

Ophthalmic: Laboratorio virtual para el diseño de nuevas lentes oftálmicas multifocales

Arnau Calatayud, Laura Remón, Juan A. Monsoriu, Fernando Giménez
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

arcalata@upvnet.upv.es, lauremar@upvnet.upv.es, jmonsori@fis.upv.es, fgimenez@mat.upv.es

Walter D. Furlan

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

walter.furlan@uv.es

Abstract

En este trabajo presentamos un nuevo laboratorio virtual, OPHTALMIC, desarrollado en MATLAB GUI (Interfaz Gráfica de Usuario) para su uso en cursos de Óptica y Optometría como una herramienta informática para estudiar las propiedades de focalización de lentes oftálmicas multifocales basadas en estructuras no convencionales, tanto periódicas como aperiódicas. A modo de ejemplo, este laboratorio virtual permite a los estudiantes analizar rápida y fácilmente la influencia de los diferentes parámetros de construcción y de este modo encontrar el diseño de la lente oftálmica que mas se adecue a las necesidades del usuario.

This work presents a new virtual laboratory, OPHTALMIC, developed with MATLAB GUI for using in Optics and Optometry courses as a computer tool for studying the focusing properties of multifocal diffractive both on unconventional structures both periodic and aperiodic. This virtual laboratory enables students to quickly and easily analyze the influence of the different parameters of construction and find the best solution for a user.

Keywords: Conjunto de Cantor, lente intraocular multifocal, calidad óptica.
Cantor set, multifocal intraocular lens, optical quality

1 Introducción

El uso de las nuevas tecnologías de la información y comunicación (TICS) se ha ido extendiendo progresivamente en el proceso de aprender y enseñar. En los últimos años los laboratorios virtuales han ido cobrando una importancia cada vez mayor en la educación superior, sobre todo lo relacionado con las enseñanzas de carácter técnico científico. Los programas de simulación se utilizan para reforzar, analizar y comprender conceptos previos, abordar problemas complejos, experimentar sin tener que requerir instalaciones de laboratorio costosas, etc. En este sentido tiene un papel relevante el ordenador con sus enormes posibilidades para manejar datos y realizar grandes cálculos de una manera muy rápida y eficiente. El uso de los laboratorios virtuales ha demostrado ser una herramienta muy útil para desarrollar y reforzar las competencias en ingeniería [1]. Este tipo de aplicaciones presentan ventajas y desventajas y admiten su uso tanto presencial como no presencial [2].

En este artículo se presenta un nuevo laboratorio virtual implementado como una interfaz gráfica de usuario (GUI) de Matlab. El programa desarrollado permite analizar las propiedades de focalización y el comportamiento de lentes oftálmicas multifocales basadas en estructuras no convencionales. Además permite a los usuarios controlar los parámetros de diseño de una determinada lente, mostrando todo tipo de información gráfica para encontrar la lente que proporcione unas mejores prestaciones visuales y de calidad a un determinado paciente. Esta nueva herramienta de simulación está dirigida especialmente a alumnos del Master de Óptica y Optometría Avanzada y sería de gran utilidad en asignaturas de diseño óptico y óptica física ya que permitiría asimilar de manera visual y dinámica nuevos conceptos y parámetros de diseño de las lentes a evaluar.

2 Fundamento teórico

Uno de los fractales más simples es el conjunto triádico de Cantor, que se muestra en la Figura 1a, el cual se puede obtener por medio de una construcción iterativa. En la primera etapa de generación ($S = 0$) se toma un segmento de longitud unidad. En la siguiente etapa ($S = 1$) dividimos el segmento en tres partes iguales de longitud $1/3$ y eliminamos la central. En general, en la fase S hay 2^S segmentos de longitud 3^{-S} con $2^S - 1$ espacios intermedios. En la fase $S + 1$ se divide cada uno de estos segmentos en tres partes de longitud de 3^{-S-1} y se eliminan los centrales. Basándonos en el esquema anterior proponemos un nuevo diseño de lentes oftálmicas multifocales (véase Figura 1b). Estas lentes, están formadas por una base refractiva para la corrección de ametropías y una parte difractiva que proporciona la multifocalidad. La lente generada se comporta como una lente híbrida de carácter refractiva-difractiva en la que se alternan zonas de diferentes radios de curvaturas que dan lugar a los focos principales de la lente y que permiten al usuario la visión de lejos y de cerca simultáneamente. La difracción producida por los diferentes anillos distribuidos aperiódicamente proporciona la estructura interna de cada uno de estos focos.

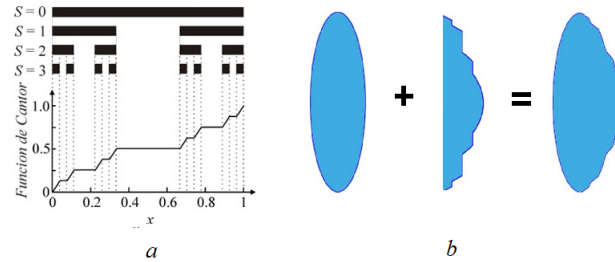


Figura 1: (a) Esquema de generación del Conjunto de Cantor para $S = 1$, $S = 2$ y $S = 3$. En la parte inferior se muestra la Función de Cantor en la cual está basada la parte difractiva de la lente oftálmica propuesta. (b) Diseño de las lentes oftálmicas multifocales. Formadas por una base refractiva que permite la corrección de ametropías y una parte difractiva que proporciona la multifocalidad.

Las propiedades de focalización de la lente oftálmica multifocal se calculan teniendo en cuenta la aproximación de Fresnel [3]. Con esta aproximación la irradiancia para objetos situados a diferentes posiciones a lo largo del eje viene dada por la siguiente expresión

$$I(P) = A \left| \int_0^a p(r_0) \exp(-i \frac{\pi P}{\lambda} r_0^2) r_0 dr_0 \right|, \tag{1}$$

donde λ es la longitud de onda de la luz empleada, $p(r_0)$ es la función que describe la parte difractiva de la lente oftálmica, P es la vergencia objeto, a es el tamaño de la pupila ocular y A es una constante que depende de las propiedades fisiológicas del sistema óptico completo. Para nuestro propósito es más conveniente expresar la transmitancia de la lente en función de una nueva variable definida como

$$\xi = \frac{r_0}{a} - 0.5, \tag{2}$$

de manera que $q(\xi) = p(r_0)$. Usando la coordenada axial normalizada $u = P/2\lambda$, la irradiancia en la retina puede ahora expresarse como

$$I(P) = A \left| \int_{-0.5}^{0.5} q(\xi) \exp(-2\pi i u) d\xi \right|. \tag{3}$$

De este resultado se observa que la distribución de irradiancia focal está dada por el modulo cuadrado de la transformada de Fourier de la función $q(\xi)$. En los últimos años, el estudio de los fractales ha atraído la atención de los investigadores, alentados por el hecho de que muchos fenómenos físicos, estructuras y procesos naturales estadísticos pueden ser analizados y descritos mediante el uso de un enfoque fractal [4]. Si consideramos que la función pupila $q(\xi)$ tiene una estructura fractal, por las bien conocidas propiedades de los fractales y sus transformadas de Fourier, es directo concluir que la lente oftálmica propuesta proporcionará una irradiancia a lo largo del eje óptico con un perfil fractal que reproduce la autosimilitud de la propia lente [5, 6].

3 Interfaz gráfica

En la Figura 2 se muestra la GUI implementada en Matlab para estudiar las propiedades de focalización de lentes oftálmicas multifocales basadas en estructuras no convencionales, tanto periódicas como aperiódicas. Se ha utilizado Matlab (versión 7.11.0 R2010b) porque es un software que presenta un entorno de programación visual que permite realizar y ejecutar programas que requieren un flujo continuo de datos. Presenta las características básicas de programas

como Visual Basic o Visual C++, pero mucho más fáciles y accesibles para la enseñanza. La aplicación que se propone consta de dos archivos, llamados: *Ophthalmic.m* y *Ophthalmic.fig*. El primer archivo es el ejecutable y el segundo es la parte gráfica. A continuación detallamos los parámetros de entrada y de salida de la interfaz gráfica:

INPUTS:

A. Parámetros de diseño de la lente oftálmica.

- LambdaS: Longitud de onda de simulación en unidades de nanómetros.
- LambdaD: Longitud de onda de diseño de la lente oftálmica en unidades de nanómetros.
- Tipo de red: Permite intercambiar las zonas de lejos y cerca.
- Orden S: Orden del fractal de Cantor.
- K: Constante de diseño.
- Adición: Adición de la lente oftálmica.
- Resc: Tamaño de la zona difractiva en la lente oftálmica.

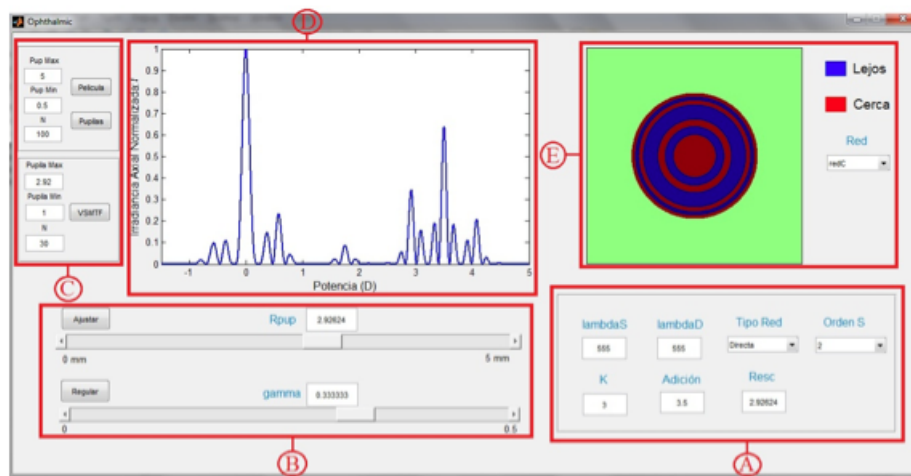


Figura 2: Interfaz gráfica implementada para el cálculo de las propiedades de focalización de las lentes oftálmicas multifocales.

B. Parámetros variables para el estudio de las propiedades de focalización.

- Rpup: Radio pupilar.
- Gamma: Factor de escala del fractal.

C. Opciones avanzadas.

- Película: Este botón permite visualizar las propiedades de focalización para diferentes tamaños pupilares en forma de película. Al mismo tiempo, en la ventana de la lente se observa la variación del tamaño pupilar.
- Pupulas: Permite visualizar y comparar las propiedades de focalización de dos tamaños de pupila definidos por Pup Max y Pup Min al mismo tiempo.
- VSMTF: Muestra en la ventana de visualización la función Visual MTF (Función de Transferencia de Modulación) para los dos focos conjuntamente en el intervalo pupilar elegido por el usuario.

OUTPUTS:

- D. Ventana de Visualización: A través de esta ventana el usuario de la interfaz podrá visualizar de forma fácil las propiedades de focalización a la vez que va cambiando los parámetros de diseño o el tamaño pupilar. También esta ventana permite visualizar la opción avanzada VSMTF, que permite un estudio pupilar más exhaustivo de cada uno de los focos.
- E. Ventana de la lente: Esta ventana permite al usuario visualizar los parámetros de diseño de la lente tales como las zonas destinadas a visión de lejos y de cerca, la distribución de la multifocalidad dentro de la zona óptica y el tamaño pupilar.

En primer lugar, el usuario debe introducir los parámetros de diseños de la lente oftálmica de la que desea conocer sus propiedades. Los datos introducidos pueden ser cambiados para optimizar el diseño, al mismo tiempo que en la ventana de visualización aparecen las propiedades de focalización. Esto permite al usuario seleccionar la lente que proporcione unas mejores prestaciones visuales. En la Figura 3 se muestra la irradiancia axial para una determinada lente oftálmica multifocal para diferentes tamaños pupilares. Se puede observar que los focos principales se encuentran rodeados de múltiples focos secundarios debido a las interferencias constructivas que se producen por las diferentes zonas de lejos y de cerca.

Para un estudio pupilar más exhaustivo el programa ofrece la opción de calcular un parámetro de calidad óptica denominado Visual MTF [7]. Este parámetro permite estudiar como varía la calidad óptica de cada uno de los focos con el tamaño pupilar. En la Figura 4 se muestra el valor de la VSMTF en función del diámetro pupilar para los dos focos para una determinada lente fractal multifocal.

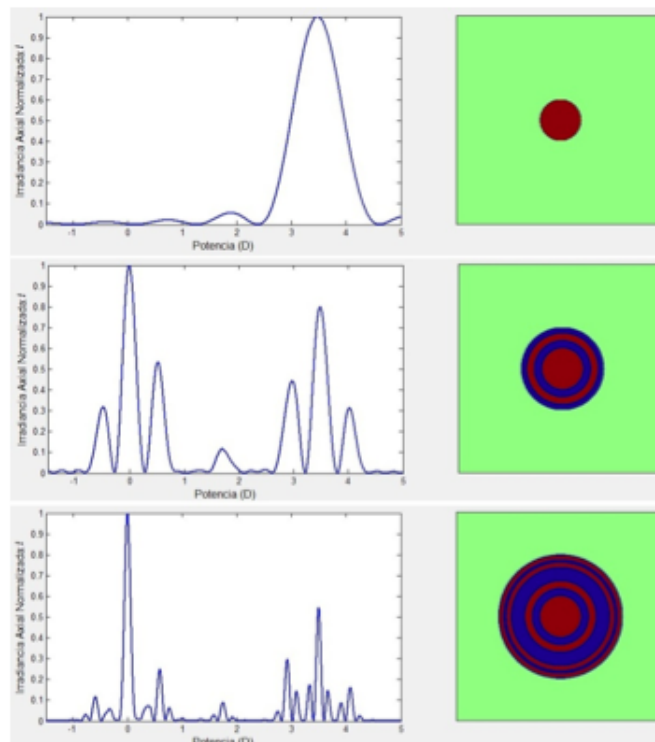


Figura 3: Irradiancia axial normalizada para diferentes radios pupilares para una lente oftálmica multifocal basada en el conjunto de Cantor triádico.

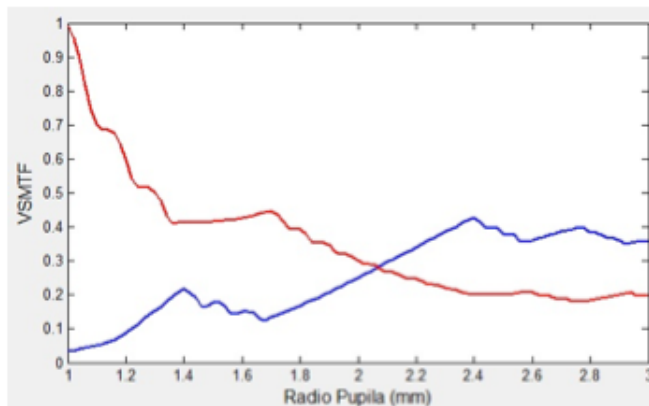


Figura 4: Calidad óptica en función del diámetro pupilar para una lente oftálmica multifocal basada en el conjunto de Cantor triádico. En rojo la calidad óptica para el foco de lejos y en azul para el foco de cerca.

4 Conclusiones

OPHTHALMIC constituye un nuevo laboratorio virtual para el estudio de las propiedades de focalización de lentes oftálmicas multifocales basadas en estructuras no convencionales, tanto periódicas como aperiódicas. Los ejemplos presentados muestran claramente cómo la interfaz de usuario desarrollada permite una rápida caracterización de las lentes oftálmicas multifocales. Desde un punto de vista didáctico, el programa permite estudiar ciertos aspectos de la teoría de la difracción y es posible explicar la aparición de los diferentes máximos y mínimos axial sobre la irradiancia axial como el resultado de las interferencias múltiples entre las diferentes zonas de la lente. Además los fractales constituyen un claro elemento motivador para los estudiantes, siendo estos de un marcado carácter multidisciplinar, ya que permiten unir la docencia de la óptica con las matemáticas. La introducción de los fractales es factible ya que los estudiantes al que va dirigido la herramienta de simulación tienen una formación suficiente en matemáticas ya que proceden de otras carreras universitarias tales como física y/o óptica y optometría.

Glosario:

Vergencia objeto: inversa de la distancia expresada en metros desde el plano objeto al plano de la lente. Unidad: dioptría (D).

Lente multifocal: lente que proporciona varios focos simultáneos y permite la visión de lejos y la visión de cerca del paciente. Para conseguir la multifocalidad se pueden utilizar dos principios ópticos: la refracción y la difracción.

Adición: graduación que se añade a la graduación de lejos para obtener la graduación de cerca en lentes multifocales.

MTF o función de transferencia de modulación: parámetro óptico que permite evaluar la pérdida de contraste de una red al atravesar un sistema óptico y que por lo tanto permite conocer la calidad de dicho elemento.

Fractal: Un fractal es un objeto geométrico cuya estructura básica se repite en diferentes escalas. El término fue propuesto por el matemático Benoît Mandelbrot en 1975. En muchos casos, los fractales pueden ser generados por un proceso recursivo o iterativo, capaz de producir estructuras auto-similares independientemente de la escala específica.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (FIS 2011-23175 y TRACE 2009-0215), por la Generalitat Valenciana (PROMETEO 2009-077) y por la Universitat Politècnica de València (PAID-05-11 y SP20120569). L.R. agradece a la Fundación CajaMurcia la concesión de un contrato predoctoral. Este trabajo ha sido desarrollado por los Grupos de Innovación Docente GCID35/2009 y MoMa de la Universitat de València y de la Universitat Politècnica de València, respectivamente.

Referencias

- [1] R. Barrio, J. Parrondo, E. Blanco, J. Fernández. Introducción de laboratorios virtuales en la enseñanza no presencial mediante entornos de trabajo propios, *Revista de Formación e Innovación Educativa Universitaria*, **4**(1), 55–67 (2011).
- [2] J. Bourne, D. Harris, F. Mayadas. Online Engineering Education: Learning Anywhere, Anytime. *Journal of Engineering Education*, **94**, 131–146 (2005).
- [3] J. W. Goodman. *Introduction to Fourier Optics*. McGraw-Hill, New York, (1996).
- [4] B. B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*. Freeman, San Francisco, CA, 1982.
- [5] G. Saavedra, W. D. Furlan, J. A. Monsoriu. Fractal zone plates, *Optics Letters*, **28**(12), 971–973 (2003).
- [6] W. D. Furlan, G. Saavedra, J. A. Monsoriu. White-light imaging with fractal zone plates, *Optics Letters*, **32**(15), 2109–2111 (2007).
- [7] L. N. Thibos, X. Hong, A. Bradley, R. A. Applegate. Accuracy and precision of objective refraction from wavefront aberrations, *Journal Vision*, **4**, 329–351 (2004).