



Exposición a radiaciones cósmicas en la operación aérea en Colombia

Hernan Dario Renteria Cáceres. MD. ESO

Yezid Fernando Niño Barrero. IAS. ESO. Msc SP. PhD (c)



Antecedentes normativos

Decreto 2090 de 2003

Actividades de alto riesgo para la salud del trabajador.

Artículo 2º. Actividades de alto riesgo para la salud del trabajador.

- 3. Trabajos con exposición a radiaciones ionizantes.

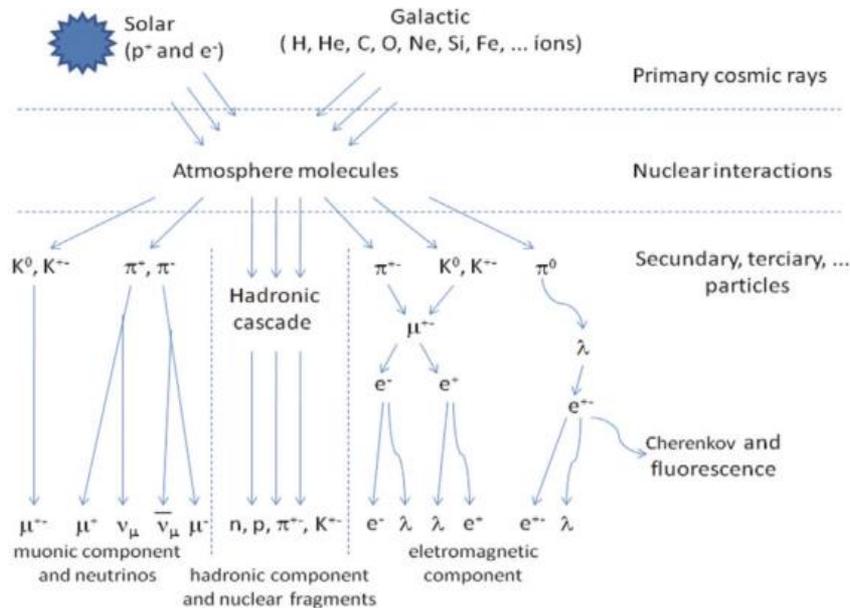
Resolución 1111 de 2017

Estándares mínimos del SG-SST

- Identificación de peligros
- Priorización carcinogénicos

Radiaciones cósmicas

Radiación cósmica



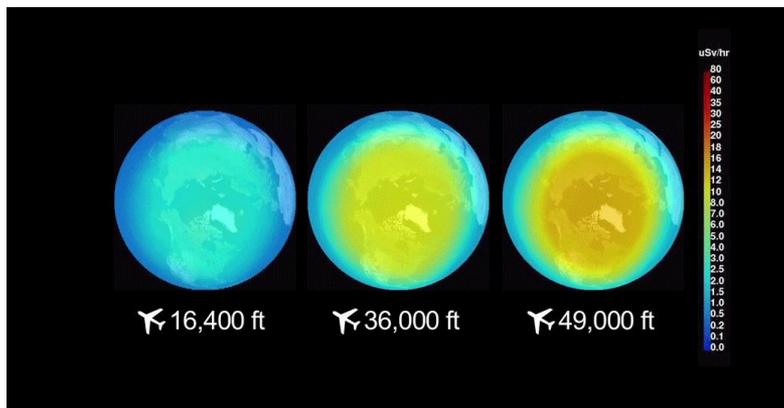
Representación de las reacciones de las partículas primarias de los rayos cósmicos con la atmósfera. Imagen tomada de (Federico et al. 2010)

El tipo de radiación depende de que tanto ha penetrado la radiación galáctica la atmósfera

Una vez la radiación cósmica primaria interactúa con el nitrógeno y el oxígeno de la atmósfera terrestre, se produce radiación secundaria.

A altitudes bajas los muones son los mayores contribuyentes a la dosis efectiva, mientras que a las altitudes de los aviones, los neutrones (55%), electrones y positrones (20%), protones (15%), fotones (5 %) y muones (5%) (Bartlett 2004)

Dependencia de la exposición con la altura



Las tasas de dosis de radiación, observadas en este modelo NAIAS, aumentan con la altura y la latitud y pueden variar de hora a hora. Las tarifas para noviembre 14, 2012, 20: 00-21: 00 GMT se muestran arriba. Los colores más cálidos indican mayores cantidades de radiación. Crédito: NASA / NAIAS

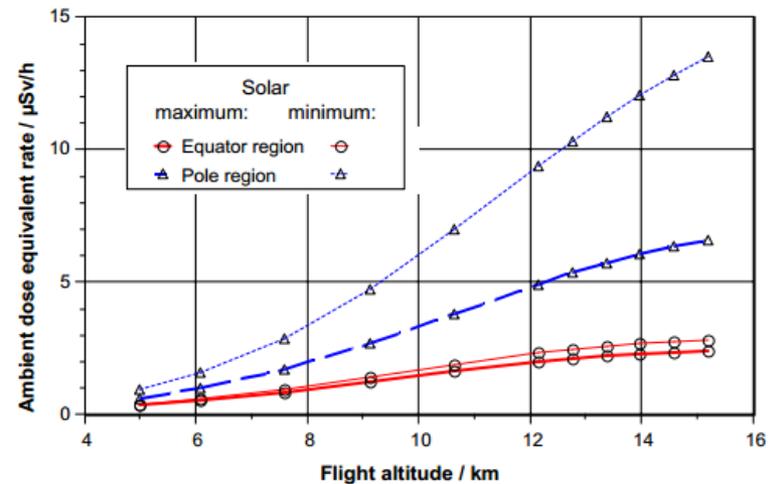
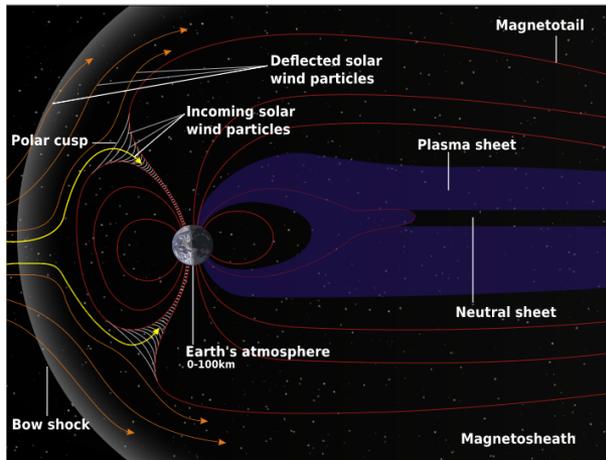
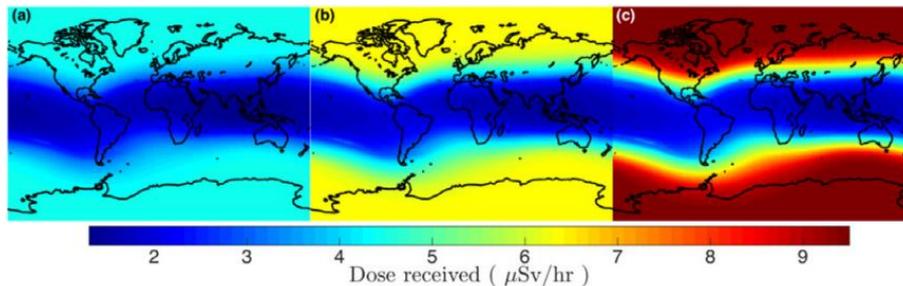


Figure 4.2 Calculated ambient dose equivalent rate, $dH^*(10)/dt$, for conditions close to solar maximum activity in Jan.1990 thick lines and close to solar minimum in Jan. 1998 thin lines, both at zero-meridian ($\lambda=0^\circ$) and geographic latitude ϕ of 0° (red lines) resp. 90° (blue lines).

Dependencia de la exposición con la latitud

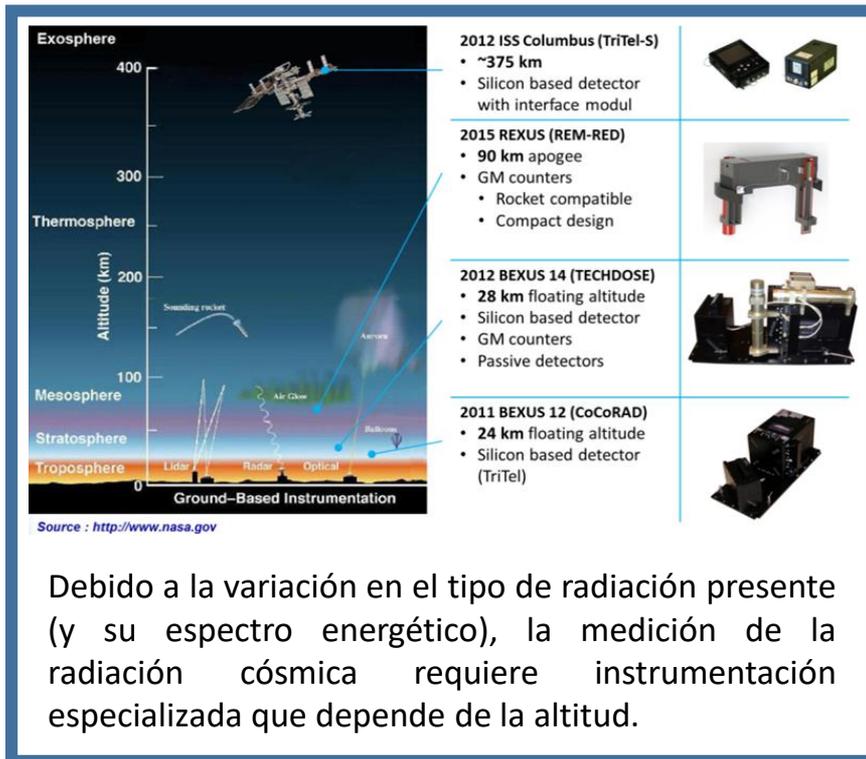


La radiación ionizante interactúa con el campo magnético terrestre y los fenómenos de actividad solar, esto modifica los mapas globales de tasa de dosis. A bajas latitudes, el campo magnético terrestre se comporta como un blindaje frente a las partículas cargadas.



Mapas globales de tasas de dosis a 35 000 pies para una modulación del potencial solar: (a) máximo, (b) medio, y (c) mínimo. (Álvarez, 2016)

Caracterización de la radiación, relación con la altura



Se han desarrollado **software** que permiten la **simulación de cascadas de rayos cósmicos**, calculadas a través de simulación **Monte Carlo** de transporte de partículas, por ejemplo el MCNPX 2.7.0.

Dicho modelamiento ha permitido el cálculo de la fluencia de partículas secundarias (y de tasas de dosis) a diferentes alturas (hasta a 100 km), teniendo en cuenta:

- Efectos de la **actividad solar** y los campos **geomagnéticos**
- Decrecimiento Forbush
- El espectro interestelar usado es el del modelo ISO 15390:2004, modulado por el método potencial heliocéntrico



CARI

Exposición ocupacional en tripulaciones de vuelos



Dosis de radiación cósmica recibidas por las tripulaciones aéreas dependen de las rutas recorridas y de la duración de los vuelos. En promedio, la dosis anual está situada en torno a 3 mSv, es necesario supervisar también a las tripulaciones aéreas¹.

Organización Internacional del Trabajo - C115*

No adoptado por Colombia

Publicaciones internacionales muestran que las dosis de radiación de los tripulantes de vuelos están dentro de 0.2 mSv /año y 3 mSv al año². La dosis anual promedio es inferior a 1 mSv para tripulantes de rutas nacionales³.

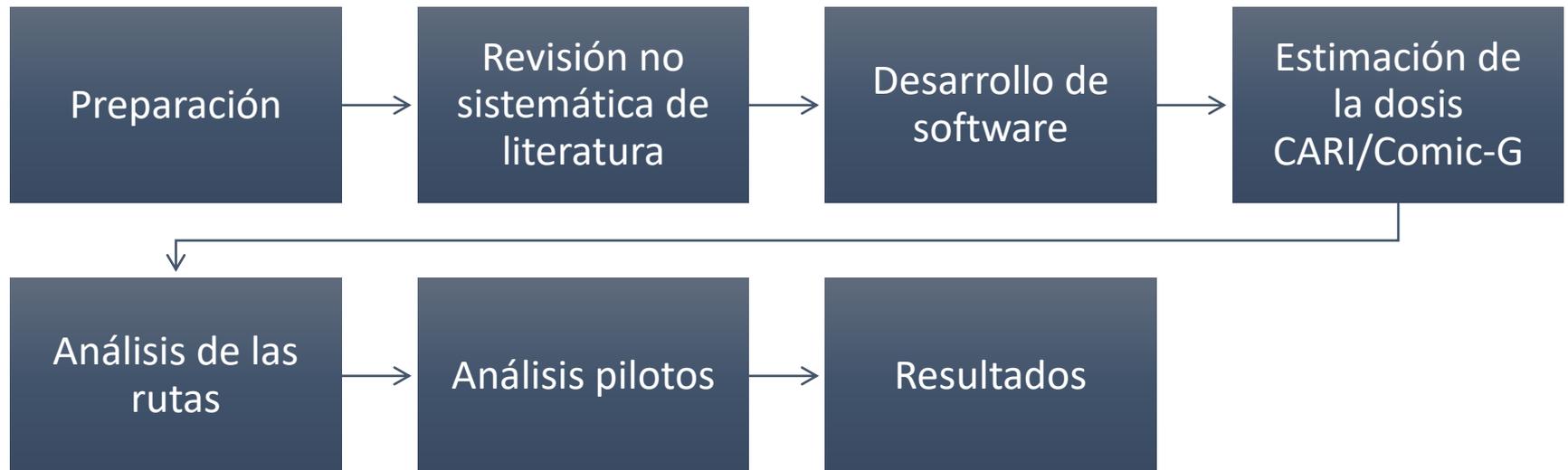
1. S. Niu, "Protección de los trabajadores frente a la radiación Protección de los trabajadores," *Ser. Nota Inf. Safework*, 2011
2. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), *Sources and effects of ionizing radiation UNSCEAR 2000 report to the General Assembly, with scientific annexes Volume I: Sources*. New York, NY (United States): United Nations (UN): UN., 2000.
3. A. S. Paschoa and F. Steinhäusler, "Cosmic Radiation , Including its Effects on Airline Crew , Frequent Flyers , and Space Travel," in *Radioactivity in the Environment*, vol. 17, no. 9, 2010.

Límites de dosis, adaptados del ICRP 60

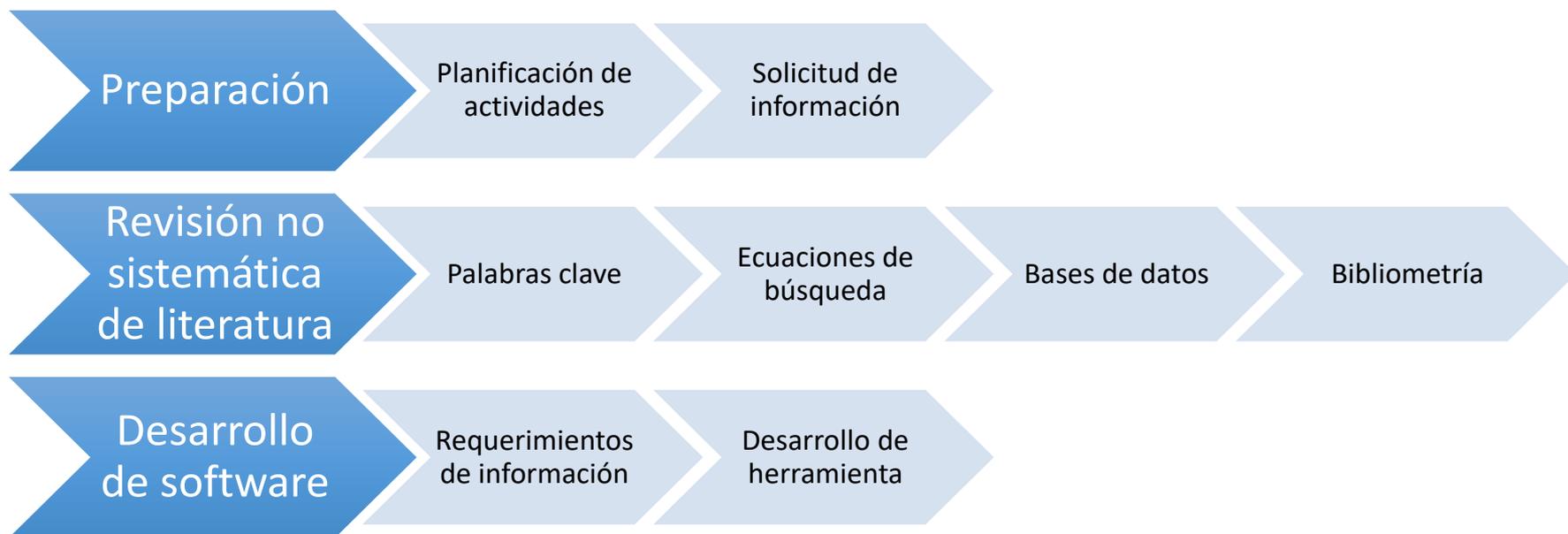
	Límites de dosis anual	
	Ocupacional	Público
Dosis efectiva	20 mSv	1 mSv
Dosis equivalente en:		
Cristalino ⁴	150 mSv	15 mSv
Piel	500 mSv	50 mSv
Manos y pies	500 mSv	-

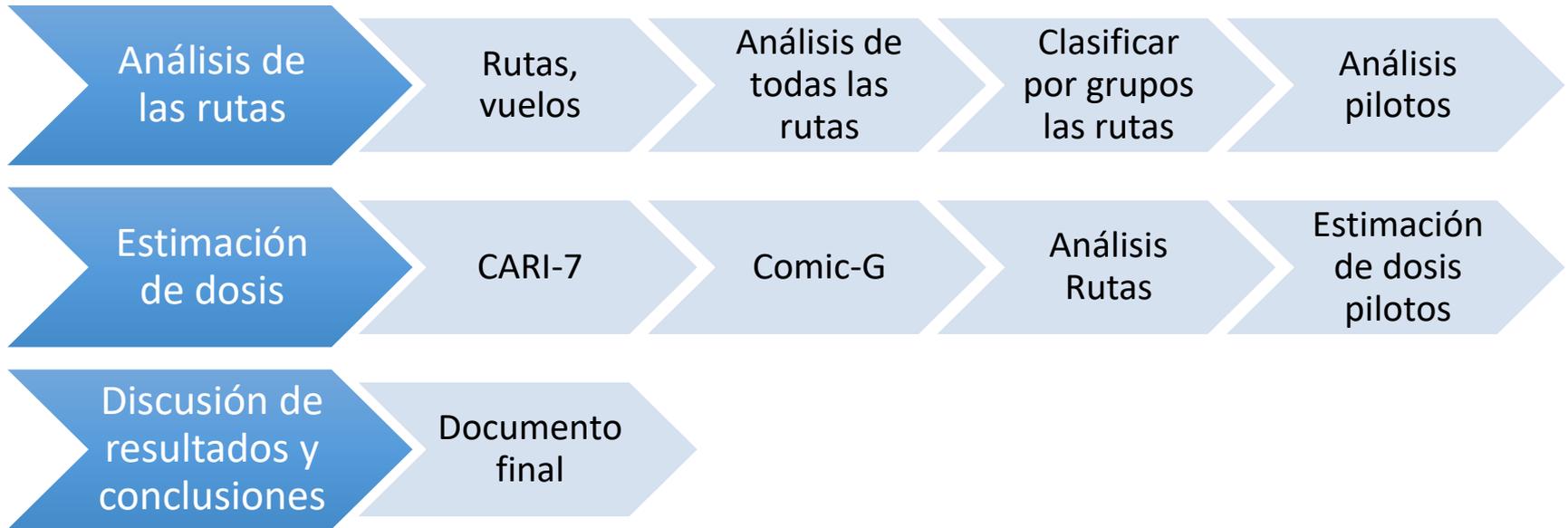
Metodología

Diseño Metodológico



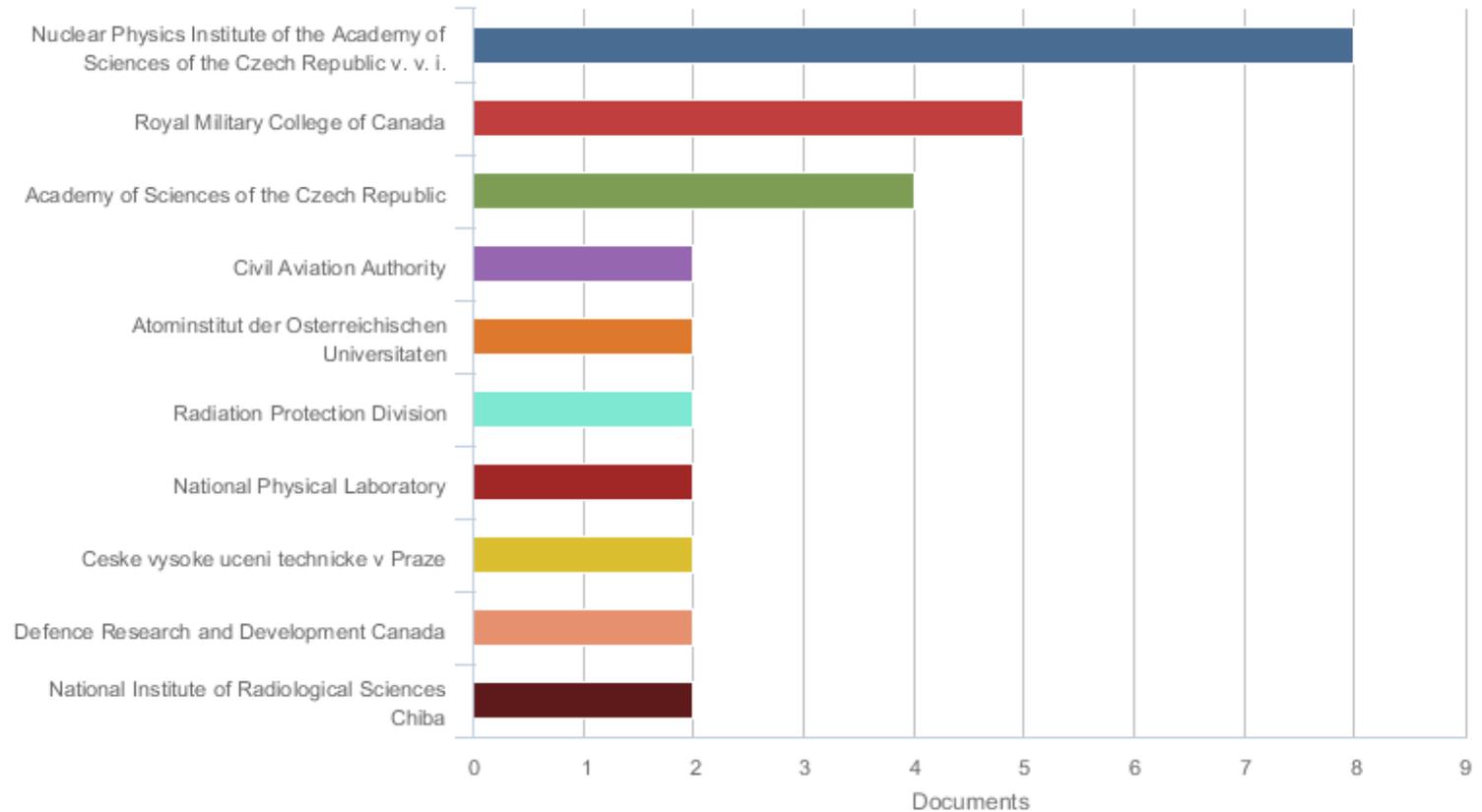
Diseño Metodológico



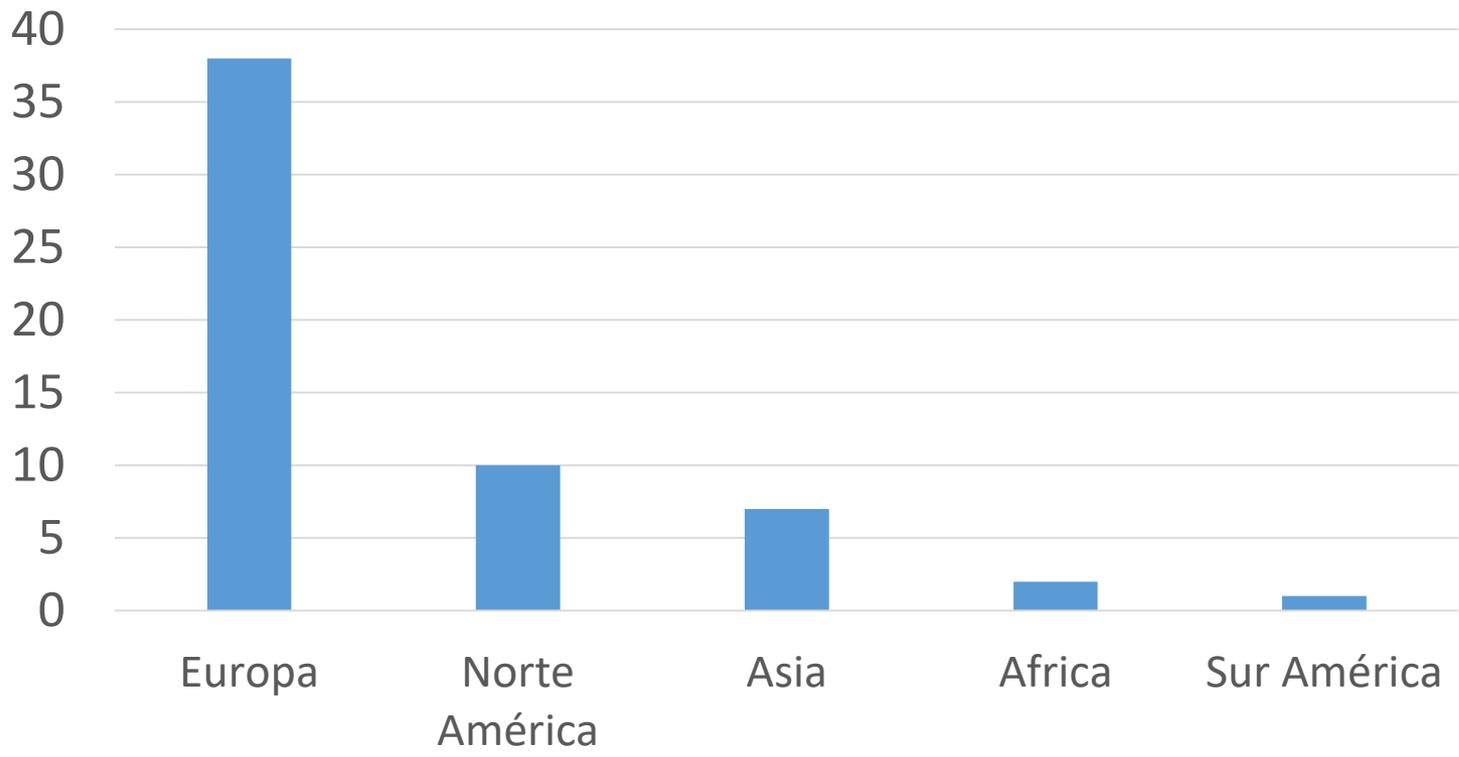


Revisión de literatura

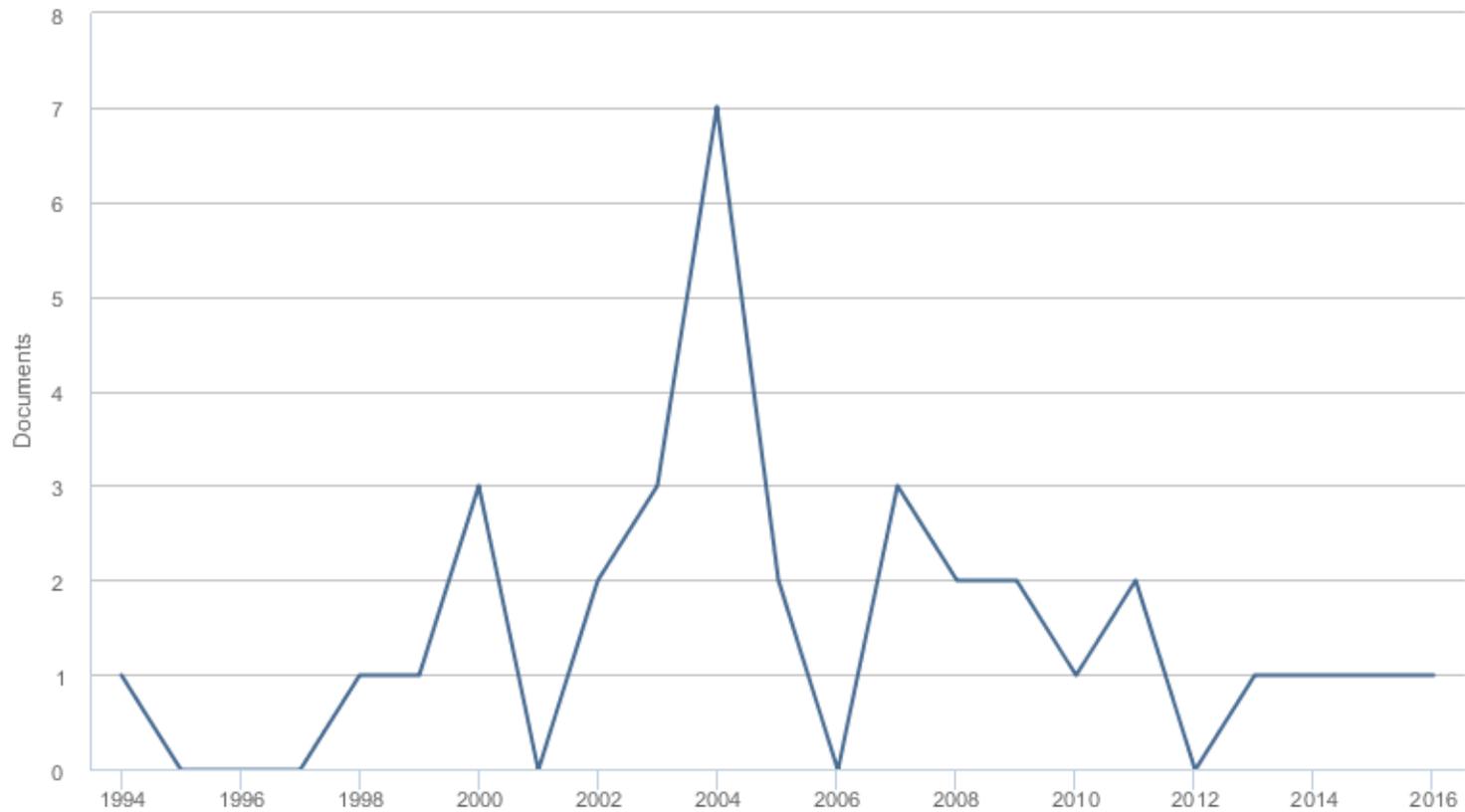
Scopus



Estudios por continente de origen de investigador



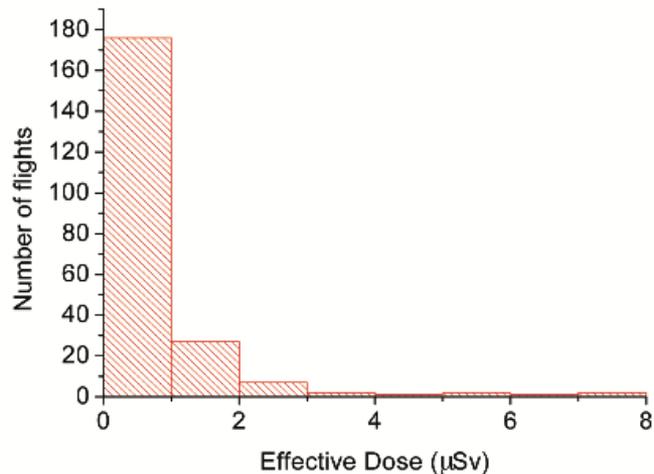
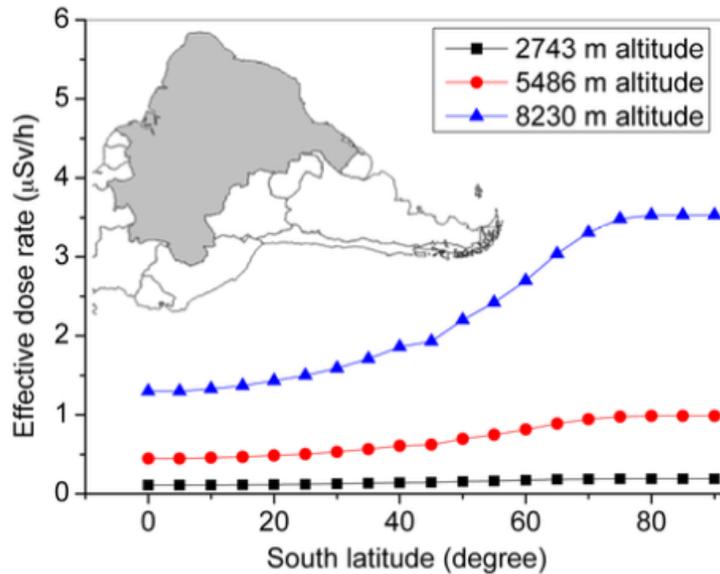
Scopus



Copyright © 2017 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.

Estudio Brasil (Federico et al. 2010)

- 218 vuelos (Flight Test Special Group)
- Dosis efectivas por debajo de 1 mSv año



Efectos en la salud por los neutrones

- La exposición anual de la tripulación de aire es de aproximadamente 1-2 mSv, que, incluso después de una carrera de 30 años, sigue siendo una dosis demasiado baja para permitir la detección, mucho menos cuantificación, de un exceso de cáncer por medios epidemiológicos. Además, la dosimetría es complejo y esta población también está expuesta directamente a la radiación ionizante, por lo que es difícil evaluar los efectos de los neutrones.
- La evaluación realizada por la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer - IARC concluye que no hay datos epidemiológicos que permitan concluir que los neutrones son carcinogénicos para los humanos.

X- and gamma ([gamma])-radiation, and neutrons. Lyon: IARC, 2000.

ARL

Procesamiento de datos

CARI 7 y 7A

- CARI-7 calcula la dosis (de un adulto) de la radiación cósmica recibida entre cualquier mes desde 01/1958 al presente
- Las tasas de dosis se derivan de simulaciones Monte Carlo de los rayos cósmicos
- No se tiene en cuenta el principio de superposición (los iones de H-Fe, no se asumen como superposiciones de sus componentes de protones y neutrones)

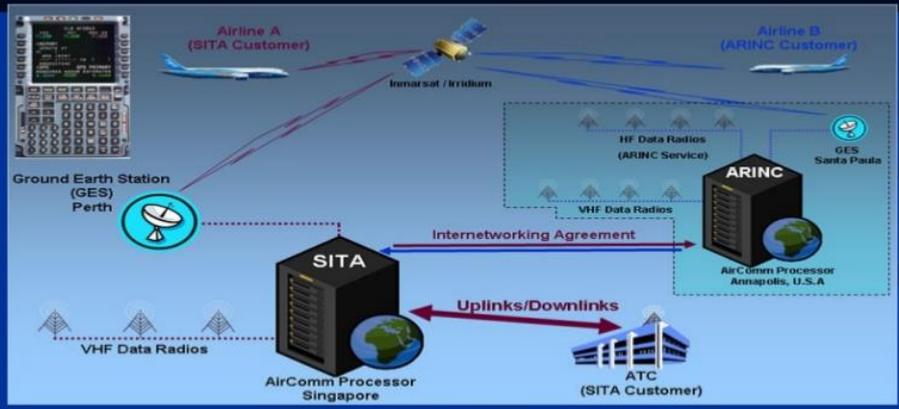


Federal Aviation
Administration

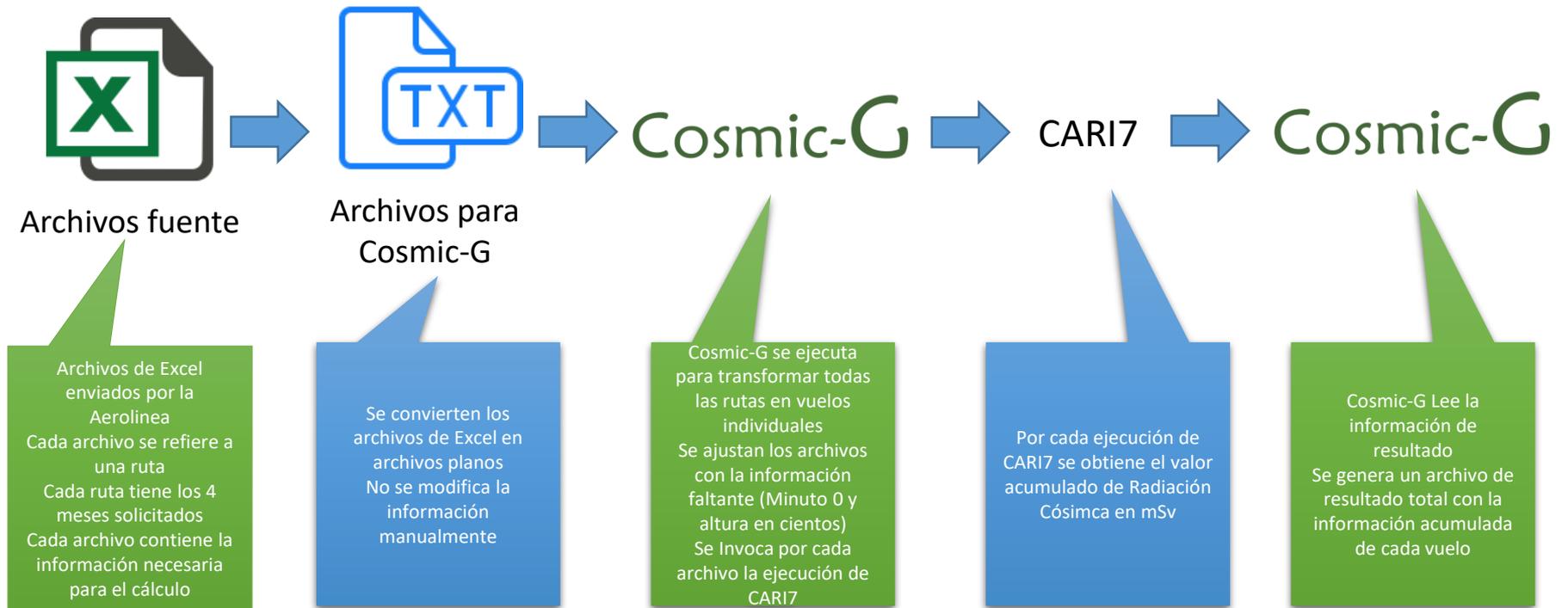
Fuente de datos

ACARS

Aircraft Communication, Addressing and Reporting System



Diseño



Resultados

- Se procesaron
 - 686 archivos
 - 155 Rutas
 - 52700 vuelos
 - Vuelos desde el 1º de enero de 2017 al 12 de mayo de 2017
 - 7 días de procesamiento continuo
- Errores detectados
 - Archivos con columnas adicionales
 - Archivos con errores de tabla en Excel, ya que se tenía formato de tabla el listado de datos
 - Minutos de vuelo con el valor “#N/A”, “#Value”
 - Coordenadas sin dato en East, West, North, South
 - Datos sin formato de fecha para la fecha de vuelo

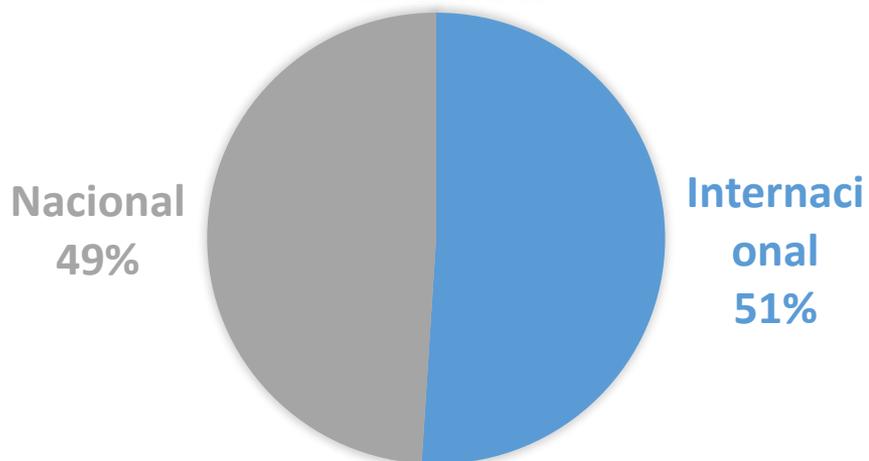
ARL

Resultados

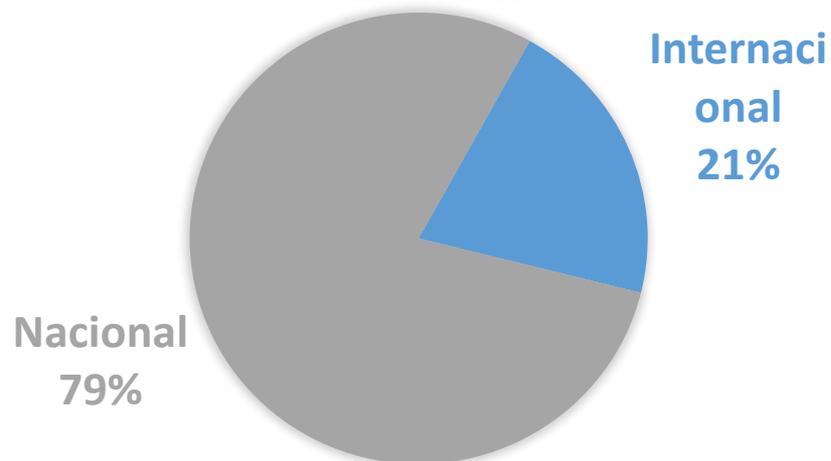
Resultados

161 Rutas analizadas, 149 rutas incluidas

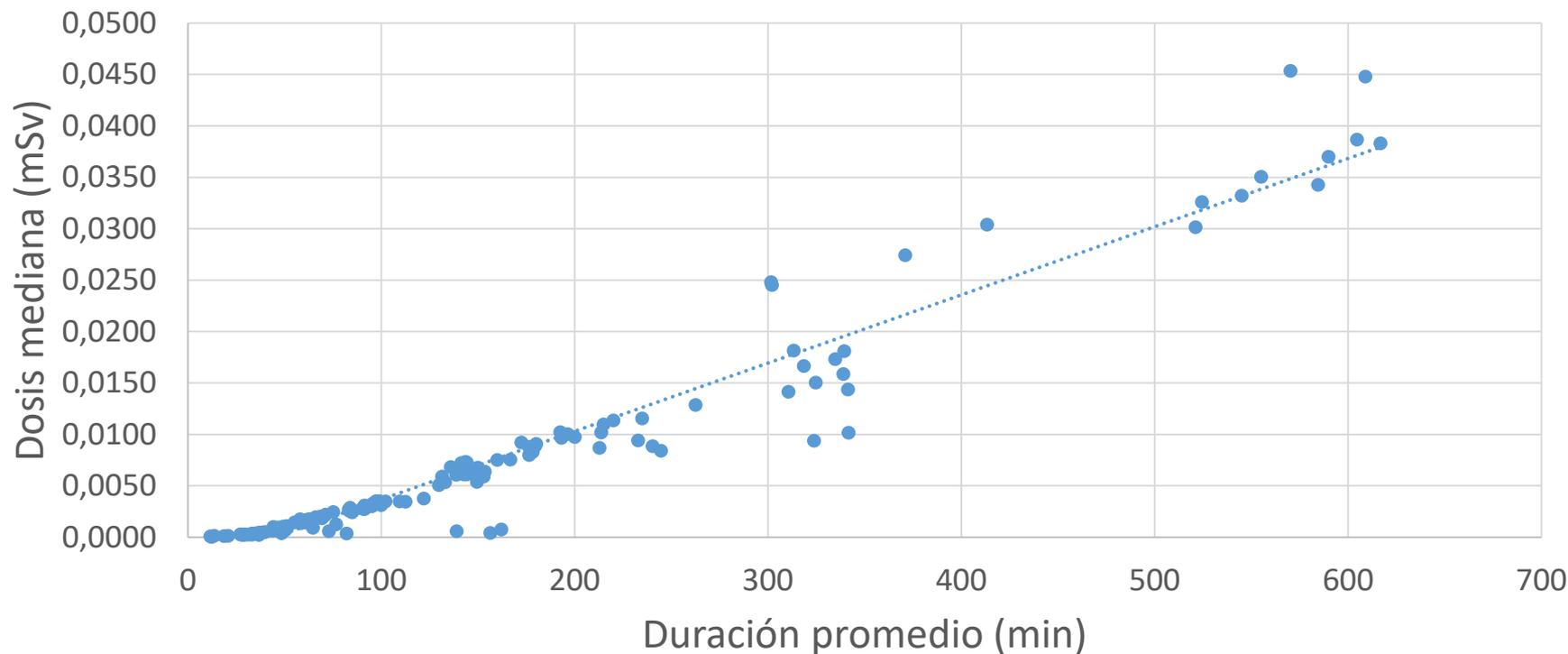
Distribución de rutas por destinos nacionales e internacionales



Distribución de Vuelos por destinos nacionales e internacionales

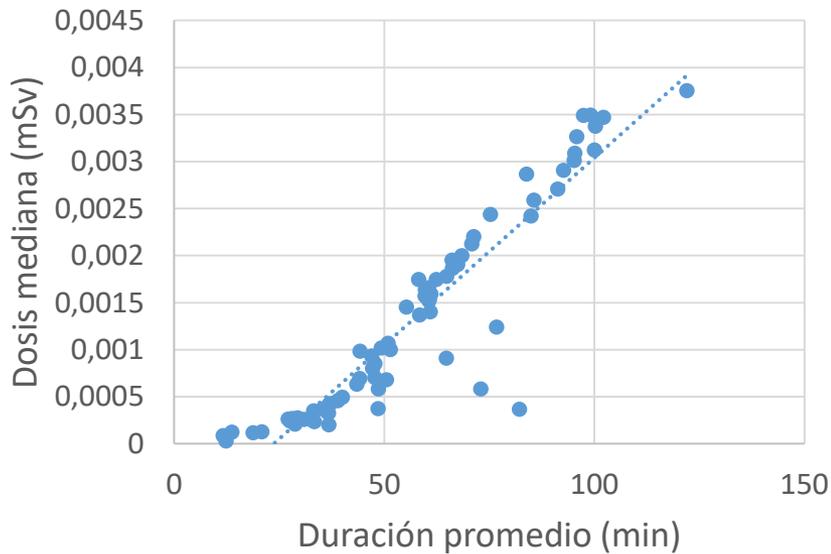


Tendencia de la dosis por total de las rutas

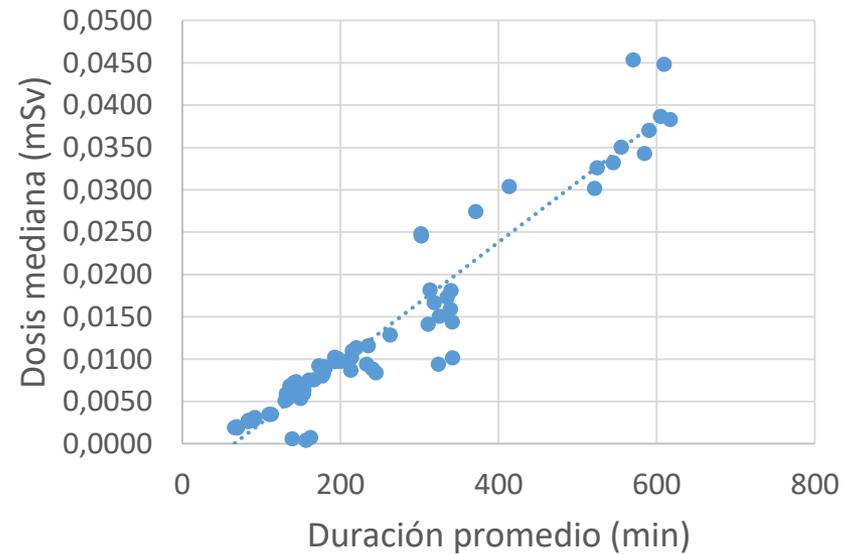


Tendencia de la dosis

Rutas Nacionales



Rutas Internacionales



Rutas con mayor nivel de dosis

Ruta	Número de vuelos	Proporción de Rutas	Mediana Dosis	Tiempo promedio	Mediana Altura
			(mSv)	(min)	(Pies)
BOG-LHR	120	0.21%	0.0453	570.26	41000
LHR-BOG	120	0.21%	0.0448	609.11	40000
MAD-CLO	133	0.24%	0.0387	604.67	41000
BCN-BOG	117	0.21%	0.0383	616.94	40000
MAD-MDE	51	0.09%	0.0370	590.00	41000

Dosis acumulada anual estimada en los 4 tipos de avión

Dosis	Tipo Avión 1	Tipo Avión 2	Tipo Avión 3	Tipo Avión 4	Total
Número pilotos	95	694	124	229	1142
0 – 1 mSv	100%	57%	32%	29%	52%
1 - 2 mSv	0%	43%	51%	32%	38%
2 – 3 mSv	0%	0%	17%	37%	9%
3 – 4 mSv	0%	0%	0%	2%	1%

Caso más conservador de exposición

Ruta	Número de vuelos al año	Mediana dosis de la ruta (mSv)	Dosis estimada al año (mSv)
BOG-LHR	48	0.0453	2.18
LHR-BOG	48	0.0448	2.15
Dosis estimada total recibida			4.33

Conclusiones

- Los principios básicos de la protección radiológica son el tiempo, distancia y blindaje, en el caso de las exposiciones ocupacionales a ambientes naturales con niveles superiores de tasa de dosis (minería, tripulaciones de vuelo) pueden ser **optimizadas usando el parámetro del tiempo de exposición**, adicionalmente las exposiciones a **radiaciones cósmicas pueden utilizar la altura** como herramienta para la gestión.
- La exposición a radiación natural en alturas corresponde principalmente a radiación galáctica la cual es predecible y estable. Las **variaciones debidas al ciclo solar** fueron estudiadas para el ciclo actual y se encontraron variaciones **inferiores al 5% entre mínimo y máximo solar**.
- La clasificación de la radiación cósmica dentro de las exposiciones es normal por sus características de estabilidad y el hecho de ser predecible, las únicas exposiciones potenciales son las asociadas a eventos solares las cuales son poco frecuentes y de poca duración. Esta característica de exposición dista de las exposiciones ocupacionales de **otros campos** en los cuales la frecuencia de exposiciones potenciales **es mayor al tener manipulación de material radiactivo**, interacción con pacientes o equipos emisores de radiación ionizante.
- Los resultados de las **dosis efectivas por vuelo en destinos nacionales son significativamente menores que en los internacionales**, el vuelo internacional que más dosis acumula recibe cerca de **12 veces** la dosis que el vuelo nacional que más dosis recibe; comparativo realizado con las dosis de los vuelos MDE-LET con 0,0038 mSv y BOG-LHR con 0.0453 mSv, lo anterior se esperaba por la diferencia en las alturas de vuelo, los cambios en las latitudes y su duración.

Conclusiones

- El análisis de la exposición de los pilotos muestra que existe una amplia variabilidad entre la cantidad de vuelos realizados para las diferentes rutas; encontrando que la ruta con mayor número de frecuencias es **BOG-MDE con 3293 vuelos** analizados durante el periodo y un nivel de dosis de **0,0003 mSv**. Esto quiere decir que, si bien existen algunas rutas en las que se puedan esperar niveles de dosis mayores, se debe **tener en cuenta la frecuencia con la que se realizan estos vuelos**.
- **Las dosis anuales estimadas** para las tripulaciones, aún en el peor escenario posible (vuelos BOG-LHR-BOG con una dosis de 4.33 mSv/año), **no superan el límite de dosis ocupacional establecido por la normatividad vigente (20 mSv/año)**, lo cual demuestra que esta dosis está por **debajo del 50% del límite**.
- **Superar el límite de exposición ocupacional no implica un riesgo inminente para la salud**; la evidencia científica no ha determinado la génesis de enfermedades degenerativas como el cáncer, con la exposición a bajas dosis.

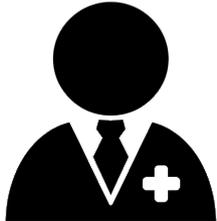
Recomendaciones

- Conforme a las recomendaciones de la ICRP, el EURATOM y la Resolución 18-1434 de 2002 del Ministerio de Minas y Energía, y teniendo en cuenta los resultados de las dosis acumuladas al año, donde no se superan los límites de exposición ocupacional pero el 47.8% supera el límite de exposición del público de 1 mSv anual, **se sugiere el monitoreo individual**, con el cual periódicamente **(trimestral o anual)** se lleva registro de la estimación de dosis de los pilotos como herramienta de gestión del riesgo.
- Se recomienda el uso de **herramientas como el CARI 7** para la estimación de dosis de los pilotos, lo cual se debe acompañar de **desarrollos adicionales** que permitan procesar el volumen de información que maneja la aerolínea. Es necesario **mejorar la calidad de la información** que se maneja en cuanto a los vuelos y los pilotos, con el fin que sea comparable y procesable garantizando la objetividad del resultado obtenido.

Recomendaciones

- De acuerdo al EURATOM, para optimizar la práctica, se deben considerar la modificación de los itinerarios de vuelo, con el fin de disminuir las dosis de radiación de los trabajadores más expuestos, por lo anterior, distribuyendo las **horas de vuelo y el número de vuelos equitativamente entre los pilotos se disminuye la exposición de los más expuestos**. La aplicación de estas medidas puede ser articulada con las estrategias establecidas para el control de **otros peligros cómo la fatiga, psicosociales** y demás que la Aerolínea tenga establecidos.
- Para la definición de las acciones de mejora se recomienda **plantear escenarios** que utilicen diferentes modificaciones a la operación como la disminución de alturas, modificación de los recorridos durante las rutas, velocidad de la aeronave, entre otros, tomando como referencia el principio **ALARP** ("As Low As Reasonably Practicable" en español, "tan bajo como sea razonablemente posible").

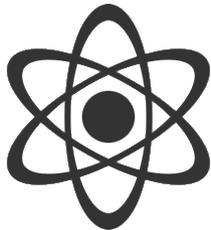
Equipo de trabajo



**HERNAN DARIO
RENTERIA CACERES**
Medico cirujano
Gerente en salud ocupacional



**YEZID FERNANDO
NIÑO BARRERO**
Ingeniero Ambiental y
Sanitario
Esp HySO. Msc Salud Pública



**NATHALY
BARBOSA PARADA**
Física
MSc. Física Médica



**JORGE HUMBERTO
MAYORGA ÁLVAREZ**
Estadístico
Msc Ciencias de la Estadística

Aliado estratégico



OHELIT

NOVEMBER 22, 2017

COSMICG REFERENCE V1.0

Documentación de referencia

La información contenida en este documento es propiedad de Ohelit SAS.

Abstract

Documentación de la instalación y uso de CosmicG.

Guillermo Nino
guillermo.nino@ohelit.co

Powered by
OHELIT

Bibliografía de referencia

- [1] R. Núñez-Iagos Roglá, "La radioactividad ambiental," *Rev. Logos, Cienc. Tecnol.*, vol. 2, no. 2, p. pp 50-61, 2011.
- [2] A. N. Hepburn, "Cosmic Radiation and the Concorde," *Ann. Occup. Hyg.*, vol. 11, no. 4, pp. 341–346, 1968.
- [3] E. Pukkala, A. Auvinen, and G. Wahlberg, "Incidence of cancer among Finnish airline cabin attendants, 1967-92," *BMJ*, vol. 311, no. 7006, 1995.
- [4] IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, C. A. Federico, H. H. de C. Pereira, M. A. Pereira, O. L. Gonçalves, and L. V. E. Caldas, "Ionizing Radiation, Part 1: X- and Gamma (γ)-Radiation, and Neutrons," *Eval. Carcinog. RISKS TO HUMANS Ioniz. Radiation, Part 1 X- Gamma (γ)-Radiation, Neutrons*, vol. 2, no. 2, p. pp 508, 2000.
- [5] IAEA, "El OIEA en Síntesis: Átomos para la paz y el desarrollo | IAEA." [Online]. Available: <https://www.iaea.org/es/front>. [Accessed: 24-Oct-2017].
- [6] S. Niu, "Protección de los trabajadores frente a la radiación Protección de los trabajadores," *Ser. Nota Inf. Safework*, 2011.
- [7] WHO, "OMS | Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección," 2016. [Online]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs371/es/>. [Accessed: 21-Oct-2017].
- [8] J. Lochard, J.-F. Bottollier-Depois, W. Rühm, D. T. Bartlett, R. Hunter, H. Yasuda, and S. Mundigl, *Radiological Protection From Cosmic Radiation in Aviation*. The International Commission on Radiological Protection 33, 2015.
- [9] L. N. Castro González, "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," Universidad Nacional de Colombia Facultad, 2013.
- [10] C. Jaramillo Osorio and N. T. Zapata Rodríguez, "Exposición ocupacional de pilotos y radiólogos-técnicos de imágenes a radiaciones ionizantes y su clasificación en la legislación colombiana dentro del sistema de riesgos laborales. Medellín, 2014," Universidad CES Facultad, 2014.
- [11] ICRP, *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. PERGAMON PRESS, 1991.
- [12] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, "Statement on Tissue Reactions," Jan-2011. .
- [13] M. Ghiassi-nejad, S. M. J. Mortazavi, J. R. Cameron, A. Niroomand-rad, and P. A. Karam, "VERY HIGH BACKGROUND RADIATION AREAS OF RAMSAR, IRAN: PRELIMINARY BIOLOGICAL STUDIES," *Health Phys.*, vol. 82, no. 1, 2002.
- [14] *X- and gamma ([gamma])-radiation, and neutrons*. Lyon: IARC, 2000.
- [15] International Commission on Radiation Units and Measurements, "Cosmic-Radiation Fields at Aircraft Flight Altitudes," *J. ICRU*, vol. 10, no. 2, pp. 17–21, Dec. 2010.
- [16] L. Lindborg, Ed., *Cosmic radiation exposure of aircraft crew: compilation of measured and calculated data ; final report of EURADOS WG 5 to the group of experts established under Article 31 of the Euratom treaty*, Text compl. Luxembourg: Office for Official Publ. of the Europ. Communities, 2004.
- [17] C. A. Federico, H. H. de C. Pereira, M. A. Pereira, O. L. Gonçalves, and L. V. E. Caldas, "Estimates of cosmic radiation dose received by aircrew of DCTA's flight test special group," *J. Aerosp. Technol. Manag.*, vol. 2, no. 2, pp. 137–144, 2010.
- [18] D. T. Bartlett, "Radiation protection aspects of the cosmic radiation exposure of aircraft crew," *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 109, no. 4, pp. 349–355, Jul. 2004.
- [19] P. Beck, "Aircraft Crew Radiation Exposure in Aviation Altitudes During Quiet and Solar Storm Periods," in *Space Weather*, Springer, 2007, pp. 241–267.
- [20] B. J. Lewis, A. R. Green, and L. G. I. Bennett, "Effect of 'Noisy' sun conditions on aircrew radiation exposure," *Adv. Sp. Res.*, vol. 44, no. 2, pp. 184–189, 2009.
- [21] E. Vaño, L. Gonzalez, F. Beneytez, and F. Moreno, "Lens injuries induced by occupational exposure in non-optimized interventional radiology laboratories," *Br. J. Radiol.*, vol. 71, no. 847, 2004.
- [22] Z. Rastegar, P. Eckart, and M. Mertz, "Radiation-induced cataract in astronauts and cosmonauts," *Graefe's Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.*, vol. 240, no. 7, pp. 543–547, 2002.
- [23] B. Klein, R. Klein, K. Linton, and T. Franke, "Diagnostic x-ray exposure and lens opacities: the Beaver Dam Eye Study.," *Am. J. Public Health*, vol. 83, no. 4, p. 588–90., 1993.
- [24] N. Bayo, "Reacción celular ante la radiación," *Radiobiología*, vol. 1, no. 1, pp. 9–11, 2001.
- [25] J. D. Boice, "LAURISTON S. TAYLOR LECTURE: RADIATION EPIDEMIOLOGY—THE GOLDEN AGE AND FUTURE CHALLENGES.," *Health Phys.*, vol. 100, no. 1, pp. 59–76, Jan. 2011.

Bibliografía de referencia

- [26] Health Physics Society, "Radiation Risk in Perspective; Position Statement," 2014. .
- [27] R. N. Cherry Jr, A. C. Upton, G. M. Lodde, and S. W. Porter Jr, "Radiaciones Ionizantes," *Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo*, vol. 48. 2012.
- [28] Sociedad Española de Protección Radiológica and Sociedad Argentina de Radioprotección, *Embarazo e irradiación médica*. Sociedad Española de Protección Radiológica, 2002.
- [29] "Publication No. 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection," ICRP, 2007.
- [30] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), *Sources and effects of ionizing radiation UNSCEAR 2000 report to the General Assembly, with scientific annexes Volume I: Sources*. New York, NY (United States): United Nations (UN): UN., 2000.
- [31] A. S. Paschoa and F. Steinhäusler, "Cosmic Radiation , Including its Effects on Airline Crew , Frequent Flyers , and Space Travel," in *Radioactivity in the Environment*, vol. 17, no. 9, 2010.
- [32] J. C. S. Vergara, A. M. R. Gutierrez, R. R. Jimenez, and R. D.-M. Roman, "In-flight measured and predicted ambient dose equivalent and latitude differences on effective dose estimates," *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 110, no. 1–4, pp. 363–370, Aug. 2004.
- [33] J. C. S. Vergara and R. D.-M. Roman, "The implementation of cosmic radiation monitoring in routine flight operation of IBERIA airline of Spain: 1 y of experience of in-flight permanent monitoring," *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 136, no. 4, pp. 291–296, Oct. 2009.
- [34] M. M. Meier, M. Hubiak, D. Matthia, M. Wirtz, and G. Reitz, "Dosimetry at aviation altitudes (2006-2008)," *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 136, no. 4, pp. 251–255, Oct. 2009.
- [35] FAA Civil Aeromedical Institute, *CARI-6*. 2004.
- [36] Helmholtz Zentrum München Institut für Strahlenschutz, *EPCARD*. 2010.
- [37] PCAire Inc, *PCAIRE*. 2010.
- [38] Institute de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, *SIEVERT*. 2013.
- [39] "CARI-7 and CARI-7A." .
- [40] K. Copeland, "CARI-7A: DEVELOPMENT AND VALIDATION," *Radiat. Prot. Dosimetry*, Jan. 2017.
- [41] "Badhwar–O’Neill 2010 Galactic Cosmic Ray Flux Model—Revised - IEEE Xplore Document." .
- [42] "Publication No. 60 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection," ICRP, 1990.
- [43] INSHT, "NTP 728: Exposición laboral a radiación natural." Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, p. 6.
- [44] R. Patel, S. Welford, and S. L. Gerson, "The Effects of Galactic Cosmic Radiation Exposure on Hematopoietic Stem Cell Dysfunction and Oncogenesis," *Blood*, vol. 128, no. 22, p. 5297, 2016.
- [45] W. Friedberg, D. Faulkner, L. Snyder, E. J. Darden, and K. O’Brien, "Galactic cosmic radiation exposure and associated health risks for air carrier crewmembers," *Aviat. Space. Environ. Med.*, vol. 60, no. 11, pp. 1104–1108, 1989.
- [46] J. C. Saez Vergara, A. M. Romero Gutiérrez, R. Rodriguez Jiménez, R. Dominguez-Mompell Román, P. Ortiz García, and F. Merelo de Barberá, "Monitoring of the cosmic radiation on IBERIA commercial flights: One year’s experience of in-flight measurements," *Radioact. Environ.*, vol. 7, no. July 2001, pp. 885–893, 2005.
- [47] C. A. Federico, O. L. González, G. M. A. A. Sordi, and L. V. E. Caldas, "Effects of cosmic radiation in aircrafts: A discussion about aircrew over South America," *J. Aerosp. Technol. Manag.*, vol. 4, no. 2, pp. 219–225, 2012.
- [48] L. E. Alvarez, S. D. Eastham, and S. R. Barrett, "Radiation dose to the global flying population," *J. Radiol. Prot.*, vol. 93, pp. 93–103, 2016.
- [49] "Evaluation of the Cosmic Radiation Exposure of Aircraft Crew Evaluation of the Cosmic Radiation Exposure of Aircraft Crew," 2000.
- [50] P. Goldhagen, "Overview of aircraft radiation exposure and recent ER-2 measurements," *Health Phys.*, vol. 79, no. 5, pp. 526–544, 2000.

Hernan Dario Rentería C. hernanrenteria@gmail.com
Yezid Fernando Niño B. yfnino@gmail.com

Gracias

