

**REAL DECRETO 486/2010, DE 23 DE ABRIL, SOBRE LA  
PROTECCIÓN DE LA SALUD Y LA SEGURIDAD DE LOS  
TRABAJADORES CONTRA LOS RIESGOS RELACIONADOS CON  
LA EXPOSICIÓN A RADIACIONES ÓPTICAS ARTIFICIALES**

BOE nº 99 de 24-4-2010, página 36103

**Valladolid, abril 2010**

## I. DISPOSICIONES GENERALES

### MINISTERIO DE TRABAJO E INMIGRACIÓN

**6485** *Real Decreto 486/2010, de 23 de abril, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a radiaciones ópticas artificiales.*

La Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo, en el marco de una política coherente, coordinada y eficaz.

Según el artículo 6 de la ley, son las normas reglamentarias las que deben ir concretando los aspectos más técnicos de las medidas preventivas, estableciendo las medidas mínimas que deben adoptarse para la adecuada protección de los trabajadores. Entre tales medidas se encuentran las destinadas a garantizar la protección de los trabajadores contra los riesgos derivados de la exposición a radiaciones ópticas artificiales durante el trabajo.

Asimismo, la seguridad y la salud de los trabajadores han sido objeto de diversos Convenios de la Organización Internacional del Trabajo ratificados por España y que, por tanto, forman parte de nuestro ordenamiento jurídico. Destaca, por su carácter general, el Convenio número 155, de 22 de junio de 1981, sobre seguridad y salud de los trabajadores y medio ambiente de trabajo, ratificado por España el 26 de julio de 1985.

En el ámbito de la Unión Europea, el apartado 2 del artículo 137 del Tratado constitutivo de la Comunidad Europea establece como objetivo la mejora, en concreto, del entorno de trabajo, para proteger la salud y seguridad de los trabajadores. Con esa base jurídica, la Unión Europea se ha ido dotando en los últimos años de un cuerpo normativo altamente avanzado que se dirige a garantizar un mejor nivel de protección de la salud y de seguridad de los trabajadores.

Ese cuerpo normativo está integrado por diversas directivas específicas. En el ámbito de la protección de los trabajadores contra los riesgos derivados de la exposición a radiaciones ópticas artificiales ha sido adoptada la Directiva 2006/25/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a riesgos derivados de los agentes físicos (radiaciones ópticas artificiales). Mediante este real decreto se procede a la transposición al Derecho español del contenido de esta directiva.

El real decreto consta de once artículos, una disposición adicional, una disposición derogatoria, tres disposiciones finales y dos anexos. La norma establece una serie de disposiciones mínimas que tienen como objeto la protección de los trabajadores contra los riesgos para su seguridad y su salud derivados o que puedan derivarse de la exposición a las radiaciones ópticas artificiales durante su trabajo; regula las disposiciones encaminadas a evitar o a reducir la exposición, de manera que los riesgos derivados de la exposición a radiaciones ópticas artificiales se eliminen en su origen o se reduzcan al nivel más bajo posible, e incluye la obligación empresarial de establecer y aplicar un plan de acción que incluya las medidas técnicas y/o organizativas destinadas a impedir que la exposición supere los valores límite; determina los valores límite de exposición; prevé diversas especificaciones relativas a la evaluación de riesgos, estableciendo en primer lugar la obligación de que el empresario efectúe una evaluación de los niveles de radiación a que estén expuestos los trabajadores, de manera que puedan definirse y ponerse en práctica las medidas necesarias para reducir la exposición, e incluyendo una relación de aquellos aspectos a los que el empresario deberá prestar especial atención al evaluar los riesgos; especifica que los trabajadores no deberán estar expuestos en ningún caso a valores superiores a los valores límite de exposición; recoge dos de los derechos básicos en materia preventiva, como son la necesidad de formación de los trabajadores y la información a estos, así como la forma de ejercer los trabajadores su derecho a ser consultados y a

participar en los aspectos relacionados con la prevención; se establecen disposiciones relativas a la vigilancia de la salud de los trabajadores en relación con los riesgos por exposición a radiaciones ópticas artificiales. Se incluye, por último, el régimen sancionador por incumplimiento a lo dispuesto en el real decreto.

En la elaboración de este real decreto se ha concedido audiencia a las comunidades autónomas, han sido consultadas las organizaciones sindicales y empresariales más representativas y ha sido oída la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.

En su virtud, a propuesta del Ministro de Trabajo e Inmigración, de acuerdo con el Consejo de Estado y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 23 de abril de 2010,

DISPONGO:

#### Artículo 1. *Objeto.*

1. El presente real decreto tiene por objeto, en el marco de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, establecer las disposiciones mínimas para la protección de los trabajadores contra los riesgos para su salud y su seguridad derivados o que puedan derivarse de la exposición a las radiaciones ópticas artificiales durante su trabajo.

#### Artículo 2. *Definiciones.*

A efectos de este real decreto, se entenderá por:

a) Radiación óptica: Toda radiación electromagnética cuya longitud de onda esté comprendida entre 100 nm y 1 mm. El espectro de la radiación óptica se divide en radiación ultravioleta, radiación visible y radiación infrarroja:

1.º Radiación ultravioleta: La radiación óptica de longitud de onda comprendida entre 100 y 400 nm. La región ultravioleta se divide en UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) y UVC (100-280 nm).

2.º Radiación visible: La radiación óptica de longitud de onda comprendida entre 380 nm y 780 nm.

3.º Radiación infrarroja: La radiación óptica de longitud de onda comprendida entre 780 nm y 1 mm. La región infrarroja se divide en IRA (780-1.400 nm), IRB (1.400-3.000 nm) e IRC (3.000 nm-1mm).

b) Láser (light amplification by stimulated emission of radiation; amplificación de luz por emisión estimulada de radiación): Todo dispositivo susceptible de producir o amplificar la radiación electromagnética en el intervalo de la longitud de onda de la radiación óptica, principalmente mediante el proceso de emisión estimulada controlada.

c) Radiación láser: La radiación óptica procedente de un láser.

d) Radiación incoherente: Toda radiación óptica distinta de una radiación láser.

e) Valores límite de exposición: Los límites de la exposición a la radiación óptica basados directamente en los efectos sobre la salud comprobados y en consideraciones biológicas. El cumplimiento de estos límites garantizará que los trabajadores expuestos a fuentes artificiales de radiación óptica estén protegidos contra todos los efectos nocivos para la salud que se conocen.

f) Irradiancia (E) o densidad de potencia: La potencia radiante que incide, por unidad de área, sobre una superficie, expresada en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).

g) Exposición radiante (H): La irradiancia integrada con respecto al tiempo, expresada en julios por metro cuadrado ( $J/m^2$ ).

h) Radiancia (L): El flujo radiante o la potencia radiante emitida por unidad de ángulo sólido y por unidad de área, expresada en vatios por metro cuadrado por estereorradián ( $W/(m^2 \cdot sr)$ ).

i) Nivel: La combinación de irradiancia, exposición radiante y radiancia a la que esté expuesto un trabajador.

### Artículo 3. *Ámbito de aplicación.*

1. Las disposiciones de este real decreto se aplicarán a las actividades en las que los trabajadores estén o puedan estar expuestos a los riesgos derivados de radiaciones ópticas artificiales durante su trabajo.

2. El presente real decreto se refiere al riesgo para la salud y la seguridad de los trabajadores debido a los efectos nocivos en los ojos y en la piel causados por la exposición a radiaciones ópticas artificiales.

3. Las disposiciones del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, se aplicarán plenamente al conjunto del ámbito contemplado en el apartado 1 de este artículo, sin perjuicio de las disposiciones más rigurosas o específicas previstas en este real decreto.

### Artículo 4. *Disposiciones encaminadas a evitar o a reducir la exposición.*

1. Los riesgos derivados de la exposición a radiaciones ópticas artificiales deberán eliminarse en su origen o reducirse al nivel más bajo posible, teniendo en cuenta los avances técnicos y la disponibilidad de medidas de control del riesgo en su origen.

La reducción de estos riesgos se basará en los principios generales de prevención establecidos en el artículo 15 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre.

2. Sobre la base de la evaluación del riesgo mencionada en el artículo 6, si existe posibilidad de que se superen los valores límite de exposición, el empresario elaborará y aplicará un plan de acción, que se integrará en la planificación de la actividad preventiva, donde incluirá medidas técnicas y/u organizativas destinadas a impedir que la exposición supere dichos valores límite, prestando particular atención a los siguientes aspectos:

- a) Otros métodos de trabajo que reduzcan el riesgo derivado de la radiación óptica;
- b) la elección de equipos que generen menores niveles de radiación óptica, teniendo en cuenta el trabajo al que se destinan;
- c) medidas técnicas para reducir la emisión de radiación óptica, incluyendo, cuando fuera necesario, el uso de sistemas de cerramiento, blindajes o mecanismos similares de protección de la salud;
- d) programas apropiados de mantenimiento de los equipos de trabajo, del lugar de trabajo y de los puestos de trabajo;
- e) la concepción y disposición de los lugares y puestos de trabajo;
- f) la limitación de la duración y del nivel de la exposición;
- g) la disponibilidad del equipo adecuado de protección individual;
- h) las instrucciones del fabricante del equipo, cuando esté cubierto por una directiva comunitaria pertinente.

3. Los lugares de trabajo en que los trabajadores puedan estar expuestos a niveles que superen los valores límite establecidos en los anexos I y II serán objeto de una señalización apropiada de conformidad con lo dispuesto en el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. Asimismo, cuando sea posible desde el punto de vista técnico y el riesgo de exposición lo justifique, se identificarán dichos lugares y se limitará el acceso a ellos.

4. De conformidad con lo dispuesto en el artículo 25 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, el empresario adaptará las medidas mencionadas en este artículo a las necesidades de los trabajadores especialmente sensibles.

### Artículo 5. *Valores límite de exposición.*

A efectos de este real decreto:

- a) En el apartado A del anexo I se establecen los valores límite de exposición a la radiación incoherente emitida por las fuentes artificiales.
- b) En el apartado A del anexo II se establecen los valores límite de exposición a la radiación láser.

Artículo 6. *Evaluación de los riesgos.*

1. En cumplimiento de las obligaciones establecidas en el artículo 16 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, y del capítulo II, sección I, del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, en el caso de que los trabajadores estén expuestos a fuentes artificiales de radiación óptica, el empresario deberá evaluar los niveles de radiación a que estén expuestos los trabajadores, de manera que puedan definirse y ponerse en práctica las medidas necesarias para reducir la exposición a los límites aplicables. Para realizar la evaluación, la medición de los niveles de exposición no será necesaria en los casos en que la directa apreciación profesional acreditada permita llegar a una conclusión sin necesidad de la misma teniendo en cuenta, en su caso, para el cálculo de dichos niveles, los datos facilitados por los fabricantes de los equipos conforme a la normativa de seguridad en el producto que les sea de aplicación.

2. La metodología aplicada en la evaluación, la medición y/o los cálculos se ajustará a las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) para la radiación láser y a las recomendaciones de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) y del Comité Europeo de Normalización (CEN) para la radiación incoherente y, cuando éstas no sean de aplicación, a los métodos o criterios a los que se refiere el artículo 5.3 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero.

3. Las evaluaciones mencionadas en el apartado 1 se programarán y efectuarán con la periodicidad adecuada de conformidad con el artículo 6 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero. Dichas evaluaciones serán realizadas por personal cualificado para el desempeño de funciones de nivel superior con la especialidad de higiene industrial, atendiendo a lo dispuesto en los artículos 36 y 37 y en el capítulo III del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, en cuanto a la organización de recursos para el desarrollo de actividades preventivas.

Los datos obtenidos de la evaluación y/o de la medición del nivel de exposición a radiación óptica se conservarán de manera que permita su consulta posterior. La documentación de la evaluación se ajustará a lo dispuesto en el artículo 23 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre y en el artículo 7 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero.

4. En el marco de lo dispuesto en los artículos 15 y 16 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, el empresario, al evaluar los riesgos, prestará particular atención a los siguientes aspectos:

- a) el nivel, el intervalo de longitudes de onda y la duración de la exposición a fuentes artificiales de radiación óptica;
- b) los valores límite de exposición establecidos en el artículo 5 del presente real decreto;
- c) los posibles efectos en la salud y la seguridad de los trabajadores pertenecientes a grupos de riesgo particularmente sensibles;
- d) los posibles efectos en la salud y la seguridad de los trabajadores, resultantes de las interacciones, en el lugar de trabajo, entre la radiación óptica y las sustancias químicas fotosensibilizantes;
- e) los posibles efectos indirectos, como el deslumbramiento temporal, la explosión o el incendio;
- f) la existencia de equipos sustitutivos concebidos para reducir los niveles de exposición a radiaciones ópticas artificiales;
- g) la información apropiada derivada de la vigilancia de la salud, incluida la información científico-técnica publicada, en la medida en que sea posible;
- h) La exposición a múltiples fuentes de radiaciones ópticas artificiales;
- i) La clasificación de un láser con arreglo a la norma UNE EN 60825-1/A2 «Seguridad de los productos láser. Parte 1: Clasificación del equipo, requisitos y guía de seguridad» y, en lo que respecta a cualquier otra fuente de radiación óptica artificial susceptible de ocasionar lesiones similares a las provocadas por un láser de clase 3B o 4, cualquier clasificación análoga;

j) la información facilitada por los fabricantes de fuentes de radiación óptica y equipos de trabajo de conformidad con las directivas comunitarias aplicables.

5. En función de los resultados de la evaluación, el empresario deberá determinar las medidas que deban adoptarse con arreglo a los artículos 4, 7, 8 y 9, planificando su ejecución de acuerdo con lo establecido en el capítulo II, sección 2.ª, del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero.

#### Artículo 7. *Limitación de exposición.*

1. En ningún caso la exposición del trabajador deberá superar los valores establecidos en el artículo 5 de este real decreto.

2. Si, a pesar de las medidas adoptadas en aplicación de este real decreto, se comprobaran exposiciones por encima de los valores límite de exposición, el empresario deberá:

- a) Tomar inmediatamente medidas para reducir la exposición por debajo de los valores límite;
- b) determinar las causas de la sobreexposición;
- c) corregir las medidas de prevención y protección, a fin de evitar que vuelva a producirse una reincidencia;
- d) informar a los delegados de prevención de tales circunstancias.

#### Artículo 8. *Información y formación de los trabajadores.*

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 18.1 y 19 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, el empresario velará porque los trabajadores que se vean expuestos en el lugar de trabajo a los riesgos derivados de las radiaciones ópticas artificiales y/o sus representantes reciban la información y formación necesarias sobre el resultado de la evaluación de riesgos prevista en el artículo 6, en particular sobre:

- a) Las medidas tomadas en aplicación del presente real decreto.
- b) Los valores límite de exposición establecidos en el artículo 5 y los riesgos potenciales asociados.
- c) Los resultados de la evaluación y, en su caso, medición de los niveles de exposición a radiaciones ópticas artificiales efectuados en aplicación del artículo 6 del presente real decreto, junto con una explicación de su significado y riesgos potenciales.
- d) La forma de detectar los efectos nocivos para la salud debidos a la exposición y la forma de informar sobre ellos.
- e) Las circunstancias en las que los trabajadores tienen derecho a una vigilancia de la salud, y la finalidad de esta vigilancia de la salud, de conformidad con el artículo 10.
- f) Las prácticas de trabajo seguras, con el fin de reducir al mínimo los riesgos derivados de la exposición a radiaciones ópticas artificiales.
- g) El uso correcto de los equipos de protección individual.

#### Artículo 9. *Consulta y participación de los trabajadores.*

La consulta y la participación de los trabajadores y/o de sus representantes sobre las cuestiones a que se refiere este real decreto se realizarán de conformidad con lo dispuesto en el artículo 18.2 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre.

#### Artículo 10. *Vigilancia de la salud.*

1. El empresario garantizará una adecuada vigilancia de la salud de los trabajadores en función de los riesgos inherentes al trabajo con exposición a radiaciones ópticas artificiales, tal y como se contempla en el artículo 22 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, con el fin de la detección precoz de cualquier efecto nocivo así como de la prevención de cualquier riesgo, incluidos los a largo plazo o los riesgos de enfermedad crónica.



La vigilancia de la salud será realizada a través de la organización preventiva que haya adoptado la empresa y conforme al artículo 37.3 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero.

2. Cuando se detecte una exposición que supere los valores límite, el trabajador o los trabajadores afectados, tendrán derecho a un examen médico. También tendrán derecho aquellos trabajadores que, como resultado de la vigilancia de la salud, se establezca que padecen una enfermedad o efecto nocivo para la salud identificable, que a juicio de un médico o un especialista de medicina del trabajo sea consecuencia de la exposición a radiaciones ópticas artificiales en el trabajo. En ambos casos:

a) El médico u otro personal sanitario competente deberá:

1.º Proponer que los trabajadores expuestos se sometan a un examen médico.

2.º Comunicar al trabajador el resultado que le atañe personalmente. También deberá asesorar al trabajador sobre cualquier medida de vigilancia de la salud a la que sea conveniente someterse tras el cese de la exposición.

3.º Informar al empresario de cualquier resultado significativo de la vigilancia de la salud, conforme al artículo 22.4 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre.

b) Por su parte, el empresario deberá:

1.º Revisar la evaluación de los riesgos efectuada con arreglo al artículo 6.

2.º Revisar las medidas previstas para eliminar o reducir los riesgos con arreglo a lo dispuesto en el artículo 4.

3.º Tener en cuenta las recomendaciones del médico responsable de la vigilancia de la salud al aplicar cualquiera otra medida que se considere necesario para eliminar o reducir riesgos de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 4.

4.º Disponer una vigilancia sistemática de la salud y el examen del estado de salud de los demás trabajadores que hayan sufrido una exposición similar.

3. La vigilancia de la salud incluirá la elaboración y actualización de la historia clínico-laboral de los trabajadores sujetos a la misma con arreglo a lo dispuesto en el apartado 1. El acceso, confidencialidad y contenido de dichas historias se ajustará a lo establecido en el artículo 22, apartados 2, 3 y 4, de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, y en el artículo 37.3.c) del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero. El trabajador tendrá acceso, previa solicitud, al historial que le afecte personalmente.

Artículo 11. Infracciones y sanciones.

Los incumplimientos a lo dispuesto en este real decreto serán sancionados con arreglo a lo dispuesto en la Ley de Infracciones y Sanciones en el Orden Social, Texto Refundido aprobado por Real Decreto Legislativo 5/2000, de 4 de agosto.

Disposición adicional única. *Elaboración y actualización de la Guía técnica.*

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 5.3 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, elaborará y mantendrá actualizada una Guía técnica de carácter no vinculante, para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ópticas artificiales en los lugares de trabajo.

Disposición derogatoria única. *Alcance de la derogación normativa.*

Quedan derogadas cuantas disposiciones de igual o inferior rango se opongan a lo previsto en este real decreto.

Disposición final primera. *Título competencial.*

Este real decreto se dicta al amparo del artículo 149.1.7.<sup>a</sup> de la Constitución que atribuye al Estado la competencia en materia de legislación laboral sin perjuicio de su ejecución por los órganos de las comunidades autónomas.

Disposición final segunda. *Incorporación de derecho de la Unión Europea.*

Mediante este real decreto se incorpora al derecho español la Directiva 2006/25/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a riesgos derivados de los agentes físicos (radiaciones ópticas artificiales).

Disposición final tercera. *Facultad de desarrollo.*

Se autoriza al Ministro de Trabajo e Inmigración, previo informe de la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, a dictar cuantas disposiciones sean necesarias para la aplicación y desarrollo de este real decreto, así como para las adaptaciones de carácter estrictamente técnico de sus anexos, en función del progreso técnico y de la evolución de las normativas o especificaciones internacionales o de los conocimientos en materia de protección frente a los riesgos relacionados con la exposición a las radiaciones ópticas artificiales.

Disposición final cuarta. *Entrada en vigor.*

El presente real decreto entrará en vigor el día 27 de abril de 2010.

Dado en Madrid, el 23 de abril de 2010.

JUAN CARLOS R.

El Ministro de Trabajo e Inmigración,  
CELESTINO CORBACHO CHAVES



## ANEXO I

## Radiaciones ópticas incoherentes

A. Tabla A.1 Valores Límite para las Radiaciones ópticas incoherentes y sus efectos sobre la salud

Nº orden	Longitud de onda $\lambda$ (nm)	Valor límite (unidades)		Parte del cuerpo/Riesgo
1	180-400 (UV A-B-C)	$H_{\text{eff}}=30$ (J/m <sup>2</sup> ) <i>valor referido a 8 horas</i>		<b>Ojos:</b> Córnea----fotoqueratitis Onjuntiva----conjuntivitis Cristalino---cataratas <b>Piel:</b> Eritema, elastosis, cáncer de piel
2	315-400 (UVA)	$H_{\text{UVA}}=10^4$ (J/m <sup>2</sup> ) <i>valor referido a 8 horas</i>		<b>Ojos:</b> Cristalino-----cataractogénesis
3 a	$(\alpha \geq 11 \text{ mrad})$ 300-700 (luz azul) <sup>(1)</sup>	Para $t \leq 10.000$ s	$L_B=10^6/t$ (W/ m <sup>2</sup> ·sr)	<b>Ojos:</b> Retina----fotoretinitis
		Para $t > 10.000$ s	$L_B=100$ (W/ m <sup>2</sup> ·sr)	
3 b	$(\alpha < 11 \text{ mrad})$ <sup>(2)</sup> 300-700 (luz azul) <sup>(1)</sup>	Para $t \leq 10.000$ s	$E_B=100/t$ (W/ m <sup>2</sup> )	
		Para $t > 10.000$ s	$E_B=0,01$ (W/ m <sup>2</sup> )	
4	380 – 1400 (visible e IRA)	Para $t > 10$ s	$L_R=(2,8 \cdot 10^7)/C_a$ (W/ m <sup>2</sup> ·sr)	<b>Ojos:</b> Retina----quemaduras
		Para $10\mu\text{s} \leq t \leq 10$ s	$L_R=(5 \cdot 10^7) / (C_a \cdot t^{0,25})$ (W/ m <sup>2</sup> ·sr)	
		Para $t < 10\mu\text{s}$	$L_R=(8,89 \cdot 10^8) / C_a$ (W/ m <sup>2</sup> ·sr)	
5	780 – 1400 (IRA)	Para $t > 10$ s	$L_R=(6 \cdot 10^6) / C_a$ (W/ m <sup>2</sup> ·sr)	<b>Ojos:</b> Retina----quemaduras
		Para $10\mu\text{s} \leq t \leq 10$ s	$L_R=(5 \cdot 10^7) / (C_a \cdot t^{0,25})$ (W/ m <sup>2</sup> ·sr)	
		Para $t < 10\mu\text{s}$	$L_R=(8,89 \cdot 10^8) / C_a$ (W/ m <sup>2</sup> ·sr)	
6	780-3000 (IRA e IRB)	Para $t \leq 1.000$ s	$E_{\text{IR}}=18.000 \cdot t^{0,75}$ (W/ m <sup>2</sup> )	<b>Ojos:</b> Córnea----Quemaduras Cristalino---cataratas
		Para $t > 1.000$ s	$E_{\text{IR}}=100$ (W/ m <sup>2</sup> )	
7	380-3000 (visible, IRA e IRB)	Para $t < 10$ s	$H_{\text{piel}}=20.000 \cdot t^{0,25}$ (J/ m <sup>2</sup> )	<b>Piel</b> ----Quemaduras

<sup>1</sup> El intervalo de 300 a 700 nm comprende parte de los rayos UVB, todos los UVA y la mayor parte de las radiaciones visibles; denominándose riesgo «de luz azul». En sentido estricto, la luz azul corresponde únicamente al intervalo de 400 a 490 nm aproximadamente.

<sup>2</sup> Para fijar la mirada sobre fuentes muy pequeñas con un  $\alpha < 11$  mrad,  $L_B$  puede convertirse a  $E_B$ . Esto es aplicable únicamente en el caso de instrumentos oftalmológicos o al ojo estabilizado durante la anestesia. El tiempo máximo de «mirada fija» se calcula mediante la fórmula:  $t_{\text{max}} = 100/E_B$ , este valor debido a los movimientos oculares no es superior a 100s.

## B. Expresiones

Los valores de exposición a las radiaciones ópticas que son pertinentes desde un punto de vista biofísico pueden determinarse mediante las fórmulas recogidas a continuación. Las fórmulas que deben utilizarse dependen de las longitudes de onda ( $\lambda$ ) de emisión de la fuente. A una determinada fuente de radiación óptica pueden corresponder varios valores de exposición con sus correspondientes límites de exposición.

1	$H_{\text{eff}} = \int_0^t \int_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$	( $H_{\text{eff}}$ es pertinente únicamente en el intervalo de la longitud de onda entre 180 y 400 nm)
2	$H_{\text{UVA}} = \int_0^t \int_{\lambda=315 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$	( $H_{\text{UVA}}$ es pertinente únicamente en el intervalo de la longitud de onda entre 315 y 400 nm)
3a	$L_B = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$	( $L_B$ es pertinente únicamente en el intervalo de la longitud de onda entre 300 y 700 nm)
3b	$E_B = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$	( $E_B$ es pertinente únicamente en el intervalo de la longitud de onda entre 300 y 700 nm)
4 y 5	$L_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$	(véase la tabla A.1 para los valores adecuados de $\lambda_1$ y $\lambda_2$ )
6	$E_{\text{IR}} = \int_{\lambda=780 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$	( $E_{\text{IR}}$ es pertinente únicamente en el intervalo de la longitud de onda entre 780 y 3 000 nm)
7	$H_{\text{piel}} = \int_0^t \int_{\lambda=380 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$	( $H_{\text{piel}}$ es pertinente únicamente en el intervalo de la longitud de onda entre 380 y 3 000 nm)

Las fórmulas mencionadas anteriormente pueden sustituirse por las siguientes expresiones y el uso de los valores discretos establecidos en las siguientes tablas. El número indicado en la columna 'Nº orden' corresponde al respectivo en la tabla A.1. Los resultados deberán compararse con los correspondientes valores límite de exposición indicados en la tabla A.1

Tabla A.2 Fórmulas

Nº orden	Expresión	Descripción
1	$E_{\text{eff}} = \sum_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ $H_{\text{eff}} = E_{\text{eff}} \cdot \Delta t$	<p><math>E_{\lambda}</math> (<math>\lambda</math>, t), <math>E_{\lambda}</math>: Irradiancia espectral o densidad de potencia espectral: la potencia radiante que incide, por unidad de área, sobre una superficie, expresada en vatios por metro cuadrado por nanómetro (<math>W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}</math>).</p> <p>Los valores <math>E_{\lambda}</math> (<math>\lambda</math>, t) y <math>E_{\lambda}</math> pueden proceder de mediciones o pueden ser facilitados por el fabricante del equipo.</p> <p><math>E_{\text{eff}}</math>: Irradiancia efectiva calculada para el intervalo de las radiaciones UV (180 a 400 nm) ponderado espectralmente por <math>S(\lambda)</math>, expresada en vatios por metro cuadrado (<math>W \cdot m^{-2}</math>)</p> <p><math>H</math>: Exposición radiante, la irradiancia integrada respecto al tiempo, expresada en julios por metro cuadrado (<math>J \cdot m^{-2}</math>)</p> <p><math>H_{\text{eff}}</math>: Exposición radiante efectiva ponderada espectralmente por <math>S(\lambda)</math>, expresada en julios por metro cuadrado (<math>J \cdot m^{-2}</math>)</p>
2	$E_{\text{UVA}} = \sum_{\lambda=315 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$ $H_{\text{UVA}} = E_{\text{UVA}} \cdot \Delta t$	<p><math>H</math>: Exposición radiante, la irradiancia integrada respecto al tiempo, expresada en julios por metro cuadrado (<math>J \cdot m^{-2}</math>)</p> <p><math>H_{\text{UVA}}</math>: Exposición radiante efectiva ponderada espectralmente por <math>S(\lambda)</math>, expresada en julios por metro cuadrado (<math>J \cdot m^{-2}</math>)</p>
3 a	$L_B = \sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	<p><math>S(\lambda)</math>: Ponderación espectral que tiene en cuenta la relación entre la longitud de onda y los efectos para la salud de la radiación UV sobre los ojos y la piel. (valores en la tabla A.3)</p> <p><math>\lambda</math>: Longitud de onda, expresada en nanómetros (nm)</p>
3 b	$E_B = \sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	<p><math>\Delta\lambda</math>: Ancho de banda, expresada e nanómetros (nm). Intervalo de cálculo o de medida.</p> <p><math>\Delta t</math>: Duración de la exposición, expresado en segundos (s)</p>
4 y 5	$L_R = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ <p style="text-align: center;">(véase la tabla A.1 para los valores adecuados de <math>\lambda_1</math> y <math>\lambda_2</math>)</p>	<p><math>E_{\text{UVA}}</math>: Irradiancia total (UVA), calculada para el intervalo de las longitudes de onda UVA (315 a 400 nm), expresada en vatios por metro cuadrado (<math>W \cdot m^{-2}</math>)</p> <p><math>H_{\text{UVA}}</math>: Exposición radiante, a integral o la suma de la irradiancia con respecto al tiempo y a la longitud de onda calculada para el intervalo de las longitudes de onda UVA (315 y 400 nm), expresada en julios por metro cuadrado (<math>J \cdot m^{-2}</math>)</p>

Nº orden	Expresión	Descripción
6	$E_{\text{IR}} = \sum_{\lambda = 3\,000\text{ nm}}^{\lambda = 780\text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	<p><math>L_{\lambda}</math> : Radiancia espectral de la fuente, expresada en vatios por metro cuadrado por estereorradián por nanómetro (<math>\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}</math>).</p> <p><math>L_B</math>: Radiancia efectiva (luz azul), calculada y ponderada espectralmente por B (<math>\lambda</math>), expresada en vatios por metro cuadrado por estereorradián (<math>\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}</math>)</p>
7	$E_{\text{piel}} = \sum_{\lambda = 380\text{ nm}}^{\lambda = 3\,000\text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$ $H_{\text{piel}} = E_{\text{piel}} \cdot \Delta t$	<p><b>B(<math>\lambda</math>)</b>: Ponderación espectral, tiene en cuenta la relación entre la longitud de onda y la lesión fotoquímica causada en los ojos por la radiación de luz azul. (valores en la tabla A.4)</p> <p><math>E_B</math> : Irradiancia efectiva (luz azul), ponderada espectralmente por B (<math>\lambda</math>), expresada en vatios por metro cuadrado (<math>\text{W} \cdot \text{m}^{-2}</math>)</p> <p><math>L_R</math>: Radiancia efectiva (efecto térmico), calculada y ponderada espectralmente por R (<math>\lambda</math>), expresada en vatios por metro cuadrado por estereorradián (<math>\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}</math>)</p> <p><b>R(<math>\lambda</math>)</b>: Ponderación espectral, tiene en cuenta la relación entre la longitud de onda y las lesiones en los ojos por efecto térmico provocado por la radiación visible y IRA. (valores en la tabla A.4)</p> <p><math>E_{\text{IR}}</math> : Irradiancia total (efecto térmico), calculada para el intervalo de las longitudes de onda de infrarrojos (780 a 3.000 nm), expresada en vatios por metro cuadrado (<math>\text{W} \cdot \text{m}^{-2}</math>)</p> <p><math>E_{\text{piel}}</math> : Irradiancia total (visible, IRA e IRB), calculada para el intervalo de las longitudes de onda visibles e infrarrojos (380 a 3.000 nm), expresada en vatios por metro cuadrado (<math>\text{W} \cdot \text{m}^{-2}</math>)</p> <p><math>H_{\text{piel}}</math> : Exposición radiante total, la integral o la suma de la irradiancia con respecto al tiempo y a la longitud de onda calculada para el intervalo de longitudes de onda visibles e infrarrojos (380 a 3.000 nm), expresada en julios por metro cuadrado (<math>\text{J} \cdot \text{m}^{-2}</math>)</p> <p><math>\alpha</math> : Ángulo subtendido por una fuente aparente, percibido en un punto del espacio, expresado en mirradiantes (mrad). La fuente aparente es el objeto real o virtual que forma la imagen retiniana lo más pequeña posible.</p>

## C. Curvas de Ponderación

Tabla A3 Valores de la curva de ponderación  $S(\lambda)$ .  
(Valores para longitudes de onda de 180 a 400 nm.)

$\lambda$ en nm	$S(\lambda)$	$\lambda$ en nm	$S(\lambda)$	$\lambda$ en nm	$S(\lambda)$	$\lambda$ en nm	$S(\lambda)$	$\lambda$ en nm	$S(\lambda)$
180	0,0120	228	0,1737	276	0,9434	324	0,000520	372	0,000086
181	0,0126	229	0,1819	277	0,9272	325	0,000500	373	0,000083
182	0,0132	230	0,1900	278	0,9112	326	0,000479	374	0,000080
183	0,0138	231	0,1995	279	0,8954	327	0,000459	375	0,000077
184	0,0144	232	0,2089	280	0,8800	328	0,000440	376	0,000074
185	0,0151	233	0,2188	281	0,8568	329	0,000425	377	0,000072
186	0,0158	234	0,2292	282	0,8342	330	0,000410	378	0,000069
187	0,0166	235	0,2400	283	0,8122	331	0,000396	379	0,000066
188	0,0173	236	0,2510	284	0,7908	332	0,000383	380	0,000064
189	0,0181	237	0,2624	285	0,7700	333	0,000370	381	0,000062
190	0,0190	238	0,2744	286	0,7420	334	0,000355	382	0,000059
191	0,0199	239	0,2869	287	0,7151	335	0,000340	383	0,000057
192	0,0208	240	0,3000	288	0,6891	336	0,000327	384	0,000055
193	0,0218	241	0,3111	289	0,6641	337	0,000315	385	0,000053
194	0,0228	242	0,3227	290	0,6400	338	0,000303	386	0,000051
195	0,0239	243	0,3347	291	0,6186	339	0,000291	387	0,000049
196	0,0250	244	0,3471	292	0,5980	340	0,000280	388	0,000047
197	0,0262	245	0,3600	293	0,5780	341	0,000271	389	0,000046
198	0,0274	246	0,3730	294	0,5587	342	0,000263	390	0,000044
199	0,0287	247	0,3865	295	0,5400	343	0,000255	391	0,000042
200	0,0300	248	0,4005	296	0,4984	344	0,000248	392	0,000041
201	0,0334	249	0,4150	297	0,4600	345	0,000240	393	0,000039
202	0,0371	250	0,4300	298	0,3989	346	0,000231	394	0,000037
203	0,0412	251	0,4465	299	0,3459	347	0,000223	395	0,000036
204	0,0459	252	0,4637	300	0,3000	348	0,000215	396	0,000035
205	0,0510	253	0,4815	301	0,2210	349	0,000207	397	0,000033
206	0,0551	254	0,5000	302	0,1629	350	0,000200	398	0,000032
207	0,0595	255	0,5200	303	0,1200	351	0,000191	399	0,000031
208	0,0643	256	0,5437	304	0,0849	352	0,000183	400	0,000030
209	0,0694	257	0,5685	305	0,0600	353	0,000175		
210	0,0750	258	0,5945	306	0,0454	354	0,000167		
211	0,0786	259	0,6216	307	0,0344	355	0,000160		
212	0,0824	260	0,6500	308	0,0260	356	0,000153		
213	0,0864	261	0,6792	309	0,0197	357	0,000147		
214	0,0906	262	0,7098	310	0,0150	358	0,000141		
215	0,0950	263	0,7417	311	0,0111	359	0,000136		
216	0,0995	264	0,7751	312	0,0081	360	0,000130		
217	0,1043	265	0,8100	313	0,0060	361	0,000126		
218	0,1093	266	0,8449	314	0,0042	362	0,000122		
219	0,1145	267	0,8812	315	0,0030	363	0,000118		
220	0,1200	268	0,9192	316	0,0024	364	0,000114		
221	0,1257	269	0,9587	317	0,0020	365	0,000110		
222	0,1316	270	1,0000	318	0,0016	366	0,000106		
223	0,1378	271	0,9919	319	0,0012	367	0,000103		
224	0,1444	272	0,9838	320	0,0010	368	0,000099		
225	0,1500	273	0,9758	321	0,000819	369	0,000096		
226	0,1583	274	0,9679	322	0,000670	370	0,000093		
227	0,1658	275	0,9600	323	0,000540	371	0,000090		

Tabla A.4 Valores de las curvas de ponderación,  $B(\lambda)$ , y  $R(\lambda)$   
(Valores para longitudes de onda de 300 a 1.400 nm)

Longitud de onda (nm)	$B(\lambda)$	$R(\lambda)$
$300 \leq \lambda < 380$	0,01	-----
380	0,01	0,10
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,50
400	0,10	1,0
405	0,20	2,0
410	0,40	4,0
415	0,80	8,0
420	0,90	9,0
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1,0	10,0
440	1,0	10,0
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,90	9,0
460	0,80	8,0
465	0,70	7,0
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,32	3,2
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500	0,10	1,0
$500 < \lambda \leq 600$	0,05	1,0
$600 < \lambda \leq 700$	$10^{0,02 \cdot (450 - \lambda)}$	1,000
$700 < \lambda \leq 1050$	-----	$10^{0,002 \cdot (700 - \lambda)}$
$1050 < \lambda \leq 1150$	-----	0,2
$1150 < \lambda \leq 1200$	-----	$0,2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1150 - \lambda)}$
$1200 < \lambda \leq 1400$	-----	0,02

## ANEXO II Radiaciones ópticas láser

A. Tabla B.1 Valores límite de exposición de los ojos al láser ( $T_{Exposición} \geq 10s$ )

Longitud de onda $\lambda$ (nm)	Apertura	VALOR Límite		Efecto
		$10^1 \text{ ---} 10^2$	$10^4 \text{ ---} 3 \cdot 10^4$	
UVC 180-280	3,5 mm	Duración $10^2 \text{ ---} 10^4$		Lesiones fotoquímicas y térmicas
UVB 280-302		H=30 (J/m <sup>2</sup> )	H=30 (J/m <sup>2</sup> )	
303		H=30 (J/m <sup>2</sup> )	H=30 (J/m <sup>2</sup> )	
304		H=40 (J/m <sup>2</sup> )	H=40 (J/m <sup>2</sup> )	
305		H=60 (J/m <sup>2</sup> )	H=60 (J/m <sup>2</sup> )	
306		H=100 (J/m <sup>2</sup> )	H=100 (J/m <sup>2</sup> )	
307		H=160 (J/m <sup>2</sup> )	H=160 (J/m <sup>2</sup> )	
308		H=250 (J/m <sup>2</sup> )	H=250 (J/m <sup>2</sup> )	
309		H=400 (J/m <sup>2</sup> )	H=400 (J/m <sup>2</sup> )	
310		H=630 (J/m <sup>2</sup> )	H=630 (J/m <sup>2</sup> )	
311		H=1 · 10 <sup>3</sup> (J/m <sup>2</sup> )	H=1 · 10 <sup>3</sup> (J/m <sup>2</sup> )	
312		H=1,6 · 10 <sup>3</sup> (J/m <sup>2</sup> )	H=1,6 · 10 <sup>3</sup> (J/m <sup>2</sup> )	
313		H=2,5 · 10 <sup>3</sup> (J/m <sup>2</sup> )	H=2,5 · 10 <sup>3</sup> (J/m <sup>2</sup> )	
314		H=4,0 · 10 <sup>3</sup> (J/m <sup>2</sup> )	H=4,0 · 10 <sup>3</sup> (J/m <sup>2</sup> )	
UVA 315-400	3,5 mm	H=1 · 10 <sup>4</sup> (J/m <sup>2</sup> )		Lesiones fotoquímicas y térmicas
Visible (2)	400-600	$E=1 \cdot C_B$ (W/m <sup>2</sup> ) $\gamma = 1,1 \cdot t^{0,5}$ mrad (3)	$E=1 \cdot C_B$ (W/m <sup>2</sup> ) $\gamma = 110$ mrad (3)	Lesiones de la retina (fotoquímica)
	400-700	Si $\alpha \leq 1,5$ mrad	Entonces E=10 (W/m <sup>2</sup> )	Lesiones de la retina (térmica)
		Si $\alpha > 1,5$ mrad y $t \leq T_2$	Entonces $H=18 \cdot C_E \cdot t^{0,75}$ (J/m <sup>2</sup> )	
IRA 700-1400	7 mm	Si $\alpha > 1,5$ mrad y $t > T_2$	Entonces $E=18 \cdot C_E \cdot T_2^{-0,25}$ (W/m <sup>2</sup> )	Lesiones térmicas
		Si $\alpha \leq 1,5$ mrad	Entonces $E=10 \cdot C_A \cdot C_C$ (W/m <sup>2</sup> )	
		Si $\alpha > 1,5$ mrad y $t \leq T_2$	Entonces $H=18 \cdot C_A \cdot C_C \cdot C_E \cdot t^{0,75}$ (J/m <sup>2</sup> )	
		Si $\alpha > 1,5$ mrad y $t > T_2$	Entonces $E=18 \cdot C_A \cdot C_C \cdot C_E \cdot T_2^{-0,25}$ (W/m <sup>2</sup> )	
IRB e IRC 1400- 10 <sup>6</sup>	Véase(4)	E=1000 (W/m <sup>2</sup> )		Lesiones térmicas

- (1) Si aparecen dos límites para la longitud de onda del láser, se aplicará el más restrictivo.
- (2) En el caso de una fuente pequeña con un  $\alpha \leq 1,5$ mrad, los valores límite de E para la radiación visible (400 a 600nm) se reducen a los límites térmicos para  $10 \leq t < T_1$ , y a los límites fotoquímicos para exposiciones mayores. Los valores de  $T_1$  y  $T_2$  véase el apartado B de este anexo. Los valores límite para las lesiones de retina fotoquímica también pueden expresarse como  $G=10^6 \cdot C_B$  (J · m<sup>-2</sup> · sr<sup>-1</sup>) para  $10 < t \leq 10\,000s$  y  $L=100 \cdot C_B$  para  $t > 10\,000s$ . Para medir G y L,  $\gamma_{mrs}$  debe emplearse como campo visual para el cálculo de los promedios. La frontera oficial entre la radiación visible y la infrarroja es de 780 nm según la CIE. (La notación G la utiliza CEN, Ip la utiliza CEI y CENELEC) (G, radiancia integrada, es la integral de la radiancia con respecto a un tiempo de exposición, expresada como energía radiante por unidad de área de la superficie radiante y por unidad de ángulo sólido de emisión, en julios por metro cuadrado por estereorradián (J · m<sup>-2</sup> · sr<sup>-1</sup>)).
- (3)  $\gamma$ : Ángulo del cono límite de medición expresado en milirradiantes (mrad),  $\gamma_{mrs}$ : campo visual de medición (mrad). Si  $\alpha > \gamma$ , entonces  $\gamma_m = \alpha$  (si se emplea un campo visual de medición mayor, el riesgo resulta sobrevalorado.) Si  $\alpha < \gamma$ ,  $\gamma_m$  debe ser lo suficientemente amplio para incluir la fuente en su totalidad, pero no está limitado de otro modo y podría ser mayor que  $\alpha$ : ángulo subtendido de una fuente en milirradiantes (mrad). Abertura límite: la superficie circular sobre la que se calculan los promedios de la irradiancia y la exposición radiante.
- (4) Para  $\lambda$  entre 1.400 y 10.000 nm el diámetro de apertura es 3,5mm. Para  $\lambda$  entre  $10^4$  a  $10^6$  el diámetro de apertura es 11 mm



Tabla B.2 Valores límite de exposición de los ojos al láser ( $T_{Exposición} < 10s$ )

Longitud de onda $\lambda$ (nm) (1)	Aper-tura	VALOR Límite				Efecto
		Duración				
UVC	180-280	$10^{-13}$ - $10^{-11}$	$10^{-11}$ - $10^{-9}$	$10^{-9}$ - $10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$ - $5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$ - $10$
UVB	280-302	$E = 3 \cdot 10^{10}$ $(W/m^2)$ (Véase nota 2)	$1,5 \cdot 10^{0,375}$ para $0,3 < t < 10s$ $1 mm$ para $t < 0,3s$	H=30	(J/m <sup>2</sup> )	Lesiones fotoquímicas y térmicas
	H=40			(J/m <sup>2</sup> )	entonces $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (3)	
	H=60			(J/m <sup>2</sup> )	entonces $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (3)	
	H=100			(J/m <sup>2</sup> )	entonces $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (3)	
	H=160			(J/m <sup>2</sup> )	entonces $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (3)	
	H=250			(J/m <sup>2</sup> )	entonces $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (3)	
	H=400			(J/m <sup>2</sup> )	entonces $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (3)	
	H=630			(J/m <sup>2</sup> )	entonces $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (3)	
	H=1·10 <sup>3</sup>			(J/m <sup>2</sup> )	entonces $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (3)	
	H=1,6·10 <sup>3</sup>			(J/m <sup>2</sup> )	entonces $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (3)	
	H=2,5·10 <sup>3</sup>			(J/m <sup>2</sup> )	entonces $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (3)	
	H=4,0·10 <sup>3</sup>			(J/m <sup>2</sup> )	entonces $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (3)	
	H=6,3·10 <sup>3</sup>			(J/m <sup>2</sup> )	entonces $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (3)	
	UVA			315-400	$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (J/m <sup>2</sup> )	
Visible e IRA	400-700	$H = 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot C_E$ (J/m <sup>2</sup> )	$H = 2,7 \cdot 10^4 \cdot t^{0,75} \cdot C_E$ (J/m <sup>2</sup> )	$H = 5 \cdot 10^3 \cdot C_E$ (J/m <sup>2</sup> )	$H = 18 \cdot t^{0,75} \cdot C_E$ (J/m <sup>2</sup> )	Lesiones térmicas
	700-1050	$H = 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot C_A \cdot C_E$ (J/m <sup>2</sup> )	$H = 2,7 \cdot 10^4 \cdot t^{0,75} \cdot C_A \cdot C_E$ (J/m <sup>2</sup> )	$H = 5 \cdot 10^3 \cdot C_A \cdot C_E$ (J/m <sup>2</sup> )	$H = 18 \cdot t^{0,75} \cdot C_A \cdot C_E$ (J/m <sup>2</sup> )	
	1050-1400	$H = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot C_C \cdot C_E$ (J/m <sup>2</sup> )	$H = 2,7 \cdot 10^5 \cdot t^{0,75} \cdot C_C \cdot C_E$ (J/m <sup>2</sup> )	$H = 5 \cdot 10^{-2} \cdot C_C \cdot C_E$ (J/m <sup>2</sup> )	$H = 90 \cdot t^{0,75} \cdot C_C \cdot C_E$ (J/m <sup>2</sup> )	
IRB e IRC	1400-1500	$E = 1 \cdot 10^{12}$ (W/m <sup>2</sup> )	(2)	$H = 1 \cdot 10^3$ (J/m <sup>2</sup> )	$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (J/m <sup>2</sup> )	Lesiones térmicas
	1500-1800	$E = 1 \cdot 10^{13}$ (W/m <sup>2</sup> )	(2)	$H = 1 \cdot 10^4$ (J/m <sup>2</sup> )	$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (J/m <sup>2</sup> )	
	1800-2600	$E = 1 \cdot 10^{12}$ (W/m <sup>2</sup> )	(2)	$H = 1 \cdot 10^3$ (J/m <sup>2</sup> )	$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (J/m <sup>2</sup> )	
	2600-10 <sup>6</sup>	$E = 1 \cdot 10^{11}$ (W/m <sup>2</sup> )	(2)	$H = 100$ (J/m <sup>2</sup> )	$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ (J/m <sup>2</sup> )	

(1) Si aparecen dos límites para la longitud de onda del láser, se aplicará el más restrictivo.  
 (2) habida cuenta de la falta de datos para estas duraciones de los pulsos, se recomienda la utilización de límites de irradiancia para  $t_{min}$  establecidos por la ICNIRP  
 (3) En caso de múltiples pulsos, las duraciones del pulso láser de los pulsos producidos en un intervalo  $T_{min}$  (Tabla B.7) deberán ser sumado y el valor del tiempo resultante sustituirse por  $t$  en  $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$   
 (4) Cuando  $1400 \leq \lambda \leq 10^6$  el diámetro de apertura es 1mm para  $t \leq 0,3$  y  $1,5 \cdot t^{0,375}$  para  $0,3 < t < 10$ . Cuando  $10^6 \leq \lambda < 10^9$  el diámetro de apertura es 1 mm.

Tabla B.3 Valores límite de exposición de la piel al láser

Longitud de onda $\lambda$ (nm)	Apertura	VALOR Límite				Efecto	
		Duración					
		$<10^{-9}$	$10^{-9}-10^{-7}$	$10^{-7}-10^{-3}$	$10^{-3}-10^1$		$10^1-3 \cdot 10^4$
UV (A,B,C)	180-400	E=3·10 <sup>10</sup> (W/m <sup>2</sup> )	Mismos valores que los límites de exposición para los ojos (tabla B.1 y B.2)				Eritema
Visible e IRA	400-700		E=2·10 <sup>11</sup> (W/m <sup>2</sup> )	H=200·C <sub>A</sub> (J/m <sup>2</sup> )	H=1,1·10 <sup>4</sup> ·C <sub>A</sub> ·t <sup>0,25</sup> (J/m <sup>2</sup> )	E=2·10 <sup>3</sup> ·C <sub>A</sub> (W/m <sup>2</sup> )	
	700-1400	E=2·10 <sup>11</sup> ·C <sub>A</sub> (W/m <sup>2</sup> )	Mismos valores que los límites de exposición para los ojos (tabla B.1 y B.2)				
	IRB e IRC	1400-1500	E=1·10 <sup>12</sup> (W/m <sup>2</sup> )				
1500-1800		E=1·10 <sup>13</sup> (W/m <sup>2</sup> )					
1800-2600		E=1·10 <sup>12</sup> (W/m <sup>2</sup> )					
2600-10 <sup>6</sup>		E=1·10 <sup>11</sup> (W/m <sup>2</sup> )					

(1) Si aparecen dos límites para la longitud de onda del láser, se aplicará el más restrictivo.

## B. Expresiones y factores de corrección

Los valores de exposición a las radiaciones ópticas que son pertinentes desde un punto de vista biofísico pueden determinarse mediante las fórmulas recogidas a continuación. Los resultados deben compararse con los correspondientes valores límite establecidos en las tablas B.1, B.2 y B.3

A una determinada fuente de radiación óptica láser pueden corresponder varios valores de exposición con sus correspondientes límites de exposición.

Para el cálculo de los coeficientes de las expresiones de las tablas B.1, B.2 y B.3 deben consultarse las tablas B.4, B.5, B.6 y B.7 (Parámetros utilizados por la ICNIRP)

Donde:

$$E = \frac{dP}{dA} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$$

dP: Potencia, expresada en vatios (W)

dA: Área o superficie, expresada en metros (m)

E(t), E : Irradiancia o densidad de potencia espectral, la potencia radiante que incide, por unidad de área, sobre una superficie, expresada en vatios por metro cuadrado (W· m<sup>-2</sup>).

Los valores E(t) y E pueden proceder de mediciones o pueden ser facilitados el fabricante.

$$H = \int_0^t E(t) \cdot dt \text{ [J m}^{-2}\text{]}$$

H: Exposición radiante, la integral con respecto al tiempo de la irradiancia, expresada en julios por metro cuadrado (J· m<sup>-2</sup>)

t: Duración de la exposición, expresada en segundos (s).

λ: Longitud de onda, expresada en nanómetros (nm)

Tabla B.4 Determinación del cálculo del C<sub>A</sub>, C<sub>B</sub>, C<sub>C</sub> y T<sub>1</sub>

Factor	Longitud de onda λ (nm)	Valor
C <sub>A</sub>	λ < 700	C <sub>A</sub> = 1,0
	700 --- 1050	C <sub>A</sub> = 10 <sup>0,002·(λ-700)</sup>
	1050 --- 1400	C <sub>A</sub> = 5,0
C <sub>B</sub>	400 --- 450	C <sub>B</sub> = 1,0
	450 --- 700	C <sub>B</sub> = 10 <sup>0,02·(λ-450)</sup>
C <sub>C</sub>	700 --- 1150	C <sub>C</sub> = 1,0
	1150 --- 1200	C <sub>C</sub> = 10 <sup>0,018·(λ-1150)</sup>
	1200 --- 1400	C <sub>C</sub> = 8,0
T <sub>1</sub>	λ < 450	T <sub>1</sub> = 10 (s)
	450 --- 500	T <sub>1</sub> = 10·10 <sup>0,02·(λ-450)</sup> (s)
	λ > 500	T <sub>1</sub> = 100 (s)

Tabla B.5 Determinación del cálculo del  $C_E$ 

Factor	Intervalo de $\alpha$ (mrad) $\alpha_{\min} = 1,5$ mrad (efectos térmicos)	Valor
$C_E$	$\alpha < \alpha_{\min}$	$C_E = 1,0$
	$\alpha_{\min} < \alpha < 100$	$C_E = \alpha / \alpha_{\min}$
	$\alpha > 100$	$C_E = \alpha^2 / (\alpha_{\min} \cdot \alpha_{\max})$ con $\alpha_{\max} = 100$ mrad
$T_2$	$\alpha < 1,5$	$T_2 = 10$ (s)
	$1,5 < \alpha < 100$	$T_2 = 10 \cdot 10^{(\alpha - 1,5) / 98,5}$ (s)
	$\alpha > 100$	$T_2 = 100$ (s)

Tabla B.6 Determinación del cálculo del  $\gamma$ 

Factor	Intervalo de $t_{\text{expo}}$ (s)	Valor
$\gamma$	$t \leq 100$	$\gamma = 11$ (mrad)
	$100 < t < 10^4$	$\gamma = 1,1 \cdot t^{0,5}$ (mrad)
	$t > 10^4$	$\gamma = 110$ (mrad)

Tabla. B.7 Factores para exposiciones reiteradas

Factor	Intervalo de $t_{\text{expo}}$ (s)	Valor
$T_{\min}$	$315 < \lambda \leq 400$	$T_{\min} = 1 \cdot 10^{-9}$ (s)
	$400 < \lambda \leq 1050$	$T_{\min} = 18 \cdot 10^{-6}$ (s)
	$1050 < \lambda \leq 1400$	$T_{\min} = 50 \cdot 10^{-6}$ (s)
	$1400 < \lambda \leq 1500$	$T_{\min} = 1 \cdot 10^{-3}$ (s)
	$1500 < \lambda \leq 1800$	$T_{\min} = 10$ (s)
	$1800 < \lambda \leq 2600$	$T_{\min} = 1 \cdot 10^{-3}$ (s)
	$2600 < \lambda \leq 10^6$	$T_{\min} = 1 \cdot 10^{-7}$ (s)

Nota: Cada una de las tres reglas siguientes debería aplicarse a todas las exposiciones reiteradas que se produzcan por una utilización repetitiva de sistemas de láser de pulsos o de barrido:

- 1) La exposición a cualquier pulso único de un tren de pulsos no deberá superar el valor límite de exposición para un pulso único de esa duración;
- 2) La exposición a cualquier grupo de pulsos (o subgrupo de pulsos de un tren) durante un tiempo  $t$  no deberá superar el valor límite de exposición para el tiempo  $t$ ;
- 3) La exposición de cualquier pulso único dentro de un grupo de pulsos no deberá superar el valor límite de exposición para un pulso único multiplicado por el factor de corrección térmico acumulativo  $C_p = N^{-0,25}$ , en el que  $N$  representa el número de pulsos. Esta regla sólo se aplica a los límites de exposición con objeto de evitar las lesiones térmicas, cuando todos los pulsos producidos en menos de  $T_{\min}$  se consideran como un pulso único.