

MÁSTER EN NUEVAS TECNOLOGÍAS ELECTRÓNICAS Y FOTÓNICAS

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER - CURSO 2025-2026

PROPUESTA

Título:	<i>Fabricación autocorregida por IA de sistemas fotónicos orgánicos</i>
Título en inglés:	<i>AI self-corrected fabrication of organic photonic systems</i>
Tutor/es:	<i>Martin Lopez Garcia</i>
Correos-e:	Martin.lopez@csic.es
Lugar de realización:	Instituto de Óptica Daza de Valdes – CSIC (IO-CSIC), C/ Serrano 121, Madrid

Resumen:

El uso de materiales orgánicos en dispositivos fotónicos está revolucionando muchas áreas de la fotónica gracias a su ligereza, facilidad de procesado y amplias posibilidades de diseño. Además, ofrecen una sostenibilidad ambiental significativamente mayor en comparación con la industria basada en silicio, altamente contaminante. Las aplicaciones de los dispositivos fotónicos orgánicos abarcan desde circuitos fotónicos para el procesamiento de información cuántica hasta sistemas de captación de energía de última generación inspirados en la fotosíntesis [1].

Sin embargo, uno de los principales cuellos de botella es alcanzar diseños, calidad de fabricación y prestaciones comparables a los dispositivos fotónicos inorgánicos, como los basados en silicio [1]. Con el auge de las herramientas de diseño, fabricación e implementación asistidas por inteligencia artificial, es posible no solo obtener diseños mucho más optimizados y compactos, sino también emplear procesos de fabricación y caracterización asistidos por IA que pueden superar ampliamente a los enfoques tradicionales llevados a cabo únicamente por humanos. De este modo, la IA tiene el potencial de superar algunas de las limitaciones más críticas de los dispositivos fotónicos orgánicos [2].

En este proyecto se plantea el uso de IA [3] para guiar e incluso proponer nuevos diseños en tiempo real durante la fabricación de heteroestructuras multicapa de materiales orgánicos disponibles en nuestros laboratorios, adecuadas para aplicaciones de captación de luz. El estudiante montará un módulo óptico para adquirir las características espectrales de películas delgadas (de unos pocos cientos de nanómetros de espesor) de materiales orgánicos con absorción ajustable dentro del rango visible. Estos datos se introducirán en herramientas de IA en tiempo real, lo que permitirá realizar ajustes automatizados. El candidato implementará un modelo de *deep learning* que corrija activamente el proceso de deposición del material orgánico para alcanzar funcionalidades específicas del dispositivo —por ejemplo, maximizar la reflectancia y/o la absorción en una longitud de onda de operación determinada.

El proyecto se apoya en la amplia experiencia del Laboratorio de Fotónica Biótica (BIOPHOT Lab) del IO-CSIC en el diseño, fabricación y caracterización de dispositivos fotónicos bioinspirados [4], así como en su análisis mediante técnicas avanzadas de microscopía y espectroscopía [5].

Metodología:

El programa de trabajo de este proyecto de tesis de máster consta de dos actividades principales, que se desarrollarán de manera secuencial, aunque la **Tarea 2** podrá iniciarse antes de que la **Tarea 1** esté completamente finalizada. Ambas forman parte integral de la tesis.

Tarea 1: El estudiante comenzará montando un sistema básico de microscopía y adaptándolo a la cámara de crecimiento de películas delgadas para dispositivos fotónicos orgánicos en el IO-CSIC. El microscopio requerirá una configuración óptica sencilla y acoplamiento tanto a una cámara CCD como a un espectrómetro, con el fin de recoger datos de reflectancia del dispositivo fotónico durante su fabricación en tiempo real. Esta tarea se apoyará en la experiencia del Laboratorio de Fotónica Biótica (BIOPHOT Lab) del IO-CSIC en el desarrollo de sistemas de microscopía personalizados. El equipamiento de deposición de películas delgadas para la fabricación de dispositivos fotónicos ya está operativo en el BIOPHOT Lab. El microscopio se utilizará para monitorizar la reflectancia de las películas delgadas orgánicas durante la deposición en la fabricación de un espejo dieléctrico, que servirá como sistema fotónico de demostración. Al finalizar esta tarea, el estudiante habrá desarrollado un sistema compacto capaz de monitorizar propiedades fotónicas *in situ* y en tiempo real durante la deposición de capas dieléctricas para el dispositivo final. Los diseños previos desarrollados en el BIOPHOT Lab servirán como punto de partida.

Tarea 2: El estudiante implementará un modelo general de *deep learning* para analizar los espectros unidimensionales de reflectancia en tiempo real obtenidos en la Tarea 1. Se empleará Torch RL para implementar modelos de *reinforcement learning* entrenados con los datos espectrales recogidos durante la deposición de películas delgadas, con el fin de proponer correcciones en tiempo real al proceso de fabricación y optimizar el diseño de los dispositivos, teniendo en cuenta los errores introducidos durante la deposición.

Se espera que el resultado final de la tesis sea un sistema que permita la deposición de películas fotónicas delgadas guiada por inteligencia artificial, capaz de cumplir automáticamente con las propiedades de reflectancia solicitadas por el usuario.

Conocimientos previos recomendados:

- Programación en Python.
- Conocimientos básicos de óptica, como configuraciones de sistemas de lentes y cálculos de trazado de rayos, o estudios de fotónica integrada (p. ej., acoplamiento/desacoplamiento de luz en fibras ópticas).
- Experiencia en modelos de *deep learning* (útil, pero no imprescindible).

Bibliografía:

1. Núñez-Sánchez, S., & Lopez-Garcia, M. (2021). Bio-based optical and photonic materials: Towards nature-based production methods for photonics. *Photoniques*, (110), 36–39. <https://doi.org/10.1051/photon/202111036>
2. Finster, R., Sankaran, P., & Bihar, E. (2025). Computational and AI-driven design of hydrogels for bioelectronic applications. *Advanced Electronic Materials*, 2400763. <https://doi.org/10.1002/aelm.202400763>
3. Ma, W., Liu, Z., Kudyshev, Z. A., Boltasseva, A., Cai, W., & Liu, Y. (2021). Deep learning for the design of photonic structures. *Nature Photonics*, 15(2), 77–90. <https://doi.org/10.1038/s41566-020-0685-y>
4. Castillo, M. A., Estévez-Varela, C., Wardley, W. P., et al. (2022). Enhanced light absorption in all-polymer biomimetic photonic structures by near-zero-index organic matter. *Advanced Functional Materials*, 32(13), 2113039. <https://doi.org/10.1002/adfm.202113039>
5. Wardley, W. P., Goessling, J. W., & Lopez-Garcia, M. (2022). Measuring photonics in photosynthesis: Combined micro-Fourier image spectroscopy and pulse amplitude modulated chlorophyll fluorimetry at the micrometre-scale. *Biomimetics*, 7(3), 107. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7030107>