



# Enseñando Óptica Coherente usando Matlab GUIDE\*

Fabio S. Vara<sup>1</sup>, Ana Isabel Gómez-Varela<sup>2</sup>, Noelia Barreira Rodríguez<sup>3</sup>,  
Marcos Ortega Hortas<sup>3</sup>, Jorge Novo Buján<sup>3</sup>, Manuel G. Penedo<sup>3</sup>, María  
Teresa Flores Arias<sup>2</sup> y Carmen Bao-Varela<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Colegio Hogar de Santa Margarita, C/Valle-Inclán 1-3 15011, A Coruña, España

<sup>2</sup>Grupo de Microóptica y Óptica GRIN, Facultade de Física y Facultade de Óptica e  
Optometría, Universidade de Santiago de Compostela, Campus Vida s/n 15782,  
Santiago de Compostela, España

<sup>3</sup>Grupo VARPA, Departamento de Ciencias de la Computación, Universidade de A  
Coruña Campus de Elviña S/N 15071, A Coruña, España

---

## Abstract

*In this work we present two Graphical User Interfaces (GUIs) for the teaching of topics related to Coherent Optics, a specialized subject of the Photonics and Laser Technology of the University of Santiago de Compostela. The GUIs were developed using GUIDE, the graphical user interface development environment of MATLAB. The first interface allows to plot some of the most important functions in the study of optical systems and shows the corresponding Fourier Transform, as well as the magnitude and the phase. The second interface calculates the convolution of two signals selected by the user.*

**Keywords:** *Active learning, MATLAB GUIDE, Virtual laboratory, Educational Software, Fourier Transform, Convolution, Coherent Optics.*

---

## Resumen

*En este trabajo se presentan dos Interfaces Gráficas de Usuario (GUIs) para la enseñanza de diversos conceptos relacionados con la asignatura de Óptica Coherente que se imparte en el máster de Fotónica y Tecnología del Láser de la Universidad de Santiago de Compostela. Las GUIs están*

---

\*Proyecto financiado por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología–Ministerio de Economía y Competitividad (FCT-15-10125).

desarrolladas con el entorno de programación visual de MATLAB conocido como GUIDE. La primera interfaz permite representar gráficamente algunas de las funciones básicas en el estudio de sistemas ópticos y devuelve al usuario su transformada de Fourier, así como la magnitud y la fase correspondiente. La segunda interfaz muestra la convolución de dos señales elegidas por el usuario.

**Keywords:** Aprendizaje activo, MATLAB GUIDE, Laboratorio virtual, Software educativo, Transformada de Fourier, Convolución, Óptica Coherente.

## 1 Introducción

La Óptica de Fourier proporciona un método de análisis de sistemas ópticos muy eficaz, que implica el uso de transformadas de Fourier (Goodman 1996). En contraste con el principio de Huygen-Fresnel, en el que un frente de onda plano es considerado como una superposición de un número infinito de frentes de onda esféricos, para la Óptica de Fourier un frente de onda de forma arbitraria se puede construir a partir de un número infinito de frentes de onda planos. Así, el análisis de Fourier proporciona un aparato matemático muy útil para evaluar este tipo de sistemas, permitiendo dividir una función arbitraria en una (posiblemente infinita) serie de funciones exponenciales complejas más sencillas. En cambio, la transformada de Fourier inversa, permite reconstruir la función original a partir de esas funciones más simples. La transformada de Fourier es la piedra angular para el estudio de fenómenos ópticos tan importantes como la difracción, coherencia y formación de imagen, además de para temas más especializados como pueden ser el control de un frente de ondas, propagación de la luz a través de un medio aleatorio y holografía, entre otros.

El estudio de la Óptica de Fourier está fuertemente ligado hoy en día a los ordenadores principalmente por dos motivos (Voelz 2011):

1. Las expresiones de las integrales de difracción son difíciles de resolver de forma analítica, exceptuando casos de funciones de apertura simples.
2. El algoritmo que calcula la transformada rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform*, FFT) combinado con los sistemas lineales que se encuentran dentro del marco de la Óptica de Fourier proporciona una aproximación computacional extremadamente eficiente para solucionar problemas ópticos.

En este trabajo utilizamos el software matemático MATLAB para proporcionar a los usuarios una herramienta que les facilite el estudio y la comprensión de las transformadas de Fourier, así como de una de las operaciones espaciales de mayor importancia en el procesado de imágenes digitales, la convolución. Por un lado, MATLAB tiene un gran número de funciones ya implementadas que facilitan la programación en el caso de cálculos complejos, además de disponer de un entorno de programación gráfico conocido como GUIDE (del inglés, *Graphical User Interface Development*

*Environment*), que permite ejecutar programas más o menos complejos de forma sencilla (Marchand y Holland 2002). Una ventaja añadida de estas interfaces gráficas de usuario o GUIs es que pueden convertirse a un archivo ejecutable, de forma que no es necesario que el estudiante disponga de una licencia de MATLAB para poder usar la interfaz gráfica. El diseño de interfaces con GUIDE es habitual en disciplinas científicas tales como Física (Neipp López y col. 2004), Óptica (Giménez y col. 2010; Gómez-Varela y Bao-Varela 2015; Frances y col. 2012) e Ingeniería (Assi, Shamisi y Hejase 2011), entre otras.

La aplicación se ha desarrollado para su implementación en la asignatura de Óptica Coherente que se imparte en el máster de Fotónica y Tecnologías del Láser de la Universidad de Santiago de Compostela. Se integrará en el aula como complemento a las clases de teoría sobre Óptica de Fourier en el primer cuatrimestre del curso 2016/17, ya que este es el período temporal en el que se imparte dicha asignatura. Para poder evaluar el grado de aprendizaje y satisfacción de los estudiantes con las interfaces propuestas en este trabajo se les pedirá que cumplimenten una encuesta voluntaria basada en la escala de Likert, donde podrán especificar su nivel de acuerdo o desacuerdo con cuestiones tales como si les han ayudado a entender mejor los contenidos del tema o si les han parecido sencillas de usar, entre otras. Además, habrá una sección donde podrán aportar sus propias sugerencias para la mejora de las interfaces o incluso la creación de nuevas aplicaciones que consideren les serían de utilidad para mejorar la comprensión de la materia. Aunque las GUIs que presentamos se han diseñado para la asignatura de Óptica Coherente del máster, es importante hacer notar que pueden resultar de utilidad para cualquiera interesado en la Óptica de Fourier y en profundizar más en su conocimiento de la misma como, por ejemplo, aquellos usuarios relacionados con el procesado digital de imágenes. Por ello, el archivo de instalación de las aplicaciones será facilitado a cualquier persona que las solicite, junto con la encuesta de valoración de la misma.

## 2 Diseño de las interfaces gráficas de usuario con MATLAB GUIDE

MATLAB dispone de un entorno de programación visual denominado GUIDE que permite desarrollar interfaces robustas de una forma sencilla. Las interfaces gráficas permiten al usuario utilizar un programa sin tener que preocuparse sobre los comandos para ejecutarlo ni del código, generalmente complejo, que se encuentra tras el mismo.

En este trabajo hemos diseñado dos GUIs como parte de un laboratorio virtual de la asignatura de Óptica Coherente. Los contenidos asociados a esta materia suelen resultar en numerosas ocasiones difíciles de asimilar. Por ello, asociar aplicaciones virtuales para representar de forma gráfica dichos conceptos suele ser una manera eficaz de ayudar a los estudiantes a conseguir una mayor comprensión de la materia.

## 2.1 Funciones básicas y sus transformadas

En los problemas de Óptica de Fourier, lo más habitual es que nos encontremos con dos dimensiones espaciales. La transformada de Fourier analítica de una función  $g$  dependiente de dos variables  $x$  e  $y$  viene dada por la siguiente expresión:

$$G(f_x, f_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x, y) \exp[-i2\pi(f_x x + f_y y)] dx dy \quad (1)$$

donde  $G(f_x, f_y)$  es la transformada de la función  $g$  y  $f_x$  y  $f_y$  son dos variables independientes en el espacio de frecuencias asociadas a  $x$  y a  $y$ , respectivamente. Esta operación suele representarse como:

$$\mathfrak{F}\{g(x, y)\} = G(f_x, f_y) \quad (2)$$

De manera análoga, la Transformada de Fourier inversa analítica es:

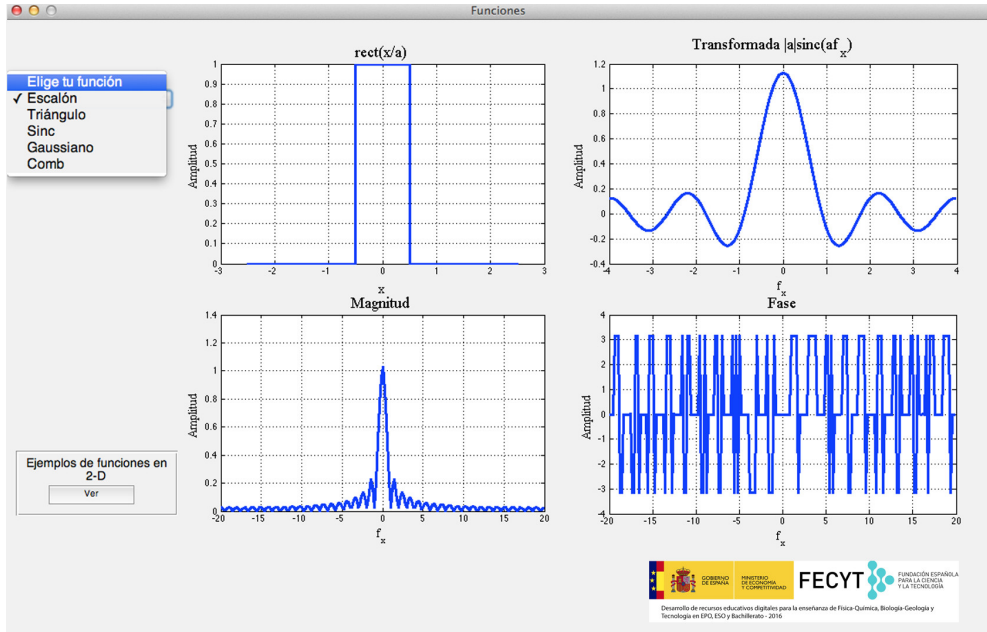
$$g(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} G(f_x, f_y) \exp[-i2\pi(f_x x + f_y y)] df_x df_y \quad (3)$$

donde dicha operación se indica como:

$$\mathfrak{F}^{-1}\{G(f_x, f_y)\} = g(x, y) \quad (4)$$

En Óptica Coherente se utilizan algunas funciones básicas, o combinaciones de ellas, para poder describir estructuras físicas o analíticas que se encuentran en Óptica como, por ejemplo, la función círculo para describir una apertura circular. Además, sus correspondientes transformadas de Fourier son de utilidad a la hora de encontrar soluciones a problemas de difracción de imagen. En la [Figura 1](#) se muestra la interfaz gráfica de usuario diseñada para, precisamente, que el estudiante pueda elegir de entre una serie de funciones; una vez seleccionada la función, la interfaz la representa gráficamente, así como su correspondiente transformada de Fourier. La interfaz muestra la expresión analítica tanto de la función original como de su transformada, representando además la magnitud y la fase.

Desde la ventana principal de esta interfaz se ha insertado un botón que abre una interfaz secundaria donde es posible seleccionar diferentes funciones y representarlas gráficamente en un espacio bidimensional ([Figura 2](#)).



**Fig. 1:** Interfaz gráfica de usuario desarrollada con MATLAB GUIDE para la representación de algunas de las funciones más importantes en el estudio de la Óptica Coherente y sus transformadas de Fourier.

## 2.2 Convolución de funciones

Uno de los conceptos más importantes en la teoría de Fourier es la convolución. Matemáticamente, la convolución de dos señales se define como la integral en todo el espacio de una función  $x$  veces sobre otra función en  $u - x$ . La integración se realiza sobre la variable  $x$ , de forma que la convolución es una función que depende de una nueva variable  $u$ :

$$h(u) = f(x) \otimes g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)g(u - x)dx \quad (5)$$

donde el símbolo  $\otimes$  indica la operación de convolución.

La **Figura 3** representa la GUI para el estudio de la convolución de distintas funciones. Aquí, el usuario puede seleccionar dos funciones de entre las que se muestran en la interfaz. A continuación se representan ambas funciones gráficamente, así como la función que resulta tras realizar la operación de convolución. En particular, en la figura puede verse el resultado de la convolución (verde) entre la función triángulo (azul) y la función *comb* (rojo).

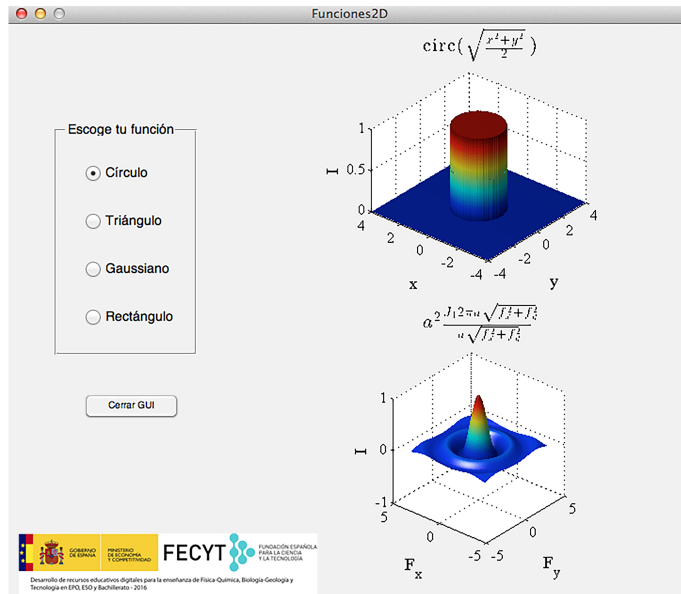


Fig. 2: Interfaz secundaria que permite visualizar algunas de las funciones más relevantes en Óptica en el espacio bidimensional.

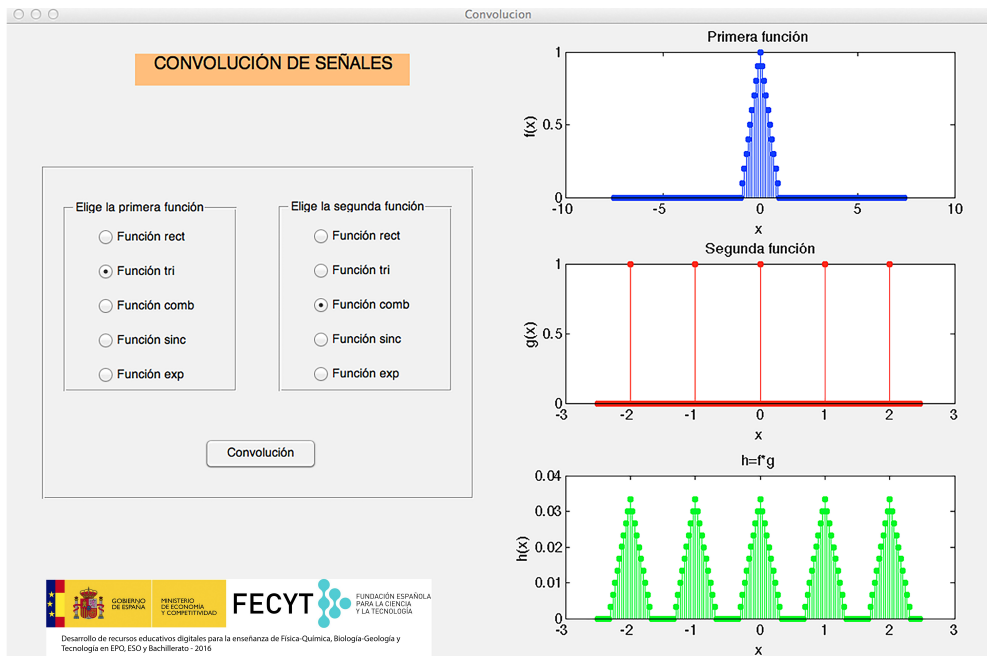


Fig. 3: Interfaz realizada en MATLAB para la simulación de la convolución de señales.

### 3 Conclusiones

En este trabajo se presentan dos interfaces gráficas de usuario para el estudio de la transformada de Fourier y la convolución de funciones básicas de interés en el campo de la Óptica Coherente. Ambas GUIs han sido diseñadas utilizando el entorno de programación visual GUIDE de MATLAB. Las potencialidades gráficas y de cálculo de MATLAB permiten el diseño de interfaces que simplifican enormemente al estudiante la comprensión de algo que puede ser tan complejo como la transformada de Fourier, la cual es clave para el estudio de temas relacionados con sistemas ópticos, filtrado de señales y procesamiento digital de imágenes, entre otros.

### Referencias bibliográficas

- Assi, Ali H., Maitha H. Al Shamisi y Hassan A. N. Hejase (2011). *MATLAB GUI Application for Teaching Electronics, Engineering Education and Research Using MATLAB*. InTech.
- Frances, J. y col. (2012). “Educational Software for Interference and Optical Diffraction Analysis in Fresnel and Fraunhofer Regions Based on MATLAB GUIs and the FDTD Method”. En: *IEEE Transactions on Education* 55.1, págs. 118-125.
- Giménez, F. y col. (2010). “A Virtual Laboratory Designed For Teaching Diffractive Lenses”. En: *Modelling in Science Education and Learning* 3.3, págs. 29-37.
- Goodman, J.W (1996). *Introduction to Fourier Optics*. Third ed., Mc Graw-Hill.
- Gómez-Varela, A.I. y C. Bao-Varela (2015). “Graphical user interfaces for teaching and design of GRIN lenses in optical interconnections”. En: *European Journal of Physics* 36.3, pág. 035012.
- Marchand, P. y O.T. Holland (2002). *Graphics and GUIs with MATLAB*. London: Chapman&Hall/CRC.
- Neipp López, C. y col. (2004). “Diseño de interfaces en Matlab para la enseñanza de la Física en titulaciones técnicas”. En: *XII Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas*, págs. 843-853.
- Voelz, D. (2011). *Computational Fourier Optics*. SPIE.