionales en el mismo, fueron excluidos.

5.3 Recolección de la información

Los datos fueron recolectados en 5 fases

1. Firma del consentimiento informado. (ver anexo A)
2. Diligenciamiento de un cuestionario donde se preguntó acerca de la residencia, la ocupación, la salud personal y familiar, entre otras; aceptando a través del diligenciamiento del mismo, el préstamo de las bitácoras de vuelo en caso de ser necesario. (ver anexo B)
3. Revisión de los datos contenidos en las bitácoras de vuelo excluyendo aquellas que no estuvieran actualizadas al año 2005 ó no cumplieran con los criterios de inclusión (ver anexo C)
4. Creación de una base de datos a partir de las bitácoras que se recolectaron en físico y se digitalizaron para conservar los archivos. (ver anexo D)
5. Se realizó una entrevista personal complementaria en los casos necesarios

Se realizó además una búsqueda de los planes de vuelo de las rutas principales encontradas en las bitácoras con el fin de obtener datos como: número de altitudes en ruta, minutos a la primera altitud en ruta, altitud de crucero, minutos de duración a altitud de crucero y minutos de descenso que son indispensables para el cálculo mediante software E-cari⁶ y epcard⁷ de la exposición a radiación ionizante en milisieverts por ruta (ver anexo 5)

El Software Americano se utilizó debido a que la calibración y complejidad del Sistema Automático de Microdosimetría “The Tissue Equivalent Proportional Counter (TEPC)” para campos de radiación mixta no es fácilmente disponible para usar en este estudio y otras formas de medición activa pueden ser difíciles de interpretar; por lo que no se

consideraron apropiados para el presente estudio y se optó por éste software que se encuentra disponible de manera gratuita en la web.

El seguimiento para el cálculo de mSv/año se realizó en el periodo de tiempo correspondiente al año 2005. El cálculo de horas acumuladas se hizo por tipo de aeronave y por aerovía analizada

5.4 Consideraciones éticas

- Tipo de riesgo de la investigación, según la Resolución 008430 de 1993 del ministerio de salud
- La información obtenida del estudio se manejará con cautela y respetando el derecho a la privacidad
- A los pilotos que obtengan más de 6 mSv anuales se les informará y recomendará seguimiento individual

5.5 Cálculo radiación cósmica

Se realizó utilizando el software e-CARI 6Q de la administración federal de Estados Unidos (Federal Aviation Administration) para lo cual se necesitaron las siguientes variables por ruta de vuelo:

- Fecha del vuelo
- Código origen
- Código destino
- Número de altitudes en ruta
- Tiempo en altitudes en ruta
- Altura de crucero
- Tiempo a la altitud de crucero
- Tiempo de descenso

Para la determinación de éstas variables se clasificaron las aeronaves encontradas de acuerdo a la altitud de crucero máxima y se estandarizó de acuerdo a las características encontradas de la aeronave en la literatura de manera comparativa con un plan de vuelo tipo para cada una de ellas.

5.6 Encuesta: formulario, identificación y datos

Se realizó un formulario con datos de identificación, datos personales, antecedentes patológicos personales y familiares, hábitos de dieta, historia ocupacional, historia de exposición e historia genética que permitieran describir el perfil de riesgo del piloto civil estudiado. La encuesta comprendió preguntas abiertas y cerradas por lo que se complementó de manera telefónica en aquellos casos en los que la información brindada no era clara.

5.7 Medición de variables y análisis estadístico

Las variables a estudiar se tomaron de la encuesta realizada, de las bitácoras de vuelo de los pilotos y de las características propias de una ruta de vuelo.

Variables tomadas de la encuesta:

- Edad: Variable cuantitativa discreta (número en años ej: 41)
- Tipo de Licencia: Variable categórica nominal (1 y 2 clase). Categorías 0 y 1 para análisis.
- Presencia o ausencia de enfermedad: Variable categórica nominal (si ó no). Categorías 0 y 1 para análisis.

Los datos se analizaron mediante uso de dos tipos de software: Excel y E-cari 6q que permitieron expresar los resultados según la estadística descriptiva.

6. Impacto esperado

6.1 Académico

Contar con el primer estudio descriptivo en el país sobre radiaciones ionizantes en pilotos civiles que permitan acelerar el desarrollo de este campo de la Medicina Aeroespacial

6.2 Científico

Contribuir con datos actualizados al conocimiento de la exposición a radiación ionizante en aviación, que permitan generar comparaciones con otros países en el campo de la seguridad ocupacional

6.3 Social

Generar con los resultados una conciencia social de la presencia de radiación ionizante como factor de riesgo físico que debe integrarse a los programas de seguridad aérea.

6.4 Económico

La identificación y control oportuno de los riesgos descritos de la radiación ionizante disminuirán la frecuencia de éstos así como de los elevados costos de las enfermedades crónicas y de los seguimientos individualizados que pueden disminuir la operatividad en una compañía aérea y por ende sus ingresos.

7.Resultados

7.1 Descripción demográfica de la población

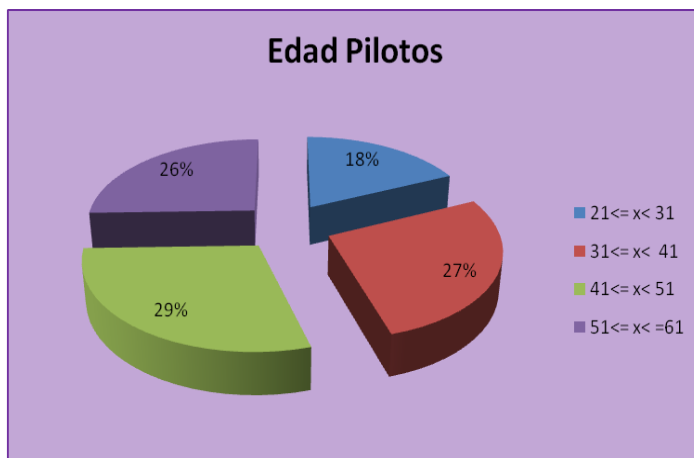
55 Pilotos de aviación comercial fueron listados. (53 hombres, 2 mujeres) quienes fueron identificados para seguimiento.

7.1.1 Ocupación

Ocupación	Categoría	%
Pilotos	14	25
Copilotos	41	75
Total	55	100

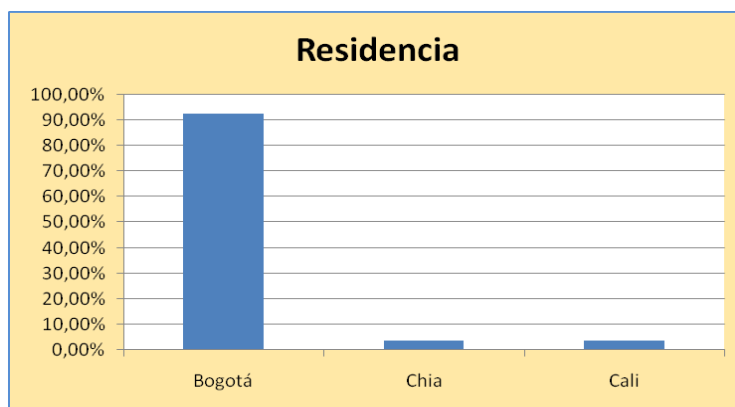
7.1.2 Edad

La edad media fue de 41 años con una mediana de 42 y un rango entre los 21 y 61 años. Se dividió en rangos decenales que facilita su análisis



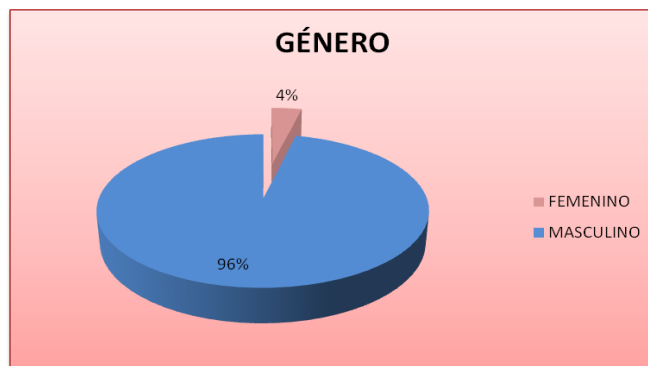
7.1.3 Residencia

Residencia	Nj	%
Bogotá	51	92,73%
Chia	2	3,64%
Cali	2	3,64%
Total	55	100,00%



7.1.4 Género

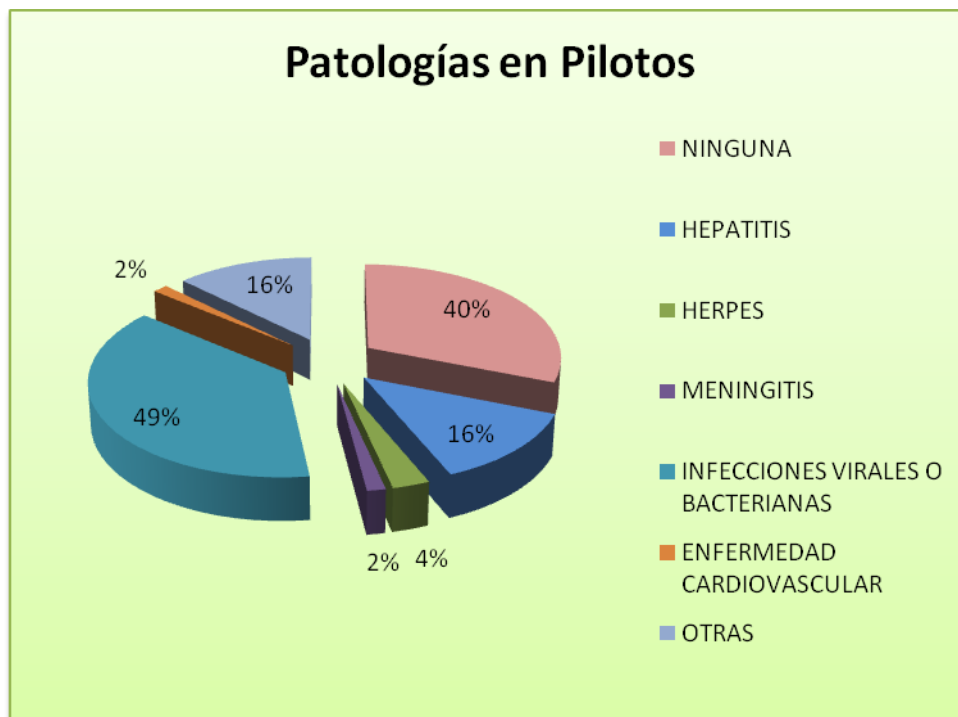
Género	No. de Personas	%
FEMENINO	2	4
MASCULINO	53	96
TOTAL	55	100



7.1.5 Presencia o Ausencia de patologías

(1) ¿Alguna vez ha tenido, o tiene alguna de las siguientes enfermedades?

ITEM	No. de Personas	%
NINGUNA	22	40
HEPATITIS	9	16
HERPES	2	4
MENINGITIS	1	2
INFECCIONES VIRALES O BACTERIANAS	27	49
ENFERMEDAD CARDIOVASCULAR	1	2
OTRAS	9	16



Hipotiroidismo, litiasis renal y pancreatitis fueron las encontradas en el ítem de otras.

7.2 Tipos de aeronaves halladas en vuelos Internacionales durante el año 2005

DOUGLAS BIMO MD83

DOUGLAS BIMO DC 9-83

D'HAVILLAND BIMO DHC8

FOKKER BIMO 50

BOEING 727

BOEING BIMO 767

BOEING BIMO 757

AIRBUS BIMO 318

La aeronave volada con mayor frecuencia fue el Douglas BIMO DC 9-83, la cual fue encontrada en 15 pilotos del estudio seguida por el Boeing 757/767 en 10 de los pilotos. De acuerdo al techo absoluto de las aeronaves se realizó el cálculo de radiación ionizante para cada una de las rutas con 25 mil pies de altitud para el Douglas MD 83, Douglas DC9, D'havilland DHC8 y Fokker 50. Para los Boeing y Airbus encontrados se realizó con 35 mil pies de altitud.

7.3 Horas de vuelo en las rutas internacionales más voladas durante el año 2005

Los 25 pilotos volaron un total de 5326 horas y 16 min en 99 rutas internacionales diferentes durante el año 2005. Para clasificación y análisis en el presente estudio utilizaremos la denominación de rutas cortas para aquellas con un tiempo promedio de 140 minutos de vuelo, medianas con un tiempo promedio de 220 minutos de vuelo, largas con un tiempo promedio de 460 minutos de vuelo y ultralargas con un tiempo promedio de 695 minutos. De acuerdo a ésta clasificación, las 5 rutas más voladas en cada categoría son (ver anexo G):

7.3.1 Rutas cortas

ORIGEN (CODIGO IATA)	DESTINO (CODIGO IATA)	TIEMPO DE VUELO ESTIMADO EN MINUTOS (min)	TIEMPO FINAL ACUMULADO Horas(h)/Minutos (min)
BOG	CCS	106	282 h y 40 min
CCS	BOG	106	270 h y 18 min
BOG	UIO	84	247 h y 48 min
UIO	BOG	84	247 h y 48 min
BOG	PTY	91	182 h

7.3.2 Rutas medianas

ORIGEN (CODIGO IATA)	DESTINO (CODIGO IATA)	TIEMPO DE VUELO ESTIMADO EN MINUTOS (min)	TIEMPO FINAL ACUMULADO Horas(h)/Minutos (min)
BOG	NYC	328	142 h y 8 min
MIA	CLO	218	138 h y 4 min
NYC	BOG	328	136 y 40 min
CLO	MIA	217	126 y 35 min
FLL	BOG	214	114 h y 8 min

7.3.3 Rutas largas

ORIGEN (CODIGO IATA)	DESTINO (CODIGO IATA)	TIEMPO DE VUELO ESTIMADO EN MINUTOS (min)	TIEMPO FINAL ACUMULADO Horas(h)/Minutos (min)
BOG	SAO	349	151 h y 14 min
SAO	BOG	349	151 h y 14 min
BOG	BUE	376	106 h y 32 min
BUE	BOG	376	100 h y 16 min
SCL	BOG	345	74 h y 45 min

7.3.4 Rutas Ultralargas

ORIGEN (CODIGO IATA)	DESTINO (CODIGO IATA)	TIEMPO DE VUELO ESTIMADO EN MINUTOS (min)	TIEMPO FINAL ACUMULADO Horas(h)/Minutos (min)
MAD	BOG	628	219 h y 48 min
BOG	MAD	628	198 h y 52 min
CLO	MAD	650	86 h y 40 min
MAD	CLO	650	54 h y 10 min
MDE	MAD	629	20h y 58 min

7.4 Horas de Vuelo en el grupo de pilotos estudiados

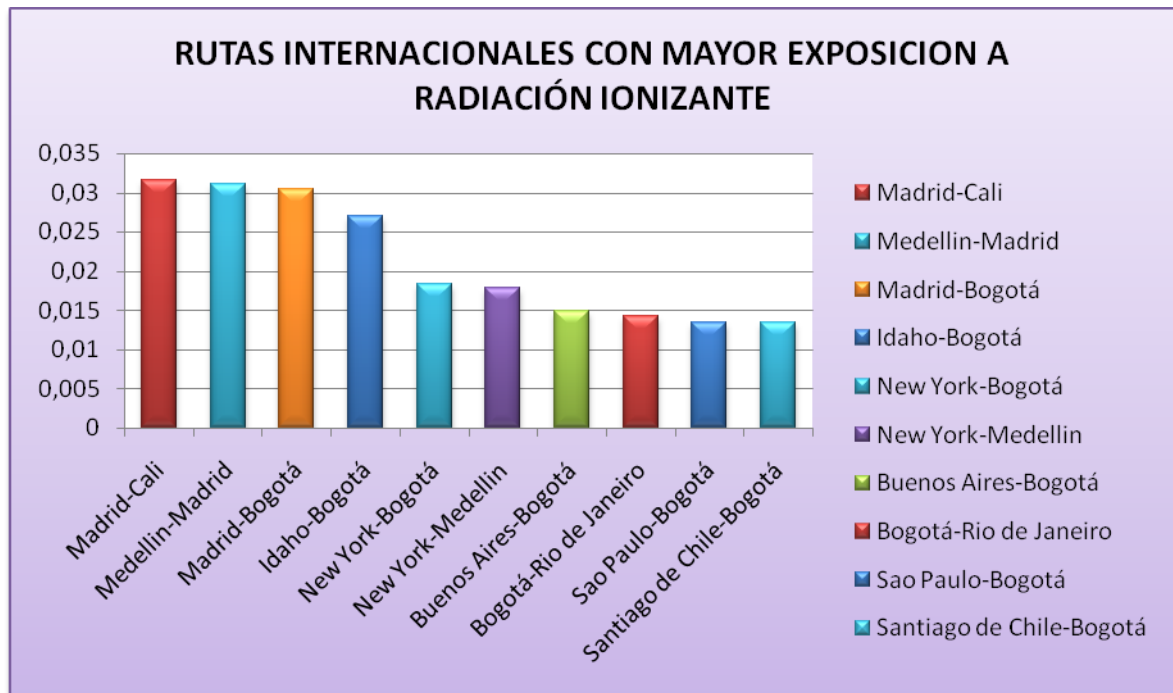
Las horas de vuelo por piloto/año promedio para el grupo en estudio fueron de 213 horas y 3 min con un rango entre las 2 horas y las 700 horas de vuelo internacional anual. Se numeraron los pilotos del 1 al 25 de mayor a menor número de horas voladas al año y los 4 primeros corresponden a aquellos que volaron por encima del 7% individual de un total de 5326 horas y 16 min en los 25 pilotos.

PILOTO	MINUTOS /AÑO	% VUELO INTERNACIONAL/AÑO	HORAS(h)/Minutos (min)
N.1	42047	13,16%	700 h y 47 min
N.2	39088	12,23%	651 h y 28 min
N.3	35174	11,01%	586 h y 14 min
N.4	24606	7,70%	410 h y 6 min
N.5 al N.25	178661	55,91%	2977 h y 41 min
TOTAL	319576	100%	5326 h y 16 min

7.5 Exposición en Milisieverts por Ruta Internacional

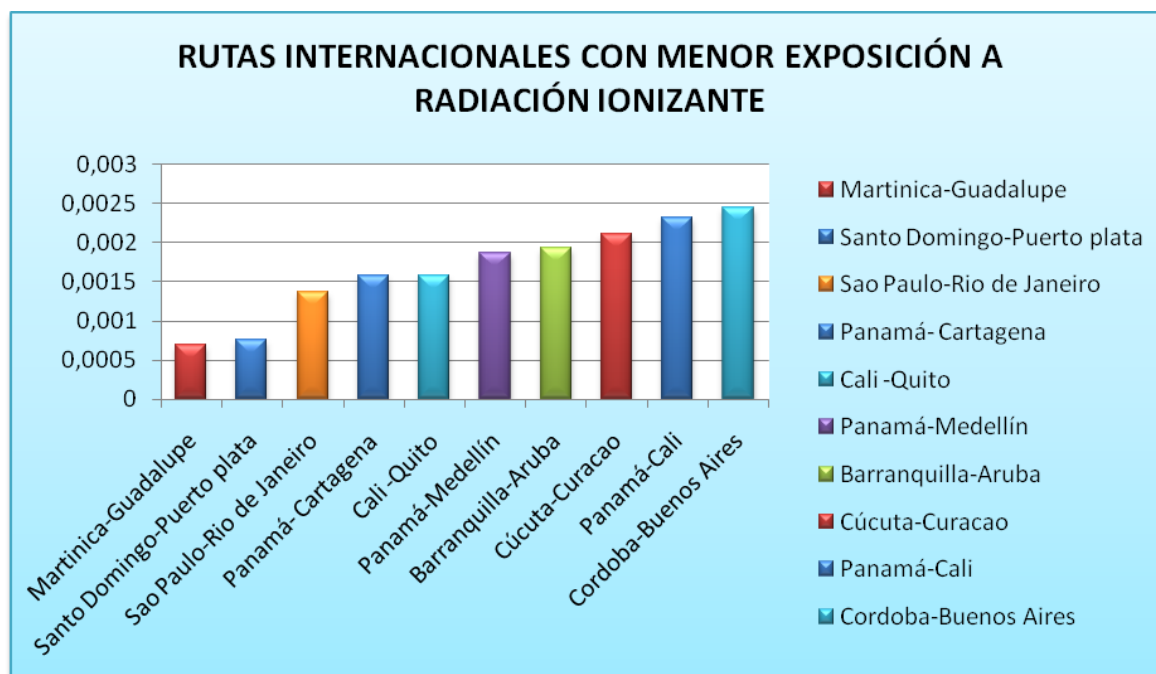
Las 10 rutas internacionales con mayor exposición a radiación ionizante en aeronaves con altitud de crucero de 35 mil pies fueron:

RUTA DE VUELO	MILISIEVERTS
Madrid-Cali	0,03154
Medellín-Madrid	0,0311
Madrid-Bogotá	0,03044
Idaho-Bogotá	0,02705
New York-Bogotá	0,01835
New York-Medellín	0,01786
Buenos Aires-Bogotá	0,01498
Bogotá-Rio de Janeiro	0,01424
Sao Paulo-Bogotá	0,01348
Santiago de Chile-Bogotá	0,01348



Las 10 rutas con menor exposición a radiación ionizante en aeronaves con altitud de crucero de 35 mil pies fueron:

RUTA DE VUELO	MILISIEVERTS
Martinica-Guadalupe	0,0007
Santo Domingo-Puerto plata	0,00076
Sao Paulo-Rio de Janeiro	0,00137
Panamá- Cartagena	0,00158
Cali -Quito	0,00158
Panamá-Medellín	0,00187
Barranquilla-Aruba	0,00194
Cúcuta-Curacao	0,00211
Panamá-Cali	0,00233
Córdoba-Buenos Aires	0,00245



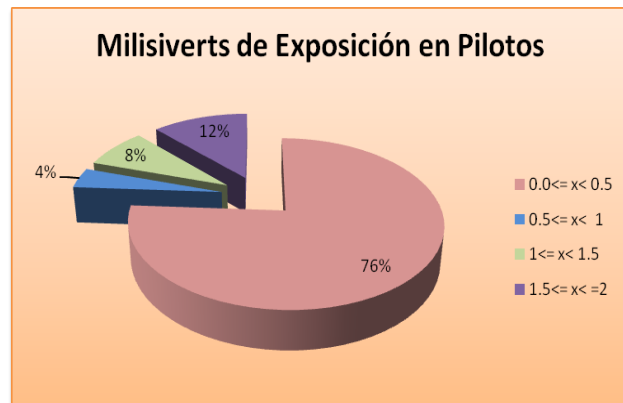
7.6 Exposición en milisiverts acumulado por pilotos/ año

PILOTOS	MILISIVERTS	Minutos /año
N.1	1,8509	42047
N.2	1,69236	39088
N.3	1,52688	35174
N.4	1,04757	24606
N.5	1,02541	22203
N.6	0,35556	22170
N.7	0,29555	19202
N.8	0,50197	14813
N.9	0,19955	12810
N.10	0,27138	10594
N.11	0,29706	9399
N.12	0,14266	9122
N.13	0,1283	8862
N.14	0,15856	8528
N.15	0,1495	7990
N.16	0,21079	7318
N.17	0,10975	6523
N.18	0,08748	5952
N.19	0,10541	5348
N.20	0,07878	5096
N.21	0,01749	1171
N.22	0,00792	512
N.23	0,00792	512
N.24	0,00578	394
N.25	0,00192	142

En ésta tabla se representa el grupo total de pilotos analizados del 1 al 25, numerados según la cantidad de horas voladas en vuelos internacionales al año, siendo el primero aquel que acumuló mayor cantidad de horas al año; que aquí se representan en minutos/año. Al comparar el piloto N.6 con el N.8 se evidencia que la cantidad de tiempo en vuelo menor del segundo no implica menor exposición.

En la siguiente tabla se clasifican los pilotos estudiados en rangos de exposición a milisiverts que permite diferenciar grupos de mayor riesgo

Milisiverts	No. de Personas	%
$0.0 \leq x < 0.5$	19	76%
$0.5 \leq x < 1$	1	4%
$1 \leq x < 1.5$	2	8%
$1.5 \leq x \leq 2$	3	12%
TOTAL	25	100%



8. Discusión de resultados

En este estudio existe una población de pilotos predominantemente masculina, altamente seleccionada por el tipo de aeronaves y rutas que vuelan, la mayoría portadores de licencia de primera clase y certificados para aviación civil en Colombia en el año de estudio 2005

Si bien, encontramos mayor prevalencia de copilotos que de pilotos en el estudio es importante reconocer que el ambiente de cabina para ambos grupos es el mismo y esto no generará cambios en la exposición a radiación ionizante.

La edad media de 41 años coincide con el rango de edad en el que se encuentran la mayoría de los pilotos, probablemente relacionado con el tiempo de horas y experiencia de vuelo necesarios para la realización de vuelos internacionales requeridos en la mayoría de aerolíneas comerciales

Una prevalencia aumentada del lugar de residencia en Bogotá puede estar relacionada con el hecho de poseer uno de los aeropuertos internacionales más importantes del país y de Latinoamérica.

El grupo poblacional es muy pequeño para poder realizar inferencias o comparaciones en cuanto a la prevalencia de enfermedades, pero nos permite tener un panorama en el que se observa un alto porcentaje (40%) de pilotos sin antecedentes patológicos que coincide con las observaciones mundiales sobre éste tipo de grupo poblacional en el que su alto nivel socioeconómico, el acceso a la salud y la prevención hacen de ellos una población mayoritariamente sana. Llama sin embargo la atención encontrar antecedentes de patologías críticas en el proceso de recuperación para el óptimo desempeño en ambientes especiales como es el de meningitis a los 18 años de edad en uno de los encuestados.

Los tipos de aeronaves encontradas para vuelos internacionales en el año 2005 se encuentran en relación directa con el desarrollo aeronáutico nacional para la época. Se

podieron analizar las rutas en éstas aeronaves en el contexto de altitudes de crucero de 25 mil y 35 mil pies, las cuales no discrepan de las encontradas actualmente en aeronaves más modernas donde lo que sin duda variará para el cálculo de exposición a radiación ionizante será su rendimiento en cuanto a velocidad para alcanzar las altitudes requeridas en vuelo y por ende el tiempo de duración en estas altitudes (ver anexo 6)

Los trayectos internacionales cortos mas volados fueron entre Bogotá y Caracas, Bogotá – Quito y Bogotá-Panamá; con tiempos acumulados totales superiores a los encontrados en las rutas internacionales medianas mas voladas (Bogotá-New York, Cali –Miami y La florida-Bogotá). De las rutas largas Bogotá-Sao Paulo (Brasil) fue la que presentó mayor cantidad de horas acumuladas y de las rutas ultralargas los vuelos entre Bogotá y Madrid (España).

En las rutas internacionales con mayor exposición a radiación ionizante, Madrid-España se encuentra en los primeros lugares como origen ó como destino; y esto guarda relación directa con las características de ese vuelo en el que se alcanzan altitudes de crucero altas por tiempos prolongados. Le siguen los vuelos hacia Estados Unidos, principalmente hacia áreas más polares del país norteamericano como son Idaho y New York. Las rutas con menor exposición corresponden principalmente a trayectos cortos.

Se encontraron 5 pilotos, que corresponden al 20% de la muestra con niveles superiores a 1 milisivert de exposición lo que los ubicaría en la categoría B de exposición ocupacional. Estos valores deben corroborarse con mediciones en el área de trabajo (cabina de la aeronave) y de manera individual por dosimetría lo que de verificarse obligaría a tener la zona de trabajo catalogada como zona vigilada con los requerimientos técnicos internacionalmente aceptados para el seguimiento de éstas áreas.

Los pilotos en los que se encontraron éstos valores tuvieron exposición exclusiva a vuelos internacionales, el 80% restante de la muestra en los cuales se tiene un acumulado menor de 1 milisivert, fueron pilotos que además volaron rutas nacionales que no están siendo contabilizadas en éste estudio, y que podrían significar un aumento del valor acumulado anual que debe ser medido en estudios subsecuentes.

Hay que tener en cuenta que la exposición expresada en milisiverts en pilotos sólo hace referencia a su exposición ocupacional y no se incluye la dada por exámenes médicos u otras fuentes de radiación ionizante; por lo que se debe tener en cuenta que los límites

mundialmente aceptados para diferenciar la exposición de la población general y de los ocupacionalmente expuestos son sólo rangos de protección y de seguimiento. Lo realmente importante en el ámbito aeroespacial es reconocer que factores individuales pueden generar riesgos incluso con dosis menores de acuerdo a la habilidad de reparación del ADN, entre otros. Se genera así con la presencia de éstos resultados una necesidad científica de comprobación técnica de los resultados que se deben ceñir a protocolos debido a que no es suficiente el seguimiento con la utilización de software así estén validados.

9.Problemas y limitaciones del estudio

Los pilotos seleccionados se encuentran en las diferentes empresas de aviación civil en todo el país y viajan diariamente en horarios de actividad académica por lo que la aplicación de encuestas de persona a persona y la recolección de las bitácoras toma más tiempo del presupuestado. Un gran porcentaje de pilotos manifestaron verbalmente temor de prestar su información por miedo a las implicaciones legales que pudieran tener.

La muestra del estudio no permite hacer inferencias extrapolables a la totalidad de la población de pilotos civiles que se encuentran actualmente volando con licencia vigente en nuestro país. Al utilizar información de bitácoras diligenciadas en diferentes aerolíneas se observan errores de digitación y/o escritura que hacen que se pierda información relevante. La utilización de códigos IATA erróneos generó pérdida adicional de información.

10. Conclusiones

Las conclusiones aquí expuestas son parciales y no definitivas en tanto se trata de un informe preliminar y ellas tendran lugar cuando se culmine el estudio con la muestra calculada teniendo en cuenta además las rutas nacionales.

- ✓ En pilotos de aviación civil de Colombia en el año 2005, la exposición a radiaciones ionizantes en rutas internacionales oscila entre 0,002 milisiverts y 1,850 milisiverts.
- ✓ Existe en la aviación una exposición a radiación ionizante que constituye un factor de riesgo físico, y la forma más precisa de evaluar su severidad en aviación comercial es a través de la medición y monitorización con contadores proporcionales de tejido a bordo de las aeronaves.
- ✓ El software e-cari 6 es útil para identificar la exposición aproximada a radiación ionizante pero posee limitaciones para nuestro país, debido a que no todos los aeródromos nacionales tienen código OACI por lo que no podrían hacerse cálculos a través de este software y además no tiene en cuenta variables horarias (vuelo de día o vuelo de noche) que son importantes cuando se habla de exposición.
- ✓ No se ha descrito en la historia de la aviación y la física ningún riesgo de incapacitación súbita en vuelo por efectos de la exposición a radiación ionizante ni siquiera en la aparición de eventos solares.

- ✓ El nivel preciso de riesgo que define a un piloto como expuesto a radiación ionizante debe ser calculado con mediciones activas como lo es el sistema automático de microdosimetría.

- ✓ La monitorización biológica de la radiación es necesaria para establecer relaciones de causalidad con signos, síntomas y síndromes en la población estudiada.

- ✓ Aparentemente el riesgo por exposición a radiación ionizante en la población de aviadores civiles de Colombia es bajo y no supera los 6 msv de riesgo internacionalmente aceptado para monitorización individual.

- ✓ En prevención del riesgo ocupacional es necesario diseñar programas de promoción de la salud y prevención de la enfermedad orientado por expertos en el tema de radiaciones y medicina aeroespacial con el fin de generar cultura de autocuidado dentro de la población de aviadores civiles que eviten un aumento del riesgo por exposición adicional a otras fuentes de radiación ionizante.

11. Recomendaciones

Se recomienda a los estudiantes, investigadores, pilotos, aerolíneas comerciales y estudiosos del tema:

- Potenciar los estudios sobre viabilidad y efectividad de las acciones de medición de radiación ionizante con el fin de realizar actuaciones preventivas y correctoras
- Incluir medidas de capacitación sobre radiación ionizante a los tripulantes de las diferentes aerolíneas de aviación comercial en Colombia
- Potenciar el cumplimiento de la legislación vigente en materia de protección radiológica de la población general y del trabajador ocupacionalmente expuesto, por parte de la Administración Sanitaria.
- Verificar la formación de los médicos prescriptores de la población de pilotos para evitar procedimientos con radiaciones ionizantes injustificados desde el punto de vista clínico.
- Asegurar la representación de las instituciones vinculadas con la salud del piloto en un Comité Asesor Consultivo como organismo responsable de la seguridad nuclear y protección radiológica en vuelos comerciales
- Contemplar un apoyo académico a los diferentes programas relacionados con las radiaciones ionizantes y la salud
- La reducción del tiempo de exposición al máximo, lo que reduce las dosis recibidas.

A. Anexo: Consentimiento informado

El grupo de investigación de radiación de la Universidad Nacional de Colombia con el ánimo de describir la cantidad de radiación ionizante de fuentes cósmicas a las que están expuestos los pilotos, ha planteado un estudio al cual queremos invitarlo a participar con el objetivo de evaluar la dosis de exposición, principalmente por la ausencia de dicha información publicada en Colombia.

Para cumplir con el objetivo propuesto, como primer paso usted deberá de manera completa y sincera diligenciar una sencilla encuesta, la cual nos aportará información de gran importancia para el desarrollo de éste y futuros estudios acerca del tema. De todos los participantes en la encuesta se seleccionará una muestra de individuos que cumplan con criterios de inclusión, a quienes se les solicitará el préstamo de su bitácora de vuelo. Los datos se utilizarán únicamente con propósitos netamente científicos durante esta investigación.

Aclaremos, que este proyecto es de carácter investigativo únicamente, no representa costo económico para usted y la participación es completamente voluntaria. Podrá retirarse cuando así lo considere sin que esto le acarree consecuencia alguna, garantizamos estricta confidencialidad. La información será analizada y depurada para su posterior publicación.

De encontrar alguna alteración individual en la exposición a la radiación que se considere de riesgo se informará de manera oportuna al piloto y se le brindarán las recomendaciones pertinentes. Este estudio está regido por las normas de ética en investigación dictadas por el estado colombiano en la resolución 8330/1993, a su vez ha sido evaluado y aprobado por los respectivos comités de ética de la Universidad Nacional de Colombia.

Con las razones anteriormente expuestas, le invitamos a participar en esta investigación, con el propósito de promover y proteger la salud.

Yo _____ identificado(a) con
C.C. _____ de _____ acepto participar en
este estudio y hago constar que se me ha explicado claramente y entiendo el carácter de los
mismos, sus riesgos y beneficios, además acepto proporcionar información veraz y la bitácora
requerida

FIRMA
C.C

Responsable del proyecto
LUZ NEIDY CASTRO GONZÁLEZ

TESTIGO
C.C

B. Anexo: Encuesta



PARA SER DILIGENCIADO POR EL INVESTIGADOR:

1. CODIGO:
2. FECHA:

FORMATO DE REGISTRO DE CASO

Por favor lea las siguientes preguntas cuidadosamente y contéstelas tan claro y conciso como le sea posible. La información dada por usted no será asociada con su nombre en ningún documento público y será conocida solamente por el investigador principal con objeto de este estudio. Las respuestas provistas por usted serán utilizadas para la interpretación de nuestros resultados. Así mismo le pedimos que amablemente nos colabore brindando la información correcta. Gracias por su colaboración.

IDENTIFICACIÓN

NOMBRES Y APELLIDOS: _____

OCUPACIÓN: ☐ Piloto ☐ Copiloto

N. DE LICENCIA: _____

TELÉFONO Y/O CELULAR: _____

DATOS PERSONALES

Fecha de diligenciamiento: ____/____/____

Fecha de nacimiento ____/____/____

Edad: _____

Sexo: ☐ Femenino ☐ Masculino

Lugar de Procedencia (mayor tiempo en los últimos 6 meses):

Ciudad Residencia: _____

Teléfono de contacto: _____

Usted califica su lugar de residencia como:

☐ Rural ☐ Urbano ☐ Comercial ☐ Cercano a industrias

ANTECEDENTES PATOLÓGICOS:

1. Alguna vez ha tenido o tiene alguna de las siguientes enfermedades:

ENFERMEDAD	SI	NO	ENFERMEDAD	SI	NO
Cáncer			Meningitis		
Hepatitis			Infecciones virales o bacterianas		
Mononucleosis			Enfermedad cardiovascular		
Herpes			Diabetes		
VIH ó SIDA			Otras		

2. Si su respuesta es afirmativa, especifique tipo de enfermedad , tratamiento y hace cuánto

3. Ha sido sometido durante su vida a procedimientos diagnósticos o terapéuticos con

Rayos X	☐ Si	☐ No	Cuántas veces? _____
TAC (tomografía axial computarizada)	☐ Si	☐ No	Cuántas veces? _____
PET (Tomografía por emisión de positrones)	☐ Si	☐ No	Cuántas veces? _____
Gammagrafía	☐ Si	☐ No	Cuántas veces? _____
Radioterapia	☐ Si	☐ No	Cuántas veces? _____
Estudios de medicina nuclear?	☐ Si	☐ No	Cuántas veces? _____

4. Ha sido sometido a cirugías?

☐ Si ☐ No Cuál (es)?: _____

Cuándo?

5. Ha fumado alguna vez? ☐ Si ☐ No en caso negativo pase directamente a f.

a. Fuma actualmente? ☐ Si ☐ No en caso positivo pase a d.

b. Cuándo fue la última vez que fumó?: _____

c. Durante cuánto tiempo fumó?: _____

d. Cuántos cigarrillos cada día: _____

e. Cigarrillos con filtro ☐ Si ☐ No Marca: _____

f. Fuma pipa,asca o esnifa tabaco? ☐ Si ☐ No cual? _____

6. Consume sustancias recreativas? (cocaína, marihuana, extasis, otras)

Si ☐ no ☐ Cuál? _____

Frecuencia: _____

Hace cuánto tiempo? _____

7. Usted toma cerveza? Si ☐ no ☐

a. 1 a 6 botellas a la semana o menos

b. 7 a 12 botellas a la semana

c. 13 a 24 botellas a la semana

d. más de 24 botellas a la semana. Cuántas? _____

8. Usted toma vino? Si ☐ no ☐

a. 1 a 4 copas a la semana o menos

b. 5 a 8 copas a la semana

c. 9 a 16 copas a la semana

d. más de 16 copas a la semana. Cuántas? _____

9. Consume otros licores? Si ☐ no ☐ Cuál(es): _____

a. 1 a 4 copas a la semana o menos

b. 5 a 8 copas a la semana

c. 9 a 16 copas a la semana

d. más de 16 copas a la semana. Cuántas? _____

HABITOS DE DIETA

10. Usted consume sólo vegetales? Si ☐ no ☐

11. Usted consume carne?

Pescado ☐ Pollo ☐ Cerdo ☐ Res ☐ Embutidos o charcutería ☐

Cómo prefiere su carne ?

☐ A la parrilla ☐ Asada ☐ Sudada

☐ Termina medio ☐ Termina Completo

12. Consume bebidas de dieta? Suplementos de dieta? Cuáles y cuántas veces al día? _____

13. Describa si tiene hábitos especiales de dieta

14. Usted toma café? Si ☐ no ☐

Cuánto al día? _____

Descafeinado? Si ☐ no ☐

15. Usted toma té? Si ☐ no ☐

Cuánto al día? _____

HISTORIA OCUPACIONAL

16. Cuál es su cargo actual? _____

Cuántos años ha laborado en el cargo actual? _____

17. Nombre de la entidad que labora

18. Cuánto tiempo lleva laborando en ésta institución: _____

Haga una breve descripción de las actividades o tareas realiza?

19. Número de horas al día que labora y cuántos días a la semana

20. Otras ocupaciones. Explique tipo de trabajo. Hace cuánto y duración total

Usted cree que en la labor que realiza esta expuesto alguno de los siguientes factores?:

Ruido Si ☐ No ☐

Temperaturas Si ☐ No ☐

Radiaciones Si ☐ No ☐

Vibraciones Si ☐ No ☐

Trabajo en socavones Si ☐ No ☐

Sustancias químicas Si ☐ No ☐

22. Haga una lista de cualquier otra exposición que haya tenido durante la realización de sus actividades laborales:

HISTORIA DE EXPOSICIÓN

21. Ha estado expuesto alguna vez a los siguientes elementos en su trabajo?

AGENTE	PRIMERA VEZ (AÑO)	ULTIMA VEZ (AÑO)	TIEMPO TOTAL (AÑOS) Y FRECUENCIA A LA SEMANA
Asbesto			
Radiaciones			
Productos del carbón			
Polvo (madera, partículas finas de metal)			
Pesticidas/Herbicidas			
Productos del petróleo			
Tintas			
Solventes			
Otros químicos			

HISTORIA GENETICA

23. Sabe usted de cualquier defecto del nacimiento o heredado que haya afectado a sus familiares, hermanos o hijos? Si ☐ no ☐

Cual? _____

24. Ha tenido usted o su compañera(o) dificultad para concebir por un periodo mayor a 12 meses o han sido diagnosticados con infertilidad? Si ☐ no ☐

25. Usted o su compañera(o) han tenido hijos con defectos de nacimiento u otros desordenes genéticos? Si ☐ no ☐

26. Usted o su compañera(o) han tenido aborto o perdidas? Si ☐ no ☐

HISTORIA GINECOLÓGICA

27. Embarazos _____ Abortos: _____ N. de hijos: _____

Método de planificación _____

Ciclos: Regulares ☐ Irregulares ☐ Duración _____

HISTORIA FAMILIAR

28. Mencione enfermedades importantes presentes en su familia (padres, hermanos, abuelos, tios, hijos explicando quien, edad aproximada y tipo de enfermedad) como

Hipertensión arterial: _____

Diabetes: _____

Cáncer: _____

Enfermedades genéticas: _____

Malformaciones: _____

Gracias por su Colaboración,

Luz Neidy Castro

Investigador Principal

Universidad Nacional

C. Anexo: Ejemplo de contenido en una bitácora de vuelo

FECHA 2005	CARACTERISTICAS DEL AVION						ETAPAS
	MARCA	CLASE	TIPO	MATRICULA	MARCA MOTOR	H.P.	
18-Abr	BOEING	BIMO	767	N948AV	P & W	112.000	NYC-BOG
23-Abr	BOEING	BIMO	767	N986AN	P & W	112.000	BOG-MIA-BOG
25-Abr	BOEING	BIMO	767	N948AV	P & W	112.000	BOG-NYC
27-Abr	BOEING	BIMO	767	N421AV	P & W	112.000	NYC-BOG
28-Abr	BOEING	BIMO	757	EI-CEZ	P & W	112.000	BOG-MDE
05-May	BOEING	BIMO	767	N421AV	P & W	112.000	BOG-FLL-BOG
06-May	BOEING	BIMO	757	N506NA	P & W	112.000	BOG-CLO
07-May	BOEING	BIMO	757	N506NA	P & W	112.000	CLO-UIO
09-May	BOEING	BIMO	757	EI-CEZ	P & W	112.000	BOG-UIO-BOG
09-May	BOEING	BIMO	757	N506NA	P & W	112.000	BOG-UIO-BOG
12-May	BOEING	BIMO	767	N948AV	P & W	112.000	BOG-NYC

D. Anexo: Ejemplo de la base de datos

ORIGEN	DESTINO	TIEMPO	40 TIE	30 TIE	MICRO	MICRO	Piloto N.1	CALCULO	micros	Piloto N.2	CALCULO	micros
							2005_2			2005_14		
AUA	BOG	103	63	73	3,34	1,55		0	0		0	0
AUA	BAQ	71	31	41	1,94	0,96		0	0	1	71	0,96
BAQ	AUA	71	31	41	1,94	0,96		0	0	1	71	0,96
BAQ	HAV	147	107	117	6,15	2,7		0	0		0	0
BAQ	MIA	159	119	129	6,98	3,04		0	0		0	0
BAQ	FLL	162	122	132	7,17	3,12		0	0		0	0
BOG	AUA	103	63	73	3,33	1,55		0	0		0	0
BOG	BUE	376	336	346	14,96	6,51		0	0		0	0
BOG	CCS	106	66	76	3,41	1,58	1	106	1,58		0	0
BOG	COR	337	297	307	13,1	5,73			0		0	0
BOG	CUN	201	161	171	8,38	3,64		0	0		0	0
BOG	CUR	105	65	75	3,41	1,58		0	0		0	0

Los códigos están expresados en IATA y el cálculo inicial se hace en microsieverts

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	ORIGEN	DESTINO	TIEMPO	1 CALCULO_2	5 CALCULO_2	20 CALCULO_2	9 CALCULO_3	11 CALCULO_3	13 CALCULO_3	14 CALCULO_3
2										
3	AUA	BOG	103	0	103	0	0	103	206	0
4	AUA	BAQ	71	0	0	0	0	0	0	0
5	BAQ	AUA	71	0	0	0	0	0	0	0
6	BAQ	HAV	147	0	0	0	0	0	0	0
7	BAQ	MIA	159	0	318	2544	0	0	954	159
8	BAQ	FLL	162	0			0	0		
9	BOG	AUA	103	0	103	0	0	103	206	0
10	BOG	BUE	376	0	0	0	0	0	0	0
11	BOG	CCS	106	106	636	1484	0	848	848	424
12	BOG	COR	337				0			
13	BOG	CUN	201	0	0	0	0	0	0	0
14	BOG	CUR	105	0	0	630	0	0	420	0

El número previo al guión bajo corresponde al piloto y el número después al guión bajo denota el tipo de aeronave

E. Anexo: Explicación de un plan de vuelo

explicación Plan de Vuelo.pdf - Adobe Acrobat Professional

PLAN 9143 AVA9282 SKIB TO SKBO FKR5 NCP/F IFR 10/29/12
NONSTOP COMPUTED 1410Z FOR ETD 1550Z PROGS 2906NWS HK4470-A LBS

	FUEL	TIME	CORR	TOGWT	LDGWT	ZFW	AVG W/C
DEST SKBO	000623	00.25	-----	040532	039909	037692	P000
CONT	000000	00.00	-----				
ALTN	000700	00.37	-----				
RESV	001100	00.45	-----				
MFR	002423	01.47	-----				
EXTRA	000417	00.20	-----				
T/O FUEL	002840	02.07	-----				
TAXI	000060						
BLOX	002900	02.07	-----				

ALTN SKPE DIST 0139 W/C P003
Aeropuerto Atterno Pereira
BOW 029692 PAYLOAD 008000

TRK FOKKER50 → Avión
NAM 0080 DIST 0080 AVG ISA P17

*Peso despegue
*Peso Aterrizaje
*Peso Sin Combustible

SKIB REPOS2 ABL ABL1D SKBO

FL 130 → Altitud por plan de vuelo (torre de control)
MXSH 00

FUEL NOTES
FUEL BURN ADJUSTMENT FOR 1000LBS INCREASE IN TAKEOFF WT 0006LBS

80 Reporte preliminar del nivel de exposición a radiación ionizante en pilotos civiles de Colombia durante el año 2005 con el uso de un modelo computacional

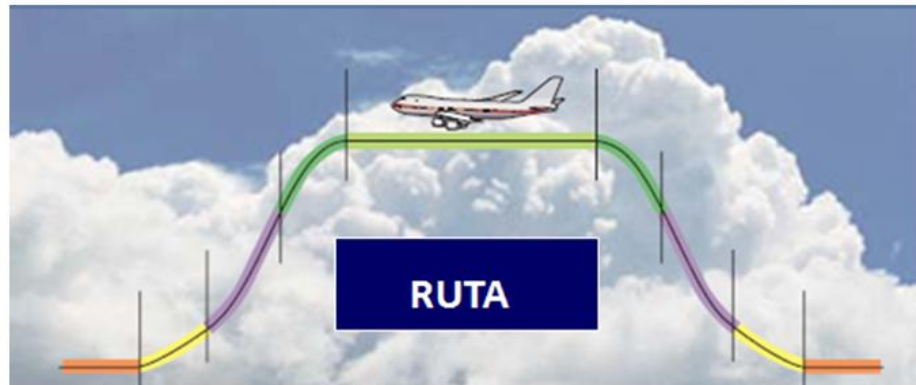
FREQ	FL	WIND	CRS	HDG	AIRWAY	TAS	GS	TIME	TIME	REMN	/ ENGS
SKIB	N04	25.3	W075	08.0				0080		002840	
								00.25			
IBG	N04	23.8	W075	06.4	P025	52/00	002	0002		000022	
112.0	CLB	19005	137	140	REPOS2	152 149	0.01	00.01		002818	
TOC	N04	40.8	W074	51.0	P006	52/00	023	0025		000266	
	130	16005	047	048	REPOS2	262 264	0.08	00.09	*	002574	
ABL	N04	47.0	W074	46.1	P006	52/00	008	0033		000313	
112.7	130	16005	047	048	REPOS2	262 264	0.02	00.11		002527	00755
SAKSO	N04	56.7	W074	42.0	P006	53/00	010	0043		000370	
	130	16005	029	030	ABL1D	262 266	0.02	00.13		002470	00760
RENIP	N04	54.9	W074	35.2	P006	53/00	007	0050		000411	
	130	16005	111	112	ABL1D	262 259	0.02	00.15		002429	00760
SILUM	N04	53.2	W074	28.4	P006	53/00	007	0057		000452	
	130	16005	110	111	ABL1D	262 259	0.02	00.17		002388	00760
D291B	N04	51.3	W074	21.3	P006	53/00	007	0064		000493	
	130	15005	111	112	ABL1D	262 259	0.01	00.18		002347	00760

Ascenso
 * Distancia
 * Tiempo
 * Altitudes
 * Primera ruta
 Time 9 min
 Crucero

130	14005	135	136	ABL1D	262	257	0.00	00.19	002329	00771
SKBO	N04	42.1	W074	08.8	P013	53/00	013	0080	000623	
	DSC	13004	135	136	ABL1D		0.06	00.25	002217	
(FPL-AVA9282-IS -F50/M-S/C -SKIB1550 -N0262F130 REPOS2 ABL ABL1D -SKBO0025 SKPE -REG/HK4470 SEL/FKAM OPR/AVIANCA/AV/AVA DOF/121029 -E/0207 P/TBN R/V A/WHT/RED)										
ALTERNATE	- 1	SKPE	MSA	TTK	DIST	FL	W/C	TIME	FUEL	
			196	274	139	180	P003	00.37	700	
ALTERNATE DATA -N0227F180 SILEG1 IBG W2 EPO EPO3C										
CPT	LAT	LONG	MCS	DIST						
R	N04406	W074062	126	0003						

Descenso
 Tiempo de Vuelo total
 # de Altitudes = 3 - Ascens
 - Crucer
 - Descen
 Tiempo en Descenso
 6 minutos
 de 130 a DSC

F. Anexo: Ejemplo de una ruta de vuelo



TIPO AERONAVE
FECHA DE VUELO
CÓDIGO DE ORIGEN Y DE DESTINO
No DE ALTITUDES EN RUTA
MINUTOS A LA PRIMERA ALTITUD EN RUTA
ALTITUD DE CRUCERO EN MILES DE PIES
MINUTOS DE DURACION A ESA ALTITUD DE CRUCERO
MINUTOS DE DESCENSO

G. ANEXO: Rutas en código IATA Y OACI

CIUDAD	PAIS	IATA	OACI	NOMBRE DEL AEROPUERTO
Bogotá	Colombia	BOG	SKBOG	Aeropuerto Internacional el dorado
Buenos Aires	Argentina	BUE	SAEZ	Area metropolitana
Cali	Colombia	CLO	SKCL	Aeropuerto internacional alfonso bonilla aragon
Madrid	España	MAD	LEMD	Aeropuerto internacional de madrid-barajas
Maiquetía	Venezuela	CCS	SVMI	Aeropuerto internacional de maiquetía
Miami	Florida, U.S	MIA	KMIA	Aeropuerto Internacional de miami
New York	NYC U.S	NYC	KJFK	Area metropolitana
Quito	Ecuador	UIO	SEQU	Aeropuerto internacional mariscal sucre
Santiago de chile	Chile	SCL	SCEL	Aeropuerto internacional arturo merino benitez
Sao Paulo	Brasil	SAO	SBGR	Area metropolitana

Corresponde a los 10 aeropuertos mas volados en todas las categorías (vuelos cortos, medianos, largos y ultralargos)

En los códigos IATA de area metropolitana se usa el código OACI principal del área para efectos del cálculo de radiación ionizante

GLOSARIO

A

ABSORCION DE LA RADIACIÓN: Proceso mediante el cual se transfiere energía a los átomos del medio irradiado. La transferencia de energía se consigue principalmente por mecanismos de ionización y excitación. [4].

B

BECQUEREL: Una unidad utilizada para medir la radiactividad. Un becquerel es la cantidad de un material radioactivo que se someterá a una transformación en un segundo. A menudo, la radiactividad se expresa en unidades más grandes como: miles (Kg) o millones (MBq) de becquerelios. Como resultado de haber un Becquerel que es igual a una transformación por segundo, hay $3,7 \times 10^{10}$ (37000000000) Bq en un curie [58]. Es definido como una desintegración por segundo de átomos de radón [58].

C

CONTAMINACIÓN RADIATIVA: Presencia indeseable de sustancias radiactivas en seres vivos, objetos o en el medio ambiente. Se habla de contaminación superficial (si afecta a la superficie de los objetos), contaminación externa (piel de las personas) o contaminación interna (órganos internos de personas) [1].

CURIO: Es una medida de la radiactividad sobre la base de la velocidad de desintegración observado de aproximadamente un gramo de radio. El Curie fue nombrado en honor de Pierre y Marie Curie, pioneros en el estudio de la radiación. Un curie de material radiactivo tendrá 37 mil millones de transformaciones atómicas (desintegraciones) en un segundo [46].

D

DAÑO NUCLEAR: Pérdidas de vidas humanas, lesión corporal o perjuicio material que se produce como resultado directo o indirecto de la radiactividad o de su combinación con las propiedades tóxicas, explosivas u otras peligrosas de los materiales radiactivos o de cualquier otra fuente de radiación [1].

DOSÍMETRO: Es un pequeño instrumento portátil (tal como una película, termoluminiscente, o dosímetro de bolsillo) para medir y registrar la dosis total acumulada personal de la radiación ionizante [46].

DOSIS ABSORBIDA: Energía depositada en un punto por unidad de masa de materia. Medida en Gray (Gy) definido como 1 julio/kilogramo [4].

DOSIS COLECTIVA: Dosis colectiva es la dosis efectiva a que ha resultado sometido un cierto grupo de personas. Se mide en sievert por persona (Sv.p.) [1].

DOSIS COMPROMETIDA: Es la dosis efectiva que recibirá una persona durante los próximos 50 años (70 años en el caso de los niños). A consecuencia de la cantidad de material radiactivo que ha incorporado a su organismo. Se mide en sievert (Sv.) [1].

DOSIS DE EXPOSICIÓN: Habilidad de producir ionización de cualquier haz de radiación [4].

DOSIS EQUIVALENTE: Es la medida en julio/kilogramo corregida por los factores de calidad de cada tipo de radiación. La unidad es el Sievert (Sv) [4]. La dosis equivalente en un órgano o tejido es la media de dosis absorbida modificada por el factor de peso(ponderación) de la radiación, en función del tipo y la calidad del campo de radiación externo. El resultado de la modificación de la dosis absorbida con factores de calidad se denomina dosis equivalente. [47].

DOSIS EFECTIVA: Es la suma de cada dosis equivalente de órgano o tejido ponderadas por un factor que tiene cuenta de la probabilidad de un efecto particular. Los factores de corrección se llaman factores de ponderación de los tejidos. Se mide en sievert (Sv.) [47].

E

EXPOSICIÓN: 1). Magnitud física que caracteriza la ionización que produce en el aire una radiación. Su unidad es el Roentgen (R): $1 \text{ R} = 2,58 \text{ E-4 culombios/kilogramo}$. 2). Efecto de someter o someterse a las radiaciones ionizantes [1].

EXPOSICIÓN AGUDA: Una sola exposición que da como resultado un daño o la muerte biológica; caracterizada generalmente por una exposición breve con una duración de no más de 7 días [46].

EYECCIONES DE MASA CORONAL: Erupciones solares ocasionales de partículas de alta energía [5].

ELECTRONVOLTIO: Energía adquirida por un electrón acelerado por un potencial de 1 voltio [21].

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO: Representación de los distintos tipos de ondas electromagnéticas donde se muestra su localización respecto a su longitud de onda o frecuencia [21].

F

FOTÓN: Es un paquete de energía electromagnética (luz visible, luz ultravioleta [UV], ondas de radio, microondas, radiación gamma, radiación X) con suficiente energía para eyectar un electrón orbital desde un átomo [5].

G

GRAY: Es una unidad de medida de la dosis absorbida. Se refiere a la cantidad de energía absorbida en realidad en un material, y se utiliza para cualquier tipo de radiación y de cualquier material. Un gray es igual a un julio de energía depositada en un kg de un material (J/Kg). El Gray puede ser utilizado para cualquier tipo de radiación, pero no describe los efectos biológicos de las radiaciones diferentes. La dosis absorbida se expresa a menudo en términos de centésimas de gray o centi-gray. Una gray es equivalente a 100 rads [46].

H

HADRÓN: Es un compuesto de partículas subatómicas regido por la interacción fuerte. Estas partículas son constadas por quarks y/o por antiquarks así como por gluones, como los protones y los neutrones [56].

HERTZIO: Unidad de frecuencia equivalente a un ciclo por segundo (Hz) [21].

I

IONIZACIÓN: Cuando un ión es producido de un átomo neutro por remoción de un electrón [4].

INDICE DE EFICIENCIA DE LA TRANSFERENCIA DE ENERGÍA: Modo y cantidad de ionizaciones producidas [4].

IRRADIACIÓN: Acción de someter un material o un ser vivo a la acción de las radiaciones. [1].

L

LET: Derivado de sus siglas en inglés Low Energy Transfer. Mide la tasa de energía depositada por unidad de distancia a una partícula que penetra en la materia (por ejemplo, tejido). Cuanto mayor sea el LET, mayor es la radiación ionizante. Como resultado de ello, las interacciones con el tejido (ionizaciones que dañan el tejido) son más densamente agrupados [46].

LÍMITES ANUALES DE DOSIS: Valores máximos, referidos siempre a los doce últimos meses, de las dosis que pueden ser recibidas por los trabajadores profesionalmente expuestos y los miembros del público. Estos valores están fijados legalmente y en ellos no se tiene en cuenta las dosis resultantes del fondo radiactivo natural ni de las exposiciones sufridas como consecuencia de exámenes o tratamientos médicos. Los límites de dosis se aplican a la suma de las dosis recibidas por exposición externa, durante el período considerado, y de la dosis interna integrada resultante de la incorporación de radionucleidos que haya podido tener lugar durante ese mismo período [46].

P

PARTÍCULA ALFA: Una partícula cargada positivamente compuesta de dos neutrones y dos protones emitidos por núcleos radiactivos determinados. Las partículas alfa pueden ser detenidas por capas delgadas de materiales ligeros, como una hoja de papel, y no representan una amenaza de radiación directa o externa, sin embargo, pueden representar una amenaza grave para la salud si se ingiere o se inhala [46].

PARTÍCULA BETA: Un electrón o positrón emitido por los núcleos radiactivos determinados. Las partículas beta se puede detener por el aluminio. Puede ser letal dependiendo de la cantidad recibida [46].

R

RAD: Es una de las dos unidades utilizadas para medir la cantidad de radiación absorbida por un objeto o persona, conocida como la "dosis absorbida", que refleja la cantidad de energía que las fuentes radiactivas depositan en los materiales a través del cual pasan. La dosis de radiación absorbida (rad) es la cantidad de energía (de cualquier tipo de radiación ionizante) depositado en cualquier medio (por ejemplo, agua, tejido, aire) [49].

RADIACIÓN: Emisión y propagación de energía a través del espacio o de un medio material [4].

RADIOACTIVIDAD: Fenómeno por medio del cual se emite radiación de los núcleos de los elementos cuya combinación de neutrones y protones no es adecuada y pueden ser en forma de partículas alfa o beta [4].

RADIOACTIVIDAD ARTIFICIAL O INDUCIDA: De cualquier elemento químico, bombardeando su núcleo con partículas pesadas [4].

RAYOS GAMMA: Son ondas de alta energía de radiación electromagnética emitida por ciertos radionucleidos cuando sus núcleos están en transición de un estado de energía alto a un estado de energía más baja. Estos rayos tienen alta energía y una longitud de onda corta. Todos los rayos gamma emitidos a partir de un isótopo dado tienen la misma energía, una característica que permite a los científicos identificar qué emisores gamma están presentes en una muestra. Los rayos gamma son muy similares a las radiografías [46].

RADIOBIOLOGÍA: Disciplina científica que estudia los fenómenos que se producen en los seres vivos tras la absorción de energía procedente de las radiaciones ionizantes [21].

ROENTGEN: Una unidad de exposición a la radiación ionizante. Es la cantidad de gamma o rayos X necesarios para producir iones resultantes en un suplemento de 0.000258 culombios / kilogramo de aire en condiciones estándar [49].

Bibliografía

- [1] Fernando García Escandón, María Amparo Fernández González, Rafael Castell Salvá y Agustín Valls Fontanals. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Protocolos de Vigilancia Sanitaria Específica {En línea}. {30 marzo de 2013} disponible en: <http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/radiacio.pdf>
- [2] Kojo Katja, Helminen Mika, Leuthold Gerhard, Aspholm Rafael, Auvinen Anssi. Estimating the cosmic radiation dose for a cabin crew with flight timetables. Occup. Environm Med. 2007, 49: 540-545
- [3] Numancia, José María de Bona. Radiaciones Ionizantes. Servicio Médico IBERIA. 2003,1-31 Madrid, España.
- [4] Córdoba, Darío. Toxicología. 5ª edición. 2006, U XI:105 Ed. Manual Moderno. ISBN: 9589446167
- [5] Copeland, Wallace Friedberg y Kile. Ionizing Radiation in Earth's atmosphere and in Space Near Earth. Final Report . 2011 Oklahoma City, OK 73125: Civil Aerospace Medical Institute. Federal Aviation Administration .
- [6] Leonardo Fernández. Ciencias Físicas Primero. {En línea}. {10 febrero de 2013} disponible en: <http://cs-fs-primero.blogspot.com/>
- [7] Gestion-calidad.com. Consulting. Copyright 2009 {En línea}. {10 Mayo de 2013} disponible en: <http://www.gestion-calidad.com/riesgo-laboral.html>
- [8] Capítulo 8. Michael Bagshaw y Francis A. Cucinotta. Cosmic Radiation. Fundamentals of Aerospace Medicine. Fourth Edition. 2008, 221-235 en Jeffery R. Davis et al Philadelphia: LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS
- [9] Gerry M. Kendall. Factors affecting cosmic ray doses at aircraft altitudes. Health phys. 2000, 79(5): 560-562.
- [10] Gray C. Butler, Nicholas J., Lackland DT., Friedberg W. Perspectives of those impacted: airline pilots perspective. Health Phys. 2000, 79(5): 602-607.
- [11] Lim., M. K. Cosmic rays: are air crew at risk?. Occup Environ Med. 2002, 59:428–433.

[12] International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU), {En línea}. {30 marzo de 2013} disponible en: <http://www.icru.org/>

[13] National Aeronautics and Space Administration NASA. <http://science.nasa.gov/>. Imagen traducida al español de la web. {En línea}. {05 junio de 2012} disponible en: http://science.nasa.gov/science-news/science-atnasa/2006/10may_longrange/

[14] Images courtesy SOHO (NASA & ESA) and the Royal Swedish Academy of Sciences. {En línea}. {10 julio de 2008} disponible en: http://www.windows2universe.org/sun/images/sunspots_big_jpg_image.html&edu=elem

[15] Fajardo, Rodríguez Hugo Alberto y Diab, Forero Yamil. Riesgos ocupacionales en aviación civil. Zetta comunicadores S.A., 2012; 15-26. Bogotá D.C, Colombia ISBN: 9789584613509

[16] A review of human carcinogens. Part D: Radiation/ IARC Working Group on the evaluation of carcinogenic risk to humans .2009. Lyon, France.

[17] Rodriguez Novoa Jaime. Factores de Riesgos Físicos, Radiaciones Ionizantes, No Ionizantes e Iluminación. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Febrero de 2008, Bogotá D.C, Colombia

[18] Waters Martha, Bloom Thomas, Grajewski Barbara. The NIOSH/FAA working women's health study: evaluation of the cosmic radiation exposures of flight attendants. Health phys. 2000; 79(5): 553-559

[19] Maeso, Alejandro Úbeda. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad del Gobierno de España. {En línea}. {09 marzo de 2009} disponible en: <http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/camposElectromagneticosSalud.pdf>

[20] Bonassi Stefano, Hagmar Lars, Hannu Norppa, Wilhardt Peter, Forni Alessandra, Wanders Saskia, et al. Chromosomal Aberrations in Lymphocytes Predict Human Cancer Independently of Exposure to Carcinogens. the European Study Group on Cytogenetic Biomarkers. the European Study Group on Cytogenetic Biomarkers and Health Cancer Research.2000, 60: 1619–1625.

[21] Commons, Creative. FORO NUCLEAR. Foro de la Industria Nuclear Española. Rincón Educativo. Energía y Medio Ambiente {En línea}. {30 marzo de 2013} disponible en: http://www.rinconeducativo.org/radiacio/6proteccion_radiologica.html

[22] Dictionaries, Oxford. {En línea}. {29 marzo de 2013} disponible en: <http://oxforddictionaries.com/definition/matter>

- [23] U.S Energy Information Administration (EIA). {En línea}. {29 marzo de 2013} disponible en: <http://www.eia.gov/tools/glossary/index.cfm?id=E>
- [24] Eleanor A. Blakely. Biological effects of cosmic radiation: deterministic and stochastic. *Health Phys.* 2000; 79(5): 495-506.
- [25] Hagmar Lars, Bonassi,S., Stromberg U., Brogger A., Knudsen Le., Norppa H, et al. Chromosomal Aberrations in Lymphocytes Predict Human Cancer: A Report from the European Study Group on Cytogenetic Biomarkers and Health (ESCH). *Cancer Research.* 1998; 58: 4117-4121.
- [26] Whelan E A . Cancer incidence in airline cabin crew. *Occup. Environ. Med.* 2003;60;805-806. Available from: <http://oem.bmj.com/cgi/content/full/60/11/805>
- [27] Boice John D., Jr., Blettner Maria, Auvinen Anssi. Epidemiologic studies of pilots and aircrew, *Health Phys.* 79(5):576 –584; 2000
- [28] Sont W. N., Zielinski J. M., Ashmore J. P., Jiang H., Krewski D., Fair M. E., et al. First Analysis of Cancer Incidence and Occupational Radiation ExposureBased on the National Dose Registry of Canada. W. N. Sont et al. *Am J Epidemiol* 2001;153:309–18.
- [29] Pierre R. Band, Nhu D. Le, Raymond Fang, Michele Deschamps, Andrew J. Coldman,Richard P. Gallagher, et al. Cohort Study of Air Canada Pilots: Mortality, Cancer Incidence, and Leukemia Risk. *Am J Epidemiol* 1996;143: 137-43.
- [30] Haldorsen Tor, Reitan J.B, Tveten U. Cancer incidence among Norwegian Airline cabinaattendants *International Journal of Epidemiology.* 2001; 30: 825-830.
- [31] Blettner Maria, Zeeb Hajo, Langner Ingo, Hammer Gael P., Schafft Thomas. Mortality from Cancer and Other Causes among Airline Cabin Attendants in Germany, 1960–1997. *Am J Epidemiol* 2002; 156:556–65.
- [32] Rafnsson V., Sulem P., Tulinius H., Hrafnkelsson J. Breast cancer risk in airline cabin attendants: a nested casecontrol study in Iceland. *Occup Environ Med* 2003;60:807–809.
- [33] Kojo K., Pukkala E., Auvinen A.. Breast cancer risk among Finnish cabin attendants: a nested case-control study. *Occup Environ Med* 2005;62:488–493.
- [34] Zeeb Hajo, Blettner M., Langner I., Hammer G.P, Ballard T.J, Santaquilani M, et al. Mortality from Cancer and Other Causes among Airline Cabin Attendants in Europe:A Collaborative Cohort Study in Eight Countries *Am J Epidemiol* 2003; 158:35–46.

- [35] Linnarsjö Anette, Pukkala Eero, Aspholm Rafael, Auvinen Anssi, Tveten Ulf, Haldorsen Tor, et al. Incidence of cancer among Nordic airline pilots over five decades: occupational cohort study. *BMJ* 2002;325;567
- [36] Vilhjálmur Rafnsson, Jón Hrafnkelsson, Hrafn Tulinius. Incidence of cancer among commercial airlinepilots. *Occup. Environ. Med.* 2000; 57; 175-179.
- [37] Linnarsjö A., Hammar N., Dammstrom B.G, Johanson M., Eliasch H. Cancer incidence in airline cabin crew: experience from Sweden. *A Occup. Environ. Med.* 2003; 60;810-814.
- [38] Bletner Maria, Zeeb Hajo, Auvinen Anssi, Ballard Terri J., Caldora Massimiliano, Eliacii Harald, et al. Mortality from cancer and other causes among male Airline cockpit crew in Europe. *Int. J. Cancer*: 2003;106: 946–952.
- [39] Paridou A., Velonakis E., Langner I, Zeeb H., Blettner M., Tzonou A. Mortality among pilots and cabin crew in Greece, 1960–1997. *International Journal of Epidemiology*. 2003; 32: 244–247.
- [40] Buja Alessandra, Lange John H., Peressinotto Egle, Rausa Giuseppe, Grigoletto Francesco, Canova Cristina, et al. Cancer incidence among male military and civil pilots and flight attendants:an analysis on published data. *Toxicol Ind Health* 2005; 21; 273.
- [41] Barish Robert J.. In-Flight Radiation Exposure During Pregnancy. PhD. *Obstet Gynecol* 2004; 103:1326 –30.
- [42] Cucinotta F. A., Manuel F. K., Jones J., Iszard G., Murrey J., Djojonegro B., et al. Space Radiation and Cataracts in Astronauts. *Radiation Research* 156(5):460-466. 2001.
- [43] Rafnsson Vilhjalmur, Olafsdottir E., Hrafnkelsson J., Sasaki H., Arnarsson A., Jonasson F. Cosmic Radiation Increases the Risk of Nuclear Cataract in Airline Pilots. A Population – Based Case – Control Study. *Arch Ophthalmol*. 2005; 123: 1102-1105.
- [44] Capítulo 16. J. Borrajo Sánchez, C. Rodríguez Flórez, I. Rubio López, E. Redondo Sánchez. *Corrientes de alta frecuencia. Onda corta*.
- [45] M. Martínez Morillo, J.M. Pastor Vega, F. Sendra Portero. *Manual de Medicina Física*. Ediciones Harcourt, S.A. 2000. Páginas 210-223

[46] Agencia de protección ambiental de Estados Unidos. US environmental protection agency {En línea}. {5 abril de 2013} disponible en: <http://www.epa.gov/rpdweb00/glossary/index.html>

[47] M Bagshaw, D Irvine, D M Davies. Exposure to cosmic radiation of British Airways flying crew on ultralonghaul routes. Occupational and Environmental Medicine 1996, 53:495-498

[48] Dr David Boteler, Captain Bryn Jones, Joseph Kunches, William Murtagh, Mike Stills et al. Integrating Space Weather Observations & Forecasts into Aviation Operations. Canada 2009

[49] <http://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/gray-gy.html> United States Nuclear Regulatory Commission USNRC. Glosario de consulta

[50] Radiation Safety Training Manual. University of California, San Francisco. September 1996.

[51] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with scientific annexes http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2008_1.html

[52] World Nuclear Association. {En línea}. { 5 abril de 2013} disponible en: http://www.world-nuclear.org/info/Safety-and-Security/Radiation-and-Health/Nuclear-Radiation-and-Health-Effects/#.Ub_YYvk9_a0

[53] panelnaranja.es. (s.f.). Mercancías Peligrosas. Comercio, logística y transporte. {En línea}. { 5 abril de 2013} disponible en: <http://panelnaranja.es/radiaciones/#sthash.0VZhKLPD.dpbs>

[54] Pineda, A. (1988). Metodología de la investigación. México: Limusa S.A.

[55] S.A.U, L. (s.f.). portalprevencion.lexnova.es . Recuperado el 31 de 03 de 2013, de <http://portalprevencion.lexnova.es/doctrinaadministrativa/PREVENCION/63889/ntp-614-radiaciones-ionizantes-normas-de-proteccion>

[56] www.astronoo.com. (s.f.). Recuperado el 29 de marzo de 2013, de <http://www.astronoo.com/articles/hadron.html>

[57] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Compendio, tesis y otros trabajos de investigación. Quinta Actualización. Bogota. ICONTEC, 2002.

[58] Ernstig's aviation medicine. Cuarta edición. David J. Rainford. 2006:417-431