

Resumen

En este trabajo se presenta una simulación de la fluorescencia realizada mediante el software de diseño óptico Zemax®, para un objeto turbio en forma de disco de tamaño variable en el rango de 12.5 a 1800 μm de diámetro y de grosor fijo en 500 μm . El modelo de esparcimiento volumétrico de la muestra de estudio se describe por medio de la función de Henyey-Greenstein. La metodología presentada sirve de tutorial en la simulación de los procesos de reflexión difusa y de fluorescencia en aplicaciones médicas, a la vez que los resultados obtenidos ilustran la influencia de las variables consideradas en la señal recolectada por el detector en el arreglo óptico propuesto.

Objetivo

Analizar el comportamiento de las señales de reflexión difusa y de fluorescencia de un objeto turbio, que pudiera ser un medio biológico, debido a la influencia del cambio de sus propiedades ópticas (factor de anisotropía) y geométricas (diámetro). Para ello se realizan simulaciones de modelado y trazo de rayos con el software de diseño óptico Zemax®. Dichas señales serán estudiadas a través de la simulación de un arreglo óptico semejante al implementado en el laboratorio de óptica biomédica de la Universidad Politécnica de Tulancingo, mediante el cual se realizan mediciones de fluorescencia *in-vivo* de muestras biológicas.

Materiales y métodos

Las simulaciones presentadas en este trabajo son realizadas en la versión 2019 de Zemax®, mediante una máquina virtual con sistema operativo Windows 7 profesional, 32 GB de disco duro, 3 GB de memoria RAM y Procesador Intel Core i7 (3 núcleos). A continuación se muestra el arreglo óptico de trazo de rayos tanto para la simulación de reflexión difusa como para la simulación de fluorescencia.

Reflexión difusa

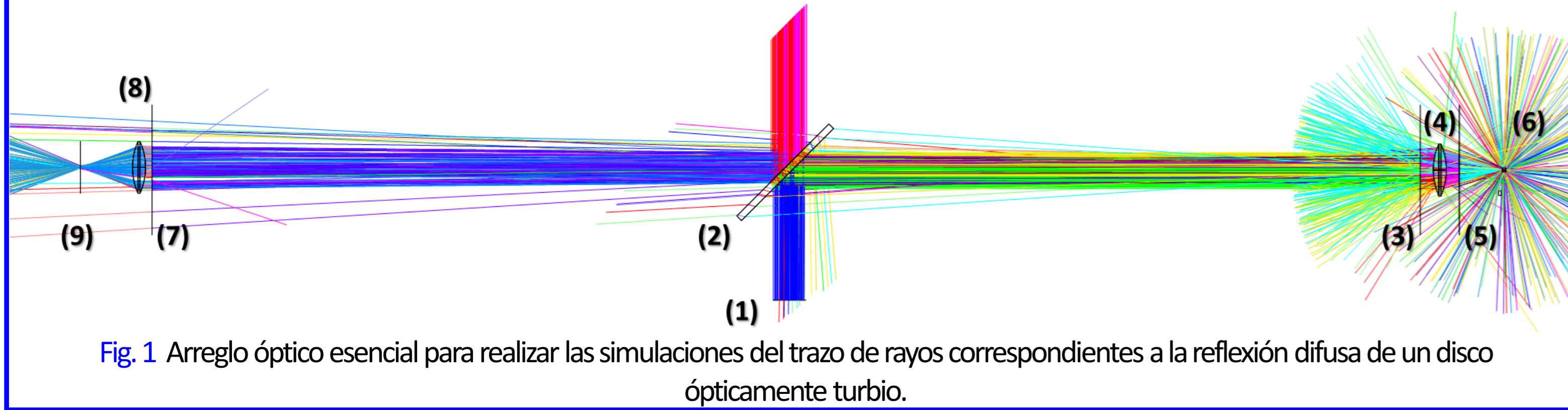


Fig. 1 Arreglo óptico esencial para realizar las simulaciones del trazo de rayos correspondientes a la reflexión difusa de un disco ópticamente turbio.

Fluorescencia

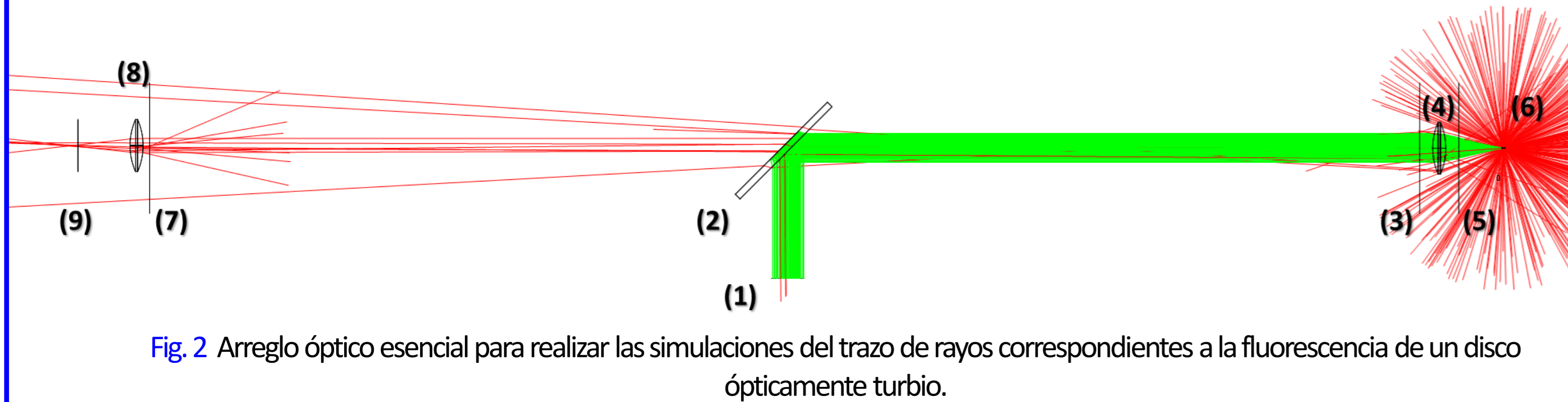


Fig. 2 Arreglo óptico esencial para realizar las simulaciones del trazo de rayos correspondientes a la fluorescencia de un disco ópticamente turbio.

Los elementos que conforman este arreglo se listan a continuación:

1. Fuente de luz elíptica de potencia igual a 1 mW, con longitud de onda de 532 nm.
2. Objeto tipo poly object, con características de un divisor de haz.
3. Detector tipo rect para registrar la señal que proviene antes de llegar a la lente.
4. Lente convergente de distancia focal de 10 mm.
5. Detector tipo rect colocado después de la lente para observar la radiación saliente de esta lente.
6. Muestra volumétrica en forma de disco con las siguientes características:
 - a. Propiedades ópticas: factor de anisotropía (g) con valores de 0, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 0.95, 0.97 y 0.99; trayectoria libre medio de 0.05 mm; transmisión igual a 1; y ángulo de esparcimiento de 180° . Se usa la DLL de la función de "Henyey-Greenstein-bulk.dll".
 - b. Propiedades geométricas: diámetros de la muestra de 12.5, 25, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 y 1800 μm y un grosor fijo de 3500 μm .
7. La luz transmitida por el divisor de haz llegará a un detector tipo rect para registrar la señal que proviene antes de llegar a la lente.
8. Lente convergente de características semejantes a la primera, con distancia focal de 10 mm.
9. Detector tipo rect colocado a la distancia focal de la lente para observar la radiación del sistema óptico.

Resultados

La Fig. 3 muestra los resultados de la simulación de reflexión difusa; la Fig. 3a presenta la potencia total registrada por el detector (9) en función del diámetro de la muestra, para cada valor escogido del factor de anisotropía del medio g , mientras que la Fig. 3b ilustra un ajuste lineal por mínimos cuadrados para 3 diámetros de disco (25, 400 y 1200 μm). Por otra parte, en la Fig. 4 se presentan los resultados de la simulación de la fluorescencia, en donde la Fig. 4a muestra la potencia total en función al diámetro de la muestra para diferentes valores de g y la Fig. 4b se visualiza el ajuste lineal por mínimos cuadrados de la potencia total en función de los valores de g para los tres diámetros mencionados anteriormente.

Reflexión difusa

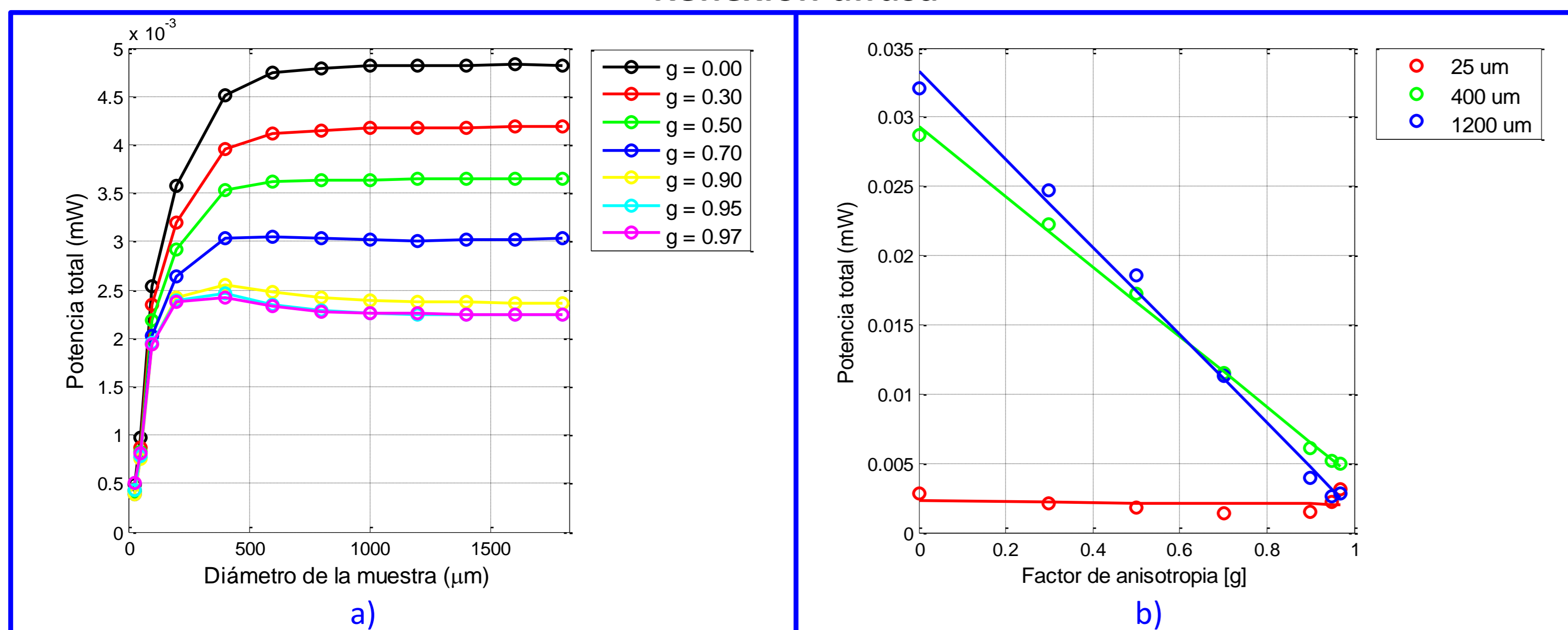


Fig. 3 Simulación de la reflexión difusa: a) potencia total (mW) según cambia el diámetro de la muestra (μm) para siete valores de g ; b) ajuste lineal por mínimos cuadrados de la potencia total en función de g para tres diámetros específicos de la muestra.

Fluorescencia

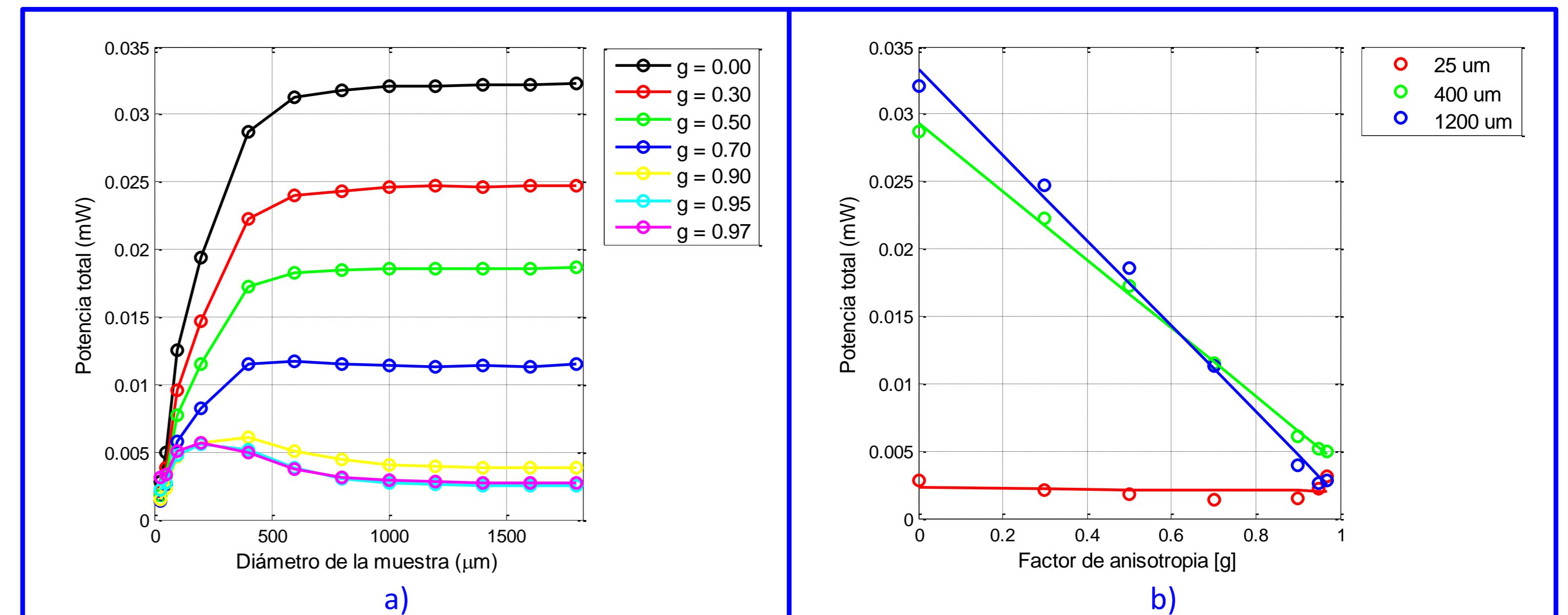


Fig. 4 Simulación de la fluorescencia: a) potencia total (mW) según cambia el diámetro de la muestra (μm) para siete valores de g ; b) ajuste lineal por mínimos cuadrados de la potencia total en función de g para tres diámetros específicos de la muestra.

Conclusiones y discusión

En este trabajo hemos presentado una simulación de trazo de rayos de reflexión difusa y de fluorescencia, realizada mediante software Zemax® 2009, para un objeto turbio en forma de disco de tamaño variable entre 12.5 - 1800 μm . Para ello, se utilizó la librería .DLL de la función de Henyey-Greenstein [1-3] como modelo de densidad de probabilidad de esparcimiento volumétrico en Zemax, en donde los valores del parámetro g fueron variables: 0, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 0.95 y 0.97. Los resultados de reflexión difusa obtenidos en este trabajo muestran la influencia del parámetro g que se encuentra directamente relacionada con el esparcimiento del fotón, dado que al incrementar el valor de g el retro-esparcimiento de la luz cada vez presenta menor señal registrada por el detector, tal y como se observó en las gráficas de la potencia total en función al aumento del diámetro de la muestra, en donde el incremento de g condujo a un decremento de la señal de reflexión dirigida hacia el último detector. La técnica de ajuste de curvas por mínimos cuadrados realizado para las gráficas de la potencia total en función al factor de anisotropía, permitió observar que todas las curvas muestran una tendencia de ajuste polinomial de orden 1, con diferentes valores de pendiente (m) y de intersección (h), los cuales permitirán definir ecuaciones de recta precisas para cada diámetro de la muestra. Resultados similares fueron obtenidos para el caso de las simulaciones de fluorescencia con la diferencia de que el nivel de señal registrada por el detector fue diferente. Para las simulaciones de fluorescencia se aplicaron propiedades ópticas de un espejo dicróico [4-6] al divisor de haz, para que permitiera realizar la función de separar las longitudes de onda de excitación (532 nm) proveniente de la fuente luminosa, y de emisión de fluorescencia (625 nm) procedente de la muestra. Durante esta simulación, se emplearon cadenas de filtros [7, 8] para observar el cambio de la longitud de onda de excitación a emisión en el layout de la interfaz de usuario de Zemax. Las simulaciones presentadas en este trabajo, proporcionan una visión general de la influencia de las propiedades ópticas, particularmente del factor de anisotropía, para el modelado de trazo de rayos en medios turbios, y con ello ser contemplado en aplicaciones médicas para el estudio de los efectos de la luz (reflexión difusa y fluorescencia) en tejidos biológicos.

Contacto

- Alejandra Cárdenas Rosales, José Alberto Delgado Atencio, Margarita Cunill Rodríguez.
- E-mail: alejandra.cardenas@upt.edu.mx, jose.alberto@upt.edu.mx, margarita.cunill@upt.edu.mx.
- Universidad Politécnica de Tulancingo
- Website: www.upt.edu.mx
- Phone: (+52) 775 75 58202

Referencias

- [1] Zemax Optical Design Program User's Guide, "Bulk scattering", Chapter 12 Non-Sequential Components, Pag. 423, (2009).
- [2] Zemax Knowledgebase OpticStudio, "Using the Henyey-Greenstein Distribution to Model Bulk Scattering", <https://customers.zemax.com/os/resources/learn/knowledgebase/using-the-henyey-greenstein-distribution-to-model>
- [3] Scott Alan Prah, "Light Transport In Tissue", Dissertation, The University of Texas at Austin (1988).
- [4] Sanjay Gangadhara, "How to model fluorescence using bulk scattering," Zemax Knowledgebase OpticStudio (2008). <https://customers.zemax.com/os/resources/learn/knowledgebase/how-to-model-fluorescence-using-bulk-scattering>
- [5] Zemax Optical Design Program User's Guide, "Defining coatings in ZEMAX", Chapter 20: Polarization Analysis, Pag. 583, (2009).
- [6] Thorlabs, Inc. "Longpass Dichroic Mirrors/Beamsplitters: 550 nm Cutoff Wavelength", https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=3313&pn=DMLP550
- [7] Zemax Optical Design Program User's Guide, "The filter string", Chapter 12: Non-Sequential Components, Pag. 435, (2009).
- [8] Sanjay Gangadhara, "How to Identify Specific Rays Using Filter Strings", Zemax Knowledgebase OpticStudio (2009). <https://customers.zemax.com/os/resources/learn/knowledgebase/how-to-identify-specific-rays-using-filter-strings.aspx>