

2. JUSTIFICACIÓN DEL TÍTULO PROPUESTO

2.1. Justificación del título propuesto, argumentando el interés académico, científico o profesional del mismo

2.1.1 Referentes académicos

El objetivo general de este Máster es, en primer lugar, la formación de investigadores y profesionales en el campo de las tecnologías láser, de forma que los licenciados/as puedan ejercer sus competencias en los departamentos de I+D+i de empresas de nuevas tecnologías, así como en departamentos de investigación de universidades y centros tecnológicos. Así, el máster está orientado a alumnos y alumnas procedentes fundamentalmente de titulaciones científico-técnicas (ingenierías técnicas y superiores, física, etc.).

El presente máster en fotónica y tecnologías del láser:

1. Posibilita una mejor formación en un ámbito de conocimiento.
2. La especialización en tecnologías del láser es una demanda del sistema científico, tecnológico y empresarial.
3. La formación proporcionada y las prácticas a realizar en empresas suponen una vinculación entre la investigación universitaria y el entorno productivo.

2.1.2 Interés y relevancia académica-científica-profesional

El presente máster pretende responder a una demanda del sistema de I+D+I tanto nacional como internacional, como es la de profesionales formados en el campo de las tecnologías del láser. La relevancia de sus aplicaciones tanto en la industria como en variadas partes del tejido empresarial es notable, ya que los láseres se utilizan en sectores tan variados como las telecomunicaciones, las aplicaciones biomédicas o medioambientales, nanotecnología, nuevos sistemas de producción industrial... Todos ellos centrados en torno a las nuevas tecnologías y el I+D+i.

Se debe tener en cuenta que el láser se inventó en 1960, y que el desarrollo de láseres con la potencia y características necesarias para su empleo industrial no llegó hasta los años ochenta, por lo que puede considerarse que los láseres son una nueva tecnología. Sin embargo, al contrario de lo que sucedió con otras nuevas tecnologías como las informáticas, la carencia de especialistas formados en este campo es notable en la actualidad, debido a la práctica ausencia de centros especializados de formación.

A nivel estatal, algunas facultades de física con la especialidad de optoelectrónica o escuelas de ingenieros de telecomunicaciones, así como algunos programas de doctorado, incluyen ciertos fundamentos de láser, sin llegar a cubrir todos los aspectos y aplicaciones, y sin hacer hincapié en las necesidades de la industria que reclama profesionales formados en este tipo de tecnologías.

Como afirma la comisión Europea en sus recomendaciones de la carta europea del investigador, pág. 4: "Europa debe desarrollar carreras viables y atractivas en la investigación y el desarrollo tecnológico". Así, el presente máster es una excelente oportunidad para ofertar al tejido industrial gallego un nuevo perfil de profesionales con una alta formación específica, que podrán ser incorporados directamente en puestos de responsabilidad de los respectivos departamentos de I+D+I.

El máster en fotónica y tecnologías del láser presenta ciertas similitudes en cuanto a demanda previsible con la mayoría de las ingenierías técnicas y superiores. En cuanto a su estructura como estudio superior podría compararse la especialidad de optoelectrónica ofertada desde hace siete años en la facultad de Física de la Universidad de Santiago de Compostela, que ha sido una de las especialidades de la licenciatura en física con más número de alumnos y con una elevadísima tasa de inserción en el mercado laboral.

Por lo que respecta a las aplicaciones industriales de los láseres, no hay experiencias previas en cuanto a diseño de estudios específicos, si bien debemos notar la elevada tasa de aceptación en el mercado laboral de los ingenieros industriales que hacen su proyecto de fin de carrera en los grupos de investigación de aplicaciones industriales de los láseres. Esto se debe fundamentalmente a la elevada demanda de profesionales formados en estas tecnologías que diversas empresas en Galicia están implementando a pesar del escaso número de personas con formación específica.

En la actualidad las tecnologías asociadas al láser se encuentran entre las de mayor impacto económico debido a su presencia en una gran variedad de sectores diferentes, entre los que caben destacar:

- **Sector de la automoción:** La soldadura con láser es el método más empleado en la construcción de carrocerías de coches. Este sector está representado en Galicia por empresas como Citroën en Vigo o Aimen en Porriño.
- **Mercado y prototipado rápido con láser,** como el sistema existente en el CIS Galicia de Ferrol. Empresas como Láser Galicia emplean potentes láseres para el corte de materiales.
- **Sector de las telecomunicaciones ópticas,** donde los láseres de semiconductor son empleados para producir bits de información que son transmitidos por fibra óptica, como la instalada en Galicia por la empresa R.
- **Sector sanitario:** se beneficia de las nuevas técnicas LASIK para corrección visual, así como de numerosas técnicas láser de cirugía estética y no invasiva.
- **Sector de microelectrónica:** El mayor volumen de negocio a nivel mundial en el campo de los láseres se encuentra en este sector, dado que los diodos láser para lectores de CD y DVD son los más vendidos del mundo. Empresas europeas líderes en el sector como Phillips suponen una interesante salida laboral en este ámbito.
- **Sector aeroespacial:** Las tecnologías fotónicas se emplean cada vez en un mayor porcentaje en el sector aeroespacial, desde el montaje de sensores ópticos en drones hasta telescopios en el espacio, pasando por comunicaciones laser entre satélites, etc.

En el presente máster interuniversitario colaboran cuatro grupos de investigación del Sistema Universitario de Galicia, que reúnen, en el campo de los láseres y sus tecnologías, más de 350 artículos en revistas internacionales, 20 tesis doctorales dirigidas, 6 patentes y más de 20 proyectos de investigación en los últimos cinco años, lo que supone un financiamiento en ese período próximo al millón de euros. Esto supone una notable masa crítica de investigadores y recursos dentro del sistema gallego de I+D.

Justificación del mínimo previsto de 20 alumnos.

La normativa vigente exige una matrícula de al menos 20 alumnos de nuevo ingreso en los master oficiales. Esto es, sin duda, un requisito cuyo cumplimiento puede ser delicado. Sin embargo, hay varias razones para ser optimistas en este aspecto:

- En comparación con los años anteriores, el curso de 2015-2016 tuvo una inscripción particularmente baja. Por ejemplo, en 2013-2014 y 2014-2015 se superó ampliamente la cifra de 20 alumnos. Por lo tanto, cabe suponer que los cursos venideros se volverá de nuevo a la cifra que se espera.

- Las modificaciones en la oferta de materias introducidas en la presente memoria han sido pensadas para optimizar la adaptación del alumno al mundo laboral; por tanto, es de esperar que el master resulte más atractivo a alumnos potenciales. Por ejemplo, los nuevos laboratorios de nanofotónica y de aplicaciones industriales aportarán una formación práctica en sectores de gran empleabilidad. Lo mismo puede decirse de la nueva asignatura de iluminación sostenible.

- El actual impulso del sector aeroespacial en Galicia puede tener efectos sinérgicos con el campo de la fotónica y las tecnologías del laser. Por ejemplo, una prioridad de la Agencia Espacial Europea (ESA) es el desarrollo de la tecnología de relojes ópticos para satélites. Por otra parte, un campo en franco desarrollo es el uso de aviones no tripulados para la detección y los sensores fotónicos pueden desempeñar un papel de gran importancia. Por lo tanto, con la creación de la licenciatura en ingeniería aeroespacial en el Campus de Ourense, se espera que en los próximos años aumente la demanda de tecnologías de vanguardia y la corriente están cada vez más demandados. Con esta predicción se introdujo una materia sobre fotónica y tecnología aeroespacial.

- Por último, dada la experiencia anterior y teniendo en cuenta que durante 2016 2017 el master no se impartirá, habrá más tiempo para implementar un plan más ambicioso de captación de estudiantes potenciales en América Latina.

Grupos de investigación participantes en el máster:

Grupos de Investigación	Inv. Principal	Centro
Grupo de Metrología Óptica	J.L. Fernández	ETSII Vigo
Grupo de Fotónica y comunicaciones ópticas	Javier Fraile	ETSIT, Vigo
Grupo de Óptica Física	Humberto Michinel	Fac. Ciencias, Ourense
Grupo de Aplicaciones Industriales del Láser	Armando Yáñez	EPS, Ferrol

2.2. Referentes externos a la Universidad

Actualmente son muchas las referencias en cuanto a ofertas universitarias, ya sean de grado, máster o doctorado, que podemos encontrar a nivel global relacionadas con el mundo de la fotónica, los láseres, y las tecnologías ópticas en general. Es evidente que sería casi imposible referenciar todos los estudios superiores relacionados con estas disciplinas, por lo que intentaremos abarcar las más importantes segregando la información en tres grandes bloques:

España

El máster en fotónica y tecnologías del láser fue implantado en el año 2007. En ese momento, a nivel nacional existían o se estaban implantando también otros másteres de características

similares en las universidades de Salamanca y Valladolid, Madrid y Barcelona. A día de hoy el conjunto de títulos relacionados con la fotónica y las tecnologías del láser en España se ha incrementado, siendo la oferta universitaria mucho mayor y atractiva. Podemos destacar los siguientes másteres, la mayoría de ellos conducentes (al igual que el nuestro) a estudios de doctorado, y por lo tanto, de carácter investigador:

- *Universidad de Salamanca y Universidad de Valladolid* (<http://optica.usal.es/posgrado/>) – Programa de Posgrado en Física y Tecnología de los Láseres, orientado principalmente a la formación de en láseres, con especial atención a los campos de ultrapotencia y pulsos ultracortos.
- *Universidad Autónoma de Madrid* (<http://web.uam.es/otros/masterfotonica/>) – Este Máster y doctorado en fotónica tiene como objetivo general la formación de investigadores y profesionales en el campo de la Física de la interacción de la Luz y la Materia (Fotónica).
- *Barcelona* (<http://photonicsbcn.eu/>) – Las tres universidades de Barcelona, Politécnica, Autónoma y Central, junto con el centro de investigación Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO), organizan este máster en fotónica. Sus objetivos son la formación de nuevos investigadores en este campo, y la promoción de iniciativas emprendedoras entre sus estudiantes.

Europa

Es bien sabido que la Comisión Europea está otorgando gran importancia al campo de la fotónica, los láseres y sus aplicaciones. Esto se traduce en la existencia de tres Másteres Erasmus Mundus en estas disciplinas, que tienen carácter interuniversitario, y que describimos brevemente a continuación:

Erasmus Mundus MsC in Photonics (<http://www.master-photonics.org/>) - Este máster de alto nivel en fotónica tiene una duración de dos años y es coordinado por Ghent University (Bélgica). Participan las universidades de Free University of Brussels (Bélgica), St-Andrews University and Heriot-Watt University (Escocia.), Royal Institute of Technology, Stockholm (Suecia), École Polytechnique Fédérale de Lausanne - EPFL (Switzerland), Denmark Technical University of Denmark - DTU (Denmark), y Universidad Politécnica de Valencia - UPV (Spain).

- *Erasmus Mundus MsC EuroPhotonics* (<http://www.europhotonics.org/wordpress/>) – Al igual que el anterior, este máster interuniversitario está centrado en el campo de la fotónica, pero especializado en las áreas de ingeniería, nanofotónica y biofotónica. También de dos años de duración, lo coordina la [Paul Cézanne Aix Marseille III University](http://www.aix-marseille.fr/) (Francia) y participan Karlsruhe School of Optics & Photonics y Karlsruhe Institute of Technology (Alemania), Universitat Politecnica de Catalunya, Universitat de Barcelona, Universidad Autónoma de Barcelona e Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO).
- *Erasmus Mundus MsC Optics in Science and Technology* (<http://www.master-optics.eu/>) – Coordinado por la Delft University of Technology (Holanda), participan en él la Friedrich Schiller University Jena (Alemania), Imperial College London (Inglaterra), Université Paris-Sud 11 y Institut d'Optique Graduate School, Paris (Francia) y Warsaw University of Technology (Polonia). Se imparte desde hace unos pocos años pero ya cuenta con un gran prestigio, y al igual que los anteriores, es de dos años de duración.

Además de los másteres Erasmus Mundos de carácter interuniversitario, debemos destacar otros másteres que se están impartiendo actualmente en Europa y que están relacionados con la fotónica y las tecnologías del láser:

- *Friedrich-Schiller-Universität Jena (Alemania)*, Master in Photonics (<http://www.asp.uni-jena.de/>)
- *Münster University of Applied Sciences (Alemania)*, Master in Photonics (https://en.fh-muenster.de/fb11/laser_photonik/master/index.php?p=1)
- *Karlsruhe Institute of Technology (Alemania)*, MsC Program in Optics and Photonics (<http://ksop.idschools.kit.edu/>)
- *Lund University (Suecia)*, Master Programme in Photonic (<http://www.lth.se/english/education/master/photonic/>)

Destaca el hecho de que Alemania cuente con mayor número de ofertas en cuanto a másteres en fotónica. Podemos afirmar que, junto con Suecia e Inglaterra, son el país que más fuertemente ha apostado por las tecnologías láser y la fotónica, o lo que es lo mismo, por el desarrollo y la innovación tecnológica.

Internacional

La lista de másteres y estudios relacionados con la fotónica y el láser a nivel mundial es muy extensa, destacando países como EEUU y Australia. Podemos encontrar la relación de todas las universidades en la base de datos de la Optical Society of America (OSA), <http://www.opticseducation.org>. A modo de referencia, señalamos los siguientes:

- Sydney
<http://sydney.edu.au/courses/Master-of-Photonics-and-Optical-Science>
- Canberra
<http://studyat.anu.edu.au/programs/7606XMPHOT;overview.html>
- Taiwan
http://www.eo.yzu.edu.tw/%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E7%B0%A1%E4%BB%8B_E.htm
- India
http://www.photonics.cusat.edu/M_Tech%20at%20ISP.html

2.3. Descripción de los procedimientos de consulta utilizados para la elaboración del plan de estudios

2.3.1. Descripción de los procedimientos de consulta internos

El proceso de revisión y consulta en la Universidades de Vigo y A Coruña ha sido el siguiente:

1. Exposición pública de la Memoria en el Centro y periodo de alegaciones:
2. Aprobación de la Memoria en Junta de Centro:
3. Exposición pública de la Memoria ante la Comunidad universitaria y apertura de un plazo de alegaciones a la propuesta:
4. Revisión técnica de la propuesta por parte del Vicerrectorado competente:

5. Modificación de la propuesta en función de la revisión y alegaciones presentadas: aprobada en la Comisión Académica del Máster del
6. Aprobación en Junta de Centro de la Memoria definitiva:
7. Información de la Comisión de Estudios de Postgrado de la Memoria definitiva:
8. Aprobación de la propuesta en Consejo de Gobierno de la Universidad de Vigo de la Memoria definitiva:
9. Aprobación de la propuesta en Consejo Social de la Universidad de Vigo de la memoria definitiva.
10. Firma del convenio de colaboración entre las tres universidades gallegas.

Además, para la elaboración de este plan de estudios se han realizados los siguientes procedimientos de consulta internos:

- Organización y gestión de un comité pre-propuesta máster entre profesores de la Facultad de Ciencias de Ourense que se encargaría de la puesta en marcha de aspectos previos a la solicitud (análisis de los actuales planes de estudio de la UVIGO y de otras universidades con especialidades y asignaturas relacionadas con la fotónica y las tecnologías del láser: estudio de posibles estudiantes, reunión de personal docente externo, análisis de coincidencias y sinergias con otros másteres...). Este Comité pre-propuesta estuvo formado por Humberto Michinel Alvarez (CU), José Ramón Salgueiro Piñeiro (TU) y Daniele Tommasini (CD).
- Consulta a la Junta de Facultad de Ciencias de Ourense sobre la oportunidad de la propuesta del máster y el ajuste de esta propuesta formativa en el seno de la Facultad de Ciencias.
- Estudio de las propuestas y programaciones de todos los másteres oficiales de la Universidad de Vigo dentro del ámbito tecnológico, y conversaciones con sus coordinadores, en especial con aquellos relacionados con el Departamento de Física Aplicada.
- Dado que el máster tiene carácter interuniversitario, se abrió un proceso de participación en el mismo a todos los grupos del sistema universitario gallego con investigación acreditada en el campo de la fotónica y tecnologías del laser, resultando finalmente la integración de 4 de ellos en el máster.
- La presente memoria de verificación viene de la modificación del Máster en Fotónica y Tecnologías del Láser que ha sido impartido entre los años 2007 y 2016. En esta nueva memoria se han revisado los contenidos para adaptarlos a la realidad socioeconómica actual así como al mercado laboral.
- Por otra parte, el máster interuniversitario previamente asociado a las tres universidades gallegas, queda ahora integrado por las Universidades de Vigo y A Coruña. Es importante reseñar la existencia de una comisión académica interuniversitaria que ha gestionado el desarrollo del máster en los últimos años así como las modificaciones ahora propuestas.
- Es importante mencionar que la última renovación de la acreditación fue otorgada por la ACSUG con fecha 30 de abril de 2015. En dicho informe se destacaron los siguientes aspectos:
 - El Máster se ha mostrado como un título actualizado, relevante, de prestigio y que aporta una adecuada capacitación profesional, lo que ha sido reconocido por todos los grupos de interés.
 - Las páginas webs del Área de Apoyo a la Docencia y Calidad de la Universidad de Vigo, de la Unidad Técnica de Calidad de la Universidad de A Coruña y del Área de Calidad y Mejora de los Procedimientos de la

Universidad de Santiago de Compostela aportan información sobre el Sistema de Garantía de Calidad (SGC) de las tres universidades, indicadores, tutoriales y datos en general utilizables para la evaluación del Máster.

- Las web del máster es una adecuada herramienta de difusión. Aporta información suficiente y bien valorada por los grupos de interés. Así mismo, contiene información sobre las líneas de investigación de los docentes que imparten cada materia de modo que puede apreciarse la relación existente entre ambas.
- La buena relación y comunicación existente entre el profesorado y los estudiantes, que se constata en las reuniones mantenidas con los diferentes grupos de interés y que facilita la resolución de problemas a través del diálogo.
- Se ha constatado la adecuada coordinación seguida y puesta de manifiesto en el desarrollo del máster que evita vacíos y duplicidades en los contenidos, así como picos de trabajo excesivo a lo largo del curso.
- La Comisión de Garantía de Calidad de la Facultad cuenta, en su composición con dos egresados y un representante de la sociedad.
- El personal académico y de apoyo se consideran suficientes y adecuados, de acuerdo con las características del título y el número de estudiantes. Participan en actividades de formación dentro de los programas gestionados por las universidades participantes en el máster. En el caso de los docentes, su currículo investigador pone en evidencia su adecuación para impartir las materias asignadas.
- El desarrollo de las prácticas externas está bien valorado por los diferentes grupos de interés ya que facilitan alcanzar las competencias que les corresponden.

2.3.2. Descripción de los procedimientos de consulta externos

Pudiéndose considerar también procedimientos de consulta externos, cabe destacar en la relación de acciones para la elaboración del plan de estudios:

- Estudio de las propuestas y programaciones de todos los másteres oficiales españoles con algún contenido similar.
- Reunión personal con coordinadores de los másteres en fotónica de las Universidades de Barcelona (Prof. Jordi Mompart) y Salamanca (Prof. Luis Plaja), en el que se analizaron los aspectos y contenidos de estos postgrados que serían adaptables a las necesidades y condiciones del máster que nos compete.
- Petición de opiniones a representantes de las empresas del sector más relevantes de Galicia y de España.
- Organización de una Summer School sobre fotónica y tecnologías del laser con expertos internacionales invitados (su periodicidad ya es anual).