

implicado puede llenar un Cuestionario de Exposición a Rayo Láser (Circular informativa 70-2A). Aunque es poco probable, la exposición al láser pudo generar alguna lesión ocular. Por tanto, un examen oftalmológico puede estar justificado cuando el piloto presenta alguna queja posterior al evento. Sin embargo, se recomienda un examen ocular en caso de experimentar defectos visuales persistentes (visión borrosa, imágenes posteriores, visión doble, etc.) y/o físicos (dolor de cabeza, lagrimeo, fotosensibilidad, etc.) que duren más de unas pocas horas después de la exposición al láser.

La población general que presencia a una persona apuntando un láser a una aeronave, puede enviar un correo electrónico a [laserreports@faa.gov](mailto:laserreports@faa.gov).

## ¿Por qué verde?



**Figura 4:**  
Ejemplo de un potente dispositivo láser disponible en línea.

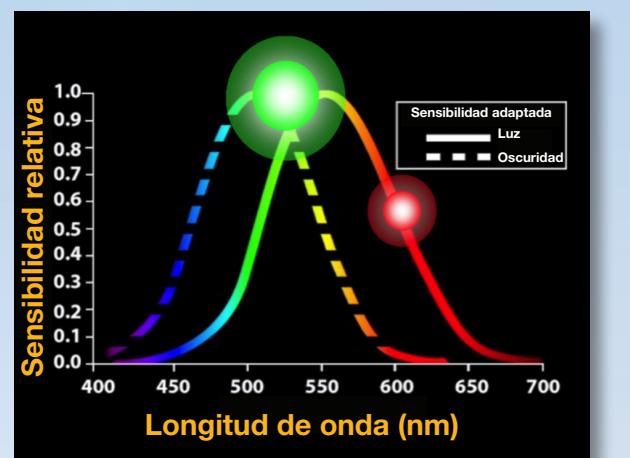
es más perjudicial cuando un rayo directo, o su reflejo, entra a través de la pupila a lo largo del eje de la visión cuando el ojo está enfocado en un objeto distante. La densidad de la energía del rayo láser puede ser intensificada hasta 100.000 veces por la acción del enfoque ocular.” Debido a la mayor visibilidad y probabilidad de efectos visuales adversos, la iluminación con láser verde puede provocar que se notifiquen más eventos.

La longitud de onda de la mayoría de los láseres verdes (532 nm) está cerca del pico de sensibilidad del ocular cuando ocurre la adaptación a la oscuridad. La sobresaturación de las células fotoreceptoras del ojo se produce más rápidamente con luz verde. Por ejemplo, las células fotoreceptoras de la retina son mucho más sensibles a la luz verde (532 nm) que a la luz roja (630 nm) aunque tengan luminancia equivalente, debido a la sensibilidad pico inherente de fotoreceptor a

longitudes de onda alrededor de 555 nm o a colores amarillo-verde.

## ¿Qué medidas puedo tomar?

La investigación continua y las entrevistas con los pilotos afectados por la iluminación con rayos láser, han proporcionado una lista de recomendaciones para minimizar los efectos de la iluminación láser:



**Figura 5:**  
Como lo ilustra la tabla, debido a la sensibilidad relativa de las células fotorreceptoras del ojo, la luz láser verde puede ser hasta 30 veces más brillante que la luz láser roja de igual irradiancia. A medida que el ojo se adapta a la oscuridad, el pico se desplaza hacia una luz azul-verde de longitud de onda más corta.

**Anticipar** – Cuando se opera en un entorno láser conocido o sospechoso, el piloto debe estar preparado para tomar el control de la aeronave.

**Revisar** – Comprobar la configuración de la aeronave (si está disponible) considerando activar el piloto automático para mantener la ruta de vuelo establecida.

**Navegar:** – Utilizar el fuselaje de la aeronave para bloquear el rayo láser subiendo o retrocediendo.

**Comunicar** – Informar al Control de Tráfico Aéreo de la situación. Se debe incluir la ubicación/dirección del rayo, su ubicación actual, altitud, etc. Una vez en el suelo, solicite y complete el “Cuestionario de Exposición al Rayo Láser” (AC 70-2A).

**Iluminar** – Aumente las luces de la cabina para minimizar cualquier efecto de iluminación adicional.

**Delegar** – Si otro miembro de la tripulación no ha tenido exposición, considere la posibilidad de entregar el control al miembro que no haya sido expuesto.

**Atenuar** – Proteja sus ojos cuando sea posible (mano, portapapeles, visera, etc.) No mire directamente al rayo láser y evite llamar la atención de otros miembros de la tripulación sobre el rayo.

**No lo agravie** – Evite frotarse los ojos, ya que posiblemente pueda inducir más lesiones.

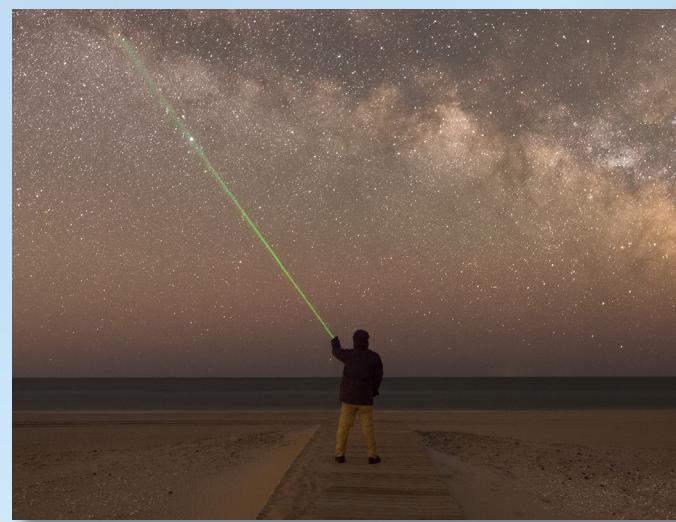
**Evaluuar** – Si cualquier síntoma visual persiste después del aterrizaje, hágase examinar por un oftalmólogo.

## ¿Se puede hacer más para proteger la seguridad aérea?

El continuo monitoreo de los incidentes con iluminación láser y la notificación eficaz de los eventos, proporcionan los datos necesarios para definir la naturaleza cambiante de la amenaza y desarrollar mejores estrategias para mitigar el problema. Las estrategias pueden incluir la educación del piloto sobre el riesgo de los láseres para la seguridad aérea; fomentar la denuncia de comportamientos malintencionados; restringir la venta de ciertos dispositivos láser al público en general; aleentar a los fabricantes en colocar etiquetas de advertencia en los dispositivos láser que aborden los aspectos de la aviación; realizar estudios sobre el uso de protección ocular ante la exposición láser en el entorno aeronáutico; e investigar el beneficio de desplegar sistemas de detección y registro láser en aeronaves civiles. Aunque ninguna estrategia puede acabar completamente con esta amenaza, la FAA continuará examinando y recomendando las mejoras formas de protección para la aviación en cuanto a esta amenaza.

## References

1. Public Law 112-95, FAA Modernization and Reform Act of 2012, Section 311
2. FAA Laser Safety Initiative , Laser Incident Tracking System (FLITS) database URL: <https://www.faa.gov/about/initiatives/lasers/laws/>
3. Nakagawara, VB, Montgomery RW Wood KJ. Laser illumination of flight crew personnel by month, day of week and time of day for 5-year study period: 2004-2008. Department of Transportation/Federal Aviation Administration, Washington, DC 20591. Report No. DOT/FAA/AI-11/7. April 2011. At URL: [https://www.faa.gov/data\\_research/research/med\\_humanfac/med\\_humantechreports/2010s/media/201107.pdf](https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfac/med_humantechreports/2010s/media/201107.pdf)
4. Montgomery, RW and Wood KJ. Laser Illumination of Helicopters: A Comparative Analysis With Fixed-Wing Aircraft for the Period 1980 – 2011 URL: [https://www.faa.gov/data\\_research/research/med\\_humanfac/med\\_humantechreports/2010s/media/201308.pdf](https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfac/med_humantechreports/2010s/media/201308.pdf)
5. Nakagawara, VB, Montgomery RW Wood KJ. Laser exposure incidents: Pilot ocular health and aviation safety issues Optometry (2008) 79, 518-524



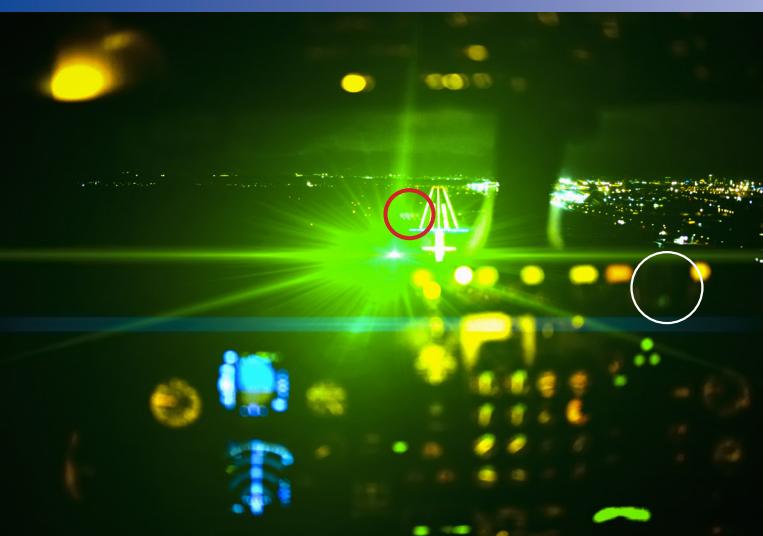
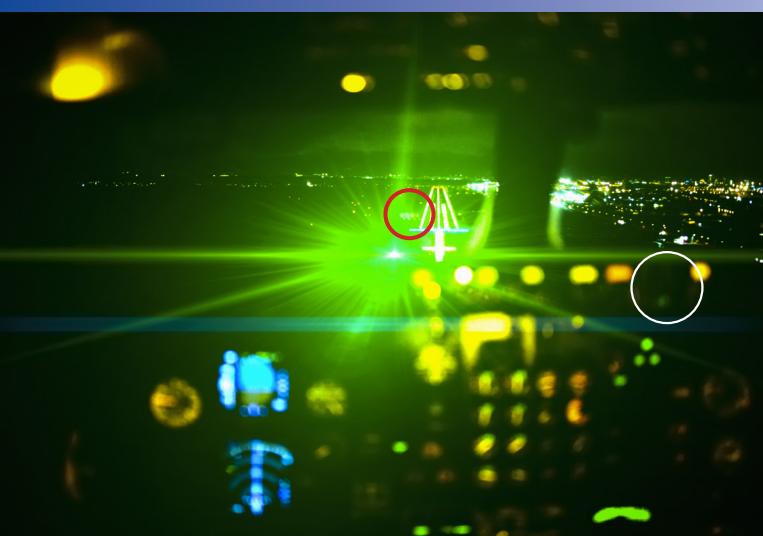
## Curso de entrenamiento fisiológico para pilotos

Si usted está interesado en tomar un curso de un día sobre entrenamiento fisiológico de aviación con cámara de altura y demostraciones espaciales o un curso de supervivencia de un día, aprenda como inscribirse:

 [www.faa.gov/pilots/training/airman\\_education/aerospace\\_physiology/index.cfm](http://www.faa.gov/pilots/training/airman_education/aerospace_physiology/index.cfm)



Federal Aviation  
Administration



Proporcionado por la  
Aerospace Medical Education Division, AAM-400

Para obtener copias de este folleto en línea:  
<http://www.faa.gov/pilots/safety/pilotssafetybrochures/>



o contacte a:

Federal Aviation Administration  
Civil Aerospace Medical Institute  
AAM-400  
P.O. Box 25082  
Oklahoma City, OK 73125  
(405) 954-4831



*Figura 1:*  
Iluminación láser en un simulador de vuelo, visto de la perspectiva de los pilotos a una milla de distancia sobre el nivel del suelo. El círculo a la derecha del flash contiene luces de la pista.

## Apuntar (Señalar) a un avión con láser

Un Boeing 787 está en la aproximación final a la pista 4 R del Aeropuerto Logan en Boston, después de volar durante casi tres horas en condiciones nocturnas. De repente, el capitán es golpeado con una deslumbrante luz verde de un láser suprimiendo su visión. La luz del láser había impactado el ojo izquierdo del capitán con una intensidad tal, como si le hubieran “dado un puñetazo en el ojo”. Se agacha, cierra los ojos y le dice al primer oficial que ha sido golpeado por un rayo láser y que no mire la luz. El piloto experimenta dolor, espasmos y manchas en su visión. ¡El flash fue tan brillante que piensa que el avión puede ser objetivo de un ataque terrorista! Tan perturbado por lo sucedido y parcialmente cegado, cede el control de la aeronave al primer oficial, quien afortunadamente no ha sido impactado por el rayo láser y logra aterrizar exitosamente el avión.

Los síntomas oculares del capitán persisten durante la noche. Al día siguiente, percibe que la visión de su ojo izquierdo está notablemente más borrosa con o sin gafas, además su ojo le duele y se siente tenso. El piloto visita a un oftalmólogo en la tarde, quien le diagnostica espasmo acomodativo: Lentitud en la respuesta pupilar con hipersensibilidad a la luz. La molestia visual continua por varios días antes de aclararse finalmente. Por un momento, el piloto pensó que sus días de vuelo pudieron haber terminado.

Este incidente de láser es ficticio, pero se basa en hechos reales y entrevistas con pilotos que han estado expuestos a la luz de estos artefactos durante el vuelo.

Aunque los láseres tienen muchos usos legítimos en exteriores, como la investigación astronómica, las comunicaciones en el espacio profundo, las imágenes satelitales orbitales y las pantallas exteriores para atraer y entretenir al público; el uso indebido de los dispositivos láser representa una grave amenaza para la seguridad de la aviación. El personal aéreo es particularmente vulnerable a la iluminación con láser cuando realiza operaciones de bajo - vuelo en condiciones nocturnas. El uso irresponsable o malintencionado de los dispositivos láser puede amenazar la vida de las tripulaciones de vuelo y los pasajeros.

Como parte de la ley de Modernización y Reforma de la FAA del 2012, la Ley Pública 112-95 especificó como un delito federal el apuntar con un puntero láser a un avión.<sup>1</sup>

La división de Medicina Aeroespacial es responsable de proporcionar la información concerniente a los efectos potenciales de los rayos láser en la visión del piloto.

**Laser** - Acrónimo del inglés: light amplification by stimulated emission of radiation (Amplificación de luz por emisión estimulada de radiación). Un láser es un dispositivo que produce un haz intenso, direccional y continuo de luz visible o invisible.

## ¿Por qué debería ser preocupante?

La Iniciativa de Seguridad Láser de la FAA ha recopilado incidentes con láser durante los últimos ocho años. Estos informes describen la iluminación de aeronaves militares y civiles con estos dispositivos, incluyendo vuelos de evacuación aeromédica. Además, estos informes incorporan eventos con láser reportados del CEDAR, Skywatch y por ingreso manual de los datos. La actividad láser en el espacio aéreo navegable se controla continuamente definir mejor la naturaleza de la amenaza respecto a su uso en exteriores. Es notorio que los eventos de iluminación con láser han aumentado constantemente en los últimos años. Este incremento puede deberse a una mayor conciencia del problema por parte de los miembros de la tripulación, a la implementación de un proceso autorizado para reportar el incidente y/o a la mayor disponibilidad de dispositivos láser portátiles de gran potencia.

No se ha atribuido ningún accidente debido a la iluminación de los miembros de la tripulación por un láser, pero dado el creciente número de reportes y los efectos desfavorables que pueden acarrear a tales acontecimientos, existe el potencial.

Aunque los incidentes que impliquen el uso de láser pueden



*Figura 2:*  
Incidentes por uso de Láseres reportados entre el 2010-2014

ocurrir en cualquier parte, se han observado con mayor frecuencia en el Pacífico Occidental y en las regiones del Sur de los Estados Unidos.

- Los estudios de la FAA también han demostrado que casi el 70% de todos los incidentes ocurrieron entre 2,000 y 10,000 pies sobre el nivel del suelo.
- El 51% ocurrieron entre agosto a diciembre.
- El domingo es el día más probable de la semana para que un avión sea iluminado por un láser, seguido por el viernes y el sábado.
- El 70% ocurrieron entre las 7 y las 11 pm.<sup>3</sup>

## ¿Qué puede suceder?

Mientras que los efectos visuales de la exposición a la luz láser son a menudo transitorios, la ceguera por destello o las imágenes posteriores pueden persistir durante varios minutos o pocas horas, en algunos casos. Las molestias de los pilotos por los efectos fisiológicos residuales después de ser iluminados por la luz del láser incluyen hipersensibilidad a la luz, cefalea, dolor ocular, irritación e incapacidad para enfocar. En las consultas de seguimiento estos síntomas pueden presentarse por algunas pocas horas, sin embargo, en raras ocasionales pueden extenderse por varios días.

La exposición repentina a la luz láser durante alguna fase crítica del vuelo como, por ejemplo a la aproximación o al despegue, puede distraer o desorientar al piloto, causando un deterioro visual temporal. El daño ocular permanente es poco probable debido a que la mayoría de los incidentes son breves y la respuesta al parpadeo del ojo limita la exposición. Además, las distancias son considerables y la attenuación atmosférica disipa gran parte de la energía radiante.

Sin embargo, los estudios en simuladores de vuelo de la FAA han demostrado que los efectos adversos visuales tras una exposición a luz láser son especialmente perjudiciales cuando los ojos están adaptados a un bajo nivel de luz en cabina, como sucede en la noche. Al igual como sucede con el flash de una cámara cuando se encuentra demasiado cerca, o los faros de un auto que viene en dirección contraria, la recuperación del rendimiento visual óptimo después de la exposición a la luz láser puede tardar de unos pocos segundos hasta varios minutos.

Incluso, una breve exposición a la luz láser puede provocar sobresalto, distracción y/o desorientación. Los impedimentos visuales más serios incluyen el deslumbramiento, la ceguera por destello, imágenes posteriores y en raros casos lesiones oculares.

Los tres efectos fisiológicos más comúnmente reportados tras la exposición al láser son:

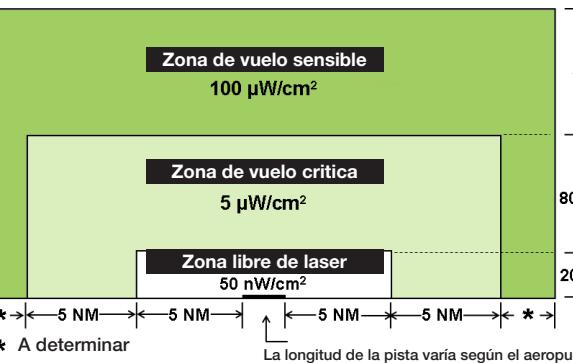
• **Deslumbramiento** – Obscurecimiento de un objeto en el campo visual debido a una fuente de luz intensa ubicada cerca de la misma línea de visión (Por ejemplo, como se experimenta cuando los faros delanteros de un auto vienen en dirección contraria)

• **Ceguera por destello** – Efecto de interferencia visual que persiste aun si la fuente de iluminación ha cesado.

• **Imagen posterior** – Es una sombra de contraste inverso que permanece en el campo visual después de una exposición a una luz brillante; ésta puede distraer o alterar al afectado durante varios minutos.

## ¿Se está haciendo algo?

La Orden 7400.2L de la FAA, Parte 6, capítulo 29 (Operaciones con Láser en exteriores) establece los límites de exposición para prevenir alteraciones visuales temporales, delimitando tres zonas progresivamente restrictivas según la altitud más baja y cercanía a las pistas de aterrizaje en los aeropuertos. El 8 de febrero de 2013, es respuesta al rápido incremento de los informes de iluminación láser que involucran aeronaves, el departamento de transporte publicó la circular consultiva AC 70-2A, titulada “Informe sobre iluminación Láser de aeronaves”. Este documento proporciona procedimientos de mitigación e información sobre cómo reportar eventos de iluminación láser. Además de proporcionar un mecanismo oficial de presentación de informes. El AC 70-2A también mejoró la coordinación entre los organismos locales encargados de aplicar la ley a los responsables, además de su detección y procesamiento legal. Con frecuencia, la pronta presentación de informes ha dado lugar a la captura de los autores.



*Figura 3:*  
Zonas de protección para un aeropuerto de una sola pista.

La capacidad de un láser se mide por la potencia del rayo expresada como su irradiancia en vatios por centímetro cuadrado ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ). Un microvatio ( $\mu\text{W}$ ) es la medida de emisión de un láser. Los niveles de irradiancia que se indican a continuación no deben superarse en las zonas correspondientes. La Zona Crítica de Vuelo (ZCV) del espacio aéreo se encuentra en un radio de 10 MN del punto de referencia del aeropuerto, hasta 10,000 pies sobre el nivel del suelo.

**Zona Sensible de Vuelo** – 100 microvatios por centímetro cuadrado ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ,  $\text{cm}^2$ )

**Zona Crítica de vuelo** – 5 microvatios por centímetro cuadrado ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ,  $\text{cm}^2$ ) y

**Zona Libre de Láser** – 50 nanovatios (mil millonésima parte de un vatio) por centímetro cuadrado ( $\text{nW}/\text{cm}^2$ ,  $\text{cm}^2$ ).

## Ala rotatoria



La forma del techo de la carlinga permite que más luz ingrese, se disperse y refleje dentro de la cabina.

Los investigadores de la FAA han demostrado que la mayoría de las exposiciones láser de los helicópteros (70%) se presentaron dentro de la zona libre de láser (<2,000 pies), en comparación con el 21% de las aeronaves de ala fija. Esto expone a los pilotos de las aeronaves de ala rotatoria (evacuación médica, orden público, militares, aviación general, transporte de mercancías) a un mayor riesgo de afectación visual debido a la iluminación con láser, así como de presentar afectaciones operativas adversas.<sup>4</sup>

## ¿Qué se puede hacer?

Un piloto que ha estado expuesto a una iluminación con láser durante el vuelo debe ser exhortado a reportar el evento a la autoridad local de Tráfico aéreo y/o FAA para que se pueda realizar una investigación adecuada. El individuo