



DETECCIÓN DE LUZ EN MEDIOS TURBIOS: SIMULACIONES DE MONTE-CARLO PARA IMAGEN ACTIVA USANDO LUZ POLARIZADA O DETECCIÓN RESUELTA EN EL TIEMPO

AUTORES:

Maria BALLESTA⁽¹⁾, Sara PEÑA-GUTIÉRREZ⁽¹⁾, Santiago ROYO⁽¹⁾.

¹ Centre for Sensors, Instruments and Systems Development (CD6), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

INTRODUCCIÓN

La obtención de imágenes en medios turbios debido a condiciones climatológicas adversas (como la niebla) es un problema destacado en el campo de la navegación y el transporte autónomo. Entre las distintas propuestas para resolverlo existe el uso de *imaging* con iluminación activa en el rango visible. En esta línea, las dos técnicas que están presentando resultados más prometedores son la detección de luz resuelta en el tiempo [1], que adicionalmente puede proporcionar información relacionada con las distancias; y el uso de imágenes polarimétricas [2].

En este trabajo presentamos dos modelos que contemplan la simulación de las propiedades de estas dos técnicas con el objetivo de evaluar sus diferencias, aplicabilidades y eficiencias, para el estudio previo al diseño y montaje de estudios experimentales en medios turbios.

MÉTODOS

Existen diferentes técnicas que permiten la obtención de soluciones aproximadas para el *radiative transfer problem*, entre las cuales destacamos como principal herramienta la simulación computacional con el método de Monte-Carlo (MC), ya que se trata de una técnica robusta y precisa para este tipo de problemas [3].

Verificación. Una vez desarrollado el modelo computacional es necesario verificar que se ajusta adecuadamente a aquellos casos sencillos para los cuales existe una solución analítica. Así, cuando la absorción prevalece sobre la dispersión se puede aplicar la ley de Beer-Lambert o bien, en determinadas condiciones del régimen dispersivo la solución analítica también es conocida [4]. (Fig. 1 y 2)

- **Análisis temporal.** Dado el interés en la solución de la propagación de la luz en función del tiempo, esta variable es considerada en el modelo previamente desarrollado. Para ello se modifica el código de MC añadiendo un registro del historial temporal de cada paquete de energía [5]. (Fig. 3)

- **Polarización.** La incorporación de la polarización en este tipo de algoritmos se ha llevado a cabo tradicionalmente mediante la formulación de Stokes-Mueller. La polarización y la intensidad de luz se especifican mediante el vector de Stokes S . A su vez, cada evento de dispersión tiene asociado una matriz de Mueller M que contiene las propiedades dispersivas del medio [6]. Estas matrices pueden ser deducidas rigurosamente mediante el uso de la teoría de Mie, que resuelve analíticamente el problema de difusión de luz a causa de partículas esféricas de radio e índice de refracción conocido [7]. (Fig. 4)

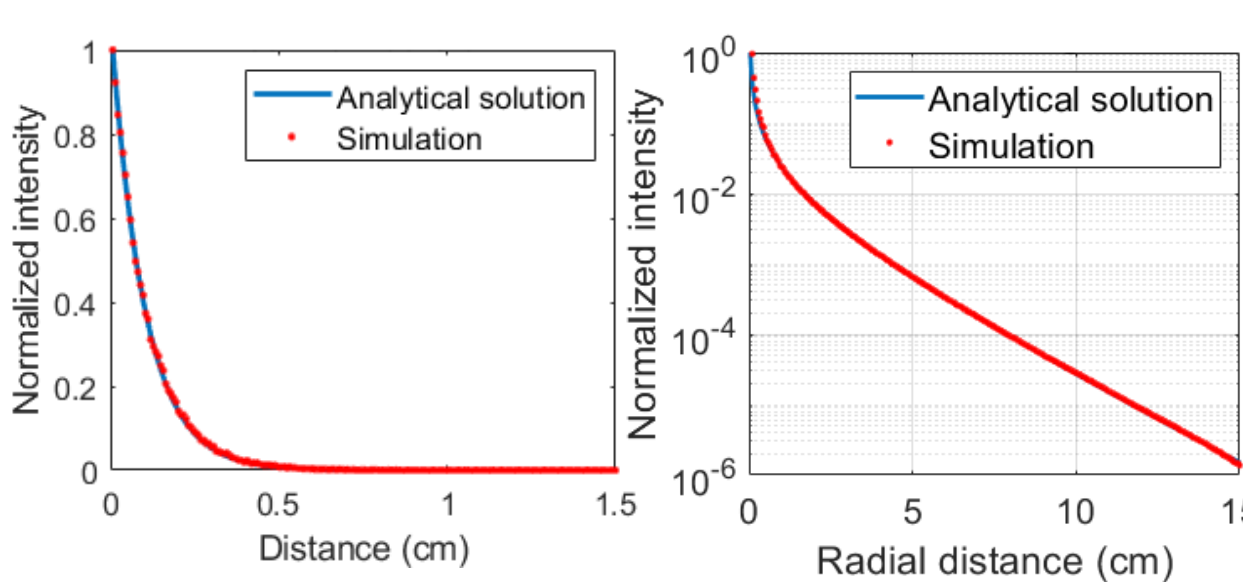


Fig. 1 y 2. Verificación del modelo mediante la Ley de Beer-Lambert (izq.) y la solución analítica en un medio altamente dispersivo (dcha.).

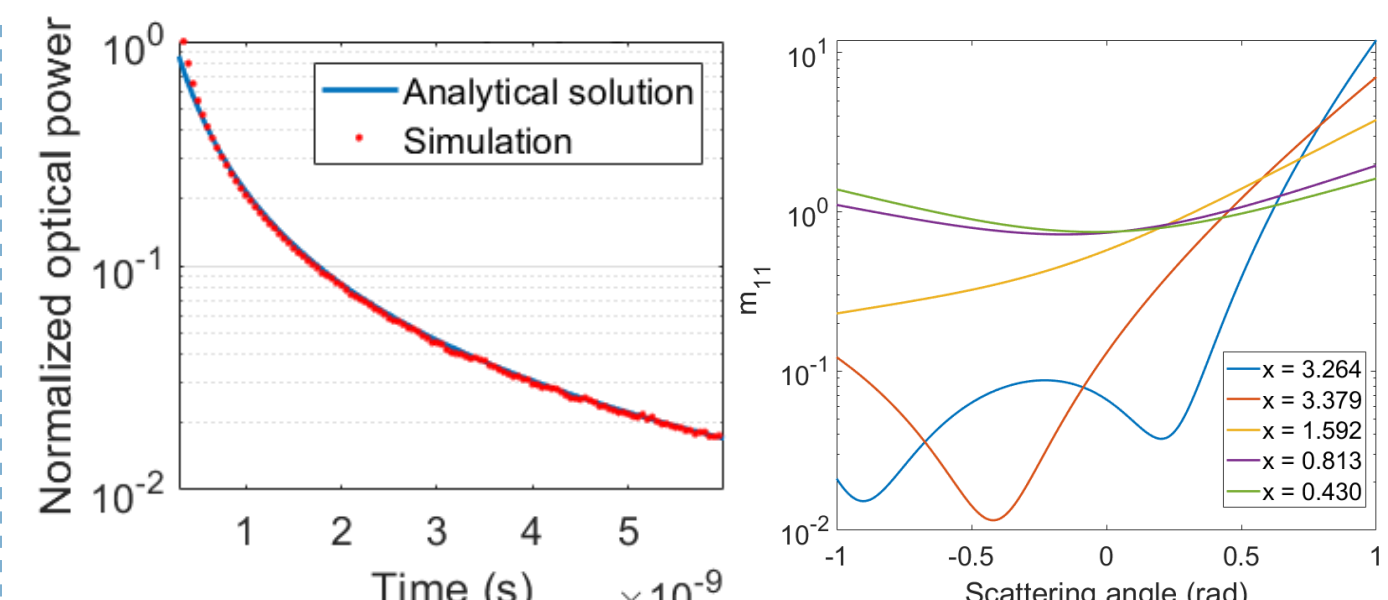


Fig. 3 y 4. Comparación del modelo resuelto en el tiempo con una solución analítica (izq.). Teoría de Mie aplicada al cálculo de la componente 1,1 de una matriz de Mueller M para distintos tamaños de partículas (dcha.)

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Se ha presentado un software de modelización basado en el método de Monte Carlo, aplicado a la simulación de diferentes configuraciones de iluminación y observación en medios turbios. Inicialmente, se han mostrado casos de uso que validan el modelo estocástico propuesto contra los modelos teóricos asociados. Posteriormente, se han analizado las casuísticas de propagación en medios turbios basadas en la imagen resuelta en el tiempo y la imagen polarimétrica, poniendo de manifiesto aquellas singularidades propias de cada técnica que pueden servir para mejorar la calidad de imágenes obtenidas en medios turbios.

Trabajos futuros. El siguiente objetivo es validar ambos modelos experimentalmente mediante el uso de un cuarto de niebla en el laboratorio, y conjuntamente con las simulaciones analizar las configuraciones óptimas que puedan realizarse en los sistemas de imagen: dado el elevado número de variables involucradas (características del medio, del objeto, del sistema óptico...) la realización de simulaciones ha de permitir minimizar el rango de configuraciones a comprobar experimentalmente. Finalmente, se espera probar estos nuevos modos de imagen en un túnel de niebla, para posteriormente usarlos en aplicaciones de transporte en condiciones climatológicas adversas.

RESULTADOS – MC RESUELTO EN EL TIEMPO

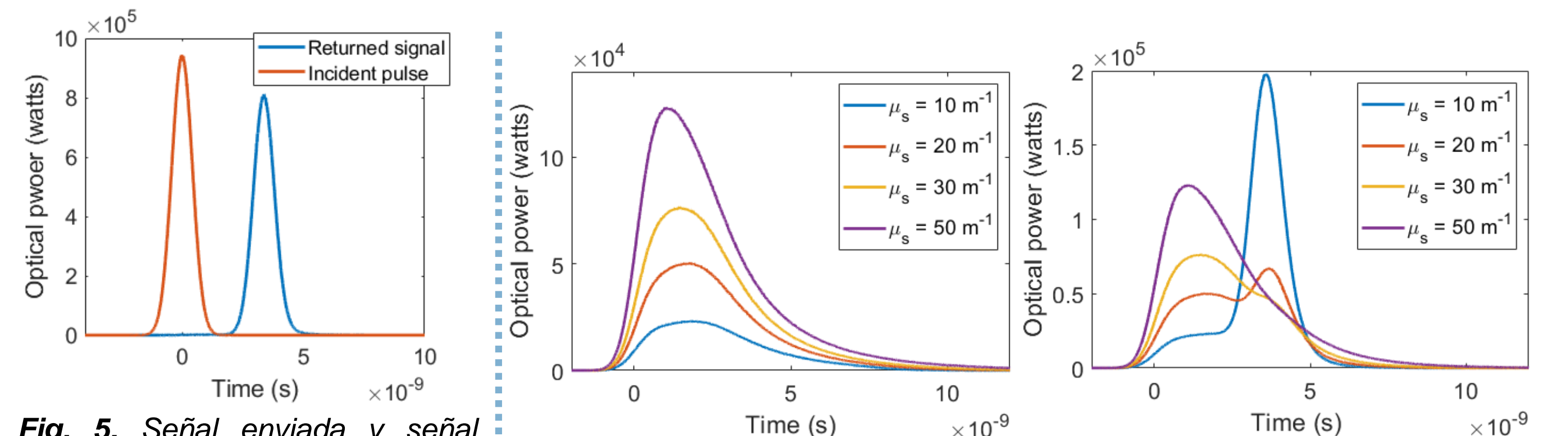


Fig. 5. Señal enviada y señal recibida para un medio poco turbio, con la presencia de un obstáculo a 0.5 m. Se cumple el balance de energía predicho por la ecuación de rango.

Fig. 6 y 7. Perfiles de luz retro-dispersada en un espacio libre (izq.) y bajo esas mismas condiciones con la presencia de un objeto a 0.5 m (dcha.) para distintos coeficientes de dispersión.

Mediante el uso de la resolución temporal vemos que el punto temporal en donde aparece la luz que ha interactuado con un obstáculo está directamente relacionado con la distancia a la que se encuentra éste. Además, a partir de los perfiles de luz reflejada, somos capaces de diferenciar la luz que ha interactuado con un objeto de la luz simplemente retro-dispersada. De ese modo, es posible evaluar a partir de qué nivel de dispersión ya no se puede detectar el objeto, ya que, como es de esperar, a mayor dispersión, mayor es la cantidad de energía *backscattered* y menor la contribución de la luz reflejada por el obstáculo.

RESULTADOS – MC POLARIMÉTRICO

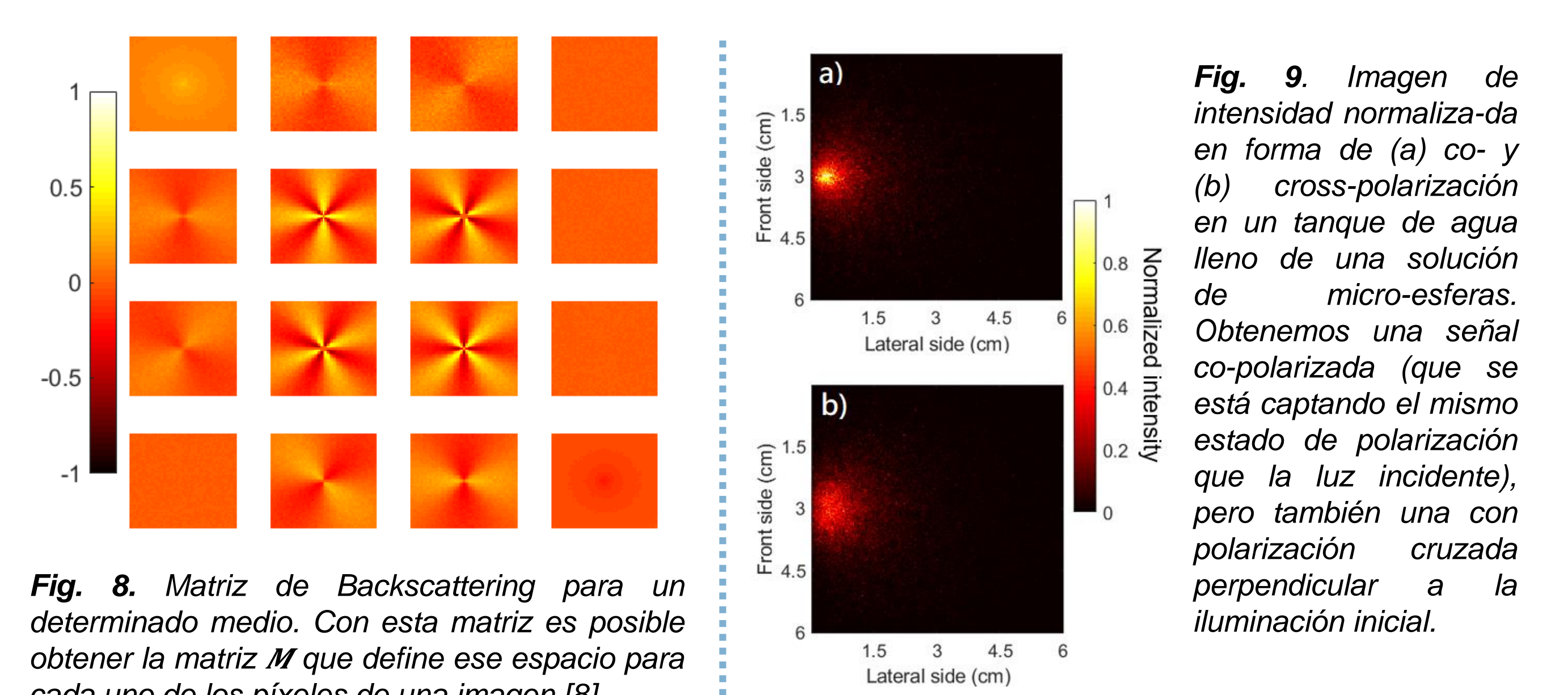


Fig. 8. Matriz de Backscattering para un determinado medio. Con esta matriz es posible obtener la matriz M que define ese espacio para cada uno de los píxeles de una imagen [8].

Fig. 9. Imagen de intensidad normalizada en forma de (a) co- y (b) cross-polarización en un tanque de agua lleno de una solución de micro-esferas. Obtenemos una señal co-polarizada (que se está captando el mismo estado de polarización que la luz incidente), pero también una con polarización cruzada perpendicular a la iluminación inicial.

Se demuestra que, a pesar de incidir sobre un medio con luz con una determinada componente de polarización, las propias propiedades dispersivas del medio hacen que aparezcan otras componentes distintas. En la actualidad, se está validando el modelo de propagación en entornos de imagen polarimétrica, que presenta la complejidad añadida de los posibles estados de polarización en la iluminación y en el analizador de estados.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] G.SATAT et al, "Towards photography through realistic fog"
- [2] J.FADE, et al. "Long-range polarimetric imaging through fog"
- [3] S. A. PRAHL, et al, "A Monte Carlo model of light propagation in tissue"
- [4] S. L. JACQUES, "Light distributions from point, line and plane source for photochemical reactions in turbid biological tissues"
- [5] K. D. RAO, et al, "Time-gated optical imaging through turbid media using stimulated Raman scattering: image contrast"
- [6] J. C. RAMELLA-ROMAN, et al, "Three Monte Carlo programs of polarized light transport into scattering media"
- [7] C.F. BOHREN, D.R. HUFFMAN, "Absorption and scattering of light by small particles"
- [8] A.H. HIELSCHER, et al, "Diffuse backscattering Mueller matrices of highly scattering media"