

## Capítulo 1

# Análisis de las radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia

MY. Abdon Estibenson Uribe Taborda  
Mag. Leonardo De Jesús Mesa Palacio

## CÓMO CITAR

Uribe Taborda, A. E., Mesa Palacio, L. J. (2022). Análisis de las radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia. En *Seguridad operacional y su aproximación en el contexto colombiano* (pp. 21-62). Escuela de Postgrados de la FAC.

**Colección Ciencia y Poder Aéreo N.º 19**

**SEGURIDAD OPERACIONAL  
Y SU APROXIMACIÓN EN  
EL CONTEXTO COLOMBIANO**

*Una disciplina en constante evolución*

**CAPÍTULO 1.**

**Análisis de las radiaciones de frecuencia  
emitidas por los equipos de inteligencia**

ISBN 978-958-53696-3-4

E-ISBN 978-958-53696-4-1

<https://doi.org/10.18667/9789585369634.01>

Bogotá, Colombia

Octubre, 2022

## Introducción

Los sistemas electrónicos de comunicaciones están compuestos por un emisor y un receptor, relacionados entre sí por un medio de propagación, entre los cuales se encuentran: los sensores activos (el emisor y el receptor están cercanos y pueden detectar la posición del blanco); los sensores pasivos (el receptor puede captar las radiaciones producidas por el emisor para operativos de localización); y los sistemas de comunicación que producen mensajes. Todos actúan por medio de ondas electromagnéticas (Michavila, 1984).

A este fenómeno se le denomina *guerra electrónica* y utiliza el espectro electromagnético para la identificación, interceptación y explotación de emisiones que permiten llevar a cabo los operativos militares (Gherman, 2015, p. 23).

La guerra electrónica necesita a la inteligencia militar para plantear y desarrollar tácticas y procedimientos conocidos como *inteligencia de la guerra electrónica* (EWI) e *inteligencia de señales* (SIGINT), los cuales constituyen la aplicación estratégica de acciones tácticas por medio de la explotación electromagnética (Michavila, 1984). Esto funciona a través del sensor básico, que es el receptor de las radiaciones de frecuencia respectivas de acuerdo con los operativos a realizar y puede detectar, analizar, registrar y localizar la procedencia de las señales emitidas por aeronaves, buques o vía terrestre (Pérez, 2011).

La FAC ha desempeñado un papel importante en los conflictos vividos en el país. Por ello, cuenta con equipos electrónicos de inteligencia de señales (Jefatura de Inteligencia [JIN FAC], 2014), debido a que gran cantidad de operaciones se han realizado en geografías inhóspitas, irregulares, selváticas, con tundra y en cordilleras majestuosas del territorio nacional (JIN FAC, 2014).

Los avances en los sistemas electrónicos y la necesidad del uso de los campos electromagnéticos (CEM) son importantes en el desarrollo de la sociedad, la seguridad y la vigilancia, en el cese de los conflictos y en el mantenimiento de la soberanía nacional (Tchernitchin y Riveros, 2004). Sin embargo, el incremento en su uso ha generado incertidumbre en torno a los efectos potenciales en la salud por exposición a radiaciones de frecuencia electromagnética, y se ha convertido en un tema de interés en las áreas de la medicina ocupacional y la investigación (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017).

La OMS lidera un proyecto desde 1996 sobre los efectos en la salud por exposiciones a CEM, en el intervalo de frecuencias de 0 a 300 GHz, con el fin de obtener conocimientos certeros y reglamentación importante en torno a la exposición a CEM (OMS, 2017).

En este proyecto, en la actualidad, se vienen realizando dos clases de investigaciones que incluyen estudios en laboratorio con células para determinar los mecanismos que vinculan la exposición a CEM con los efectos biológicos, y su relación entre la dosis-respuesta, los estudios epidemiológicos que manejan estadísticas entre niveles de exposición y una patología específica. El proyecto sugiere continuar las investigaciones con el objetivo de brindar información más acertada (OMS, 2017).

En este capítulo, se analizarán las radiaciones de frecuencia electromagnética que emiten los equipos de inteligencia operados en la aeronave tipo King FAC-5748, sumado a la aplicación de una encuesta para determinar sus posibles efectos en la salud y si estas radiaciones están dentro de los límites de exposición permitidos para los seres humanos.

## Justificación

La FAC, con el propósito de neutralizar la amenaza terrorista, la criminalidad, el narcotráfico y la delincuencia en el país, ha tenido que fortalecer su equipo de inteligencia humana y adquirir tecnología de punta para lograr sus objetivos operacionales y brindar soberanía a la nación (JIN FAC, 2014).

Entre la tecnología utilizada por el Grupo de Inteligencia Aérea, se encuentran los equipos de inteligencia de señales que se utilizan dentro de las aeronaves y que engloba la inteligencia de comunicaciones y la inteligencia electrónica (JIN FAC, 2014); esta última es obtenida por radiaciones electromagnéticas ajenas que, principalmente, son radiaciones de radar (Michavila, 1984).

La importancia de este trabajo se basa en la necesidad de obtener información exacta, a través de la identificación de la frecuencia y la transmisión de potencia producida por los dos equipos de inteligencia en el interior de la aeronave. Se pretende identificar de una forma más objetiva si los tripulantes presentan algún tipo de sintomatología relacionada con el tipo de radiación, a fin de tomar acciones que mitiguen el riesgo, si existe, y de dar recomendaciones de seguridad operacional a las tripulaciones.

Con el entendimiento de los posibles efectos en la salud de la población expuesta a las radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia de señales a bordo de la aeronave King FAC-5748, se aclarará el tipo de radiación y su posible influencia, o no, en los síntomas reportados por las tripulaciones. Esto permite el levantamiento de sugerencias para la operación del equipo, y se generan las conclusiones y recomendaciones para establecer los tiempos máximos a los que puede estar expuesta la tripulación sin causar efectos negativos en la salud, lo que beneficiaría a la población expuesta, ya que manipularían los equipos de inteligencia de señales con total certeza de que su salud no estaría en riesgo.

Además, la población expuesta encontraría información teórica adecuada sobre la relación existente entre los CEM y la salud de los individuos, con base en los estudios científicos realizados a nivel nacional e internacional. A su vez, servirían de complemento para el manejo debido de los equipos de inteligencia de señales que se encuentran en el interior de la aeronave King FAC-5748, la cual presta sus servicios para el dominio del espacio aéreo, la defensa y la integridad del territorio nacional por parte de la FAC.

La financiación de la investigación es realizada por medio de los recursos de la FAC, asignados en horas de vuelo, utilización de material técnico aeronáutico y la disposición de las tripulaciones.

## 1. Planteamiento y formulación del problema de la investigación

La exposición a los CEM ha sido un hecho desde la utilización de la electricidad; sin embargo, con el aumento de su uso y el avance tecnológico, se fueron generando inquietudes sobre los efectos que podría tener la exposición a CEM en la salud humana (Solórzano, 2001).

### 1.1. Problema de investigación

Se plantea determinar el espectro de radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia de señales a bordo de la aeronave King FAC-5748. Se describen la frecuencia y la transmisión de potencia emitidas por los equipos de inteligencia de señales en la gama de frecuencia muy alta

(*very high frequency*-VHF) y frecuencia ultraalta (*very high frequency*-UHF) a bordo de la aeronave, con el fin de verificar si se encuentran entre los rangos de exposición permitidos por la OMS y establecer los posibles efectos en la salud de los tripulantes expuestos a las radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia a bordo de la aeronave.

El propósito principal de este capítulo es adquirir conocimientos científicos sobre los posibles efectos de la exposición a radiaciones ionizantes y no ionizantes en la salud humana. Se pretende resolver las inquietudes que se generan acerca de los riesgos de sufrir alguna enfermedad debido a la manipulación de los equipos de inteligencia a bordo de la aeronave King FAC-5748, los cuales transmiten en la gama de frecuencia de VHF y UHF.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se podrán identificar los niveles máximos de exposición a los cuales podría estar expuesta la tripulación, así como los síntomas que se presenten en las personas. Con ello se establecerá un protocolo y una lista de recomendaciones de uso de los equipos de inteligencia para complementar las medidas de protección en salud ocupacional a bordo de la aeronave, de tal manera que se pueda continuar usando esta tecnología necesaria en las operaciones de inteligencia aérea.

## 1.2. Antecedentes

En la actualidad, la investigación mundial admite que es probable que los CEM desencadenen ciertas enfermedades según su dosis, tiempo de exposición, frecuencia, potencia y las características del organismo receptor, aunque todavía no existe una discusión científica sobre si la exposición a CEM en dosis no térmicas tenga efectos biológicos en el organismo (De la Rosa, 2014). También, hay un interés marcado en el ámbito de la salud ocupacional y en el avance tecnológico, puesto que los cambios en la sociedad a partir del siglo XX han originado más fuentes artificiales de radiación electromagnética, lo cual ha conducido a que todos los seres humanos estén expuestos a campos eléctricos y magnéticos débiles en sus viviendas y en sus ambientes laborales (OMS, 2017).

De acuerdo con la OMS, hay más de 25 000 investigaciones científicas sobre la exposición humana a los CEM (De la Rosa, 2014). Sin embargo, el problema en general de estos estudios radica en la calidad de la evaluación sobre la exposición a los campos de radiofrecuencia (RF, por sus siglas en inglés), debido a las dificultades metodológicas, principalmente porque los

RF son invisibles e imperceptibles, y a la falta de claridad sobre los factores que influyen entre la exposición a las RF y la salud humana (Comisión Internacional de Protección de las Radiaciones No-Ionizantes [ICNIRP], 2004).

Se han realizado estudios sobre la relación que existe entre la actividad laboral y la exposición a RF y microondas, como los estudios de cohorte de Groves *et al.* en 2002 en personal de la marina de Estados Unidos; los de Finkelsten en 1998 en Ontario (Canadá); los de Szmigielski en 1996 en personal militar de Polonia; y los de Robinette *et al.* en 1980 en funcionarios de la marina de Estados Unidos en la guerra de Corea. Los resultados presentan inconsistencias por la falta de mediciones de la exposición real, el uso de datos sesgados y la falta de ajuste para los factores confusos, lo cual no permite identificar si las radiaciones de frecuencia causan patologías como el cáncer (Breckenkamp *et al.*, 2003).

Así mismo, se han realizado estudios de epidemiología ocupacional en población militar y civil de la aviación en países como Estados Unidos, Finlandia, Suecia, Dinamarca, Noruega e Islandia, sobre el riesgo de padecer cáncer y los factores a los que está expuesto el personal de vuelo, entre ellos la exposición a CEM. Sin embargo, los resultados son confusos, ya que en algunos estudios el riesgo a padecer la enfermedad es alto y en otros no; además, existe falta de evaluación de la dosimetría de la radiación y concluyen que se deben realizar nuevas investigaciones puesto que la medicina de la aviación es importante en el ambiente ocupacional (Blettner *et al.*, 1998).

En Colombia, existe la necesidad de identificar los riesgos a los que están expuestos los individuos que utilizan tecnología relacionada con CEM en su vida cotidiana y en sus ocupaciones. Sin embargo, no se ha podido determinar con claridad cuáles son los efectos que producen los CEM en la población. Por razones similares, las investigaciones carecen de una metodología adecuada para realizar las mediciones de los CEM, y están esencialmente enfocadas en los efectos térmicos y no en la longitud de onda que puedan emitir las fuentes generadoras de radiación (Troya y Zabala, 2007).

La FAC ha venido utilizando, para las operaciones militares, las aeronaves tipo King, que cuentan con dos equipos de inteligencia de señales: uno de los equipos trabaja en frecuencia muy alta (*very high frequency-VHF*) y el otro equipo lo hace en frecuencia ultraalta (*ultra high frequency-UHF*); se desconoce la intensidad y el tipo de radiación que emiten. En la actualidad, los operadores técnicos de inteligencia y reconocimiento (TIR) han referido síntomas como dolor de cabeza y fatiga durante el vuelo, y se especula que

esta situación de salud ocupacional pudiera estar asociada con la exposición a la radiación causada por estas dos fuentes de CEM.

### 1.3. Planteamiento y formulación del problema

Para este trabajo de investigación, se propuso como interrogante: ¿cuáles son las radiaciones de frecuencia a las que están expuestos los tripulantes a bordo de la aeronave King FAC-5748 que manipulan los equipos de inteligencia y cuáles son sus posibles riesgos para la salud?

### 1.4. Objetivos

**Objetivo general:** Analizar el espectro de las radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia de señales a bordo de la aeronave King FAC-5748.

**Objetivos específicos:**

- Describir la frecuencia y transmisión de potencia emitidas por los equipos de inteligencia de señales en la gama de frecuencia de VHF y UHF a bordo de la aeronave King FAC-5748, a fin de verificar si se encuentran entre los rangos de exposición permitidos por la OMS.
- Identificar la morbilidad sentida por la población expuesta a las radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de señales de inteligencia.
- Evaluar la posible asociación entre los síntomas referidos y la frecuencia del espectro identificada a través de revisión de literatura.

## 2. Estado del arte

Se pretende adquirir los fundamentos científicos necesarios sobre los probables efectos de la exposición a radiaciones ionizantes y no ionizantes en la salud humana, con el fin de resolver las inquietudes que se generan acerca de los riesgos de sufrir alguna enfermedad por la manipulación de los equipos de inteligencia a bordo de la aeronave King FAC-5748, los cuales transmiten en la gama de frecuencia de VHF y UHF.

Establecer las radiaciones de frecuencia que emiten dichos equipos va orientar a la población expuesta, a fin de determinar el peligro verdadero de



este tipo de exposición. De acuerdo con los resultados obtenidos, se identificarán los niveles máximos de exposición a los cuales podría estar expuesta la tripulación y, con ello, se realizarán un protocolo y una lista de recomendaciones del uso de los equipos de inteligencia para complementar las medidas de protección en salud ocupacional a bordo de la aeronave, de tal manera que se pueda continuar usando esta tecnología tan necesaria para las operaciones de inteligencia aérea.

Artículos basados en estudios epidemiológicos de los efectos de los campos de radiofrecuencia (RF) en la salud humana han dado a conocer el estado de la información sobre el tema en general; en el entendido de que es un tema que aún requiere mayores estudios a profundidad, que sean capaces de explicar problemáticas de la vida cotidiana y ayudar a la planificación de futuros estudios (Belyaev *et al.*, 2016).

Sin embargo, es problemática la confiabilidad de la evaluación de exposición a RF; estudios sobre telefonía móvil en cortos periodos de tiempo no han tenido los resultados esperados, con datos basados solamente en tumores cerebrales y leucemia (Belyaev *et al.*, 2016). Aunque los resultados de los estudios de riesgos de telefonía móvil han recibido una amplia atención pública, su interpretación no es la mejor, debido a que las RF son invisibles e imperceptibles a las personas; sintomatologías como dolores de cabeza revisten gran interés (Kaszuba-Zwoińska *et al.*, 2015).

A pesar del aumento en el uso las nuevas tecnologías que usan la RF, la población en general sabe poco sobre la exposición y aún menos sobre la importancia en su entorno ocupacional (OMS, 2017). Consideraciones epidemiológicas, por falta de información, no permiten tener claro los aspectos relevantes del problema; y dada esta confusión, hay incertidumbre en torno a los mecanismos utilizados para determinar los periodos máximos de exposición a RF que pueden soportar los seres humanos (OMS, 2017).

Es necesario medir y monitorear la exposición en dosis, tiempo y frecuencias (longitud de onda); esta información contribuirá a que los epidemiólogos diseñen estudios que permitan concluir niveles ocupacionales de afectación (OMS, 2017), debido a que el calentamiento celular y de tejidos por la exposición a RF podría presentar efectos biológicos benignos y adversos. Se refleja un desequilibrio en la cantidad de calor acumulado en el cuerpo y en la eficacia de los mecanismos para eliminarlo, con base en temperaturas elevadas o en el aumento de la tensión fisiológica al intentar eliminar el calor (OMS, 2017).

La sensibilidad en “tejidos y células al aumento térmico varían y son causadas por la temperatura que se eleva en el cuerpo y supera 1 °C, por encima de la temperatura normal” (OMS, 2017). La evidencia biológica o epidemiológica muestra que no está claro qué duración debe tener la exposición para el potencial efecto de RF. Dolores de cabeza, sensaciones de calor, mareos, alteraciones visuales, fatiga e insomnio son los principales síntomas que indican los usuarios de dispositivos móviles, todos síntomas comunes en humanos (OMS, 2017).

### 3. Referentes teóricos

Se realizó una búsqueda de las bases teóricas, legales y conceptuales con base en la revisión de las diversas fuentes de información, entre ellas recursos electrónicos de PubMed, ABSCO Online Science Research y Science Direct, centros de documentación y bibliotecas. Se definieron conceptos básicos para determinar los efectos reales de las radiaciones de frecuencia en la salud de la población.

#### 3.1. Teoría uno

A continuación, se exponen las teorías que soportan el trabajo de investigación sobre el análisis de las radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia de señales a bordo de la aeronave King FAC-5748, para determinar si son ionizantes o no; la investigación se relaciona con distintas teorías que le dan forma y se asocian con la investigación propuesta.

En el año 2001, la ICNIRP refirió que la exposición a CEM de frecuencia considerablemente baja hace parte de la vida moderna. Sin embargo, hay preocupación por los efectos adversos en la salud humana. Esta radiación tiene una energía muy baja como para producir efectos negativos en el ADN directamente y, por lo tanto, no podría generar cáncer en el ser humano; sin embargo, en 1979 un estudio realizado por Denver, Wertheimer y Leeper indicó el riesgo de padecer leucemia infantil y la exposición a CEM por líneas eléctricas (ICNIRP, 2001).

Además de la leucemia infantil, el área de la investigación epidemiológica asocia las ocupaciones relacionadas con exposición a CEM con el riesgo a padecer cáncer y patologías cardíacas, neurológicas y reproductivas en

adultos. Evaluar la relación de los CEM con la magnitud del efecto observado sería un punto clave para las investigaciones, pero existen tres dificultades a la hora de evaluar la vinculación entre los CEM y los efectos nocivos para la salud: la falta de conocimiento sobre un sistema de medición de la radiación, el periodo de exposición y la naturaleza retrospectiva de las evaluaciones (ICNIRP, 2001).

Ahlboom y Cardis (2001) publicaron un artículo titulado: “Revisión de la literatura epidemiológica sobre los CEM y la salud”. Su objetivo fue realizar un análisis de artículos que abordaron la necesidad de usar los CEM como parte de la vida moderna y la preocupación de los efectos adversos para la salud. Este estudio concluye que las investigaciones epidemiológicas han mejorado con el tiempo y que existe una asociación de la leucemia infantil y el cáncer con la exposición ocupacional, pero no hay una enfermedad crónica que se pueda establecer como factor etiológico de los CEM. Recomiendan la realización de más estudios para probar hipótesis sobre la exposición a radiaciones.

Por otro lado, varias investigaciones son tomadas como teorías que ayudan al lector a ampliar su conocimiento en al área. Es el caso del trabajo desarrollado por Litvak y Foster (2002) titulado: “Salud y seguridad: implicaciones de la exposición a CEM en el rango de frecuencia 300 Hz a 10 MHz”. El objetivo fue elaborar un informe sobre las fuentes de exposición y las consideraciones biofísicas y dosimétricas de los CEM en el rango de frecuencia de 300 Hz a 10 MHz, el cual es llamado *rango de frecuencia intermedia* (basado en un seminario internacional que se realizó en Maastricht, Países Bajos, el 8 y el 9 de junio de 1999, patrocinado por la OMS, la ICNIRP y el Gobierno de los Países Bajos). En el documento, se exponen las preocupaciones y las necesidades de desarrollar pautas sobre la exposición al rango de frecuencia intermedia. Se concluye con la sugerencia de hacer investigaciones encaminadas a evaluar los riesgos en la salud por exposición a radiaciones de rango de frecuencia intermedia.

Siguiendo una secuencia, Michael Harry Repacholi desarrolló en 2003 los trabajos “Una visión general del proyecto de CEM de la OMS” y “Efectos en la salud por exposición a CEM”, con el objetivo de describir las actividades del Proyecto Internacional CEM de la OMS y presentar una revisión de los efectos biológicos por exposición a CEM. La conclusión básica de las revisiones realizadas por la OMS es que las exposiciones a CEM por debajo de los límites recomendados (todo el rango de frecuencias de 0-300 GHz),

de acuerdo con la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP), no tienen ningún efecto en la salud, pero se necesitan más investigaciones para evaluar el riesgo.

Así mismo, Genuis (2007) publicó un artículo titulado: “Elaboración de una idea actual: explorando el impacto de la radiación electromagnética en la salud pública”. El objetivo fue revisar la literatura científica sobre el efecto de las radiaciones electromagnéticas en la salud humana, tales como disfunción reproductiva, cáncer, alteraciones del sistema nervioso central, patologías celulares y alteraciones del metabolismo de la melatonina; además, revisar las recomendaciones de salud pública y analizar cuatro casos clínicos de individuos expuestos a radiaciones de frecuencia que se dejan a consideración. Se concluye que los CEM tienen un alto potencial de tener efectos en las células y los tejidos humanos, aunque la evidencia científica indica que las radiaciones de frecuencia baja no tienen la capacidad de interactuar con el material genético y afectarlo. Indica que es necesario informar a la población de la necesidad de disminuir los riesgos de exposición a campos electromagnéticos.

De igual manera, Hardell y Sage (2008) publicaron un documento titulado: “Efectos biológicos de la exposición a campos electromagnéticos y normas públicas de exposición”, cuyo objetivo era evaluar la evidencia científica del impacto que tiene la radiación electromagnética en la salud. La investigación refiere que todo el mundo está expuesto a dos tipos de CEM: los primeros son los campos de aparatos eléctricos y electrónicos y las líneas eléctricas que contienen frecuencias extremadamente bajas (*extremely low frequencies*-ELF); los segundos son la radiación de dispositivos inalámbricos como teléfonos celulares, teléfonos inalámbricos, torres de antenas de celulares y torres de transmisión (RF). Ambos se consideran del tipo de radiaciones no ionizantes. La discusión del artículo indica que la exposición a CEM se ha relacionado con efectos en la salud, tales como leucemia infantil, tumores cerebrales en adultos y niños, efectos genotóxicos, efectos neurológicos, enfermedades neurodegenerativas, alteraciones del sistema inmune, respuestas inflamatorias y alérgicas, cáncer de mama en hombres y mujeres, abortos espontáneos y alteraciones cardiovasculares, aunque estos efectos no están directamente relacionados con ELF y RF (Hardell y Sage, 2008).

También, Mateescu y Alecu (2008) desarrollaron el trabajo titulado: “El campo electromagnético como factor ambiental afectando la salud

humana”, con el objetivo de presentar los efectos de los campos electromagnéticos en un rango de frecuencias de 10 MHz a 300 GHz, incluyendo RF sobre los sistemas biológicos, con el fin de hacer una evaluación acertada sobre los riesgos para la salud humana a nivel ocupacional y de la población en general. Además, presentan las medidas de protección más importantes contra los CEM. Concluyen, basados en los criterios de estudios de laboratorio, que el principal efecto de los CEM es el aumento en al menos 1° C del calentamiento en el cuerpo o tejido humano, concentración de energía que puede ser perjudicial. Según los estudios, no puede confirmarse que los CEM acorten la vida o lleven a la muerte, aunque se recomienda limitar la exposición a los CEM y seguir medidas de protección.

Después, Wilmlink y Grund (2011) publicaron el artículo de revisión “Estado actual de la investigación sobre los efectos biológicos de la radiación de terahercios”, con el objetivo de dar a conocer los conceptos básicos de la biofísica y la tecnología de los terahercios (THz) para evaluar los efectos biológicos y entregar una revisión crítica de la literatura científica. Los THz se utilizan cada vez más en las aplicaciones militares, médicas y de seguridad; por lo tanto, se ha incentivado el estudio de este tipo de gama de frecuencias. Entre sus conclusiones se señala que para los estudios en vivo realizados en vertebrados y en humanos los tratamientos médicos con THz estimularon la cicatrización de heridas. Los efectos directos en la membrana plasmática son: aumento de la permeabilidad, reorganización y destrucción. Los estudios de genotoxicidad muestran que la radiación de THz no causa efectos negativos a la estructura o función del ADN. Recomiendan hacer más estudios en todas las áreas de aplicabilidad de los THz.

Posteriormente, Kaszuba-Zwoińska *et al.* (2015) publicaron el artículo “Efectos biológicos inducidos por el campo electromagnético en humanos”. El texto indica que la exposición a CEM de radiofrecuencia artificial ha aumentado notablemente y es preocupante su interacción con los tejidos del organismo humano, principalmente con los efectos térmicos y la aparición de enfermedades y fenómenos de hipersensibilidad electromagnética en forma de enfermedad dermatológica. Concluye que, al analizar los resultados, se observa la influencia de los CEM sobre todo en personas que trabajan con frecuencias de microondas como los militares.

Para finalizar, Belyaev *et al.* (2016) escribieron el documento titulado “EUROPAEM CEM Directriz 2016. Guía de prevención, diagnóstico y tratamiento

de enfermedades y problemas de la salud relacionados con los CEM”, cuyo objetivo es presentar el panorama actual al que se enfrentan los médicos por las interacciones de los CEM con las nuevas tecnologías electrónicas y los seres humanos. Es evidente que la exposición a ciertos CEM genera riesgos para la salud a largo plazo y pueden presentarse enfermedades como el cáncer, la infertilidad masculina y el Alzheimer. Además de estas enfermedades, se incluyen síntomas como cefalea, alteraciones en la concentración y el sueño, depresión, cansancio, gripa y fatiga. La importancia del documento radica en que presentan una guía para el diagnóstico diferencial y el tratamiento de las alteraciones en la salud humana por exposición a CEM, con el propósito de mejorar la salud, crear estrategias de prevención y formular recomendaciones.

### 3.2. Teoría dos

Para desarrollar el estudio, se hizo necesario determinar unas categorías conceptuales que son relevantes para conocer y entender los temas relacionados con la presente investigación.

**La radiación:** Se entiende como la energía en movimiento que va de un lugar a otro, es decir, como la emisión y propagación de energía por medio del vacío o de una forma material, con apariencia de onda electromagnética o en forma de partícula. Posee dos naturalezas: una corpuscular y otra ondulatoria (dualidad onda-partícula); y se clasifica según dos criterios: su naturaleza y el efecto biológico (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

De acuerdo con su naturaleza, las radiaciones electromagnéticas se caracterizan por presentarse en forma ondulatoria con energía magnética y eléctrica, cuyas intensidades cambian en planos perpendiculares, pero que en el vacío poseen la misma velocidad ( $c=300\,000$  km/segundo). Se pueden clasificar en radiaciones ionizantes y en radiaciones corpusculares. Las primeras corresponden a rayos gamma, rayos X, radiaciones ópticas, radiaciones ultravioleta (UV-A, B y C), radiación visible, radiaciones infrarrojas y radiofrecuencias. Las segundas son las radiaciones corpusculares, que se originan de la “propagación de partículas subatómicas (núcleos de helio, protones, neutrones, electrones), que normalmente tienen gran velocidad, pero menor con respecto a las radiaciones electromagnéticas” (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

**Tabla 1.** Clasificación de las radiaciones según su naturaleza

<b>Radiaciones según naturaleza</b>	<b>Radiaciones electromagnéticas</b>	Radiaciones ionizantes	Rayos X		
			Rayos gamma		
			Radiación ultravioleta	UV-C UV-B UV-A	
		Radiaciones ópticas	Radiación visible	Violeta	
				Azul	
				Verde	
				Amarilla	
				Naranja	
			Radiación infrarroja		
		<b>Radiaciones corpusculares</b>		Radiaciones alfa	
Radiaciones beta					
Radiaciones neutrónica					
		Radiaciones cósmicas			
		Radiofrecuencia	Radar Microondas		

Fuente: elaboración propia. Este análisis se basa en los límites establecidos por la ICNIRP.

De acuerdo con su efecto biológico, las radiaciones se dividen en dos clases. Las primeras son radiaciones ionizantes (de alta energía), que pueden “ser corpusculares y electromagnéticas; al momento de que estas radiaciones alcanzan los tejidos pierden parte de su energía, apartando los electrones de los átomos sobre los que incide y convirtiéndose en iones” (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009). Las segundas son las radiaciones no ionizantes o de baja energía, no tienen la capacidad de ionizar átomos, por lo cual su “efecto biológico es menor. Estas radiaciones electromagnéticas pueden ser los campos electromagnéticos (microondas y radiofrecuencias) y las radiaciones ópticas (ultravioleta, visible e infrarroja)” (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

**Tabla 2.** Clasificación de las radiaciones según su efecto biológico

<b>Radiaciones según su efecto biológico</b>	<b>Radiaciones ionizantes o de alta energía</b>	Radiaciones corpusculares	Alfa		
			Beta		
			Rayos cósmicos		
	<b>Radiaciones no ionizantes o de baja energía</b>	Radiaciones electromagnéticas	Radiaciones electromagnéticas	Gamma	
				Rayos X	
				Ópticas	Ultravioleta Visible Infrarroja
		Campos electromagnéticos	Microondas Radiofrecuencia		

Fuente: elaboración propia.

No ionizante						Ionizante			
Hf <12,4 eV						Hf < 12,4 eV			
Subradio frecuencias	Radio frecuencias	Microondas	Infrarrojos	Luz visible	Ultravioletas no ionizantes	Ultravioletas ionizantes	Rayos X	Rayos $\gamma$	Rayos cósmicos
0	30kHz	1 GHz	300 GHz	385 THz	750 THz	3 PHz	30 PHz	3 EHz	>3000 EHz
30 kHz	1 GHz	300 GHz	385 THz	750 THz	3000 THz	30 PHz	300 EHz	3000 EHz	
$\infty$	100 km	300 mm	1 mm	780 nm	400 nm	100 nm	10 nm	100 pm	< 0,1 pm
100 km	300 mm	1 mm	780 nm	400 nm	100 nm	10 nm	1 pm	0,1 pm	

N	Banda	f	$\lambda$	Aplicaciones
11	EHF Extremely High Frequencies	300 GHz   30 GHz	1 mm   10 mm	Comunicaciones diversas Radar de navegación
10	SHF Super High Frequencies	30 GHz   3 GHz	10 mm   100 mm	Radar, radio, satélites Usos industriales Fisioterapia
9	UHF Ultra High Frequencies	3 GHz   300 MHz	100 mm   1 m	Horno microondas Usos industriales y médicos Fisioterapia. TV
8	VHF Very High Frequencies	300 MHz   30 MHz	1 m   10 m	Radio FM, TV
7	VHF High Frequencies	30 MHz   3 MHz	10 m   100 m	Soldadura plásticos Diatermia Radio OC
6	MF Medium Frequencies	3 MHz   300 kHz	100 m   1 Km	Radio AM
5	LF Low Frequencies	300 kHz   30 KHz	1 Km   10 Km	Calentamiento por inducción
—	ELF Extremely Low frequencies	30 KHz   0 Hz	10 Km   $\infty$	Ultrasonidos Técnicas de audio Transporte energía eléctrica

**Figura 1.** Frecuencias y longitudes de onda en el espectro electromagnético

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo (s. f.).

**Radiación ionizante:** Se define como energía emitida por átomos manifestada como rayos X, rayos  $\gamma$  (gamma) y partículas:  $\alpha$  (alfa),  $\beta^-$ ,  $\beta^+$  (beta), n (neutrones) (OMS, 2016). La radiactividad es producto de la desintegración espontánea de los átomos y la energía sobrante emitida es una forma de radiación ionizante; los radionúclidos son elementos inestables que se desintegran y emiten radiación ionizante. A diario, el ser humano inhala e ingiere radionúclidos presentes en el aire, el agua y los alimentos (OMS, 2016).

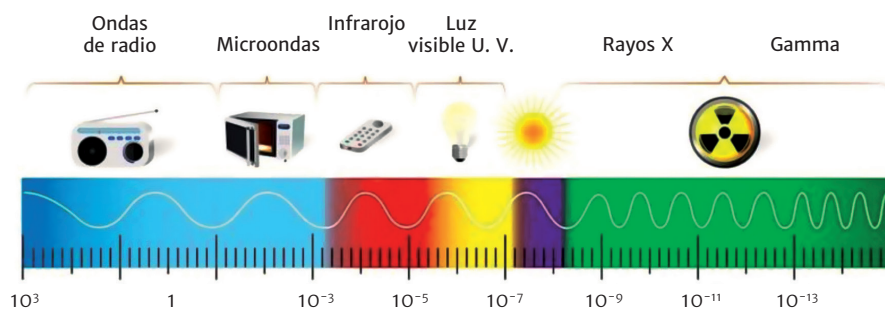


El efecto de la dispersión de energía a través del vacío o por un medio material, conocido como ondas electromagnéticas, se manifiesta en forma de CEM perpendiculares y oscilantes. La longitud de onda es una oscilación completa y la frecuencia es el número de oscilaciones por segundo; por lo tanto, las ondas electromagnéticas viajan por el vacío a la velocidad de la luz ( $2,99792 \times 10^8$  m/s). Dicha velocidad se denomina con la letra “c” (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009; ver figura 1).

La radiación viaja haciendo paquetes o cuantos energéticos, denominados fotones, los cuales dependen de su frecuencia o longitud de onda; a mayor frecuencia, mayor es el transporte de energía. En el espectro electromagnético, encontramos frecuencias comprendidas entre 1017 y 1020 Hz (hertzios), llamadas rayos X. Las ondas con frecuencias entre 1020 y 1024 Hz son denominadas rayos gamma, las cuales, gracias a su pequeña longitud de onda o elevada frecuencia, pueden transportar gran cantidad de energía (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

El flujo de ondas electromagnéticas de alta energía (radiación gamma) tiene su origen en el núcleo excitado. Por lo general, al emitir una partícula alfa o beta, el núcleo elimina el exceso de energía en forma de ondas electromagnéticas de elevada frecuencia, que puede ser producida por materiales radiactivos como el tecnecio 99 (Tc), de utilidad médica. Su onda no tiene masa ni carga, y puede interactuar con la materia y atravesar largas distancias; tiene gran poder de penetración por su longitud de onda corta, lo que le permite atravesar largas distancias en medios como agua, aire y materiales de baja densidad como las láminas acero de hasta 10 cm de espesor (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

Los rayos X se generan por el choque contra la materia de electrones acelerados a gran velocidad y se definen como radiaciones electromagnéticas de longitud de onda corta que se propaga en línea recta y a la velocidad de la luz; presentan gran capacidad de penetración y se utilizan generalmente para la producción de imágenes diagnósticas. Los rayos X, al chocar con la materia, pueden producir diferentes tipos de efectos: de ionización, de fluorescencia, efecto fotoquímico y efectos biológicos (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).



**Figura 2.** Espectro electromagnético

Fuente: <https://concepto.de/espectro-electromagnetico/> (s. f.)

El ser humano está expuesto a radiación natural por los rayos cósmicos, principalmente en las grandes alturas, y a la radiación originada por las fuentes artificiales. Esta exposición puede ser interna o externa: la exposición interna a la radiación ionizante se da cuando un radionúclido es inhalado, ingerido o ingresa por cualquier medio al torrente sanguíneo, y termina cuando el radionúclido se elimina del organismo gracias a un tratamiento o espontáneamente (OMS, 2016). Cuando un material radiactivo presente en el aire se posa sobre la piel o la ropa, se produce la exposición externa; normalmente, este tipo de material radiactivo puede eliminarse del cuerpo mediante un simple lavado y así la irradiación ionizante por origen externo se detiene cuando la fuente de radiación está protegida o blindada o el individuo sale del campo de radiación (OMS, 2016).

La exposición a radiación ionizante se clasifica en tres grupos: i) la exposición planificada, que es producto de la introducción y el funcionamiento deliberados de fuentes de radiación con fines específicos, por ejemplo, la utilización médica de la radiación para exámenes diagnósticos y tratamientos, o el uso en la investigación y la industria; ii) la exposición existente, que se presenta cuando ya hay una exposición a la radiación y se deben tomar medidas para su control, por ejemplo, la exposición al radón en los hogares, en el medio ambiente y en sitios de trabajo; y iii) la exposición en situaciones de emergencia, como en el caso de los accidentes nucleares y los ataques terroristas (OMS, 2016).

**Radiación no ionizante:** Son aquellas radiaciones que no pueden producir iones al interactuar con los átomos de un material (EcuRed, 2017), y

por tanto, no poseen la cantidad de energía necesaria para ionizar. Se les puede dividir en dos grupos: los CEM y las radiaciones ópticas (rayos láser, ultravioleta, rayos infrarrojos, radiación solar y luz visible). Aunque las ondas electromagnéticas de la región baja del espectro no poseen la energía suficiente para ionizar átomos, no significa que no sean dañinas para los tejidos (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

Los CEM son “áreas de energía que rodean a los dispositivos eléctricos y se originan por el movimiento de cargas eléctricas”, y también se pueden definir como una “combinación de ondas eléctricas y magnéticas que se desplazan simultáneamente” (Alonso *et al.*, 2011, p. 9). Las fuentes de CEM artificiales como la electricidad, las microondas y los RF se encuentran ubicadas en un extremo del espectro electromagnético y presentan longitudes de onda relativamente largas, frecuencias bajas y sus campos no pueden romper enlaces químicos, por lo cual pertenecen a las radiaciones no ionizantes (OMS, 2017). La intensidad de los CEM se denomina tensión o voltaje y se mide en voltios o kilovoltios por metro (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

Los CEM se clasifican en cuatro grupos: i) los campos estáticos (0 Hz), que no varían en el tiempo y se definen como descargas eléctricas que no penetran en el organismo y pueden sentirse por el movimiento del vello en la piel (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009); ii) las ELF, por lo general de hasta 300 Hz, y fuentes como las redes de suministro eléctrico y los aparatos eléctricos; iii) las tecnologías que producen campos de frecuencia intermedia, con frecuencias entre 300 Hz y 10MHz, como las pantallas de los computadores, los dispositivos anti-robo y los sistemas de seguridad; y iv) el grupo de los RF, con frecuencias que van de 10 MHz a 300 GHz, como la radio, las antenas de radares, los televisores, los hornos microondas y los teléfonos celulares (OMS, 2017). Los CEM de estos grupos inducen corrientes en el cuerpo humano y, dependiendo de su frecuencia y amplitud, pueden producir efectos de sacudidas eléctricas y calentamiento cuando son muy intensos (más de lo habitual) (OMS, 2017).

La radiación ultravioleta se divide en radiación ultravioleta larga o próxima (UV-A), cuya longitud de onda va de 380 nm (límite de la percepción visual del color violeta) a 320 nm y puede penetrar la biología humana; la radiación ultravioleta media (UV-B) tiene una longitud de onda entre

320 y 280 nm, y es útil en la aplicación del efecto fotoquímico como la pigmentación; la radiación ultravioleta lejana, corta o radiación germicida (UV-C) presenta longitudes de onda de 280 a 200 nm, tiene el máximo de energía y de efectos germicidas, y afecta los tejidos más externos del organismo (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

En cuanto a las propiedades de las radiaciones ultravioletas, se encuentran: la fluorescencia, el efecto fotoquímico y los efectos fotoeléctricos; son utilizadas en la industria y en la medicina. La radiación visible pertenece a las radiaciones no ionizantes. Cuando el ojo humano puede ver la radiación magnética, tiene longitud de onda entre 400 y 760 nm: el sol es la principal fuente y su efecto más importante es el fotolumínico (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

La radiación infrarroja se utiliza en termoterapia, en fototerapia para inhibir ciertas sustancias tóxicas sobre la piel y en el diagnóstico médico. Su efecto fototérmico no supera los 3 cm de profundidad de la piel, y la radiación láser, constituida por rayos de haces paralelos y dirigidos, es muy utilizada en la medicina y en la industria (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

### 3.3. Radiaciones electromagnéticas en la vida cotidiana

En el año 2001, la ICNIRP señaló que la exposición a CEM de frecuencia extremadamente baja hace parte de la vida moderna, pero hay preocupación por los efectos adversos en la salud humana. Aunque esta radiación tiene una energía baja para tener efectos directos en el ADN y, por lo tanto, no podría generar cáncer en el ser humano, el mismo estudio indicó el riesgo de leucemia infantil asociado a la exposición a CEM por líneas eléctricas (ICNIRP, 2001).

La OMS viene realizando investigaciones sobre el efecto de las exposiciones a CEM por debajo de los límites recomendados en todo el rango de frecuencias de 0 a 300 GHz, de acuerdo con la ICNIRP, y se determinó que no tienen ningún efecto en la salud, pero se necesitan más investigaciones para evaluar el riesgo (Repacholi, 2003).

Stephen *et al.* (2007) hicieron una revisión de la literatura científica sobre el efecto de las radiaciones electromagnéticas en la salud humana, como disfunción reproductiva, cáncer, alteraciones del sistema nervioso

central, patologías celulares y alteraciones del metabolismo de la melatonina, además de revisar las recomendaciones de salud pública y analizar cuatro casos clínicos de individuos expuestos a radiaciones de frecuencia. Concluyeron que los CEM tienen un alto potencial de producir efectos en las células y los tejidos humanos, aunque la evidencia científica indica que las radiaciones de frecuencia baja no tienen la capacidad de interactuar con el material genético y afectarlo.

El principal efecto de los CEM en el organismo es el aumento de la temperatura en el cuerpo humano por lo menos 1 °C, y al concentrarse esta energía en algún tejido, puede dañarlo. Sin embargo, no puede confirmarse que los CEM acorten la vida o lleven a la muerte, aunque se recomienda limitar la exposición y seguir medidas de protección (Mateescu y Alecu, 2008).

Wilmink y Grund (2011) revisaron los efectos biológicos de la radiación THz que se utiliza cada vez más en aplicaciones militares, médicas (estímulo para cicatrización de heridas) y de seguridad. Se concluyó que sus efectos directos sobre la membrana plasmática son: aumento de la permeabilidad, reorganización y destrucción; sin embargo, los estudios de genotoxicidad muestran que la radiación de THz no causa efectos negativos a la estructura o función del ADN.

Un estudio sobre los efectos biológicos de los CEM de microondas en Polonia (Kaszuba-Zwoińska *et al.*, 2015) mostró que no se observaron alteraciones en personas que trabajan con frecuencias de microondas como los militares.

La preocupación en torno a los efectos biológicos de las radiaciones electromagnéticas contribuyó a la conformación de una base de datos como fuente de información para la evaluación de la exposición ocupacional a CEM (Vila *et al.*, 2016), enfocada en fuentes ocupacionales de exposición. La información sobre la exposición ocupacional a CEM fue recolectada por INTERPHONE-INTEROCC, cubre todas las frecuencias de los CEM y representa el recurso más completo de información sobre la exposición ocupacional.

## 3.4. Radiaciones electromagnéticas y su influencia en la salud

El tema de la exposición a CEM ha despertado un interés marcado en el área de la salud ocupacional y en el avance tecnológico, puesto que los cambios

en la sociedad a partir del siglo xx han originado más fuentes artificiales de radiación electromagnética que han conducido a que todos los seres humanos estén expuestos a una mezcla compleja de campos eléctricos y magnéticos débiles, tanto en sus viviendas como en sus ambientes laborales (OMS, 2017).

Los estudios realizados sobre la exposición a la radiación han obedecido a las inquietudes que se generan en torno a las consecuencias nocivas que pueden tener estas ondas electromagnéticas en la salud, las cuales se estudian en límites amplios que pueden ir desde 0,5 hasta 300 GHz. Aunque se podría pensar que los seres vivos se van adaptando a las ondas electromagnéticas y es incierto saber cómo será esta adaptación en el futuro (Gil y Úbeda, 2001).

Los planteamientos que se expondrán a continuación constituyen un referente metodológico y teórico que soporta la investigación objeto del presente trabajo. Se enmarcan en el ámbito nacional e internacional a nivel de la problemática de la exposición a la radiación electromagnética en el ambiente laboral de las aeronaves.

En el campo de la aviación, se han realizado algunos estudios de tipo de observacional. Uno de estos es el de Gil y Úbeda (2001), titulado “Occupational cancer risk in pilots and flight attendants: Current epidemiological knowledge”, en el cual se adelantó una revisión sistemática de estudios relacionados con el riesgo de padecer cáncer entre los tripulantes de aeronaves civiles y militares a partir de 1990.

Los resultados arrojados por la investigación son confusos. En algunos de los estudios revisados, se observó un alto riesgo de padecer cáncer derivado de la exposición a la radiación cósmica y a otros CEM del rango entre 400 Hz y 2 GHz, mientras que en otros estudios no hubo relación entre la enfermedad y la exposición a las radiaciones. Por lo tanto, los autores recomiendan que se hagan más investigaciones y mediciones de exposición a la radiación y de los cálculos de la dosis.

Gundestrup y Storm (1999), en su trabajo titulado “Radiation-induced acute myeloid leukaemia and other cancers in commercial jet cockpit crew”, buscaron establecer si el aumento del número de casos de cáncer en las tripulaciones se relacionaba con la exposición a radiaciones cósmicas. Se tuvo en cuenta el tipo de aeronave y las horas de vuelo mediante la revisión de los expedientes médicos de los tripulantes de la cabina de aviación civil desde 1946. Se recopilieron 3877 expedientes y se encontró que

el melanoma y otros tipos de cáncer de piel fueron las patologías malignas más frecuentes en la población estudiada.

Así mismo, Zeeb *et al.* (1998) analizaron los patrones de mortalidad de más de 44 000 tripulantes de cabina de avión en Europa con estudios de cohorte de ocho países. Encontraron que las mayores causas de mortalidad son los accidentes ocupacionales y el síndrome de inmunodeficiencia adquirida en los hombres. Sin embargo, no hubo causas de mortalidad atribuibles a la exposición por radiación cósmica u otro tipo de radiaciones.

De igual manera, Buja *et al.* (2005) realizaron un metaanálisis de estudios epidemiológicos entre 2005 y 2014 para determinar la incidencia de cáncer entre pilotos militares, civiles y asistentes de vuelo, teniendo en cuenta su exposición a radiaciones ionizantes cósmicas, a CEM y a productos químicos. En este estudio, se observó que el cáncer de piel en los pilotos está asociado a la exposición a radiaciones ionizantes; así mismo, se encontró una incidencia de cáncer de próstata para los pilotos civiles, probablemente según el estudio por ser de edad más avanzada con respecto a los pilotos militares y asistentes de cabina. Finalmente, el patrón de sueño interrumpido en los trabajadores puede producir disminución de la secreción de melatonina, lo cual contribuye a la formación de tumores.

De Luca *et al.* (2009) analizaron los cambios cromosómicos en muestras de sangre de 71 pilotos argentinos expuestos crónicamente a bajas dosis de radiación ionizante. En el estudio, se encontró que el 20 % de las muestras presentó aberraciones cromosómicas, lo cual sugiere que las radiaciones ionizantes pueden inducir aberraciones cromosómicas y, por ende, convertirse en un indicador de cáncer en la población estudiada.

Cárdenas (2012) hizo una investigación transversal para evaluar la prevalencia de cáncer en la población de pilotos de aviación comerciales en Colombia y los factores de riesgos asociados, en comparación con una muestra aleatoria de la población no expuesta. Este estudio concluyó que existe un mayor riesgo de cáncer de piel en las tripulaciones aéreas con un mayor número de horas de vuelo; sin embargo, la autora recomienda que se requieran más estudios que evalúen la exposición ocupacional y más mediciones de radiación ionizante acumulada para asociar el riesgo a padecer cáncer.

Otra preocupación del campo han sido los métodos para monitorear la exposición a radiaciones. Así, Castro (2013) genera un modelo computacional utilizando E-CARI 6 y EPCARD para dosificar la exposición a radiaciones

ionizantes en milisieverts (mSv). Los resultados obtenidos en veinticinco pilotos de la aviación civil durante el año 2005 mostraron que la cantidad de radiación ionizante en rutas internacionales se encuentra entre 0,002 y 1850 mSv. Sin embargo, sus resultados son inconclusos y recomienda que la radiación ionizante se debe evaluar mediante la medición y el monitoreo, con la utilización de contadores proporcionales de tejido en el interior de las aeronaves.

Blake y Komp (2014), en las Fuerzas Militares de Estados Unidos desde 1945, hicieron un monitoreo anual de 70 000 personas por radiación ocupacional. Encontraron que en la Armada y la Fuerza Aérea de Estados Unidos se mantiene una dosis baja por persona de 1 sievert (Sv). La exposición a las radiaciones electromagnéticas en el personal de la aviación civil y militar ha llamado la atención de la comunidad científica mundial. Sin embargo, al realizar el estudio exhaustivo de las investigaciones, se observa que se requieren más estudios que contribuyan a mejorar la metodología para disminuir los riesgos de confusión y que sus conclusiones permitan entender de manera clara la relación existente entre la exposición a CEM y la salud humana.

### 3.5. Bases legales

La inteligencia de señales, en su actuar, trasciende en una línea muy delgada para lo cual hoy se cuenta con un soporte jurídico que permite desarrollar esta labor, incluyendo la Ley de Inteligencia N.º 1621 del 17 de abril de 2013. Artículo 17. Monitoreo del Espectro Electromagnético e Interceptaciones de Comunicaciones Privadas. A continuación, se recopilan las principales leyes del presente trabajo de investigación, los artículos se analizan en orden cronológico y permiten abordar el marco legal que orienta el uso de las radiaciones electromagnéticas, las actividades de inteligencia militar aérea en Colombia y los efectos en la salud de la población expuesta:

- Resolución 2400 de 1979. Capítulos V y VI del Ministerio del Trabajo y Seguridad Social. Realiza un análisis sobre prevención y reducción de efectos negativos en el personal expuesto a la radiación ionizante y no ionizante en materia de salud ocupacional.
- Constitución Política de Colombia (1991). Artículo 75. Determina que el espectro electromagnético es un bien público; por lo tanto, nadie



puede apoderarse de él y no puede cederse, venderse o negociarse, y existe igualdad para acceder al espacio electromagnético por parte de la población colombiana.

- Decreto 1982 de 1994. Artículo 1. Hace referencia a enfermedades profesionales que pueden afectar a los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes y no ionizantes.
- Decreto 783 de 2001. Establece las normas para la protección de los trabajadores y la población contra los riesgos de las radiaciones ionizantes, es un reglamento para todas las prácticas que impliquen radiaciones ionizantes tanto de fuentes artificiales como naturales.
- Resolución 18-1434 de 2002. Artículo 1. Indica los requisitos que deben cumplir los individuos interesados en realizar actividades relacionadas con la radiación ionizante o en disminuirlas, e indica condiciones básicas de protección de las personas.
- Ley Estatutaria 1621 de 2013. Artículo 17. Ratifica el marco jurídico que autoriza a los organismos a realizar actividades de inteligencia y contrainteligencia, además de monitorear el espectro electromagnético.
- Decreto 1078 de 2015. Capítulo v. Establece la diferencia entre la exposición ocupacional y la exposición al público en general, y define las diferentes fuentes e intensidades del campo electromagnético. Además, las Fuerzas Armadas de Colombia pueden tener acceso a las frecuencias asignadas al servicio móvil y de radionavegación aeronáutica, en cuanto cumplan con lo dispuesto.
- Resolución 000387 de 2016. Brinda las definiciones técnicas acerca de las exposiciones de radiofrecuencia usadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), las cuales son necesarias para cualquier estudio y aplicabilidad de la norma en cuanto al uso del espectro electromagnético.

Las anteriores leyes son importantes para cualquier estudio y aplicabilidad de la norma en cuanto al uso del espectro electromagnético.

## 4. Hipótesis

Como referencia de hipótesis, se tiene que es una suposición “posible o imposible para sacar de ello una consecuencia” (Espinosa, 2018). Una idea

a ser debatida y comprobada previo a las informaciones recopiladas para brindar una explicación tentativa y determinar “el tipo de radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia de señales a bordo de la aeronave King FAC-5748, pueden producir efectos en la salud de la población expuesta en su operación”.

## 5. Diseño metodológico

A continuación, se presentan los temas que se van abordar en el desarrollo metodológico mediante el enfoque, el alcance, el diseño, la población, la muestra y los instrumentos de recolección de datos.

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos, se realizó una investigación observacional con enfoque cuantitativo.

### 5.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo exploratorio. Consistió en la revisión de la literatura científica sobre las radiaciones de frecuencia y la salud humana, además de la utilización de herramientas cualitativas y cuantitativas para la recolección de datos por medio del trabajo de campo y la elaboración de dos encuestas realizadas a la población objeto de estudio. Se pretende despertar interés en torno a la realización de nuevos estudios sobre el tema que se aborda, bajo el esquema de un diseño no experimental que “podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables”, es decir, estudios que consisten en “observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural” (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014, p. 152).

### 5.2. Población y muestra

La población objeto del presente estudio son el personal de radiooperadores de los equipos de inteligencia que en las plataformas aéreas desempeñan el cargo de operadores TIR (técnicos de inteligencia y reconocimiento). Se realizó una muestra a conveniencia para los operadores de la aeronave 5748; la poca población que desarrolla este tipo de actividades no permite calcular una muestra por medios estadísticos.

### 5.3. Instrumentos, validación y técnicas

Se describen los instrumentos utilizados para la recolección y la validación, y la técnica utilizada en los datos del presente proyecto en cada una de sus fases.

**Encuesta de morbilidad sentida:** Se elaboró una encuesta de morbilidad sentida que se compone de dos partes; la primera busca establecer los principales síntomas presentados por los operadores durante los últimos seis meses de vuelo; y la segunda busca conocer los síntomas después de un vuelo de inteligencia. Esta encuesta fue validada por dos expertos en el campo y el protocolo fue aprobado por el Comité de Ética de la Escuela de Posgrados de la FAC (EPFAC), mediante radicado N.º 20185900020223.

**Mediciones en el equipo SK 350 5748:** Para este estudio sobre la exposición a CEM, se empleó un medidor de radiación. Este dispositivo se comporta como una antena isotrópica que recibe todas las señales en un rango de frecuencias específico, independientemente de la dirección de la que provienen. Las mediciones se desarrollan de la siguiente manera:

- a. Se toma la primera muestra en tierra, dentro de la aeronave, ubicando el equipo detector de radiaciones frente a uno de los equipos transmisores de radiofrecuencia en operación y transmitiendo en la gama de frecuencia de VHF, tomando la medición en la escala de microsievert.
- b. Se realiza la segunda medición en tierra, dentro de la aeronave, ubicando el equipo detector de radiaciones frente al segundo equipo transmisor de radiofrecuencia en operación y transmitiendo en la gama de frecuencia de UHF, tomando la medición en la escala de microsievert. Bandas de trabajo del equipo bajo estudio: 850 MHz y 1900 MHz.
- c. Se realiza la tercera medición en vuelo, dentro de la aeronave, ubicando el equipo detector de radiaciones frente al equipo transmisor de radiofrecuencia en operación y transmitiendo en la gama de frecuencia de UHF, tomando la medición en la escala de microsievert.
- d. Se realiza la cuarta medición en vuelo, dentro de la aeronave, ubicando el equipo detector de radiaciones frente al equipo transmisor de radiofrecuencia en operación normal, tomando la medición en la escala de microsievert.

De igual manera, una vez termina el vuelo, se aplica la encuesta 2 para determinar la frecuencia de la morbilidad sentida por exposición a

radiofrecuencia durante una operación real, a fin de determinar síntomas recientes o asociados.

- e. Se realiza la quinta medición en vuelo, dentro de la aeronave, en la escala de escala de microsievert.

**Encuesta al personal de radiooperadores:** Se aplicó una encuesta elaborada para determinar la frecuencia de la morbilidad sentida por exposición a radiofrecuencia entre enero y junio de 2018. La encuesta se hizo posterior a la aprobación del Comité de Ética y previa firma del consentimiento informado por parte de los radiooperadores.

Así mismo, se aplicó la encuesta 2 (posterior al desarrollo de un vuelo), exactamente cuando terminó la misión y descendieron de la aeronave.

Después del diligenciamiento de la encuesta, los datos tabulados se consignaron en la plantilla de tabulación de datos que contiene las casillas mostradas en la tabla 3.

**Tabla 3.** Consolidación encuesta 1 y 2

Edad	Sexo (F/M)	Tiempo de exposición / minutos al día	Fatiga	Irritabilidad (mal humor)	Cefalea (dolor de cabeza)	Vértigo (sensación de giro)	Mareo	Lagrimo	Náuseas	Disfagia (dificultad para ingerir alimentos)	Insomnio	Estrés
------	------------	---------------------------------------	--------	---------------------------	---------------------------	-----------------------------	-------	---------	---------	--	----------	--------

Fuente: *elaboración propia.*

## 5.4. Registro de radiaciones

Se pretende hacer un estudio de medición de los límites de exposición y campo electromagnético producidos por la utilización de los equipos de inteligencia de señales a bordo de la aeronave King FAC-5748. Para ello, hubo dos fases: en la primera se usó un analizador de espectro para determinar los niveles de señal; y en la segunda fase se tomaron muestras de los niveles de radiación.

Las mediciones fueron en un periodo comprendido entre el 1 de febrero y el 30 de junio del 2018, en el que se determinaron los niveles de exposición referidos para ser analizados y definir el espectro de operación.

Una primera prueba se realizó en el Laboratorio de Comunicaciones ubicado en el Comando Aéreo de Transporte Militar (CATAM), y como instrumento de medición se utilizó el analizador del espectro (Spectrum Analyzer P/N: N9010A-513, S/N: MY53400186). Este equipo electrónico se usó para visualizar en una pantalla los componentes espectrales de frecuencias de una señal que transmitió el equipo de comunicaciones en la aeronave King FAC-5748.

## 5.5. Análisis de datos

Aquí, se muestran los resultados y su respectivo análisis de los datos obtenidos en las mediciones realizadas y en la encuesta aplicada.

**Espectro electromagnético:** En la tabla 4, se presentan los resultados obtenidos del analizador durante las mediciones en rampa.

**Tabla 4.** Medidas con el analizador de espectro electromagnético

Nivel de transmisión	Frecuencia de transmisión en sus dos portadoras	Potencia de transmisión	Ganancia
1	850 MHz 1900 MHz	2 W	-33 dBm
2	850 MHz 1900 MHz	4 W	-36 dBm
3	850 MHz 1900 MHz	8 W	-39 dBm
4	850 MHz 1900 MHz	15 W	-42 dBm
5	850 MHz 1900 MHz	30 W	-45 dBm

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se describen los resultados de las dos encuestas aplicadas a los operadores TIR. La encuesta 1, que trata sobre los signos y síntomas referidos por los operarios de la aeronave King FAC-5748 en los últimos diez meses, y la encuesta 2, en la que se estudian los síntomas después de un vuelo.

**Características de la población:** Se contó con la colaboración de diez tripulantes del sexo masculino con una edad comprendida entre 27 y 37 años de edad (en promedio  $32.4 \pm 3.6$  años), quienes refirieron no presentar antecedentes médicos.

**Características operativas:** El 80 % de los evaluados realiza actividades de vuelo en jornada diurna y solo el 20 % lo hace en jornada nocturna y

nocturna. Con un tiempo de operación del equipo de inteligencia por semana de  $112 \pm 56,72$  minutos y por mes de  $9,3 \pm 4,2$  horas.

**Síntomas identificados:** En las tablas 5 y 6, se presentan los síntomas identificados a partir de las encuestas aplicadas.

**Tabla 5.** Porcentaje de presentación de síntomas por encuesta

Muestra: n=10	Encuesta 1		Encuesta 2 posvuelo	
Síntoma	Síntomas presentados en vuelo en los últimos 10 meses	Cuando opera los equipos a abordó	Síntomas durante vuelo	Al aumentar la potencia de transmisión del equipo (30 W)
Fatiga	0	0	0	0
Irritabilidad (mal humor)	10 %	0	0	0
Cefalea (dolor de cabeza)	30 %	60 %	40 %	50 %
Vértigo (sensación de giro)	10 %	0	0	0
Mareo	0	20 %	20 %	10 %
Lagrimeo	0	0	0	0
Náuseas	0	0	0	0
Disfagia (dificultad para ingerir alimentos)	0	0	0	0
Insomnio	10 %	0	0	0
Estrés	20 %	0	0	0
Ninguna de las anteriores	60 %	20 %	40 %	40 %

Fuente: *elaboración propia.*

**Tabla 6.** Síntomas reportados en vuelo y tiempo de aparición de los síntomas en los sujetos que responden presentar síntomas en vuelo

Muestra: n=10	Encuesta 1		Encuesta 2 posvuelo	
Síntoma	Tiempo promedio de aparición de síntomas en vuelo (min)	Tiempo de aparición de síntomas al aumentar potencia (min)	Tiempo promedio de aparición de síntomas en vuelo (min)	Tiempo de aparición de síntomas al aumentar potencia (min)
Cefalea (dolor de cabeza)	$46,6 \pm 16,32$	$41,6 \pm 22$	$33,75 \pm 4,78$	$30,8 \pm 14,9$
Mareo	$30 \pm 14,1$	$30 \pm 14$	$30 \pm 14$	$30 \pm 14$

Nota. Datos presentados en media  $\pm$  desviación estándar.

Fuente: *elaboración propia.*

**Síntomas en los diez meses previos a la aplicación de la encuesta (encuesta 1):** Se encontró que los síntomas presentados en los últimos diez meses en su vida diaria son: 10 % irritabilidad, 30 % cefalea (dolor de

cabeza), 10 % vértigo (sensación de giro), 10 % insomnio y 20 % estrés; sin embargo, el 60 % de la población refiere no haber presentado ninguno de los síntomas.

En términos de los síntomas referidos por la tripulación cuando opera los equipos de inteligencia a bordo de la aeronave, en los diez meses previos a la aplicación de la encuesta, el 60 % de la población menciona haber presentado cefalea y el 20 %, mareo; el 20 % restante señaló no haber presentado sintomatología. En los voluntarios que reportaron síntomas, en promedio el tiempo de aparición después del inicio de la operación del equipo es de  $46,6 \pm 16,3$  minutos para la cefalea y de  $30 \pm 14$  minutos para el mareo. Al aumentar la potencia del equipo, el 60 % de los encuestados refirió presentar cefalea en un tiempo promedio de  $41,6 \pm 22$  minutos, el 20 % refirió mareo en un tiempo promedio de  $30 \pm 14$  min, y el 20 % de los encuestados dijo no haber presentado síntomas con el aumento de la potencia del equipo.

De las siete personas que refirieron síntomas al operar el equipo a bordo, el 71 % los presentó durante la operación; el 14,2 %, después de la operación; y el 14,2 %, durante y después de la operación.

**Síntomas posteriores a las labores de vuelo (encuesta 2):** Durante el vuelo y después del inicio de la operación del equipo, el 40 % de la población presentó cefalea con aparición en un tiempo promedio de  $33,7 \pm 4,78$  min y el 20 % tuvo mareo en un tiempo promedio de  $30 \pm 14$  min; el restante 20 % no presentó ninguno de los síntomas. De los siete operadores que presentaron síntomas, el 85,7 % ( $n=6$ ) tuvo los síntomas durante la operación y el 14,2 % ( $n=1$ ), después de la operación.

Al aumentar la potencia del equipo a 30 W, el 50 % de los sujetos presentó cefalea en un tiempo promedio de  $30,8 \pm 14$  minutos y el 10 % tuvo mareo en un tiempo promedio de  $30 \pm 14$  min. El 40 % no presentó síntomas.

**Análisis de resultados:** El organismo humano tiene mecanismos de termorregulación que actúan constantemente para mantener la temperatura del cuerpo dentro de ciertos límites. Este análisis se basa en los márgenes establecidos por la ICNIRP. La OMS asume los límites de exposición propuestos por la ICNIRP y recomienda que se incorporen en la legislación sin ninguna restricción adicional. La UIT, a través de la norma K.52, reglamenta el procedimiento a seguir para la toma de este tipo de mediciones. En Colombia, se adoptan estos procedimientos y límites de exposición a CEM por medio del Decreto 195 del 2005.

Se pudo determinar que los niveles de radiación detectados se encuentran por debajo de los límites definidos por las reglamentaciones nacionales e internacionales, pues la radiación estuvo por debajo de los límites permitidos de exposición. Los Sv, como unidad de dosis de radiación, también llamada dosis efectiva, son una manera de medir la radiación ionizante y no ionizante en términos de su potencial para causar daño.

En términos de las frecuencias emitidas por el equipo de inteligencia, se encuentra que este corresponde a la categoría de radiaciones no ionizantes. Durante el análisis de la primera medida tomada en tierra, se evidencia que las radiaciones encontradas están en el orden de la gama de frecuencias de VHF, que no corresponde a radiaciones ionizantes, pero sí pueden ser clasificadas en radiaciones no ionizantes, debido a que son producidas por CEM con frecuencias inferiores a  $3 \times 10^{15}$  Hz (espectro de luz visible). La característica fundamental de este tipo de radiaciones es que no causan desprendimiento de partículas atómicas o rompimiento de enlaces al interactuar con la materia.

De la segunda medida en tierra, se obtienen radiaciones en la gama de frecuencias de UHF, las cuales no corresponden a radiaciones ionizantes, pero sí pueden ser clasificadas como radiaciones no ionizantes; estos niveles dependen de la frecuencia, y el grado de penetración y absorción en el cuerpo humano se determina a partir de los efectos térmicos.

El organismo humano dispone de mecanismos de termorregulación que actúan constantemente para mantener la temperatura del cuerpo dentro de unos márgenes determinados. La propia actividad metabólica del organismo exige disipar, es decir, transferir energía al exterior para que la temperatura del cuerpo no aumente. Los estudios establecen cuáles son los niveles de absorción de energía radiada que el ser humano puede tolerar en cuanto al efecto térmico que producen en el tejido.

Se hizo la tercera medición en vuelo, dentro de la aeronave, ubicando el equipo detector de radiaciones frente al equipo transmisor de radiofrecuencia en operación y transmitiendo en la gama de frecuencia de UHF. Para esta muestra, se pueden observar radiaciones en la gama de frecuencias de UHF, las cuales no corresponden a radiaciones ionizantes, pero sí pueden ser clasificadas como radiaciones no ionizantes, en las que estos niveles dependen de la frecuencia.

Los efectos que se producen en el cuerpo humano cuando es expuesto a un campo electromagnético son diversos. Los cambios experimentados en



los tejidos varían en función de la frecuencia del campo incidente, debido a que para frecuencias entre 300 MHz y varios GHz se observa una absorción local no uniforme. En 10 GHz, por ejemplo, la absorción que se genera en los tejidos es relativamente baja, principalmente en la superficie de los tejidos del cuerpo.

Al analizar la morbilidad sentida durante el vuelo reportada por los operadores, se observa que el principal síntoma referido es la cefalea o dolor de cabeza, con el 40 % cuando se opera el equipo y con 50 % cuando se aumenta la potencia de transmisión del equipo a su máximo nivel de 30 W; seguido por el mareo con el 20 % y con el 10 % tras aumentar la potencia del equipo. Sin embargo, el 40 % de los encuestados refirió no presentar síntomas durante la operación del equipo en vuelo ni después del aumento de la potencia.

Para el grupo de sujetos que presentaron síntomas en vuelo, el tiempo de aparición de los síntomas en las dos encuestas está alrededor de los treinta minutos tras el inicio de la operación del equipo y después del aumento de potencia a 30 W.

A partir de los resultados, es posible observar que la presentación de síntomas es muy cercana en porcentaje a la no presentación de síntomas tras la aplicación de la encuesta 2 (posvuelo); contrario a los resultados derivados de la encuesta 1 en la que se presenta un mayor porcentaje de síntomas históricos durante los diez meses previos al momento de operar el equipo de inteligencia.

En la cuarta medición en vuelo para el equipo en la gama de frecuencia UHF, no corresponde a radiaciones ionizantes, pero sí pueden ser encasilladas en radiaciones no ionizantes. En 10 GHz, por ejemplo, la absorción que se genera en los tejidos es relativamente baja, principalmente en la superficie de los tejidos del cuerpo.

## 5.6. Fases de la investigación

Teniendo en cuenta las técnicas para el procesamiento y la recolección de la información bajo el esquema observacional (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014), se definieron las siguientes fases para el desarrollo de la investigación.

**Inicio y anteproyecto:** Desde el inicio de la problemática evidenciada por los operadores de equipos especiales de inteligencia, se justificó esta temática y se definieron objetivos para buscar solucionar la pregunta

problema antes expuesta. Así mismo, se investigó el marco legal normativo y se construyó un marco teórico conceptual inicial mediante una revisión documental que dio viabilidad al proyecto de investigación.

**Fase conceptual:** Para esta fase, se hizo una revisión literaria que permitió desarrollar a profundidad las bases conceptuales que ayudaron en el cumplimiento de los objetivos propuestos. Se abordó la problemática identificada mediante la obtención de información de teorías y datos cuantitativos que toman como referencia normas, manuales y estándares nacionales e internacionales.

**Fase empírica metodológica (método):** En esta fase, se determinaron dos métodos para la recolección de datos del presente proyecto: primero, a través de la elaboración de una herramienta para conocer la morbilidad sentida por el personal de operadores; y segundo, a través de la medición en vuelo de las radiaciones emitidas por el equipo de radiofrecuencia a bordo.

**Fase de recolección de datos:** La recolección de datos se llevó a cabo en dos momentos: la primera con la aplicación de la encuesta de morbilidad al personal de operadores entre enero y junio de 2018, con previa firma de consentimiento informado; la segunda se realizó a bordo de la aeronave Súper King 5748, donde se hicieron mediciones de radiaciones emitidas en rampa durante julio y noviembre de 2018.

**Fase empírica analítica (análisis de resultados):** Al analizar los datos cuantitativos recopilados, se determinaron los niveles de exposición referidos para ser analizados y definir los tipos de radiaciones encontradas. Por otro lado, la encuesta permitió comparar la información obtenida con la percepción de la población objeto de estudio.

**Fase inferencial (discusión):** En esta se emiten conclusiones y recomendaciones a partir de la información adquirida mediante la encuesta y las mediciones realizadas durante la operación de los equipos de inteligencia, de forma tal que puedan ser utilizadas como base de futuros proyectos e investigaciones.

## 5.7. Consideraciones éticas

De acuerdo con la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud: “Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud”, se tendrán en cuenta los artículos 4, 5, y 6. El artículo 4 expresa que la investigación en salud comprende el desarrollo de

acciones que contribuyan con el siguiente criterio al conocimiento y la evaluación de los efectos nocivos del ambiente en la salud.

El artículo 5 indica que en toda investigación en la que el ser humano sea sujeto de estudio, deberá prevalecer el criterio del respeto a su dignidad y la protección de sus derechos y su bienestar. El artículo 6 refiere que la investigación que se realice en seres humanos se deberá desarrollar conforme a los criterios que indican que se ajustará a los principios científicos y éticos que la justifiquen.

Se contará con el consentimiento informado y por escrito del sujeto de la investigación, de acuerdo con lo establecido en el artículo 14, que indica que el consentimiento informado es el acuerdo por escrito, mediante el cual el sujeto de investigación autoriza su participación en la investigación, con pleno conocimiento de la naturaleza de los procedimientos, beneficios y riesgos a que se someterá, con la capacidad de libre elección y sin coacción alguna.

Se tendrá en cuenta también el artículo 10, en el cual el investigador principal deberá identificar los tipos de riesgos a que están expuestos los sujetos de investigación. Según el artículo 11, la presente investigación tiene un riesgo mayor que el mínimo, ya que es un estudio radiológico. De acuerdo con el artículo 77, como la investigación implica el uso de equipos generadores de radiaciones electromagnéticas, se realizará de acuerdo con las leyes, los reglamentos y las normas sobre seguridad radiológica que rigen al territorio colombiano.

## 5.8. Papel del investigador

El papel principal de los investigadores es determinar si el uso de la frecuencia y la potencia de los equipos utilizados en la inteligencia militar pudieran presentar alguna sintomatología o afectación en el personal que manipula estos equipos.

## 6. Hallazgos

Aquí se expondrán los hallazgos encontrados durante el proceso de recolección de datos mediante mediciones y encuestas al personal que refirió presentar sintomatología durante la operación y exposición al equipo de inteligencia en misión.

Las encuestas realizadas a la tripulación de la aeronave King FAC-5748 han mostrado que casi la mitad del personal encuestado que opera el equipo presenta cefalea durante la operación. Sin embargo, al analizar las radiaciones de frecuencias emitidas por los equipos de inteligencia a bordo de la aeronave, las mediciones realizadas en tierra demuestran que las radiaciones de frecuencia emitidas por dichos equipos no son lo suficientemente intensas como para tener efectos en la salud humana.

En el desarrollo del estudio se hizo énfasis en sintomatología específica con cefalea, mareo, fatiga, irritabilidad, vértigo, lagrimeo, náuseas, disfagia, insomnio y estrés. La cefalea y el mareo fueron los principales síntomas referidos por la población encuestada en la vida cotidiana, durante las operaciones en vuelo y en el tiempo de posvuelo.

Es importante señalar que los CEM de 0 Hz a 300 GHz que interactúan con el organismo pueden ocasionar efectos diferentes según su frecuencia, debido a que inducen corrientes eléctricas en el cuerpo humano y producen calentamiento de la materia, en razón a que la absorción de la energía electromagnética por los tejidos y su conversión en calor genera incrementos de temperatura en el interior del cuerpo.

La evidencia científica indica que las radiaciones de frecuencia baja no tienen la capacidad de interactuar con el material genético y afectarlo. Se determina, durante el estudio desarrollado, que no fue posible evidenciar que las radiaciones generadas por los equipos de inteligencia tengan algún tipo de afectación en la salud de la población objeto de estudio. Además, las mediciones realizadas demuestran que la radiación generada no es ionizante, es decir, producen un efecto térmico y corresponden a radiaciones electromagnéticas de menor frecuencia.

A partir de los efectos térmicos, los niveles de radiación detectados en la investigación se encuentran por debajo de los límites definidos por la reglamentación de Colombia y, según los lineamientos, no se requieren medidas de seguridad adicionales con respecto a la radiación electromagnética.

Los efectos que se producen en el cuerpo humano cuando es expuesto a un campo electromagnético son diversos. Por ello, los síntomas experimentados por operadores podrían estar asociados al aumento de la temperatura corporal, lo cual genera dolor de cabeza, mareo y los demás síntomas referidos en la encuesta realizada (Mateescu y Alecu, 2008).

En los estudios revisados sobre radiaciones no ionizantes, se establece que el único efecto biológico claramente comprobado es el calentamiento

de los tejidos. Así mismo, no se pudo encontrar en la literatura alguna evidencia concluyente que permita asociar la radiofrecuencia con algún tipo de cáncer; tampoco se puede afirmar en la actualidad que estas radiaciones no tengan efectos potencialmente adversos para la salud, pero no se puede asegurar que sí los tienen.

Cabe resaltar que el principal síntoma identificado en el presente estudio fue la cefalea, que según la OMS es uno de los trastornos más comunes del sistema nervioso. La mayoría de la población adulta ha sufrido de cefalea y puede estar directamente relacionada con el estrés que deteriora la calidad de vida; de igual manera, el mareo es un síntoma difícil de evaluar, ya que pertenece a diferentes procesos y sintomatologías que lo hacen tener un enfoque multidisciplinario de evaluación compleja. Estos síntomas no son suficientes para indicar que las radiaciones de frecuencia son por sí solas la causa de algún efecto nocivo en la salud humana.

Dado lo anterior, y teniendo en cuenta la poca diferencia entre tener o no síntomas y que los síntomas reportados son inespecíficos, es indispensable hacer otros estudios que contribuyan a la evaluación directa entre causa y efecto de la potencia de la radiación de frecuencia y su directa correlación con una afección específica. En este sentido, los estudios retrospectivos y prospectivos con poblaciones numerosas se hacen indispensables para la evaluación de dichas patologías.

Por otro lado, derivado de los síntomas encontrados, se debe profundizar y analizar si una de las posibles causas de los efectos que los tripulantes han manifestado sentir obediencia a una mala alimentación, a no dormir las horas suficientes que reparen su cuerpo o a una poca hidratación; estados que podrían relacionarse con la sintomatología referida.

## 7. Conclusiones

La pregunta problema de investigación fue: ¿cuáles son las radiaciones de frecuencia a las que están expuestos los tripulantes a bordo de la aeronave King FAC-5748 que manipulan los equipos de inteligencia? De acuerdo con la información recolectada mediante las mediciones realizadas y la encuesta aplicada para responder la pregunta problema, se puede determinar que los niveles de radiación detectados están por debajo de los límites permitidos de exposición definidos por las reglamentaciones nacionales e internacionales.

## 7.1. Conclusiones genéricas

Se sugiere que se analicen y se adopten las siguientes conclusiones emitidas con el fin de mitigar los síntomas referidos por el personal de tripulantes de la aeronave FAC-5748, debido a que existe una exposición ocupacional a radiaciones no ionizantes.

- Para mitigar la exposición a radiaciones no ionizantes, se debe cubrir la antena transmisora de potencia con una manta de plomo que permita aislar y direccionar la radiación generada hacia afuera de la aeronave.
- Como mecanismos de prevención, se debe estimular que los tripulantes se hidraten antes y durante el vuelo.
- Las tripulaciones deben alimentarse bien antes de realizar las misiones.
- Las tripulaciones deben dormir bien antes de realizar las misiones.
- Se debe realizar un proceso de divulgación de los resultados encontrados, a fin de dar tranquilidad al personal de operadores.
- Se deben realizar estudios posteriores que incluyan un mayor número de voluntarios y un seguimiento de síntomas, con el fin de estudiar las posibles asociaciones con la exposición ocupacional.
- Se debe ampliar la investigación mediante un estudio comparativo que permita aplicar la herramienta en variables que influyen la sintomatología referida por la población objeto de estudio, como calidad de sueño, hidratación, ejercicio realizado antes del vuelo, alimentación y estado emocional.
- Se propone a futuro ampliar la investigación aplicando la herramienta a otras tripulaciones voluntarias que realicen misiones de transporte, VIP, medicalizadas y de entrenamiento, con el fin de identificar otros factores contribuyentes.

## 7.2. Conclusiones específicas

- Se describen la potencia y las frecuencias de transmisión de los equipos utilizados en las misiones de inteligencia. La frecuencia está en dos bandas que son en 850 Mhz y 1900 Mhz, y la potencia iba desde 2 a 30 W, relacionadas en la tabla 3. Fueron medidas con el analizador de espectro.

- Se identifican las radiaciones emitidas por los equipos de inteligencia, que no son ionizantes, y se emiten las recomendaciones para el personal de tripulantes.
- Se establece que los efectos a los que está expuesto el personal de operadores son efectos térmicos y, a su vez, pueden ocasionar los síntomas que fueron analizados en la encuesta, en la cual el principal síntoma identificado es la cefalea.
- Conforme a la información recolectada e investigada que sirve de evidencia y a la normatividad existente a nivel nacional y mundial, se puede concluir que aunque hay una exposición ocupacional a radiaciones no ionizantes por parte de la población objeto de estudio, es necesario divulgar que el factor de riesgo y sus posibles efectos en la salud son mínimos y solo requieren medidas de protección para mitigar la exposición directa. Así mismo, los efectos en la salud pueden darse como consecuencia del efecto térmico de las radiaciones no ionizantes que se producen cuando la tasa de absorción es específica, lo cual a su vez indica que es posible que la sintomatología referida por el personal objeto de estudio pueda estar asociada al calentamiento de los tejidos en el cuerpo.
- Es importante señalar que los CEM de 0 Hz hasta 300 GHz que interactúan con el organismo pueden tener efectos diferentes según la frecuencia, debido a que inducen corrientes eléctricas en el cuerpo humano produciendo calentamiento de la materia, en razón a que la absorción de la energía electromagnética por los tejidos y su inmediata conversión en calor genera incrementos de temperatura en el interior del cuerpo.
- La evidencia científica indica que las radiaciones de frecuencia baja no tienen la capacidad de interactuar con el material genético y afectarlo. Durante el estudio desarrollado, no fue posible evidenciar que las radiaciones generadas por los equipos de inteligencia tengan algún tipo de afectación en la salud de la población objeto de estudio. A su vez, las mediciones realizadas demuestran que la radiación generada no es ionizante, producen un efecto térmico y corresponden a radiaciones electromagnéticas de menor frecuencia.
- Las investigaciones consultadas permiten determinar que, a partir de los efectos térmicos, los niveles de radiación detectados se encuentran por debajo de los límites definidos por la reglamentación de Colombia,

y según los lineamientos, no se requieren medidas de seguridad adicionales con respecto a la radiación electromagnética.

- Los efectos que se producen en el cuerpo humano cuando es expuesto a un campo electromagnético son diversos, por lo que se concluye que los síntomas experimentados por los operadores podrían estar asociados al aumento de la temperatura corporal que genera dolor de cabeza, mareo y los demás síntomas referidos en la encuesta realizada.
- En los estudios revisados sobre radiaciones no ionizantes, se establece que el único efecto biológico claramente comprobado es el calentamiento de los tejidos. No se encontró en la literatura alguna evidencia concluyente que permita asociar la radiofrecuencia con algún tipo de cáncer; tampoco se puede afirmar en la actualidad que estas radiaciones no tengan efectos potencialmente adversos para la salud, pero no se puede asegurar que sí los tienen.

## 8. Referencias

- Ahlbom, A., Green, A., Kheifets, L., Savitz, D. y Swerdlow, A. (2004). Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure. *Environmental Health Perspectives*, 112(17), 1741-1754. <https://doi.org/10.1289/ehp.7306>
- Belyaev, I., Dean, A., Eger, H., Hubmann, G., Jandrisovits, R., Kern, M., Kundi, M., Moshhammer, H., Lercher, P., Müller, K., Oberfeld, G., Ohnsorge, O., Pelzmann, P., Scheingraber, C. y Thill, R. (2016). EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. *Reviews on Environmental Health*, 31(3), 363-397. <https://doi.org/10.1515/reveh-2016-0011>
- Blake, P. K. y Komp, G. R. (2013). Radiation exposure of U.S. military individuals. *Health Physics*, 106(2), 272-278. <https://doi.org/10.1097/HP.000000000000032>
- Blettner, M., Grosche, B. y Zeeb, H. (1998). Occupational cancer risk in pilots and flight attendants: Current epidemiological knowledge. *Radiat and Environ Biophysics*, 37(2), 75-80. <https://doi.org/10.1007/s004110050097>
- Breckenkamp, J., Berg, G. y Blettner, M. (2003). Biological effects on human health due to radiofrequency/microwave exposure: A synopsis of cohort studies. *Radiat Environ Biophysics*, 42(3), 141-154. <https://doi.org/10.1007/s00411-003-0203-x>
- Buja, A., Lange, J. H., Perissinotto, E., Rausa, G., Grigoletto, F., Canova, C. y Mastrangelo, G. (2005). Cancer incidence among male military and civil pilots and flight attendants: An analysis on published data. *Toxicology and Industrial Health*, 21(10), 273-282. <https://doi.org/10.1191/0748233705th2380a>



- De la Rosa, R. (2014). *La enfermedad silenciada*. Ediciones I.
- De Luca, J. C., Picco, S. J., Macintyre, C., Dulout, F. N. y López-Larrazza, D. M. (2009). The prevalence of chromosomal aberrations in Argentine air crew members. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 64(2), 101-106. <https://doi.org/10.3200/AEOH.64.2.101-106>
- Gherman, L. (2015). *Electromagnetic spectrum domination*. Henri Coanda Air Force Academy.
- Gil, L. y Úbeda, M. (2001). Ondas electromagnéticas y salud. (Informes Sanitarios Siglo XXI). [http://www.etsist.upm.es/estaticos/catedra-coitt/web\\_salud\\_medioamb/Informes/informes\\_PDF/camposelectromagneticos/OndasEMySalud.pdf](http://www.etsist.upm.es/estaticos/catedra-coitt/web_salud_medioamb/Informes/informes_PDF/camposelectromagneticos/OndasEMySalud.pdf)
- Gundestrup, M. y Storm, H. H. (1999). Radiation-induced acute myeloid leukaemia and other cancers in commercial jet cockpit crew: A population-based cohort study. *Lancet*, 354(9195), 2029-2031. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(99\)05093-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(99)05093-X)
- Hardell, L. y Sage, C. (2008). Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 62(2), 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2007.12.004>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Kaszuba-Zwoińska, J., Gremba, J., Gałdzińska-Calik, B., Wójcik-Piotrowicz, K. y Thor, P. J. (2015). Electromagnetic field induced biological effects in humans. *Przegląd Lekarski*, 72(11):636-641. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27012122/>
- Mateescu, C., Alecu, G. y Kappel, W. (2008). Electromagnetic field as environment factor affecting human health. *Revue Roumaine des Sciences Techniques, Série Électrotechnique et Énergétique*, 53(12), 113-121.
- Michavila Pallarés, B. (1984). La guerra electrónica y la electrónica en la guerra. *Boletín de Información*, (171), 1-109. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4770317>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2016, 29 de abril). *Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección*. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs371/es/>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). Radiación: campos electromagnéticos (CEM). [http://www.who.int/topics/electromagnetic\\_fields/es/](http://www.who.int/topics/electromagnetic_fields/es/)
- Pérez Martínez, F. (2011). *Sensores electromagnéticos. Los sentidos de los sistemas para la defensa y la seguridad*. Cuadernos de Cátedra ISDEFE-UPM N.º 9. <http://catedraisdefe.etsit.upm.es/wp-content/uploads/2011/11/PDF-cuaderno-N%C2%BA-9.pdf>
- Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía. (2009). *Temas para la Educación. Revista Digital para Profesionales de la Enseñanza*, (4), 2-15. [http://ciam.ucol.mx/portal/portafolios/domingo\\_ornelas/apuntes/recurso\\_828.pdf](http://ciam.ucol.mx/portal/portafolios/domingo_ornelas/apuntes/recurso_828.pdf)

- Repacholi, M. H. (2003). An Overview of WHO's EMF Project and the health effects of EMF exposure. <http://www.who.int/pehemf/meetings/archive/en/keynote4repacholi.pdf>
- Solórzano del Río, H. E. (2001). *Efectos biológicos de los campos electromagnéticos*. [https://www.ecoport.net/temas-especiales/salud/efectos\\_biologicos\\_de\\_los\\_campos\\_electromagneticos/](https://www.ecoport.net/temas-especiales/salud/efectos_biologicos_de_los_campos_electromagneticos/)
- Genuis, S. J. (2007). Fielding a current idea: Exploring the public health impact of electromagnetic radiation. *Public Health*, 122(2), 113-124. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2007.04.008>
- Jefatura de Inteligencia Fuerza Aérea Colombiana (JIN FAC). (2014). *La inteligencia aérea: estratégico de la defensa nacional*. <https://www.fac.mil.co/la-inteligencia-a%C3%A9rea-estrat%C3%A9gico-de-la-defensa-nacional>
- Troya Mosquera, M. C. y Zabala Niño, J. (2007). *Influencia en la salud de la población expuesta a radiaciones no ionizantes con frecuencias comprendidas entre 0 HZ a 300 HZ, revisión documental* [tesis de especialización, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio institucional PUJ. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/54918/TroyaMosquera%2CMariaCristina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vila, J., Bowman, J. D., Figuerola, J., Moriña, D., Kincl, L., Richardson, L. y Cardis, E. (2016). Development of a source-exposure matrix for occupational exposure assessment of electromagnetic fields in the INTEROCC STUDY. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2017 jul;27(4):398-408. doi: 10.1038/jes.2016.60. Epub 2016 nov 9. Erratum in: *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2019 sep;29(5):731. Erratum in: *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2019 oct;29(6):860. PMID: 27827378; PMCID: PMC5573206.
- Wilmink, G. J. y Grundt, J. E. (2011). Invited review article: Current state of research on biological effects of terahertz radiation. *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 32, 1074-1122. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10762-011-9794-5>
- Zeeb, H., Blettner, M., Langner, I., Hammer, G. P., Ballard, T. J., Santaquilani, M., Gundestrup, M., Storm, H., Haldorsen, T., Tveten, U., Hammar, N., Linnarsjö, A., Velonakis, E., Tzonou, A., Auvinen, A., Pukkala, E., Rafnsson, V. y Hrafnkelsson, J. (2003). Mortality from cancer and other causes among airline cabin attendants in Europe: A collaborative cohort study in eight countries. *American Journal of Epidemiology*, 158(1), 35-46. <https://doi.org/10.1093/aje/kwg107>