



SOMIB
Sociedad Mexicana
de Ingeniería Biomédica

Modelado numérico para detectar ópticamente parámetros de la piel.

J. M. Cantú-Rodríguez¹, F. Montes-Tapia², I. Cura-Esquivel², O. Cervantes-García³ y N. P. Puente¹

¹Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León,
San Nicolás de los Garza, N.L., México

²Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N.L., México

³Departamento de Ingeniería Electromédica, Hospital Universitario "Dr. José E. González",
Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N.L., México

Resumen— En este trabajo se presenta el modelado numérico para detectar de forma no invasiva algunos parámetros de la piel tales como porcentaje de melanina, concentración de hemoglobina, concentración de agua y los espesores de la epidermis, dermis e hipodermis. Para lograr el objetivo se utilizaron distintas herramientas, una técnica experimental llamada espectrofotometría de reflectancia difusa, herramientas computacionales como el método Montecarlo y el algoritmo evolutivo Evonorm. Para este trabajo, se plantearon dos casos: el primero con una reflectancia difusa con parámetros propuestos para validar el funcionamiento del algoritmo utilizado y el segundo caso considera una reflectancia difusa real, finalmente se presentan los resultados obtenidos para ambos casos.

Palabras clave— Piel, Reflectancia difusa, Algoritmo evolutivo, Método Montecarlo.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas de salud que enfrentan los países subdesarrollados es la falta de atención médica a toda la población, por lo regular se atiende a la persona una vez que está enferma y/o cuando ya es una emergencia. Contar con un método de prevención sanitaria, que permita obtener información del estado de salud de la persona en general ayudara al sector salud a prevenir enfermedades y por consiguiente a ejercer menos gasto en medicamento, es por ello que en este trabajo se propone la caracterización no invasiva de la piel de humanos como un antecedente al principio del sensado de algunas variables fisiológicas. La piel es el mayor órgano del cuerpo humano, ocupa aproximadamente 2 m² y su espesor varía entre los 0.5 mm y los 4.0 mm, aproximadamente tiene un peso de 5 kg., actúa como barrera protectora que aísla al organismo del medio que lo rodea, protegiéndolo y contribuyendo a mantener íntegras sus estructuras, al tiempo que actúa como sistema de comunicación con el entorno y éste varía en cada especie [1], es por esto que podría ser un excelente indicador de enfermedades, lo cual para países subdesarrollados es una gran necesidad. Cuando la luz entra en contacto con la piel se presentan varios fenómenos ópticos tales como reflexión, absorción y esparcimiento, estos fenómenos ocurren debido a la interacción de la luz con la composición de la piel ya

que en ella se encuentran moléculas que tienen la capacidad de absorber luz a diferentes longitudes de onda [2].

El objetivo principal de este trabajo es caracterizar la piel humana de forma no invasiva, se propone a partir de mediciones ópticas obtenidas experimentalmente, obtener numéricamente utilizando la simulación Montecarlo con un algoritmo evolutivo el porcentaje de melanina, concentración de hemoglobina, porcentaje de agua y espesores de la epidermis, dermis e hipodermis.

II. METODOLOGÍA

La metodología que se propone es la siguiente: primero se obtiene la curva de reflectancia difusa por medio del esquema experimental que se ilustra en la figura 1. Con este dato, se calcula el factor de melanina, este valor se utiliza junto con los datos experimentales como insumo al modelado numérico y así calcular los parámetros mencionados en el objetivo general.

A detalle los pasos se enumeran a continuación:

Se realiza una espectrofotometría para la obtención de la reflectancia difusa que esparce la piel a diferentes longitudes de onda. Esta técnica se obtiene cuando un rayo de luz incide en la superficie de la muestra (piel) que se desea analizar, parte de la luz es absorbida por los cromóforos de la muestra y el resto de la luz es reflejada [3], como se muestra en la figura 1. Se utilizó el equipo de espectrofotometría Jasco mod. V-770, en un rango de 400-1200 nm, a una velocidad de escaneo de 1000 nm/min, un intervalo de datos de 0.5nm en modo continuo y ancho de banda espectral de 2.0 nm, el equipo cuenta con un sistema de detección de datos ya caracterizado y estandarizado por la misma compañía. Se coloca la mano en la apertura de la esfera integradora para que sea detectado el esparcimiento de luz generado por la piel, se selecciona la parte del antebrazo por ser una zona con menos vello y asegurar que la medición óptica sea solo de la piel, al menos los voluntarios que se presentaron a colaborar no presentaron vellos en esa zona, como se ilustra en la figura 1.

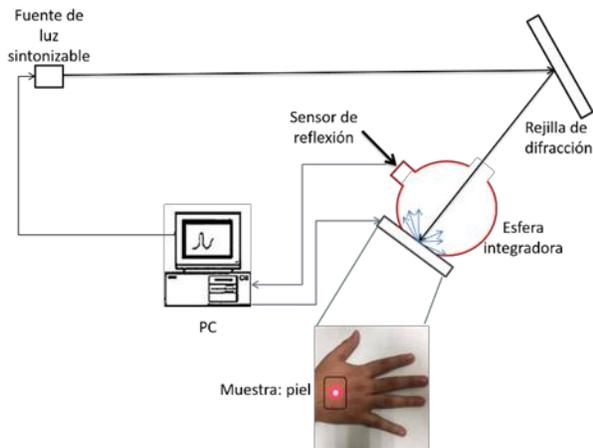


Fig.1 Esquema óptico para obtener la reflectancia difusa.

Se presenta los resultados de la medición de la reflectancia difusa de cuatro voluntarios: dos femeninos y dos masculinos de entre 18 y 24 años, de los cuales resultaron las gráficas que se presentan en la figura 2. Se observa una diferencia del 10% en la reflectancia difusa entre las curvas externas.

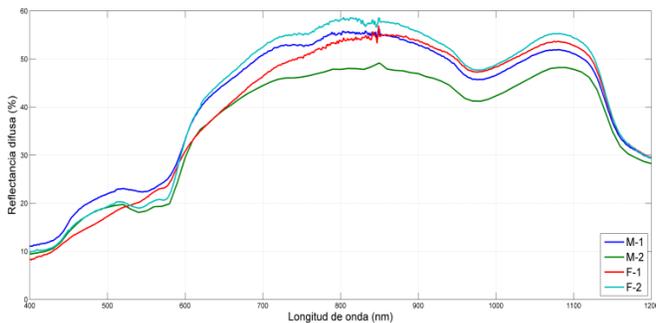


Fig.2 Curva de reflectancia difusa experimental de 4 voluntarios.

2) Se calcula el porcentaje de melanina[4]: la melanina es un pigmento que se encuentra en la epidermis, al analizar la piel de las personas es importante calcular el porcentaje de melanina en cada voluntario al estar relacionado con la absorción de luz, este parámetro se obtuvo a partir de la ecuación:

$$a_0(fme) = 0.2693e^{-33.19fme} + 0.2578e^{-6.289fme} , \quad (1)$$

donde a_0 es la media de los datos experimentales en el rango de 400 a 700 nm y fme es el porcentaje de melanina.

3) Después de obtener los datos ópticos experimentalmente y el porcentaje de melanina, se prosigue a la implementación del método Montecarlo y del algoritmo evolutivo para la obtención de los parámetros faltantes.

a) *Método Montecarlo*: mediante procesos probabilísticos determina la trayectoria que seguirá la luz en un medio específico [5]. Para el cálculo

de este método se utilizó el programa MCML (Monte Carlo Multi Layer) que permite obtener la reflectancia difusa de un medio multicapa la cual depende de los parámetros de cada una de las capas tales como coeficiente de absorción, coeficiente de dispersión, anisotropía y espesor [6]. Para este trabajo se propuso un modelo de 3 capas [4], ilustrado en la figura 3, donde se observan los fenómenos ópticos que se consideran en este método.

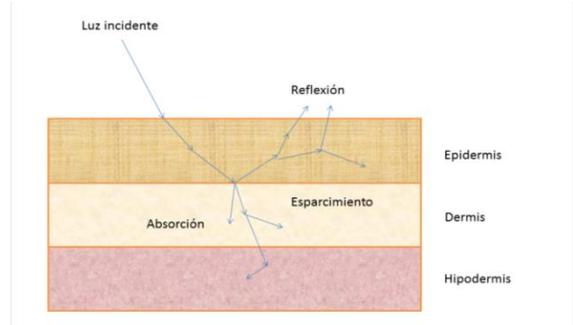


Fig. 3 Capas de la piel y los fenómenos físicos que ocurren en la interacción con la luz.

La simulación Montecarlo ha sido usado para resolver una variedad de problemas físicos. Para todas sus aplicaciones un modelo estocástico es construido en cual los valores esperados de una determinada variable aleatoria (o de una combinación de variables) es equivalente al valor de una magnitud física a determinar. Este valor esperado se estima entonces por el promedio de múltiples muestras independientes que representan la variable aleatoria introducida anteriormente. Para la construcción de la serie de muestras independientes, se utilizan números aleatorios siguiendo la distribución de la variable a estimar [6].

La simulación Montecarlo para tejidos trata del transporte de un haz de fotones infinitamente estrecho incidiendo perpendicularmente sobre un tejido multicapa. Cada capa es infinitamente estrecha, y es descrita por los siguientes parámetros: *grosor*, *índice de refracción*, *coeficiente de absorción*, *coeficiente de esparcimiento* y *el factor de anisotropía* [7].

Los índices de refracción del medio ambiente superior y del medio ambiente inferior tienen que ser dados también. El coeficiente de absorción μ_a se define como la probabilidad de absorción de fotones por unidad de longitud de trayecto infinitesimal y el coeficiente de dispersión μ_s se define como la probabilidad de dispersión de fotones por unidad de trayectoria infinitesimal. La anisotropía g es la media del valor de coseno del ángulo de deflexión [7].

b) *Evonorm*: es un algoritmo evolutivo donde la población (posibles soluciones) es construida por funciones de distribución normal. Los parámetros de estas funciones están determinados por el

cálculo de la media y de la desviación estándar de la población seleccionada de soluciones [8].

Los valores de la media y la desviación estándar son utilizados en la construcción de la nueva población de soluciones.

La media está definida por:

$$\bar{x} = \sum_{k=1}^{Is} \frac{(V_{pr,k})}{Is} \quad (2)$$

La desviación estándar se calcula de la siguiente manera:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{k=1}^{Is} \frac{(V_{pr,k} - \bar{x})^2}{Is}} \quad (3)$$

donde \mathbf{V} es la matriz que representa a la población de individuos seleccionados, \mathbf{pr} representa cada uno de los parámetros e \mathbf{Is} es el total de individuos seleccionados.

El algoritmo evolutivo Evonorm se describe en los siguientes pasos:

1. Generar una población con distribución uniforme.
2. Evaluar la población.
3. Seleccionar los mejores individuos.
4. Calcular el promedio y la desviación estándar con los individuos seleccionados.
5. Generar la nueva población mediante funciones de distribución normal.

Un algoritmo evolutivo es un proceso iterativo para la solución de problemas de optimización. El origen de los algoritmos evolutivos viene de la imitación de los procesos de evolución natural. En un algoritmo evolutivo se trabaja sobre una población, formada por un conjunto de individuos donde cada uno de estos es una solución posible del problema a resolver. La población es generada de manera aleatoria en un principio. Cada individuo de la población tiene asociada una medida denominada función de calidad donde este valor representa que tan bueno es este individuo para la solución, este valor es el que utiliza el algoritmo evolutivo para encontrar la mejor solución [9].

Evonorm proviene de la misma filosofía de un algoritmo evolutivo tiene un proceso de evaluación, de selección y la generación de una nueva población. La principal ventaja del algoritmo Evonorm está en la etapa de reproducción, debido a que las funciones de distribución normal [8].

Una vez generada la nueva población se repite el proceso desde el paso 2.

Con el fin de ilustrar este trabajo como un sistema se ilustra en la figura 4, un esquema del modelo numérico, considerando las variables de entrada necesarias y las de salida que se obtuvieron.

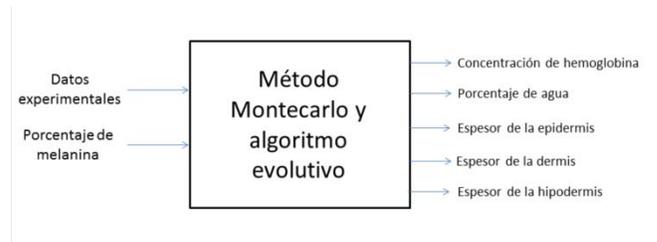


Fig. 4 Esquema de parámetros de entrada y salida del algoritmo.

III. RESULTADOS

Se presentan los resultados de dos casos de estudio, el primero con una muestra de reflectancia difusa que se obtuvo con parámetros propuestos y el segundo con una muestra de reflectancia difusa real (voluntario), la descripción de cada caso se presenta a continuación:

1) En el primer caso se planteó una muestra con parámetros propuestos, como se ilustra en la tabla 1, con el objetivo de verificar el funcionamiento correcto del algoritmo evolutivo. En la figura 5, se muestra la gráfica de la reflectancia difusa de la muestra propuesta y de la reflectancia calculada mediante el algoritmo Evonorm y método Montecarlo, en el rango de 400 a 1200 nm.

En la tabla 1 se muestran la comparación de parámetros propuestos y obtenidos por medio del algoritmo evolutivo.

Tabla 1. Comparación de parámetros

Parámetro	Propuesto	Obtenido
Porcentaje de melanina	4 %	4.11 %
Concentración de hemoglobina	160 g/L	169.48 g/L
Porcentaje de agua	60 %	56 %
Espesor de epidermis	0.009 cm	0.0074 cm
Espesor de dermis	0.15 cm	0.21 cm
Espesor de hipodermis	0.05 cm	0.04 cm

2) En el segundo caso se utilizó una muestra experimental de un voluntario masculino de 24 años, con salud normal. En la figura 6 se observan las gráficas en el rango de 400 a 1200 nm de la reflectancia difusa experimental y de la reflectancia difusa calculada con los parámetros obtenidos mediante el algoritmo evolutivo y el método Montecarlo.

En la tabla 2, se muestran los parámetros obtenidos del algoritmo evolutivo considerando como ingreso al modelo, los datos de la reflectancia difusa medida

experimentalmente, se calcula de esta, el porcentaje de melanina, concentración de hemoglobina, porcentaje de agua, espesores de: epidermis, dermis e hipodermis, los cuales serán evaluados para su convergencia en un trabajo futuro químicamente o clínicamente.

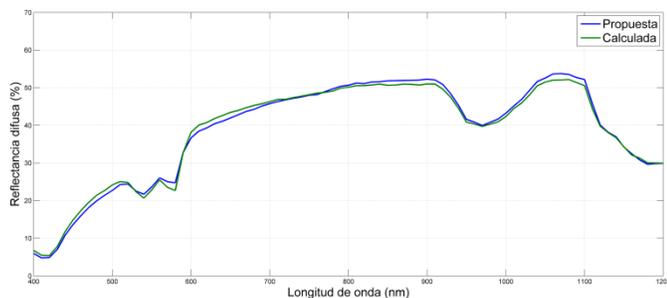


Fig. 5 Curva de reflectancia difusa de la muestra propuesta y la calculada en un ancho espectral de 400 a 1200 nm.

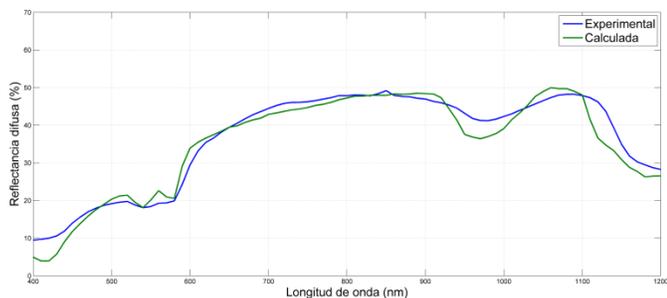


Fig. 6 Curva de reflectancia difusa de la muestra obtenida experimentalmente del voluntario y la curva calculada por algoritmo, en un ancho espectral de 400 a 1200 nm.

Tabla 2 Parámetros obtenidos	
Parámetro	Valor
Porcentaje de melanina	4.87 %
Concentración de hemoglobina	189 g/L
Porcentaje de agua	69 %
Espesor de epidermis	0.008 cm
Espesor de dermis	0.18 cm
Espesor de hipodermis	0.04 cm

IV. DISCUSIÓN

En el primer caso, se observa una correspondencia entre las curvas con los parámetros propuestos y los parámetros calculados, esto indica que el algoritmo tiene una muy buena aproximación. Para el segundo caso, se observa que las gráficas muestran una buena aproximación, sin embargo, algunos de los parámetros obtenidos están fuera de lo que se considera un valor promedio real, dentro de la medicina, con lo cual se propone como trabajo futuro una mejor realización en el ajuste con muestras experimentales.

V. CONCLUSIÓN

En este trabajo se presentó el modelado numérico para detectar de manera no invasiva algunos parámetros de la piel tales como porcentaje de melanina, concentración de hemoglobina, concentración de agua y los espesores de la epidermis, dermis e hipodermis. Se presentaron dos casos, el primer caso se validó numéricamente mediante la comparación de resultados propuestos y calculados numéricamente, resultando en una muy buena aproximación, mientras que el segundo caso se implementó el algoritmo con los resultados de reflectancia difusa experimental, obteniendo los parámetros mencionados anteriormente, para el último caso, se considera realizar en trabajo futuro la comprobación con datos clínicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del proyecto UANL-PAICyT IT495-15 por el apoyo para la realización de este trabajo de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. L. Kierszenbaum. *Histología y biología celular. Histology and Cell Biology*. St.Louis: Mosby, Elsevier, 2nd Edition, 2006.
- [2] S. L. Jacques. Propiedades ópticas de los tejidos biológicos: una revisión. *Optical properties of biological tissues: a review. Physics in medicine and biology*, vol. 58, no 11, p. R37, 2013.
- [3] A. Hernández. *Principios de bioquímica clínica y patología molecular*. Elsevier Health Sciences Spain, 2010.
- [4] F. J. Narea, S. Vivas, y A. Muñoz. Recuperación del coeficiente de absorción de la epidermis en la piel humana. *Retrieving the absorption coefficient of epidermis in human skin. Opt. Pura y Apl.* 48(3), 207-214, 2015.
- [5] T. Maeda, N. Arakawa, M. Takahashi, and Y. Aizu. Simulación Monte Carlo de la reflectancia espectral utilizando un modelo de tejido de piel multicapa. *Monte Carlo simulation of spectral reflectance using a multilayered skin tissue model. Optical review*, vol. 17, no 3, p. 223-229, 2010.
- [6] L. Wang, S. L. Jacques and L. Zheng. MCML-Modelado Monte Carlo del transporte de luz en tejidos multicapa. *MCML—Monte Carlo modeling of light transport in multi-layered tissues. Computer methods and programs in biomedicine*, 47 (2), 131-146, 1995.
- [7] L. Wang and S. L. Jacques, *Modelado Monte Carlo del transporte de luz en tejidos multicapa en estándar c. Monte carlo modeling of light transport in multilayered tissues in standard c*, The University of Texas, MD Anderson Cancer Center, Houston, pp. 4-11, 1992.
- [8] L. Torres. Evonorm, un nuevo algoritmo evolutivo para la optimización continua. *Evonorm, a new evolutionary algorithm to continuous optimization. In Workshop on Optimization by Building and Using Probabilistic Models (OBUPM 2006). Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2006) CD Proceeding Tutorials and Workshops*, Seattle, 2006.
- [9] G. Reina y E. García. *Sistemas evolutivos y selección de indicadores*. Vol. 67. Universidad de Sevilla, 2004.