

# ANÁLISIS SENSITIVO DE LA BIOTRANSFERENCIA DE CALOR PARA LA DETECCIÓN DEL CÁNCER DE SENO

Marco de Jesús Rosas Mosqueda (1), Abel Hernández Guerrero (2)

<sup>1</sup> [Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [marcorm92@hotmail.com]

<sup>2</sup> [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [abel@ugto.mx]

## Resumen

El objetivo de este estudio es la obtención de la variación del campo de temperaturas como función de las propiedades del tejido y de las condiciones de posición a las que se encuentra la lesión cancerosa. Para este fin se realizaron simulaciones de elemento finito. El seno y el tumor se idealizan como figuras geométricas regulares que en un inicio se encuentran concéntricas y posteriormente se mueve el tumor dentro del seno. Se obtuvo el campo de temperaturas para diferentes combinaciones de propiedades y posiciones. De los resultados se pudo observar una fuerte dependencia entre el radio del tumor y el pico de temperaturas observado. De la misma manera la temperatura máxima tiende a estar siempre en una región muy cercana al centro del tumor pero siempre por la parte interna de este. Si el tumor se mueve a una posición más profunda el pico de temperaturas se mueve con él. El cambio en la perfusión y en la generación metabólica también está ligado con el aumento de temperatura, a mayor perfusión y mayor generación metabólica se crea un mayor aumento de temperatura.

## Abstract

The objective of this study is to obtain the temperature field variation as a function of tissue properties and position conditions at the lesion is cancerous. For this purpose finite element simulations were performed. The breast and the tumor is idealized as regular geometric figures that initially are concentric and later the tumor moves within the breast. The temperature range was obtained for different combinations of properties and positions. From the results we observed a strong dependence of the radius of the tumor and peak temperatures observed. Similarly the maximum temperature tends to be always in a region very close to the center of the tumor but always on the inside of this. If the tumor is moved to a deeper position the peak temperature moves with it. The change in perfusion and metabolic generation is also linked with increased temperature, the higher perfusion and higher metabolic generation greater temperature rise is created.

## Palabras Clave

1; Biotransferencia 2; Elemento finito 3; Campo de Temperaturas 4; Parametrización 5; Perfusión 6; Generación Metabólica

## INTRODUCCIÓN

El cáncer es una enfermedad que se caracteriza por un proceso descontrolado de la división de las células. A lo largo de nuestra vida, las distintas células que forman nuestro cuerpo crecen y se dividen para formar nuevas según se requieran. Sin embargo cuando un daño ocurre en el ADN de las células estas comienzan a dividirse sin control, forman nuevas células a un ritmo mayor al que se pierden. Esta producción descontrolada produce cúmulos de células en un lugar localizado del cuerpo, lo que aumenta el número de vasos sanguíneos en esta región y con ello la perfusión sanguínea así como la generación metabólica. Un aumento en estas propiedades trae como consecuencia un aumento localizado de temperatura, esto se observa como un pico de temperatura. Esto puede ser observado de manera experimental mediante una termografía. La resolución actual de las cámaras termográficas es suficiente para poder detectar las variaciones causadas por una lesión cancerosa [1].

El cáncer de mama es una de las principales causas de muerte en las mujeres a nivel mundial. Aunque esta tendencia aumenta conforme el nivel socioeconómico del país disminuye, lo cual crea la necesidad de desarrollar métodos de diagnóstico y tratamiento alternativos. Esto con la finalidad de bajar los costos tan altos que una persona con esta enfermedad tiene que solventar y así ofrecer mayores oportunidades de hacer un diagnóstico en etapas tempranas y aumentar considerablemente las posibilidades de sobrevivir. Cuando se presenta una lesión cancerosa esta se caracteriza por tener una actividad metabólica y una perfusión mayor que el resto del tejido que la rodea debido a que se presenta una producción descontrolada de células. Este hecho propicia que haya un aumento en la temperatura de la región.

Este estudio realiza un estudio para encontrar la variación en el campo de temperaturas como una función de parámetros geométricos propios del modelo así como de las propiedades del tejido y las distintas combinaciones entre estas condiciones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo es una reproducción de un estudio experimental realizado por Gautherie [2] en el que se realizan mediciones de la temperatura en un paciente vivo a diferentes profundidades, y estos resultados experimentales se utilizan para validar el modelo numérico de este estudio. Esto se modela mediante una semiesfera de 9 cm de radio que representa el seno, una esfera de 1.15 cm de radio que representa el tumor (en amarillo) y una pared de 4 cm de espesor detrás de la semiesfera para simular la pared del pecho como se muestra en la figura 1.

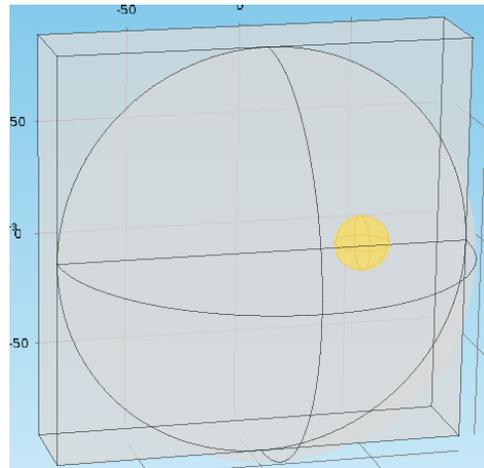


IMAGEN 1: Caso de estudio.

Las propiedades para el tejido sano y tejido canceroso se muestran en la tabla 1. [3]

Tabla 1: Propiedades de los tejidos

Propiedades	Tejido Sano (l/s)	Tejido Canceroso (W/m <sup>3</sup> )
1. Perfusión Sanguínea	0.00018	0.009
2. Generación Metabólica	450	29000

Una vez que se obtuvieron resultados y se pudo comparar con los resultados experimentales obtenidos por Gautherie se procedió a realizar variaciones en los parámetros para ver sus efectos. A continuación se muestra una tabla con los parámetros que se tomaron en cuenta y su rango de variación.

Tabla 1: Propiedades de los tejidos

Parámetros	
1. Radio del tumor	0.25 cm-1.3 cm
2. Profundidad del tumor	2 cm-6cm
3. Movimiento lateral	1 cm -3 cm
4. Movimiento vertical	1 cm-3 cm
5. Actividad metabólica del tejido canceroso	25000 W/m <sup>3</sup> -32000W/m <sup>3</sup>
6. Perfusión del tejido canceroso	0.006 l/s-0.012l/s

Por último cabe mencionar que se añade una condición de convección natural a la superficie del seno para simular las condiciones a las que se toman las pruebas experimentales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al realizar una primera simulación para un tumor de 1.15 cm de radio y una profundidad de 2 cm se puede observar un campo de temperatura en el modelo tridimensional en la figura 2. Aquí se nota como la superficie del seno se encuentra a una temperatura más baja que el resto del tejido, esto es debido a la condición de convección natural, el punto de temperatura más alta se da en el centro del tumor, esto es debido a que tiene una perfusión y una generación metabólica más elevada que el resto del tejido. También se puede observar como en la pared que simula el pecho detrás del seno se toda la temperatura tiende a estabilizarse a la temperatura del cuerpo a unos

pocos centímetros de la superficie, esta distancia dependerá de la temperatura del ambiente y de la severidad de la convección a la que se exponga el tejido.

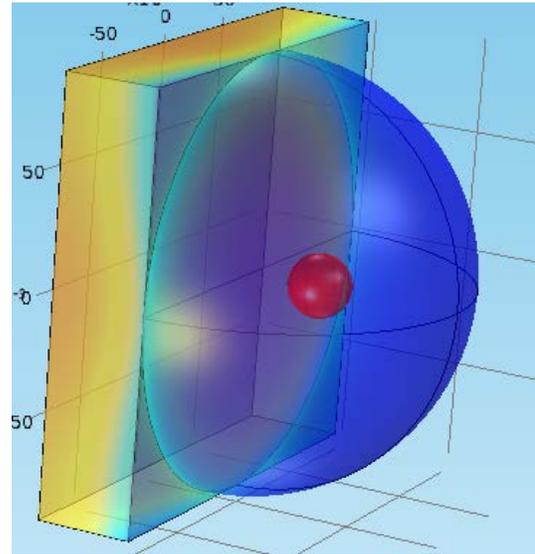


IMAGEN 2: Campo de temperaturas del modelo 3D.

Tomando una línea que atraviesa el tumor por su centro y midiendo la temperatura a lo largo de esta se obtiene la gráfica de la imagen 3, en esta se puede observar como la curva comienza en una temperatura más baja cuando se mide en 0 cm, que corresponde a la superficie del seno y comienza a incrementarse hasta llegar a un máximo, que está localizado unos pocos centímetros detrás del centro geométrico del tumor, baja de nuevo y comienza a subir y tiende a converger a un valor. El valor al que converge es la temperatura del cuerpo.

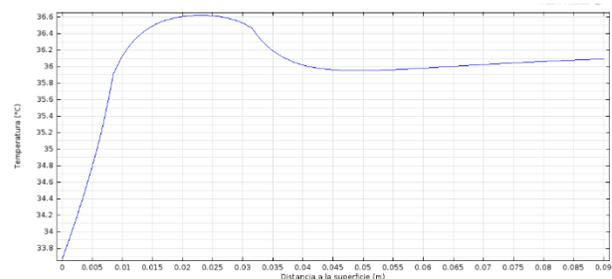


IMAGEN 3: Gráfica de temperaturas a lo largo de una línea que cruza el centro del tumor.

Pudiera resultar curioso el ver como hay un ligero aumento en la temperatura después de 5 cm de profundidad, esto es debido a que a esa profundidad deja de perder energía el tumor por el efecto de la convección y comienza a ganar energía por conducción de la pared del pecho.

En la imagen 4 se pueden apreciar las temperaturas resultantes para 3 distintas propiedades, se puede observar como la temperatura de la superficie incrementa conforme el tumor disminuye su profundidad, que el pico de temperaturas se mueve con el tumor y que si el tumor aumenta su profundidad la caída de temperatura después del este es menos pronunciada.

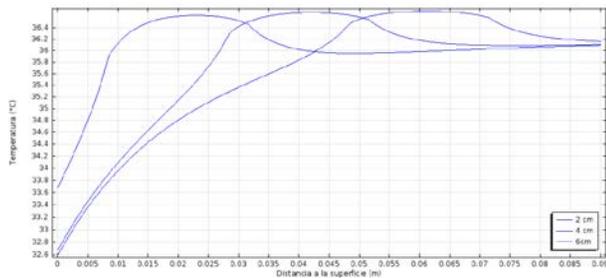


IMAGEN 4: Grafica de temperaturas a lo largo de una línea que cruza el centro del tumor a varias profundidades.

En la imagen 5 se puede observar lo que pasa si ahora lo que varía es el radio del tumor, como se puede observar hay una tendencia a incrementar la amplitud del pico, si tenemos un tumor más grande la temperatura aumenta con este. Sin embargo al final todas las temperaturas convergen al mismo valor.

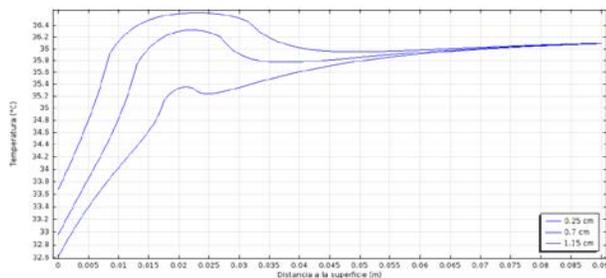


IMAGEN 5: Grafica de temperaturas a lo largo de una línea que cruza el centro del tumor para diferentes tamaños de tumor.

Ahora si se observa la imagen 6 se puede notar como el tamaño del pico depende de la actividad metabólica, a mayor actividad mayor temperatura tendrá el pico. De la misma manera si se observa la imagen 7 se puede observar como hay una dependencia marcada entre la perfusión y la temperatura máxima del tejido.

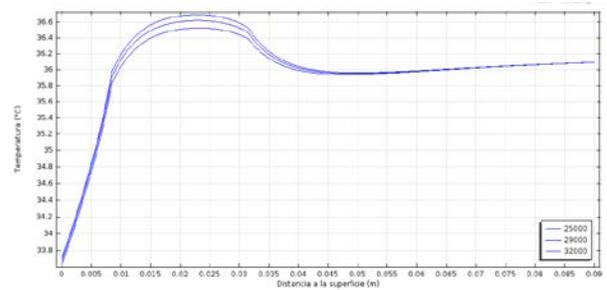


IMAGEN 6: Variación de la temperatura como función de la actividad metabólica.

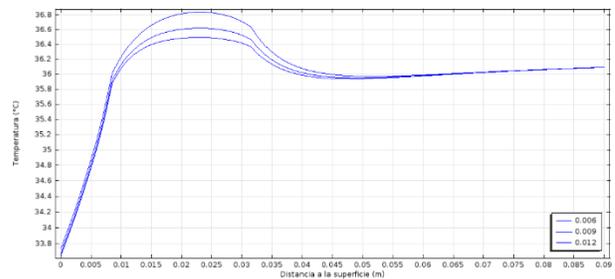


IMAGEN 7: Variación de la temperatura como función de la perfusión.

## CONCLUSIONES

Los picos de temperaturas en la superficie del seno causados por una lesión cancerosa tienen una alta dependencia de las propiedades del tumor así como de su localización geométrica. Los resultados de este estudio podrían servir como una base de datos con la que comparar mediciones a pacientes con cáncer y con un correcto método resolver el problema inverso de transferencia y sentar las bases para desarrollar una alternativa de diagnóstico no invasivo.

## AGRADECIMIENTOS

Los agradecimientos son para el PhD. Abel Hernández Guerrero por los esfuerzos realizados en mi formación, al Doctor José Manuel Luna por su apoyo y al grupo de investigación del que estoy orgulloso de formar parte.

## REFERENCIAS

- [1] F.J. Gonzalez (2007). Thermal simulation of breast tumor, Revista Mexicana de Física, 53 (4) 323–326
- [2] M. Gautherie. Ann. N.Y. Acad. Sci. (1980) 335, 383.
- [3] P. Vaupel, F. Kallinowski, and P. Okunie\_. (1989) Cancer Res. 49, 6449