

# Protección contra la amenaza de los rayos láser

## Procedimientos de operación y adiestramiento de la Fuerza Aérea de Brasil

CAPITÁN ROBERTA ROSAS PETROCINIO, FUERZA AÉREA DE BRASIL  
HUMBERTO JOSÉ LOURENÇÃO

### Introducción

Este artículo defiende los estudios sobre el uso de protección específica contra el rayo láser desde la perspectiva de su uso ofensivo por las fuerzas subnacionales o por ciudadanos comunes. El rayo láser emitido contra los aviones se considera una amenaza para la seguridad, en el contexto del estudio estratégico de nuevas amenazas, que compromete el poder aeroespacial y, al mismo tiempo, ataca la seguridad de vuelo.

La base teórica se basó en el estudio de las llamadas nuevas amenazas, como se describe en los conceptos de guerras que se han desarrollado con la evolución del pensamiento estratégico; que incluye guerras posmodernas, guerra omnidimensional, guerra sin restricciones, guerra de cuarta generación (4GW por sus siglas en inglés) y guerra asimétrica; sobre las características físicas del láser y sus consecuencias en los tejidos biológicos.

En esta perspectiva, además del argumento teórico, basado en las propiedades físicas del láser y su capacidad para infringir el daño a la visión de las víctimas, el estudio también examina la incidencia de incidentes relacionados con el rayo láser contra aviones militares y civiles en el espacio aéreo brasileño, entre 2012 y 2014, con base en la información contenida en los formularios de notificación de rayo láser del Centro de Investigación y Prevención de Accidentes Aeronáuticos (CENIPA por sus siglas en portugués), para demostrar el potencial del láser no solo para causar accidentes aéreos sino también para comprometer la misión prevista de la Fuerza Aérea en la Estrategia de Defensa Nacional (END por sus siglas en portugués).<sup>1</sup>

La libertad táctica de la acción de las fuerzas irregulares, su complejidad creciente, combinada con la propagación de tecnología moderna, ha iniciado una nueva era de terrorismo y asesinatos en masa por medio de armas láser y químicas, biológicas, y nucleares.<sup>2</sup> El estudio sobre las ramificaciones del uso de rayos láser en el espacio aéreo brasileño, en busca de la seguridad de vuelo y el poder aeroes-

pacial, puede servir para estimular consideraciones futuras adicionales sobre las formas de protección contra los efectos de los rayos láser.

Así pues, la importancia de este estudio es inculcar al liderazgo de la Fuerza Aérea la importancia de entender la situación de incidentes de rayos láser en Brasil; el riesgo al que los aviones están expuestos, especialmente los pilotos; y prestar atención a la necesidad de preparación cuando se usen de forma ofensiva con mayor potencia, dentro o fuera de territorios nacionales.

## **Amenaza de los rayos láser, 4GW y terrorismo, y seguridad de vuelo**

### ***Amenaza de los rayos láser***

El científico estadounidense Theodore Harold Maiman produjo el primer rayo láser el 16 de mayo de 1960 a partir de una barra de rubí sintética. Los avances tecnológicos han hecho posible crear rayos láser con diferentes potencias y su aplicación se diversificó en varias áreas, como defensa, industria privada, medicina e investigación.<sup>3</sup> La preocupación por los posibles daños causados por los rayos láser empezó desde su producción cuando se limitó su uso a las grandes instituciones, que empezaron los primeros borradores sobre la normalización y clasificación de los rayos láser. En EE.UU., los primeros límites de seguridad para rayos láser se desarrollaron para uso en las fuerzas armadas, entre 1962 y 1963.<sup>4</sup>

A finales de los años 60, organizaciones civiles de EE.UU. empezaron a hablar de la necesidad de limitar la exposición a los rayos láser y el Departamento de Trabajo de EE.UU. pidió al Instituto de Normas Nacionales de EE.UU. (ANSI) que actuará sobre este asunto. En 1973, el ANSI publicó la norma ANSI Z136.1 sobre el potencial de los rayos láser de causar daños biológicos.

El espectro electromagnético se compone de todos los tipos de energía electromagnética como ondas de radio, microondas, y rayos infrarrojos, visibles, ultravioleta y gamma. Esta clasificación viene determinada por la longitud de onda de cada tipo de energía electromagnética. Los rayos láser normalmente son infrarrojos, con una longitud de onda de 1 mm a 750 nm, mientras que el espectro de luz visible varía de 750 a 400 nm. La difracción de una onda electromagnética depende de su longitud de onda y del tamaño de la abertura. Al considerar la misma abertura, los rayos láser se difractan 10.000 veces menos que las microondas y esto permite que el rayo tenga un largo alcance a la vez que mantiene un pequeño punto de energía concentrado en el objetivo.<sup>5</sup>

La diferencia entre la luz de un rayo láser y la luz de una lámpara consiste en coherencia espacial y temporal. En una lámpara, la luz emite fotones por igual en todos los sentidos. La luz es aleatoria, está desfasada y tiene múltiples longitudes

de onda. Por el contrario, los rayos láser emiten una luz coherente, es decir, donde los fotones se desplazan en el mismo sentido y están en la misma fase. Los rayos láser son monocromáticos y por lo tanto solo tienen una longitud de onda. Otra diferencia importante es que la luz láser está colimada, lo que significa que el rayo láser se desplaza largas distancias con una dispersión mínima.<sup>6</sup>

Dependiendo de sus propiedades, parte de la energía de un rayo láser que incide en un objeto puede ser absorbida, aumentando así la superficie y la temperatura interior del objeto, causando potencialmente un cambio o una deformación del material.<sup>7</sup> Este efecto térmico puede ser perjudicial para los tejidos del cuerpo humano, según la longitud de onda y la potencia del láser. Por lo general, los ojos son más vulnerables a las lesiones por radiación láser que la piel.<sup>8</sup>

Las exposiciones rápidas a rayos láser de baja radiación producen un deterioro visual temporal. La gravedad y duración del deterioro dependerá de la longitud de onda del rayo láser, la capacidad individual para adaptarse a los cambios de luz, si se usaron medicinas fotosintetizadoras y del color de los ojos.<sup>9</sup> Aunque los rayos láser de baja energía pueden tener efectos alteradores, aquellos con mayor energía pueden ser destructores, dañando los tejidos oculares, ya que pueden quemar objetos de baja densidad. Sea cual sea el tipo de rayo láser, los delincuentes, combatientes paramilitares y terroristas pueden usarlo.<sup>10</sup>

Los rayos láser se usan en exteriores por una variedad de razones, como conciertos y casinos para atraer y entretener al público en general, para la investigación en astronomía, y en sistemas de defensa para apuntar, perseguir y destruir objetivos militares. Con el tiempo, los rayos láser se han hecho más económicos y accesibles, y ahora se encuentran en visores de rifles y pistolas, punteros láser para presentaciones, y para uso industrial, con mayor potencia, en el mercado comercial.<sup>11</sup>

Cuando no se usan de forma responsable, los rayos láser pueden ser peligrosos y causar inquietud, especialmente en lo que se refiere a su empleo en el espacio aéreo. En los años 90, hubo varios casos de incidencias de iluminación láser contra aeronaves, tripulantes civiles y militares, deportistas en competiciones deportivas y vehículos en carreteras.<sup>12</sup> Específicamente, en las fuerzas armadas, el rayo láser puede representar un factor crítico para el éxito de la misión. Cualquier rayo láser que pueda incidir en el personal militar durante el ejercicio de sus funciones, ya sea en el aire o en el terreno. Sea cual sea su potencia, debe considerarse como una posible amenaza. Para la aviación, esta amenaza es aún mayor, ya que una alteración visual causada por el rayo láser en un soldado de infantería puede poner en riesgo su capacidad de combate, en un piloto puede provocar un accidente de aviación, causando la muerte de múltiples personas.<sup>13</sup>

El peligro de esta amenaza aumenta sustancialmente cuando los objetivos son aeronaves civiles, privadas, de transporte de carga y policiales. La pérdida de visión y de referencias visuales puede ocasionar lesiones catastróficas y la pérdida de tripulantes y pasajeros, además de poner en peligro a personas en el terreno.<sup>14</sup>

### **4GW y terrorismo**

La guerra es un fenómeno ancestral y la historia ha mostrado que su motivación (envidia, odio, arrogancia, avaricia) es la misma sean cuales sean los actores que la lideran: tribus, mercenarios al servicio de la corona, ciudades estado, estados y grupos terroristas. La guerra representa un conflicto de ideas y se caracteriza por su contexto político social, económico, geográfico, geopolítico, religioso, cultural e histórico. La naturaleza de la guerra es perenne, es decir, constante, y solo cambia según los cambios que tienen lugar en la forma de combatir, para quién se combate, o aquellos que combaten. Estos cambios, a su vez, se producen debido a cambios relevantes en la organización político social, los medios para lograr los fines, la aplicación de tecnología y la organización y las tácticas de las fuerzas armadas.<sup>15</sup>

A pesar de la emergencia de la Revolución en Asuntos Militares (RAM) en la segunda mitad del siglo XX, cuando la revolución informática hizo posible la integración de ojivas de combate nucleares con misiles balísticos intercontinentales, cuyo uso podría disminuir dramáticamente el tiempo de la guerra, la RAM no se limita a la evolución tecnológica de armamentos y equipos militares, ni a la forma en que se usan.<sup>16</sup> Como fenómeno complejo, la RAM tiene cuatro dimensiones: tecnológicas, organizativas, conceptuales y doctrinales. Los equipos nuevos que exigen nuevas organizaciones militares para combatir nuevas amenazas, en un ciclo constante de crecimiento indeterminado, han generado nuevos métodos estratégicos, que constituyen el alcance conceptual de la RAM.<sup>17</sup> Las nuevas amenazas presentes en la RAM en curso son el terrorismo global, las armas de destrucción masiva y el crimen organizado transnacional. Su lucha sería el origen de guerras según un nuevo paradigma, llamado posmoderno o guerras de la cuarta generación, en el que los estados luchan contra actores no estatales, caracterizados como conflictos asimétricos.

Lind desarrolló el concepto de 4GW, predominantemente a nivel táctico y, complementariamente, a nivel de operaciones. Él describe cuatro generaciones de guerras cuya sucesión se inicia con la Paz de Westfalia de 1648, lograda con el tratado que dio fin a la Guerra de los Treinta Años, de la que el estado estableció el monopolio de la guerra.

Según Lind, la primera generación de la guerra moderna, la guerra de líneas y columnas, en las que el campo de batalla estaba ordenado y era formal, duró

aproximadamente entre 1648 y 1860, alcanzando su nivel máximo en las guerras napoleónicas. Las guerras de la primera generación se caracterizaban por ser libradas por ejércitos nacionales reclutados, contrariamente a lo que había pasado antes, cuando las guerras eran llevadas a cabo por nobles y mercenarios más o menos leales a la corona, dependiendo de la cantidad de oro que recibían a cambio. La primera generación creó una cultura de orden militar. No obstante, a mediados del siglo XIX, el campo de batalla empezó a desordenarse, dado que las tácticas de líneas y columnas, que suponían la presencia de ejércitos en masas concentradas, se hicieron obsoletas. Así pues, la cultura de orden se hizo cada vez más incoherente.<sup>18</sup>

La guerra de segunda generación se desarrolló durante la Primera Guerra Mundial, cuando el uso de la artillería hizo rápidamente que la táctica de líneas y columnas se hiciera obsoleta y el campo de batalla estuviera desorganizado. En ella, en la que la doctrina fue resumida por los franceses con la frase “la artillería conquista, la infantería ocupa”, el poder de fuego se sincronizaba cuidadosamente entre los tanques y la artillería en una batalla conducida, donde el comandante actuaba como líder. Para preservar la cultura del orden, el enfoque era interior, en reglamentos, procesos y procedimientos, en los que la obediencia era más importante que la iniciativa.<sup>19</sup> Esta doctrina sigue presente hoy en el Ejército y en el Cuerpo de Infantería de Marina de EE.UU., según se demostró en las guerras de Afganistán e Irak, en las cuales la aviación reemplazó la artillería como fuente de poder de fuego.

La guerra de tercera generación se manifestó de forma soberbia después de la Segunda Guerra Mundial (SGM), con el desarrollo de la doctrina de la guerra relámpago por parte del Ejército de Alemania. También conocida como guerra de maniobras, se basaba en velocidad y sorpresa, en vez de potencia de fuego, en el que el objetivo ya no era aproximarse y destruir físicamente, sino colapsar o anular las fuerzas enemigas, según el lema: pasar por alto y colapsar en vez de cerrar y destruir.<sup>20</sup> También se caracterizó por el uso de la guerra psicológica y las tácticas de infiltración de la retaguardia del enemigo por sus flancos débiles. El principio de la guerra relámpago fue usado por Estados Unidos para lograr una victoria rápida en Irak en la Guerra del Golfo de 1991. Además de plantear cuestiones sobre táctica, la guerra de la tercera generación también planteaba cuestiones sobre los valores de la disciplina y jerarquía militares; en este modelo, la iniciativa se hizo más importante que la obediencia, así como la autodisciplina (endógena) frente a la disciplina impuesta (exógena).

La 4GW comprende los cambios más radicales desde la Paz de Westfalia. Después de la SGM, durante la Guerra Fría, se produjo un aumento notable de guerras asimétricas y acciones terroristas. Las grandes potencias empezaron a patro-

cinar fuerzas locales irregulares, que eran menos costosas, y les ahorraban las críticas de la opinión pública y el desgaste político. No obstante, los estados perdieron su monopolio de la guerra, lo que supuso nuevas amenazas para la seguridad internacional. Sus fuerzas armadas empezaron a luchar contra oponentes no estatales como al-Qaeda, Hamás, Hezbolá, las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC), el Estado Islámico; los cuales no siguen las convenciones de La Haya y Ginebra y cuyos combatientes se diferencian por poco entre civiles y soldados. La 4GW regresa a un mundo anterior a Westfalia de luchas entre culturas, pero no meramente entre los países beligerantes: una invasión de inmigrantes puede considerarse como una invasión enemiga y hacer que predominen conflictos de baja intensidad.<sup>21</sup> Van Creveld, corroborando el concepto de 4GW, afirma que la guerra ha evolucionado hasta el punto de que la teoría de Clausewitz se ha quedado obsoleta.<sup>22</sup> Para él, en el futuro, cesarán los combates convencionales y las guerras se convertirán en conflictos de baja intensidad.

El concepto de terrorismo es nebuloso y controvertido,<sup>23</sup> lo que puede explicarse por dos factores. El primero consiste en la propia creación del término terrorismo, dado que el significado y uso de la palabra han cambiado con el tiempo. Para Bruce Hoffman,<sup>24</sup> durante la Revolución Francesa, el término terrorismo tenía una connotación positiva, asociada con los ideales de virtud y democracia; sin embargo, cinco años después de la Revolución Francesa, con la ejecución de Robespierre, el terrorismo se había convertido en un término asociado con el abuso de poder. Además, los cambios en el término terrorismo durante la historia se refieren a su connotación contra el estado o a favor del estado. Mientras que los rebeldes de *Narodnaya Volya* (Voluntad Popular) a fines del siglo XIX en Rusia estaban claramente en contra del estado, en la Europa fascista de los años 30, las prácticas de represión masiva empleada por los estados totalitarios y sus líderes dictatoriales contra sus propios ciudadanos fueron descritas como terrorismo de estado.<sup>25</sup>

El segundo factor que explica la nebulosidad que caracteriza el término terrorismo, se refiere a la diversidad de intereses políticos que operan en el mundo. Hübschle describe<sup>26</sup> el terrorismo como un término negativo aplicado generalmente a enemigos y oponentes. Así, cualquier concepto del término terrorismo depende de la funcionalidad política que uno le quiera dar. En otras palabras, los actores políticos se insertan en cada configuración político cultural que condiciona su concepto de terrorismo, según sus intereses políticos. Así, por ejemplo, El Departamento de Estado de EE.UU. conceptualiza el terrorismo como violencia premeditada contra objetivos no combatientes por grupos subnacionales, normalmente diseñados para influir en una audiencia.<sup>27</sup> En otras palabras, es una connotación que cumple con las políticas para combatir el terrorismo llevado a cabo por

Estados Unidos al mismo tiempo que rechaza acusaciones de práctica de terrorismo contra este.

Uno de los principios de la Constitución de Brasil, en relaciones internacionales, es el repudio del terrorismo. Más recientemente, la Ley N° 13.260, de mayo de 2016, enmienda las Leyes 7.960, del 21 de diciembre de 1989, y 12.850, del 2 de agosto de 2013, y regula la estipulación en el artículo XLIII del artículo 5 de la Constitución Federal, castigando el terrorismo, tratando con estipulaciones investigativas y de procedimientos, y reformulando el concepto de una organización terrorista.<sup>28</sup> Según el Artículo 2 de la Ley N° 13260, del 16 de mayo de 2016, el terrorismo:

“... consiste en la práctica por parte de uno o más individuos de los actos estipulados en este artículo, por motivos de xenofobia, discriminación o prejuicio de raza, color, etnicidad y religión, cuando se comete con el fin de causar terror social o generalizado, poniendo en peligro a personas, propiedades, el orden público o la seguridad pública.”<sup>29</sup>

La estructura de combate antiterrorista de Brasil incluye varias agencias. Según la END, la prevención de actos terroristas y ataques masivos a los derechos humanos, así como la ejecución de operaciones contraterroristas, corresponde a los Ministerios de Defensa y Justicia y a la Oficina de Seguridad Institucional de la Presidencia de la República (GSI-PR). Para el Ministerio de Defensa, la prevención es responsabilidad del Comando de las Fuerza Armadas; en el Ministerio de Justicia, está tutelada por el Departamento de Policía Federal; mientras que en el GSI-PR, que tiene categoría de ministerio, la responsabilidad de controlar estas amenazas es de la Agencia Brasileña de Inteligencia (ABIN).<sup>30</sup>

Actualmente, cualquier definición de terrorismo debe tener en cuenta el evento político principal de modernismo: la emergencia de la nación estado moderna, consolidada por el Tratado de Westfalia, en 1648. Desde el advenimiento de esta institución política central, en la que el mundo se ha convertido en interestatal o internacional, el concepto de terrorismo se basa, al final, en el ataque contra el estado, o al menos contra el gobierno del estado. Cuanto más actúe el gobierno en el contexto de democracia y respeto al imperio de la ley, más se caracterizará el ataque como terrorista.

Así pues, el terrorismo puede definirse como una amenaza o una práctica de violencia premeditada emprendida por grupos subnacionales no estatales contra personas no combatientes, normalmente con el fin de influir en una audiencia (es decir, el objetivo no es solo la víctima inmediata), que tiene fines políticos, particularmente cambiar o limitar el comportamiento del estado. Según esta definición,

es sencillo entender la razón del tratamiento dado a la lucha contra el terrorismo como asunto de defensa nacional.

Los avances tecnológicos han activado la creación de armas (de precisión y no letales) que llegan al centro neurálgico del enemigo con menos efectos secundarios, ofreciendo más opciones de victoria en las que el control del enemigo supera la necesidad de su aniquilación. Estas armas se han denominado armas más amables; pero no significa que hayan perdido su efectividad en el campo de batalla. Por ejemplo, misiles usados para anular las capacidades de combate de un carro de combate en una batalla, o el uso de un rayo láser para destruir sus equipos ópticos o incluso cegar a su tripulación, como en el campo de batalla—alguien que resulta herido requiere más cuidado que alguien que resulta muerto.<sup>31</sup>

La puesta en peligro de la psique del enemigo, sea cual sea el medio utilizado, es el objetivo de los principales agentes no estatales involucrados en la guerra de la cuarta generación. El empleo de un rayo láser como arma puede incapacitar a un soldado de forma temporal o permanente, o causar más destrucción dependiendo de su poder. Sean como sean las guerras del futuro, el empleo de rayos láser será una amenaza en el teatro de operaciones, o a grandes distancias, y será llevadas a cabo por estados y agentes no estatales. Preparar a nuestras tropas con la protección adecuada es anticipar la acción del enemigo y mantener la integridad de los combatientes durante el conflicto.

### ***La seguridad de vuelo y el poder aeroespacial bajo la amenaza de los rayos láser***

La vista es el sentido principal involucrado en la orientación espacial. La vista es básica en todas las fases del vuelo y hace posible la identificación, la forma y el color de los objetos a cierta distancia. La vista se produce a través de un complejo proceso fisiológico y psicológico que depende de la interpretación de las señales capturadas por los ojos y transmitidas al cerebro. El estrés medioambiental puede alterar el funcionamiento fisiológico del ojo, arriesgando así el mantenimiento de una vista normal.<sup>32</sup>

Se necesita iluminación adecuada para todas las tareas que requieran ver. No obstante, una luz excesiva puede afectar la vista hasta el punto de hacerla inefectiva. En aviación, un piloto puede experimentar altos niveles de iluminación al volar hacia el sol o mirar una luz artificial muy brillante, como proyectores de luz. Ahora, los rayos láser se han convertido en una parte integral del problema de luces de alta intensidad en la aviación.<sup>33</sup>

En 1988, en su informe sobre “Gestión médica de lesiones oculares de rayos láser en combate”, la Fuerza Aérea de EE.UU. indicó que, en futuros combates, los

rayos láser se usarían directamente contra sus fuerzas y que sus efectos en la salud y el rendimiento de la tripulación eran preocupantes.<sup>34</sup>

El crecimiento rápido en el desarrollo de rayos láser ha aumentado su uso en las fuerzas armadas, como designadores y telémetros de rayos láser, que son usados por tropas terrestres, carros de combate, aviones, barcos y artillería antiaérea. Su uso, incluso en ejercicios, también puede causar lesiones oculares accidentales. La energía de los rayos láser en este equipo es suficiente para causar daños a kilómetros de distancia. Los rayos láser visibles e infrarrojos cercanos amenazan incluso a las tripulaciones protegidas por cubiertas, mientras que las fuerzas defensivas terrestres son susceptibles a los rayos láser ultravioleta.<sup>35</sup>

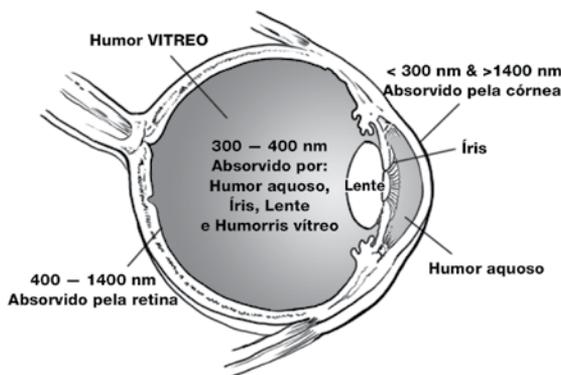
En 1995, se añadió el Protocolo IV a la Convención sobre prohibiciones o restricciones sobre el uso de ciertas armas convencionales que pueden ser muy perjudiciales o pueden generar efectos indiscriminados (CCAC), celebrada en Ginebra el 10 de octubre de 1980. Este protocolo prohíbe el uso de armas láser cuya finalidad principal es causar una ceguera permanente.

Cuando se absorbe un fotón, se pueden producir daños biológicos debido a uno de los tres mecanismos de lesiones principales, o cualquier combinación de ellos. Son fotoquímico (fotolítico), térmico (coagulador de fotones) y mecánico-acústico.<sup>36</sup> El ojo humano es más vulnerable a estos daños que la piel. La córnea es la estructura más anterior del ojo humano y, a diferencia de la piel, carece de una capa exterior de células muertas como protección. La córnea puede absorber y resultar dañada por energía de rayos láser de longitudes de onda más cortas que los rayos ultravioletas (< 300 nm) y más larga que los rayos infrarrojos (> 1400 nm). El lente del ojo es vulnerable a los rayos láser cerca de los niveles ultravioleta e infrarrojo. No obstante, lo más preocupante es la exposición a rayos láser, que atraviesan el medio óptico desde el ojo hasta la retina, con longitudes de onda que van de 400 a 1400 nm, incluida toda la parte visible del espectro óptico. El peor caso se produce cuando un rayo láser dirigido o reflejado se introduce en el ojo.<sup>37</sup>

La densidad de energía de los rayos láser puede aumentar 100.000 veces mediante la acción concentradora del ojo. Así, si la irradiación que penetra en el ojo es de 1 mW/cm<sup>2</sup>, la irradiación en la retina será de 100 W/cm<sup>2</sup>. Mirar directamente a un rayo láser con prismáticos u otros dispositivos de ampliación de imágenes, dependiendo de la potencia del láser, puede aumentar sustancialmente los daños en los ojos.<sup>38</sup>

Los daños en los ojos causados por rayos láser pueden clasificarse en retinales o no retinales según la energía de los rayos láser incidentes. Los rayos láser con longitudes de onda en el intervalo visible del espectro electromagnético (400-700 nm) y cerca del infrarrojo (hasta 1400 nm) atraviesan normalmente los medios del ojo (córnea, humor acuoso, humor cristalino, humor vítreo) y concentran sus rayos

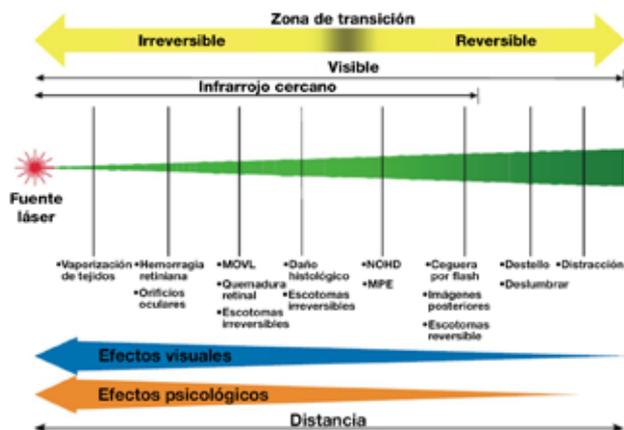
en la retina; mientras que los rayos láser en la gama ultravioleta y por encima de 1400 nm son absorbidos por los tejidos anteriores del ojo, como la córnea y la lente, antes de llegar a la retina (Figura 1).<sup>39</sup>



**Figura 1. Absorción de radiación óptica por estructuras oculares**

Fuente: Autor

Es posible definir una amplia gama de efectos biológicos potenciales que comprenden el alcance de la radiación láser, incluidos los daños patológicos (reversibles o irreversibles) e influye en el rendimiento que plantea una amenaza a las operaciones aéreas seguras. Esto varía de distracción, resplandor, deslumbramiento por luminosidad intensa, imágenes remanentes y escotomas residuales, hasta quemaduras en la retina, hemorragias retinales e incluso perforación del ojo. También incluye fenómenos físicos y psicológicos que pueden alterar más las funciones visuales y cognitivas durante una tarea dada (Figura 2).<sup>40</sup>



**Figura 2. Variación de los efectos biológicos de los rayos láser**

Fuente: Autor

En EE.UU., se dispone de una variedad de normas de seguridad de rayos láser, incluidos reglamentos federales y estatales. Las guías aplicadas con más frecuencia son las de la serie ANSI Z136. ANSI Z136.1. Normas Nacionales de EE.UU. para el uso seguro de rayos láser, define las guías recomendadas para el uso seguro de rayos láser con una longitud de onda entre 180nm y 1000  $\mu\text{m}$  y clasifica cada tipo de láser por su potencial de ocasionar daños biológicos. Las clases de rayos láser varían de riesgo de daños biológicos mínimo (clase 1) a máximo (clase 4). La letra M, que aparece después del número de algunas clases, se refiere al uso de recursos ópticos en el momento de la exposición que pueden aumentar la energía de los rayos láser.

Los rayos láser militares son rayos láser o sistemas láser usados en combate, adiestramiento en el combate o clasificados en otras áreas de interés de seguridad nacional, que requiere la aprobación de la Junta de Revisión de Seguridad de Sistemas Láser de la Fuerza Aérea de EE.UU. para su adquisición y uso. Entre otros ejemplos de rayos láser para uso militar se encuentran los siguientes: iluminadores láser, designadores láser, telémetros, consejos tácticos, rayos láser tácticos y rayos láser usados para aumentar el poder de fuego de la artillería. Los rayos láser clasificados como Armas de Energía Directa (DEW por sus siglas en inglés) están bajo la tutela de la Instrucción de la Fuerza Aérea (AFI) 91-401 (Seguridad de Armas de Energía Dirigida).<sup>41</sup>

USAF AFI 48-139 asigna medicina aeroespacial como la oficina de responsabilidad primaria sobre el uso de Protección de Ojos contra Rayos Láser (LEP por sus siglas en inglés) certificada para vuelos autorizada in AFI 11-301, tomo 4, Protección de Ojos de la Tripulación Aérea contra Rayos Láser (ALEP), examen, tratamiento y supervisión del personal militar que se cree que ha estado sometido a una larga exposición a rayos láser u otras fuentes de radiación óptica; y para asistir en la investigación de estos casos.

En 1999, la Organización de la Aviación Civil Internacional (ICAO por sus siglas en inglés) creó un grupo de estudio para evaluar los riesgos de los rayos láser y si se necesitarían nuevas normas o prácticas recomendadas (SARP por sus siglas en inglés). Entre 1999 y 2000, el secretariado de medicina de aviación de la ICAO, junto con la ayuda del grupo de estudio, desarrolló SARP para rayos láser que ahora están incluidas en los anexos 11 y 14. En 2003, la ICAO publicó el Manual sobre emisores de rayos láser y seguridad de vuelo (DOC 9815) sobre los efectos clínicos, fisiológicos y psicológicos de la tripulación aérea expuesta a emisores de rayos láser.<sup>42</sup>

La seguridad de vuelo es el estado en que la posibilidad de daños a las personas o a la propiedad se reduce a un nivel aceptable o inferior, mediante un proceso continuo de identificación de peligros y gestión de riesgos.<sup>43</sup> Los rayos láser pueden

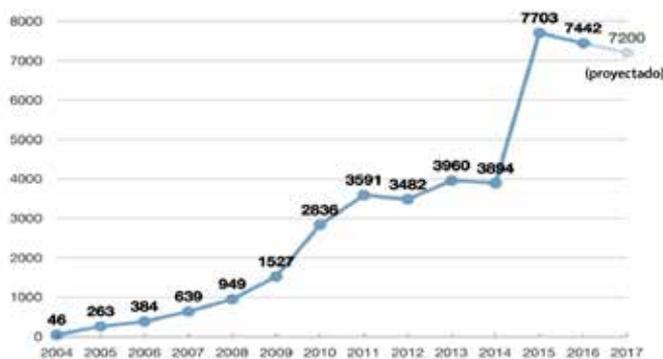
considerarse un peligro, cuya gestión del riesgo se basa en la elaboración de medidas para reducir la posibilidad de consecuencias en las operaciones aéreas, como el establecimiento de zonas de protección alrededor de los campos de aviación.

En muchos artículos, publicados especialmente por la Administración Federal de Aviación (FAA por sus siglas en inglés), la agencia de EE.UU. responsable de calcular incidentes con rayos láser en EE.UU., se observó que el objetivo principal era alertar a la comunidad aeronáutica sobre los riesgos de los daños en los ojos a las tripulaciones impactadas de forma inadvertida por rayos láser y cómo afecta a la seguridad de vuelo, además de establecer formas de prevenir estos incidentes y las lesiones mismas. Entre las formas de reducir el número de incidentes y los daños oculares se incluye la prevención de compra de equipos láser restringidos, el establecimiento de una protección especializada por cada tipo de rayo láser y procedimientos para contrarrestar la intrusión de rayos láser en la cabina. Si hay una amenaza, la protección ocular específica por cada tipo de rayo láser, entre otras contramedidas, como adiestramiento de tripulaciones, son las únicas formas de impedir daños y accidentes en los ojos.

### Estadísticas brasileñas de casos de rayos láser y sus consecuencias

Para demostrar el potencial de los rayos láser de poner en riesgo la misión de la FAB, se estudiaron los datos siguientes de un total de 4.877 casos registrados en el sitio web de CENIPA de 2012 a 2014: casos por estado, campo de aviación, tipo de operador, distribución de casos por año, color de los rayos láser, número de fuentes emisoras, fases del vuelo, tipos de consecuencias, hora del caso e intencionalidad de la fuente emisora de rayos láser.

Durante este mismo período la FAA registró 11.336 casos en EE.UU., según un análisis llevado a cabo por [laserpointersafety.com](http://laserpointersafety.com) (Figura 3).



**Figura 3. Notificaciones de iluminaciones láser en la FAA por año**

Fuente: [LaserPointerSafety.com](http://LaserPointerSafety.com), 2017

Según las estadísticas de tráfico aéreo de la FAA, la flota de aviación norteamericana es mucho mayor que la brasileña: 5.000 aviones en vuelo en cualquier momento; de los cuales 164.200 son de ala fija, 10.500 son helicópteros, 6.676 son aviones comerciales, y 35.300 son experimentales y deportivos ligeros;<sup>44</sup> comparados con los 21.905 aviones registrados en el Registro Aeronáutico de Brasil, de los que 5.516 son experimentales, según las estadísticas más recientes de la Agencia Nacional de Aviación Civil (ANAC),<sup>45</sup> de los que 735 son de las Fuerzas Armadas de Brasil distribuidos entre la FAB (573), el Ejército de Brasil (83) y la Armada Naval de Brasil (79).<sup>46</sup>

En proporción, los casos en Brasil fueron más frecuentes en la aviación civil. El 78 por ciento de los casos (3.804) se produjo con aviones civiles, el 9 por ciento con aviones militares y el 13 por ciento sin determinar. Los estados con el máximo número de casos fueron São Paulo y Minas Gerais en 2012 y 2013, y São Paulo y Espírito Santo en 2014. En el estado de São Paulo, destacaron los aeropuertos de Campinas y Guarulhos.

El número de casos disminuyó con los años, sobre todo en 2014, después de dos años de divulgación por parte de CENIPA y de los Servicios Regionales para la Investigación y Prevención de Accidentes de Aviación. Según el último estudio oficial de la FAA,<sup>47</sup> que analizó la iluminación de rayos láser de aviones entre 2004 y 2008, la mayoría de las exposiciones se produjeron por la noche y los rayos láser de color verde fueron los usados con más frecuencia contra los aviones, aproximadamente el 97 por ciento.

La mayoría de los casos se observaron en la fase de acercamiento final (53 por ciento), ya que las aeronaves están más cerca y se detectan con más facilidad en el campo visual de las personas que están en las proximidades del campo de aviación. Solamente se identificó una fuente en el 90 por ciento de los casos y el 90 por ciento del personal que presentó el caso a CENIPA creía que el uso de los rayos láser fue intencionado. Esto corrobora la teoría de que los rayos láser se pueden usar como armas y que el fácil acceso y la falta de control hacen que su uso sea peligroso; con gran potencial de convertirse en una amenaza para la seguridad de los vuelos, las operaciones de la FAB y la soberanía del espacio aéreo brasileño.

Los impactos en la vista son la preocupación médica que afecta al rendimiento humano con máquinas, en este caso la aeronave, y todos los problemas que surgen de esta interferencia en el logro de la misión de la FAB. La distracción y el resplandor fueron las consecuencias visuales de las que más se informó, el 74 y el 25 por ciento, respectivamente. No hubo informes de daños oculares permanentes.

## Consideraciones finales

Según estudios anteriores, la máxima preocupación en estos tipos de casos es el efecto en las tripulaciones expuestas a rayos láser durante procedimientos de aterrizaje y despegue,<sup>48</sup> considerados como los momentos críticos de las operaciones aéreas.<sup>49</sup> Según se observó en la investigación presente, el 53 por ciento de los casos de iluminación de aviones en Brasil se produjo en el acercamiento final. Es durante esta fase cuando el piloto debe poder ver de forma adecuada para percibir el inicio de la pista. La iluminación de la cabina con rayos láser puede causar un deterioro visual temporal justo como otros efectos como resplandor, imágenes remanentes y deslumbramiento por luminosidad intensa, además de causar distracciones, alteraciones y desorientaciones—todas ellas representando un riesgo para la seguridad del vuelo.

Según AFI 11-301v4,<sup>50</sup> la selección de un LEP debe seguir los criterios siguientes: el tipo de láser, el tipo de protección disponible y protección lateral. La información sobre el tipo de rayos láser usado en un entorno de amenaza dependerá de una unidad de inteligencia para ayudar a las tripulaciones en el teatro de operaciones. Los profesionales de protección de vuelos deben informar a las tripulaciones sobre las características de protección de longitudes de onda ALEP específicas para el uso. Algunos dispositivos de protección están disponibles con o sin protección lateral. Se requiere ALEP con protección lateral contra rayos láser reflejados en casos de iluminación de aeronaves y pueden usarse con gafas de visión nocturna para la protección contra la iluminación fuera del eje virtual.

La gran duda presentada en este artículo es si el rayo láser plantea un problema de seguridad de aviación y amenaza para la seguridad. Aunque ningún incidente causado por rayos láser se ha atribuido a un ataque terrorista, las instituciones de seguridad como el Buró de Investigación Federal de EE.UU., han seguido el interés de actores no estatales en los rayos láser con gran potencial de causar ceguera. Para corroborar esta teoría, la investigación de este artículo indica que aproximadamente el 90 por ciento de los incidentes fueron intencionados.

A pesar de los incidentes visuales informados, siendo la distracción el más común, según Harris,<sup>51</sup> las lesiones oculares causadas por rayos láser a menudo no se informan y, en consecuencia, es difícil obtener una evaluación precisa del número total de casos. Además, muchos rayos láser son invisibles, de modo que es posible que el personal no se dé cuenta de que han sido expuestos, lo que constituye otra razón de la estimación deficiente de estos incidentes.

No se ha encontrado ninguna información con respecto al primer registro de un incidente de un rayo láser en el espacio aéreo brasileño. No obstante, lo que

se sabe es que se ha producido un aumento de casos entre 2010 y 2011, haciendo que CENIPA creara un formulario de notificación de rayos láser en su sitio web en 2012, para ser usado por aviadores civiles y militares.

Los archivos de CENIPA representan el único intento de documentación nacional de incidentes con rayos láser en el espacio aéreo brasileño relacionados con daños oftálmicos. Así pues, pueden usarse para analizar aspectos aplicables no solo al área de seguridad de vuelo, sino a la estrategia defensiva del país y también al mantenimiento del Poder Aeroespacial de Brasil. En Brasil, el uso de rayos láser contra aviones es un delito definido en el Artículo 261 del Código Penal: Exponer una embarcación o una aeronave, propia o de alguien más, poner en peligro, o efectuar cualquier acto que tienda a prevenir u obstaculizar la navegación marítima, fluvial o aérea; bajo pena de encarcelamiento, de dos a cinco años.

En lo que respecta al Poder Aeroespacial de Brasil, la inclusión de protección específica para pilotos contra los rayos láser, junto con la prevención de estos casos, puede representar aún otra forma de mantener a capacidad de las tripulaciones para llevar a cabo misiones de defensa aérea contra amenazas externas, como en las fronteras del país o al ser llamados a restablecer la ley y el orden, según lo indica la Política de Defensa Nacional y la Estrategia de Defensa Nacional. □

## Notas

1. Ministerio de Defensa. “National Defense Strategy” (Estrategia de defensa nacional). 2012. <http://www.defesa.gov.br/arquivos/2012/mes07/end.pdf>.

2. Kaplan, David E., Andrew Marshall. “Aum’s Shoko Asahara and The Cult at the End of the World” (Shoko Asahara de AUM y el culto al final del mundo). Backchannel, 7 de enero de 1996. <http://www.wired.com/1996/07/aum/>.

3. Informe N° DOT/FAA/AM-03/12. The Effects of Laser Illumination on Operational and Visual Performance of Pilots Conducting Terminal Operations (Los efectos de la iluminación láser en el rendimiento operacional y visual de pilotos que llevan a cabo operaciones de terminal), agosto de 2003. [https://www.faa.gov/data\\_research/research/med\\_humanfac/oamtechreports/2000s/media/0312.pdf](https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfac/oamtechreports/2000s/media/0312.pdf).

4. King, Jamie J. “It’s a Time for a Class 5 Laser?” (¿Ha llegado la hora de los rayos láser de la clase 5?) Artículo presentado en el Congreso Internacional de Seguridad de Rayos Láser de LLNL. Orlando, FL, marzo de 2013. <https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/710233.pdf>.

5. Olson, Melissa. “History of Laser Weapon Research” (Historia de la investigación de armas con rayos láser). Centro Bélico de Superficies Navales, División Dahlgren, 2012.

6. Olson, Melissa. “History of Laser Weapon Research” (Historia de la investigación de armas con rayos láser). Centro de Guerra de Superficie Naval, División Dahlgren, 2012.

7. Informe de la Administración Federal de Aviación (FAA) N° DOT/FAA/AM-06/23. A Review of Recent Laser Illumination Events in the Aviation Environment (Repaso de casos re-

cientes de iluminación con rayos láser en el entorno aeronáutico). Octubre de 2006. [https://www.faa.gov/data\\_research/research/med\\_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/200623.pdf](https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/200623.pdf).

8. Nakagawara, Van B., Kathryn J. Wood y Ron W. Momtgomery. "Laser Exposure Incidents: Pilot Ocular Health and Aviation Safety Issues" (Incidentes de exposición a rayos láser: salud ocular de los pilotos y temas de seguridad de aviación). *Optometría – Revista de la Asociación Optométrica de EE.UU.* 79, nº 9 (septiembre de 2008): 518-24.

9. Nakagawara, Van B., Kathryn J. Wood y Ron W. Momtgomery. "Laser Exposure Incidents: Pilot Ocular Health and Aviation Safety Issues" (Incidentes de exposición a rayos láser: salud ocular de los pilotos y temas de seguridad de aviación). *Optometría – Revista de la Asociación Optométrica de EE.UU.* 79, nº 9 (septiembre de 2008): 518-24.

10. Bunker, Robert J. y Dan Lindsay. "Laser Weapons An Emerging Threat" (Las armas de rayos láser son una amenaza de emergencia). *Boletín de Orden Público del FBI* 77, nº 4 (abril de 2008): 1-7.

11. Informe N° DOT/FAA/AM-03/12. The Effects of Laser Illumination on Operational and Visual Performance of Pilots Conducting Terminal Operations (Los efectos de la iluminación láser en el rendimiento operacional y visual de pilotos que llevan a cabo operaciones de terminal), agosto de 2003.

12. Informe N° DOT/FAA/AM-01/7. Laser Pointers: Their Potential Affects on Vision and Aviation Safety (Punteros láser: sus efectos potenciales en la vista y la seguridad de aviación), abril de 2001. [https://www.faa.gov/data\\_research/research/med\\_humanfacs/aomtechreports/2000s/media/0107.pdf](https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/aomtechreports/2000s/media/0107.pdf).

13. Harris, Mark D., Andrew E. Lincoln, Paul J. Amoroso, Bruce Stuck, y David Sliney. "Laser Eye Injuries in Military Occupations" (Lesiones oculares por rayos láser en operaciones militares). *Aviat Space Environ Med* 74, nº 9 (septiembre de 2003): 947-52.

14. Bergert, Matt, Lisa Campbell y Sid Heal. "Disruptive and Destructive Effects of Laser Illuminations" (Efectos perturbadores y destructores de las iluminaciones con rayos láser). *Boletín de Orden Público del FBI* 77, nº 4 (abril de 2008): 10-15.

15. Barata, Pedro G. Silva y Piedade, João Carlos Lourenço. "From the First Great War to the Fifth Generation Wars - The War Transformation and the New Threats" (De la Primera Gran Guerra a las guerras de la quinta generación – La transformación de las guerras y las nuevas amenazas). Artículo presentado en el segundo Congreso Internacional OBSERVARE. Lisboa, julio de 2014.

16. Kagan, Frederick. *Finding the Target: The Transformation of American Military Policy* (Cómo localizar el blanco: la transformación de la política militar de EE.UU.). Nueva York: Encounter Books, 2006.

17. Correia, Pedro J. Pezarat. "Evolution of Strategic Thinking, Revolution of Military Affairs and Post Modern Strategy" (Evolución del pensamiento estratégico, revolución de asuntos militares y estrategia posmoderna). *Boletín del IESM*. Lisboa, 2010. <http://www.iesm.pt/cisdi/boletim/Artigos/B7-3.pdf>.

18. Lind, William S. "The Changing Face of War: Into the Fourth Generation" (La cara variable de la guerra: a la cuarta generación). *Gaceta del Cuerpo de Infantería de Marina*, octubre de 1989, 22-26.

19. *Ibid.*

20. *Ibid.*

21. *Ibid.*

22. Crevelde, Martin Van. *The Transformation of War: The Most Radical Reinterpretation of Armed Conflict Since Clausewitz (La transformación de la guerra: la reinterpretación más radical del conflicto armado desde Clausewitz)*. Nueva York: The Free Press, 1991
23. Sepúlveda, Isidro. Origin and Evolution of Terrorism (Origen y evolución del terrorismo). Conferencia. Terrorism and Counterinsurgency Course (Curso sobre terrorismo y contrainsurgencia) (TCI). Centro de Estudios de Defensa Hemisféricos, Washington, DC, 2012.
24. Bruce, Hoffman. *Inside Terrorism (Dentro del terrorismo)*. Nueva York: Columbia University Press, 2006.
25. Ibid.
26. Hübschle, Annette. "The T-word: Conceptualising Terrorism" (La palabra T: conceptualización del terrorismo). *African Security Review* 13, n° 3 (2006): 2-18.
27. Departamento de Estado de Estados Unidos. "Buró de Contraterrorismo". <http://www.state.gov/j/ct>
28. Ley 13.260. Regula las estipulaciones de la partida XLIII del art. 5° de la Constitución Federal, castigando el terrorismo, tratando con las estipulaciones investigativas y procesales y reformulando el concepto de organización terrorista; y enmienda las Leyes N° 7,960 del 21 de diciembre de 1989, y 12.850 del 2 de agosto de 2013. Mayo de 2016. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2016/lei/13260.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/13260.htm).
29. Ministerio de Defensa. "National Defense Strategy" (Estrategia de Defensa Nacional). 2012. <http://www.defesa.gov.br/arquivos/2012/mes07/end.pdf>.
30. Ferreira, Marcos Alan S.V. "The Brazilian Government Agencies and the Question of Terrorism in Tri-Border: Divergence in the Perceptions and Convergence in the Actions" (Las agencias del gobierno brasileño y la cuestión del terrorismo en la Triple Frontera: divergencia en las percepciones y convergencia en las acciones). *Asociación Brasileña de Relaciones Internacionales* 7, n° 1 (enero/junio de 2012): 102-117.
31. Liang, Qiao y Wang Xiangsui. *Unrestricted Warfare (Guerra sin restricciones)*. Beijing: PLA Literature and Arts Publishing House, 1999.
32. Davis, Jeffrey R., Robert Johnson, Jan Stepanek y Jennifer A. Fogarty. *Fundamentals of Aerospace Medicine (Fundamentos de medicina aeroespacial)*. Filadelfia: LWW, 2008.
33. Organización Internacional de la Aviación Civil (ICAO) DOC 9815. *Manual on Laser Emitters and Flight Safety (Manual sobre emisores de rayos láser y seguridad de vuelo)* 2003.
34. Green, Jr., Coronel Robert P., Teniente Coronel Robert M. Cartledge, Maj Frank E. Cheney y Arthur R. Menendez. "Medical Management of Combat Laser Eye Injuries" (Gestión médica de lesiones oculares producidas por rayos láser en combate). Informe N° USAF-SAM-TR-88-21 R. Escuela de Medicina Aeroespacial de la Fuerza Aérea de EE.UU., 1988.
35. Green, Jr., Col Robert P., Teniente Coronel Robert M. Cartledge, Mayor Frank E. Cheney y Arthur R. Menendez. "Medical Management of Combat Laser Eye Injuries" (Gestión médica de lesiones oculares producidas por rayos láser en combate). Informe N° USAF-SAM-TR-88-21 R. Escuela de Medicina aeroespacial de la Fuerza Aérea de EE.UU., 1988.
36. Organización Internacional de Aviación Civil (ICAO) DOC 9815. *Manual on Laser Emitters and Flight Safety (Manual sobre emisores de rayos láser y la seguridad de vuelo)*. 2003.
37. Instituto Láser de EE.UU. (LIA) "Laser Safety, Information Bulletin" (Boletín de información sobre seguridad de rayos láser) LIA, 22 de octubre de 2015.
38. Ibid.

39. Organización Internacional de Aviación Civil (ICAO) DOC 9815. Manual on Laser Emitters and Flight Safety (Manual sobre emisores de rayos láser y seguridad de vuelo), 2003.
40. Organización Internacional de Aviación Civil (ICAO) DOC 9815. Manual on Laser Emitters and Flight Safety (Manual sobre emisores de rayos láser y seguridad de vuelo), 2003.
41. Air Force Instruction (AFI) 48-139. Laser And Optical Radiation Protection Program (Programa de protección contra los rayos láser y la radiación óptica), 30 de septiembre de 2014.
42. International Civil Aviation Organization (ICAO) DOC 9815. Manual on Laser Emitters and Flight Safety (Manual sobre emisores de rayos láser y seguridad de vuelo), 2003.
43. DOC 9859. Safety Management Manual (SMM) (Manual de gestión de seguridad), 2013.
44. FAA “Air Traffic By The Numbers” (El tráfico aéreo en números), 8 de octubre de 2017. [https://www.faa.gov/air\\_traffic/by\\_numbers](https://www.faa.gov/air_traffic/by_numbers).
45. Agencia Nacional de Aviación Civil. “Aircraft Data and Statistics” (Datos y estadísticas de aeronaves) ANAC, 9 de febrero de 2017. <http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/aeronaves>.
46. Flightglobal. “World Air Forces 2016” (Fuerzas Aéreas del Mundo en 2016). Flight-Global, 9 de febrero de 2017. <https://www.flightglobal.com/asset/6297/waf/>.
47. Informe N° DOT/FAA/AM-11/7. Laser Illumination of Flight Crew Personnel by Month, Day of Week, and Time of Day for a 5-Year Study Period: 2004-2008 (Iluminación de rayos láser de tripulaciones de vuelo por mes, día de la semana y hora del día durante un período de estudio de 5 años: 2004-2008), abril 2011. [https://www.faa.gov/data\\_research/research/med\\_humanfacs/oamtechreports/2010s/media/201107.pdf](https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2010s/media/201107.pdf).
48. Houston, Stephen. “Aircrew Exposure to Handheld Laser Pointers: the Potential for Retinal Damage” (Exposición de la tripulación aérea a punteros láser portátiles: el potencial de daños en la retina) *Aviat Space Environ Med* 82, n° 9 (septiembre de 2011): 921-2.
49. Nakagawara, Van B., Kathryn J. Wood y Ron W. Montgomery. “Laser Exposure Incidents: Pilot Ocular Health and Aviation Safety Issues” (Incidentes de exposición a rayos láser: salud ocular de los pilotos y temas de seguridad de aviación). *Optometría – Revista de la Asociación Optométrica de EE.UU.* 79, n° 9 (septiembre de 2008): 518-24.
50. Instrucción de la Fuerza Aérea (AFI) 11-301v4. Protección de los ojos de la tripulación aérea contra rayos láser (ALEP), 21 de febrero de 2008.
51. Harris, Mark D., Andrew E. Lincoln, Paul J. Amoroso, Bruce Stuck, y David Sliney”. *Laser Eye Injuries in Military Occupations*” (Lesiones oculares por rayos láser en ocupaciones militares). *Aviat Space Environ Med* 74, no. 9 (septiembre de 2003): 947-52.



**Capitán Roberta Rosas Petrocinio**

Capitán Petrocinio es cirujana de vuelo del primer escuadrón de aviones caza brasileños (1º GAVCA), 12º ala (ALA 12), Río de Janeiro, Brasil. Tiene un título de medicina de la Universidad Federal del Estado de Río de Janeiro y una maestría de la Universidad de la Fuerza Aérea de Brasil (UNIFA). También es Especialista en Medicina Aeroespacial, Especialista de Seguridad de Aviación y Oftalmóloga. petrociniorrrp@fab.mil.br.



**Humberto José Lourenção**

Posdoctorado en ciencias militares (ECEME) y doctor en ciencias sociales (UNICAMP). Investigador en el Grupo de Investigación de Estudios Estratégicos y de Seguridad Internacional. Profesor asociado IV de la Academia de la Fuerza Aérea (AFA) de Brasil. Profesor titular de la maestría en ciencias aeroespaciales en la Universidad Brasileña de la Fuerza Aérea (UNIFA). lourencao@hotmail.com.