

Proyecto Final: ¿Cómo te gustarían tus huevos?

Ángel Michel Martínez Méndez* and María Jaqueline Pérez Mota

*Física Computacional, Departamento de Física,
Facultad de Ciencias (FC),
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM),
Av. Universidad 3000,
Circuito Exterior S/N. Delegación Coyoacán, C.P. 04510,
Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México.*
(Dated: July 4, 2023)

La cocción de huevo duro implica un fenómeno físico de transferencia de calor en 3D, en el cuál se debe considerar condiciones de interfaz, e iniciales, así como propiedades intrínsecas de cada estructura involucrada, en este trabajo se presenta la simulación de la cocción de huevo 2D, tomándolo como un medio con diferentes capas por medio de la discretización espacial centrada y la discretización espacial adelantada. Obteniendo como resultado que un huevo tarda al rededor de 20 minutos para cocerse en agua hirviendo.

PACS numbers:

I. OBJETIVOS

1. Modelar un huevo considerando como estructuras yema, clara y cascara con diferentes propiedades.
2. Colocar el huevo dentro de un recipiente caliente, con una sustancia (considerando su coeficiente de difusión).
3. Discretizar la Ecuación Diferencial Parcial
4. Considerar las condiciones de contorno y las inhomogeneidades de la difusión térmica y de frontera.
5. Obtener los gráficos de conductividad térmica.

II. INTRODUCCIÓN

Deléitese con una actividad física increíblemente entretenida, como cocinar un huevo. Imagina que tienes que cocinar un huevo que nunca has visto antes en un entorno que apenas conoces, como la cocina de tus amigos. Esto puede ser una tarea desalentadora si quieres que este huevo se cocine a la perfección. Afortunadamente, la física nos puede ayudar precisamente en tiempos difíciles como ese. Puedes analizar tu problema, estimar los parámetros de tus ecuaciones y resolverlos numéricamente, impresionar a tu amigo y asegurarte una comida sabrosa, todo sin siquiera acercarte a la cocina.[1]

En este proyecto, resolverá las ecuaciones de transferencia de calor, simulando cocinar un huevo. Deberá considerar condiciones de contorno apropiadas, parámetros de difusividad térmica y sus inhomogeneidades en el diseño de su modelo. Elegirá un método de solución para el problema y discutirá la estabilidad, precisión y velocidad del algoritmo elegido.[1]

Ecuación de Calor

Al cocinar algún alimento, existe un fenómeno físico para explicar el proceso, ya que implica la transferencia de calor, por lo cual el objeto de estudio corresponde a la ecuación diferencial parcial de la transferencia de calor en tres dimensiones.

El desarrollo de los estudios de los principios básicos físicos que rigen el comportamiento de la materia con respecto a la energía, dio origen al concepto de calor el cual hace referencia al flujo de la energía en un sistema; lo que da lugar a la interacción entre el sistema y sus alrededores debido a una diferencia de temperatura.

Este intercambio de energía (medido en [J]) fluye a través de una barrera termodinámica por lo que la transferencia de calor Q , es la tasa a la cual esta energía se mueve a través de la barrera.[2]

La experiencia ha demostrado que cuando existe un gradiente de temperatura en un cuerpo, hay una transferencia de energía de la región de alta temperatura a la de baja temperatura. Decimos que la energía es transferida por conducción y que la rapidez de transferencia de energía por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura[2]:

La forma general de la ecuación de Fourier es:

$$c_p \rho \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla T \quad (1)$$

donde $\Delta T = \sum_{i=1}^n \frac{\partial^2}{\partial x_i^2}$, c_p , ρ y k son constantes que pueden cambiar según el material.

Donde para tres dimensiones se expresa como

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

De acuerdo a la (1) se debe realizar una discretización en el tiempo, y otra espacial. Por lo cual se presentaran de manera separada.

*Electronic address: miichmatz@ciencias.unam.mx

Discretización espacial

Por lo que se discretiza primero el lado derecho de la ecuación anterior, es decir, en el dominio del espacio. Para esto, escribimos los siguientes desarrollos de Taylor:

$$T_{m+1} = T(x_m + h) = T(x_m) + hT'(x_m) + \frac{h^2}{2}T''(x_m) + O(h^3) \quad (3)$$

$$T_{m-1} = T(x_m - h) = T(x_m) - hT'(x_m) + \frac{h^2}{2}T''(x_m) + O(h^3) \quad (4)$$

Donde $m = 0, 1, 2, \dots$ corresponde al paso en el espacio y h el incremento en la dirección correspondiente.

Al sumar las ecuaciones (2) y (3), obtenemos un desarrollo de la segunda derivada en el punto x_m :

$$T''(x_m) = \frac{T_{m+1} + 2T_m + T_{m-1}}{h^2} + O(h^2) \quad (5)$$

Las mismas relaciones se obtienen para las variables y y z . Con la convención $T(x_m, y_m, z_m) = T[i][j][k]$, obtenemos:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = & \frac{T[i+1][j][k] + 2T[i][j][k] + T[i-1][j][k]}{h^2} \\ & + \frac{T[i][j+1][k] + 2T[i][j][k] + T[i][j-1][k]}{h^2} \\ & + \frac{T[i][j][k+1] + 2T[i][j][k] + T[i][j][k-1]}{h^2} \end{aligned}$$

Discretización temporal

Para la parte izquierda de la ecuación (2) se tiene:

$$\frac{\partial T(x_m, y_m, z_m, t_n)}{\partial t} = \frac{T(x_m, y_m, z_m, t_{n+1}) - T(x_m, y_m, z_m, t_n)}{\Delta t} \quad (6)$$

Donde $n = 0, 1, 2, \dots$ se refiere al número de paso en el tiempo.

$$\Rightarrow \frac{\partial T_n(x_m, y_m, z_m)}{\partial t} = \frac{T_{n+1}[i][j][k] - T_n[i][j][k]}{\Delta t} \quad (7)$$

Entonces de las ecuaciones (2), (6) y (7) se tiene que la ecuación de difusión de calor en tres dimensiones en forma discretizada se ve como:

$$\begin{aligned} T_{n+1}[i][j][k] = & T_n[i][j][k] + k\Delta t \left[\frac{T[i+1][j][k] + 2T[i][j][k] + T[i-1][j][k]}{h_x^2} \right. \\ & + \frac{T[i][j+1][k] + 2T[i][j][k] + T[i][j-1][k]}{h_y^2} \\ & \left. + \frac{T[i][j][k+1] + 2T[i][j][k] + T[i][j][k-1]}{h_z^2} \right] \end{aligned}$$

Criterio de convergencia

La convergencia vincula la solución exacta a la solución calculada numéricamente. Si tenemos $h_x = h_y = h_z = h$, el esquema explícito (8) se encuentra estable si:

$$\Delta t \leq \frac{h^2}{8k} \quad (8)$$

Esta condición de estabilidad nos da una estimación para la elección del paso de tiempo Δt . En el algoritmo, elegimos:

$$\Delta t = \frac{1}{8k} \min(h_x, h_y, h_z)^2 \quad (9)$$

Condiciones de interfaz

En ocasiones se tienen dos materiales diferentes que se encuentran conectados de alguna manera y que obedecen la ecuación 1. En estos casos es necesario considerar la continuidad de la propagación de calor en dichos materiales, por lo que en la interface debe ocurrir que[3]:

$$k_1 \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_1 = k_2 \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_2 \quad (10)$$

De acuerdo con *Aquihayquecitarel paperdeams*, una vez discretizada la ecuación 1, la condición discretizada para una pared entre dos materiales en una dimensión es [3]:

$$T_{i,m+1} = T_{i,m} + \frac{[(T_{i+1,m} - T_{i,m}) \frac{k_2}{\Delta x_2} + (T_{i-1,m} - T_{i,m}) \frac{k_1}{\Delta x_1}] 2\Delta t}{\Delta x_2 c_2 \rho_2 + \Delta x_1 c_1 \rho_1} \quad (11)$$

cuando x_i se encuentra en la interface, x_{i-1} se encuentra en el primer material, y x_{i+1} se encuentra en el segundo material. Esta ecuación se puede extender a más dimensiones de manera natural.

Características de un huevo

A simple vista un huevo puede parecer algo insignificante, sin embargo, tiene características específicas, tales como las medidas de cada uno de los componentes, La estructura del huevo esta formado por diversas capas: la cascara y sus distintas membranas, cámara de aire, la albumina (clara), la yema y el disco germinal.

La cascara del huevo además de darle una protección física, protege al embrión frente a microorganismos y controla la transpiración. Regula, la evaporación y es la fuente de carbonato cálcico para la formación de los huesos del polluelo, ya que, tanto la membrana que recubre la parte exterior de la cascara y la membrana que recubre la parte interior de la cascara contienen poros que permiten el intercambio de los gases. Además estas membranas dan protección de las bacterias en la albumina, impidiendo el paso de estas. [4]

Capa de aire es el vacío formado entre la albúmina (clara) y la cáscara en el extremo más ancho del huevo. Se empieza a formar una vez que se produce la contracción del contenido del huevo al enfriarse después de la puesta. En el caso de que el huevo sufriera un proceso de incubación, esta cámara se haría mayor debido a la evaporación y absorción de material por parte del embrión, es útil para su movilidad y le permite respirar al polluelo cuando rompe la membrana interior antes de eclosionar. [4]

Albumina (clara) se puede definir como el subministro de todo lo necesario para la formación y crecimiento del embrión. Contiene proteínas, minerales y vitaminas, esta exenta de lípidos. Dado que la albumina no es una masa uniforme, se pueden distinguir varias capas:

Capa media: Es viscosa y tiene una apariencia de gel blanquecino y es menos densa que la yema. Está adherida a ella a través de las ligaduras. **Capas interna y externa:** Estas capas claras son más finas que la capa media. Contienen una albúmina más fluida. [4]

Yema Esta formada del germen femenino. Consiste en una bolsa esférica rodeada de la membrana vitelina (sello claro que sostiene la yema). Su color puede ser más o menos amarillo dependiendo de la especie y de la dieta. Es una inmensa tienda de reservas de comida. No es la verdadera célula reproductiva, sino el material alimenticio a partir del cual la diminuta célula (blastodermo) y el embrión resultante se alimentan parcialmente para su crecimiento. Esta reserva de comida está compuesta de 50% de agua, 30% de lípidos (grasa) y 20 proteína. [4]

Disco Germinal es una mancha blanca pequeña, redonda, opaca, de 3 - 4 mm., de diámetro, situada en la superficie de la yema del huevo como si se tratase de una depresión sobre la misma. Es la entrada para la fertilización del huevo. [4]

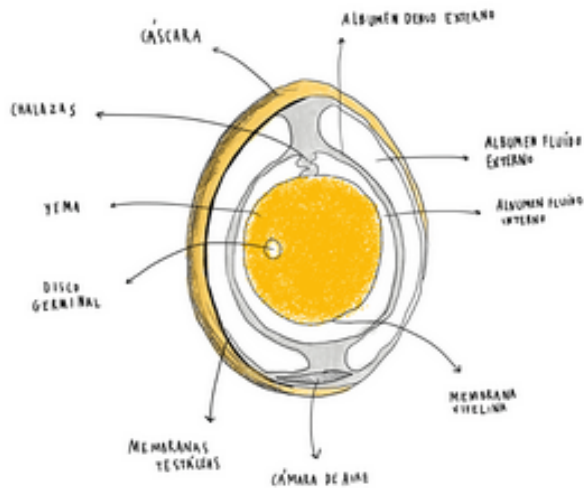


FIG. 1: Estructura de un huevo. [4]

Una vez que se conoce la estructura del huevo, es necesario conocer sus dimensiones, las cuales se presentan en la siguiente tabla.

Estructura	Medida $\pm SE (n^* = 548)$
Peso del huevo (g)	57.78 ± 0.20
Longitud del huevo (mm)	54.39 ± 0.11
Ancho del huevo (mm)	39.92 ± 0.07
Índice de forma (%)	73.53 ± 0.18
Superficie de huevo (cm^2)	69.90 ± 0.16
Peso de la carcasa (g)	6.00 ± 0.03
Espesor de la carcasa (mm)	0.32 ± 0.00
Proporción de Shell (%)	10.42 ± 0.06
Longitud de albúmina (mm)	92.37 ± 0.26
Ancho de albúmina (mm)	76.91 ± 0.24
Altura de la albúmina (mm)	8.41 ± 0.04
Peso de albúmina (g)	35.76 ± 0.15
Índice de albúmina (%)	9.98 ± 0.05
Proporción de albúmina (%)	61.92 ± 0.21
Unidad Haugh	92.00 ± 0.19
Longitud de la yema (mm)	45.98 ± 0.01
Ancho de la yema (mm)	44.72 ± 0.11
Diámetro de la yema (mm)	45.35 ± 0.09
Altura de la yema (mm)	18.22 ± 0.03
Peso de la yema (g)	16.17 ± 0.05
Índice de yema (%)	40.24 ± 0.10
Proporción de yema (%)	28.09 ± 0.10
Proporción de albumen de yema (%)	45.21 ± 0.11

TABLE I: Datos dimensionales de la estructura de un huevo de gallina. Donde n^* es el número total de huevo usados en el experimento. [5]

Hasta ahora solo se han mencionado propiedades dimensiones, sin embargo, existen otras como la densidad, calor específico, conductividad térmica, que determinan la cocción de un huevo. Para ciertas estructuras del huevo, estas propiedades son función de la temperatura, tal como se muestra en la siguiente tabla.

TABLE II: Características intrínsecas de cada fase del huevo, donde c_p = calor específico, ρ = densidad y K = conductividad térmica. [6]

Material	$c_p [Jg^{-1}K^{-1}]$	$\rho [gcm^{-3}]$	$k [Wcm^{-1}K^{-1}]$
Yema	2.7	1.032	0.0034
Clara	3.7	1.038	0.0054
Agua	4.18	1	0.58

Términos de un huevo

Al poner en cocción un huevo, este pasa por diferentes fases a las cuales le llamaremos términos, que hace referencia a la características del huevo a ciertas temperaturas.

Características del contenedor

Para obtener una buena cocción, el contenedor en el que se realice tendrá ciertas propiedades, que influirán en su esta,

TABLE III: Se explica la consistencia de la yema y la clara de un huevo a temperaturas en específico.[7]

Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]	Yema	Clara
Menor 55	Riesgo de Salmonella	
63	Líquido "goteante" con un "espesor" similar al del lavavajillas	Textura similar suave y gelatinosa (liquida)
70	Sigue goteando, pero el líquido empieza a espesarse	Establecer como un gel suave - textura similar a la gelatina (casi cajuada)
73	Textura de gel suave, como un shampoo espeso	Endurecimiento de la clara, textura de frutos rojos
77	Duro hervido todavía suave, pero la textura sólida como de yogurth	La clara continúa endureciéndose
80	Inicio de decoloración verde alrededor del borde de la yema	
90	Yema completamente seca, sólido desmenuzable	La clara esta dura y cocida, textura de esponja

dado que esto alterara la conductividad térmica al agua y por consiguiente al huevo. A continuación se muestra unas tablas con las propiedades del contenedor que se utilizó durante el modelo.

TABLE IV: Dimensiones de un contenedor

Medidas del contenedor	
h	9 cm
r	9 cm
R	9.5 cm

TABLE V: Propiedades intrínsecas del aluminio

Características	
ρ [gcm^{-3}]	7.85
c_p [$\text{Jg}^{-1}\text{K}^{-1}$]	0.5
k [$\text{Wcm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	0.82

III. MODELO

Morfología del huevo

Dos Dimensiones

Para resolver la ecuación de difusión es importante conocer la distribución del material en el espacio sobre el cual el calor se distribuirá. Una primera aproximación de un huevo en dos dimensiones es simplemente una elipse cuyos ejes son del tamaño del diámetro y altura del huevito, y el centro de

esta un círculo a manera de yema.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{h^2} = 1 \quad (12)$$

donde h es la altura del huevo y a el ancho de su parte mas gordita.

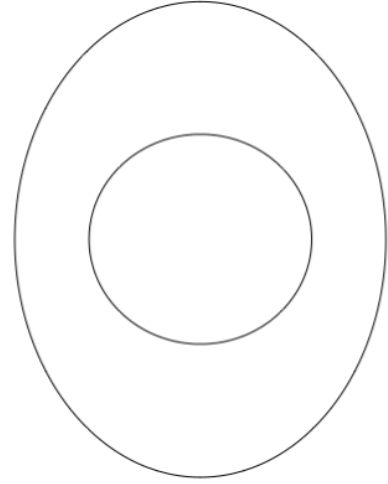


FIG. 2: Modelo elíptico del huevo

Sin embargo, es posible encontrar la cáscara del huevo si se modifica la ecuación de la elipse un poco. Si el eje mayor de la elipse está orientado sobre el eje y y uno puede multiplicar x^2 por un parámetro $t(y)$ que depende de la otra variable, de esta manera x se apachurra. Así, uno incluso puede modelar con una elipse degenerada la pequeña región con aire. Usando el parámetro $t(y) = e^{0.2y}$, podemos modelar la cáscara del huevo con las siguientes ecuaciones

$$\frac{x^2}{a_m^2} e^{0.2y} + \frac{y^2}{h_m^2} = 1, \quad (13)$$

$$\frac{x^2}{a_m^2} e^{0.2y} + \frac{y^2}{h_m^2} = 1, \quad (14)$$

$$(15)$$

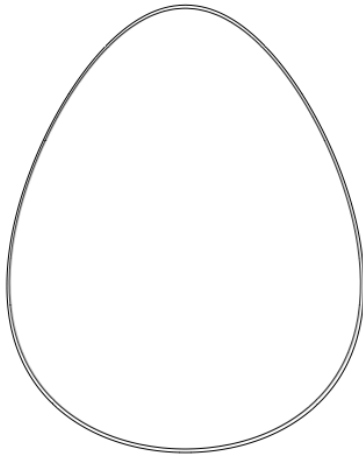


FIG. 3: Reparametrización de la cáscara con los datos de la Tabla I

dónde h_M y h_m son la altura exterior e interior de la cáscara, siendo su diferencia el grosor de esta. Análogamente para a_m y a_M . Así mismo el contenido del huevo puede ser modelado con las ecuaciones

$$\frac{x^2}{a_b^2} e^{0.09y} + \frac{[y + (h_c - a)]^2}{h_b^2} = 1 \quad (16)$$

$$x^2 + y^2 = r_y^2 \quad (17)$$

donde las razones entre las dimensiones de la burbuja y la cáscara son $h_c/h_b = 1/9$, $a_c/a_b = 9/20$, y a es un parámetro para desplazar la burbuja de aire con respecto del centro geométrico del huevo.

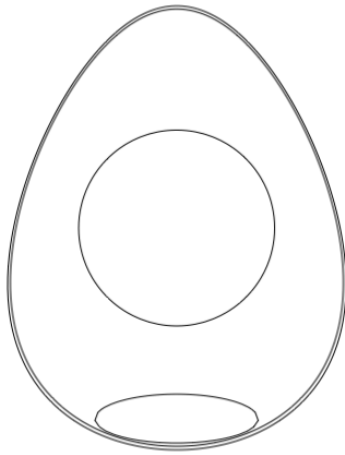


FIG. 4: Modelo del huevo completo

Tres Dimensiones

Usando el mismo principio expuesto para dos dimensiones, fácilmente se puede obtener una parametrización en tres di-

mensiones. Con las siguientes ecuaciones:

$$\frac{x^2}{a_M^2} e^{0.2z} + \frac{y^2}{a_M^2} e^{0.2z} + \frac{z^2}{h_M^2} = 1 \quad (18)$$

$$\frac{x^2}{a_m^2} e^{0.2z} + \frac{y^2}{a_m^2} e^{0.2z} + \frac{z^2}{h_m^2} = 1 \quad (19)$$

$$\frac{x^2}{a_b^2} e^{0.2z} + \frac{y^2}{a_b^2} e^{0.2z} + \frac{[z + (h_c - a)]^2}{h_b^2} = 1 \quad (20)$$

$$x^2 + y^2 + z^2 = r_y^2 \quad (21)$$

se pueden obtener las siguientes superficies

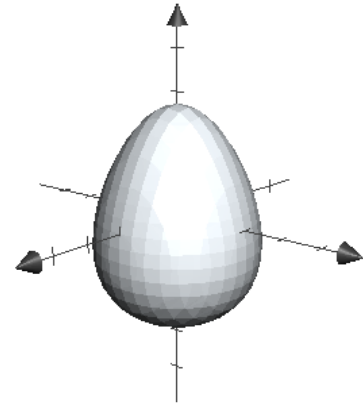


FIG. 5: Huevo tridimensional

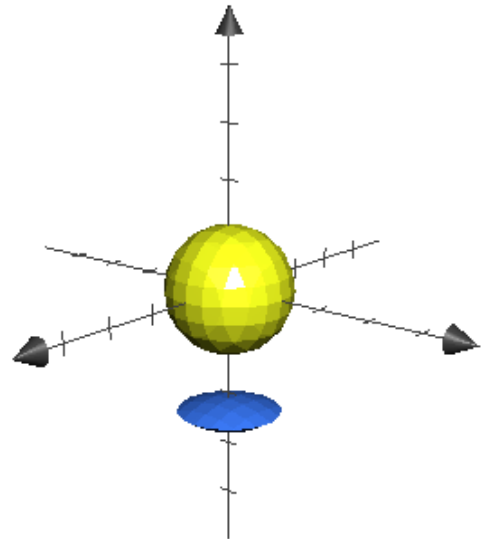


FIG. 6: Yema y cámara de aire tridimensional

Baño María con agua a 100 (2D y 3D)

En esta sección simulamos como se propaga el calor en el huevo cuando se introduce en agua que está inicialmente hirviendo haciendo uso de las parametrizaciones expuestas en la sección anterior.

Todo el proceso en dos dimensiones

La idea aquí es simular todo el proceso de la difusión de calor cuando el huevo se encuentra en un contenedor con agua. Es decir, inicialmente el contenedor, el agua y el huevo se encuentran en equilibrio térmico y el contenedor se expone en su base a una fuente de calor fija para todos los tiempos.

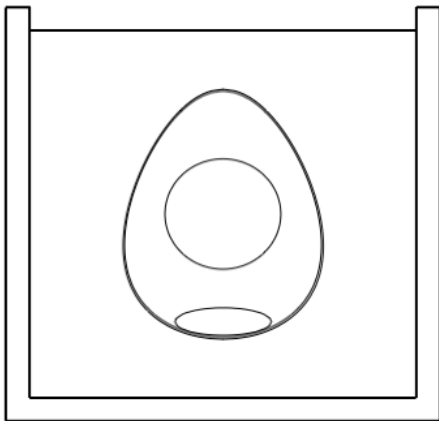


FIG. 7: Modelo en dos dimensiones del huevo en un contenedor con agua

IV. DETALLES DE LA SIMULACIÓN

Morfología del huevo

Básicamente discretizamos las coordenadas espaciales en pasos Δr e hicimos un ciclo *for* en cada una de ellas utilizando las ecuaciones expuestas en la sección anterior, así como las dimensiones del huevo de la Tabla I.

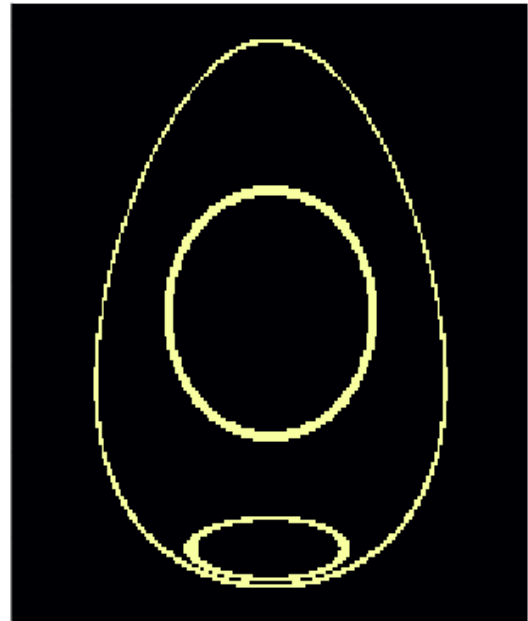


FIG. 8: Simulación de las regiones del huevo

Es importante dejar claro que en las simulaciones no se consideró una dependencia de la densidad y la conductividad térmica en la temperatura para los materiales, ya que en general, esto ocurre así.

Baño María

2D

Para este caso consideramos la difusión de calor en una porción de espacio en la que se encuentra el huevo de 6cm^2 durante un tiempo de 20 minutos. Se hizo una malla en el espacio con paso $\Delta r = 0.28$ para discretizar el espacio en el que se realizó la simulación y la parte temporal con paso $\Delta t = 0.24$, dando lugar a 4800 matrices de 150×150 en donde se guardó la temperatura para cada tiempo. Por otro lado, restringimos el método para la región que se encuentra dentro de el huevo, poniendo una fuente de calor de 100 grados celsius en la frontera de este, puesto que está en contacto con el agua hirviendo. Aplicamos las condiciones de interface para los puntos que se encuentran en agua-clara y yema-clara.

La temperatura del huevo inicialmente se encontraba 10 grados celsius.

Es importante mencionar que no fue posible simular tanto el cascarón como la burbuja de aire. En el primer caso es por que debido al espesor del cascarón y su conductividad térmica, el paso en el tiempo tendría que ser del orden de 10^{-4} para que el método sea estable, lo cual nuestras computadoras no eran capaces de resolver. De igual manera para la burbuja de aire debido a su baja densidad.

3D

La programación del código fue completamente análogo a este, solo que en este caso se pretendía simular 6 minutos de la difusión del calor con paso $\Delta t = 0.3$ y paso $\Delta r = 0.209$. Esto daría origen a 100 matrices de 100×100 para describir la distribución de calor en el espacio, y a su vez, 1200 de estas para cada tiempo. Nuestra computadora no pudo ni si quiera generar estas matrices.

Todo el proceso

Este modelo era sin duda el más interesante, ya que ahora se consideran las interfaces entre el aluminio y el agua, es decir, tenían 4 medios diferentes, donde además se aplican condiciones de frontera reflejantes en las paredes exteriores del aluminio y absorbentes en la parte superior del contenedor como muestra la figura 6, pues ahí hay aire. El problema de este modelo fue que para simular 10 segundos apenas de la difusión de calor se necesitaron al menos 16500 iteraciones en el tiempo, puesto que debido a las propiedades calóricas del aluminio, el parámetro de estabilidad fue del orden de 10^{-4} al menos.



FIG. 9: Simulación de las regiones.

V. RESULTADOS

2D

Usando la metodología explicada en la sección anterior se obtuvieron las siguientes gráficas de distribución del calor en la región para diferentes tiempos.

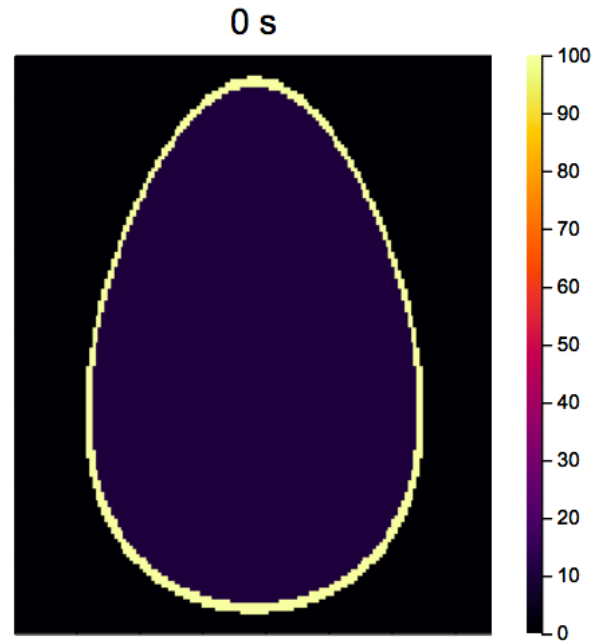


FIG. 10: Simulación de la cocción de un huevo en agua hirviendo $t=0$ s

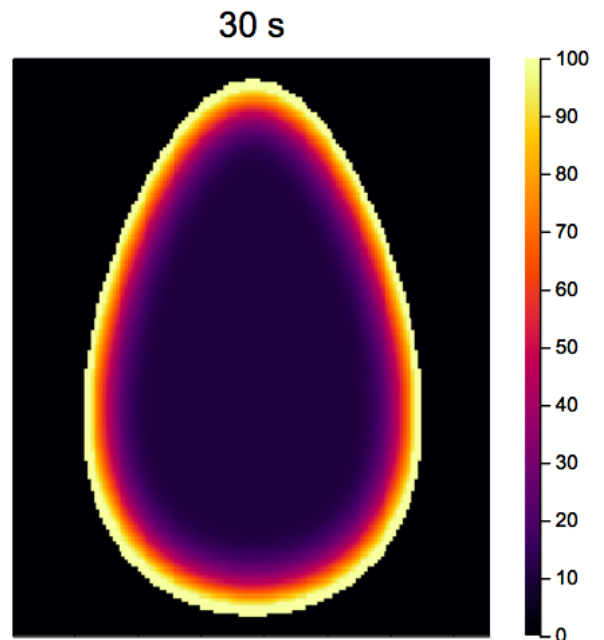


FIG. 11: Simulación de la cocción de un huevo en agua hirviendo $t=30$ s

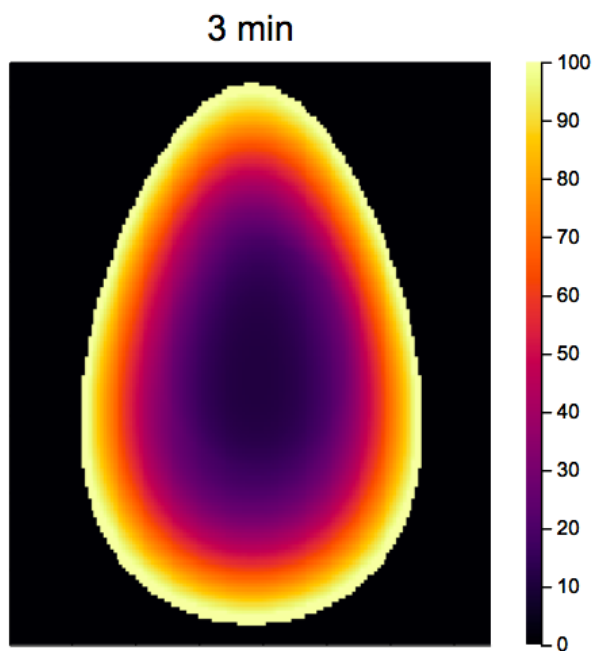


FIG. 12: Simulación de la cocción de un huevo en agua hirviendo $t=3$ min

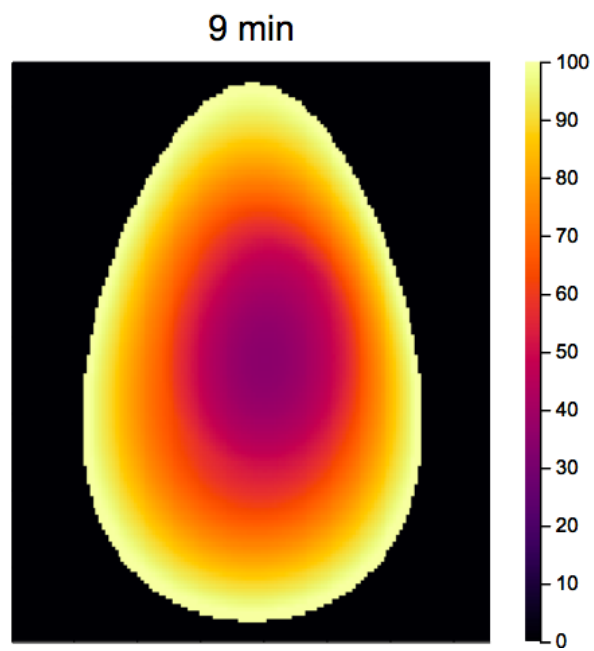


FIG. 14: Simulación de la cocción de un huevo en agua hirviendo $t=9$ min

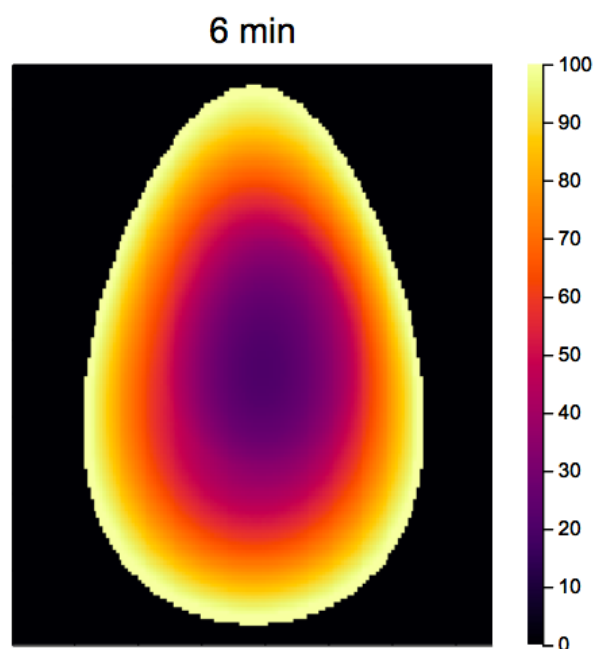


FIG. 13: Simulación de la cocción de un huevo en agua hirviendo $t=6$ min

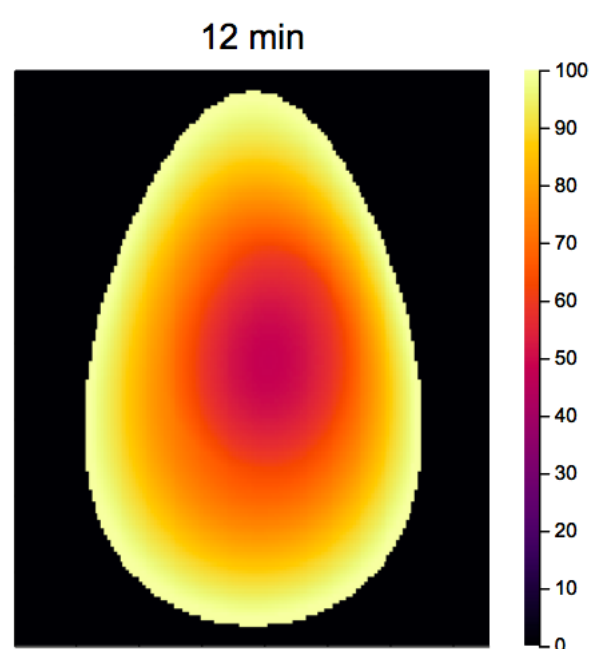


FIG. 15: Simulación de la cocción de un huevo en agua hirviendo $t=12$ min

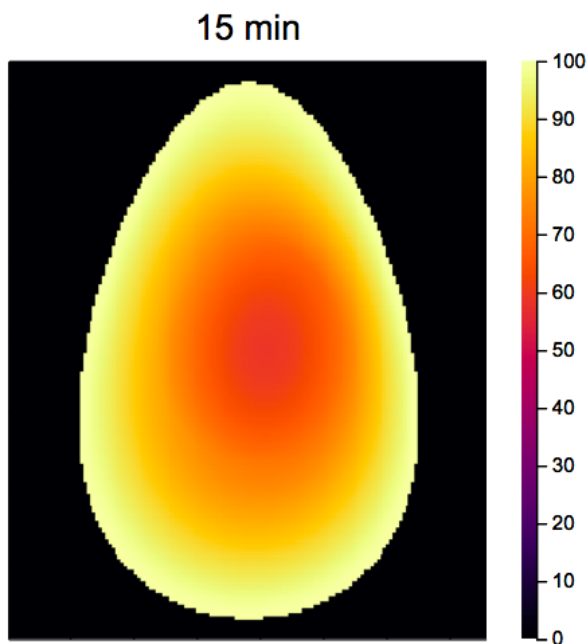


FIG. 16: Simulación de la cocción de un huevo en agua hirviendo $t=15$ min

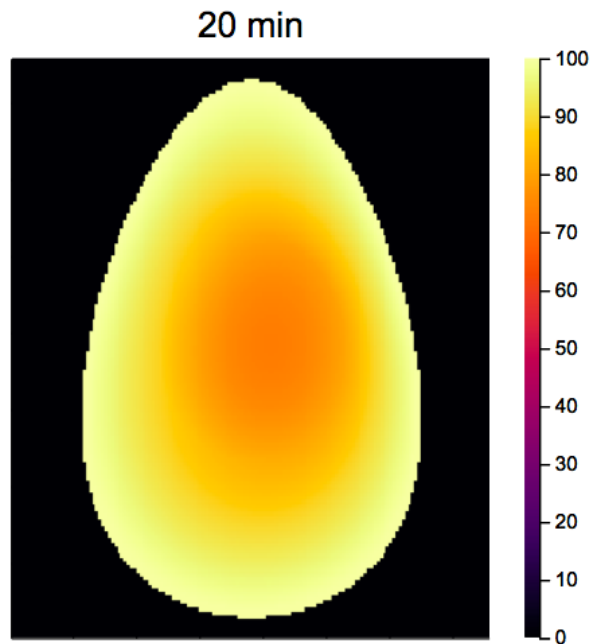


FIG. 18: Simulación de la cocción de un huevo en agua hirviendo $t=30$ min

Todo completo en 2D

Desafortunadamente solo pudimos correr hasta 10 segundos en este modelo (17500 matrices de 100×100). El resultado fue este

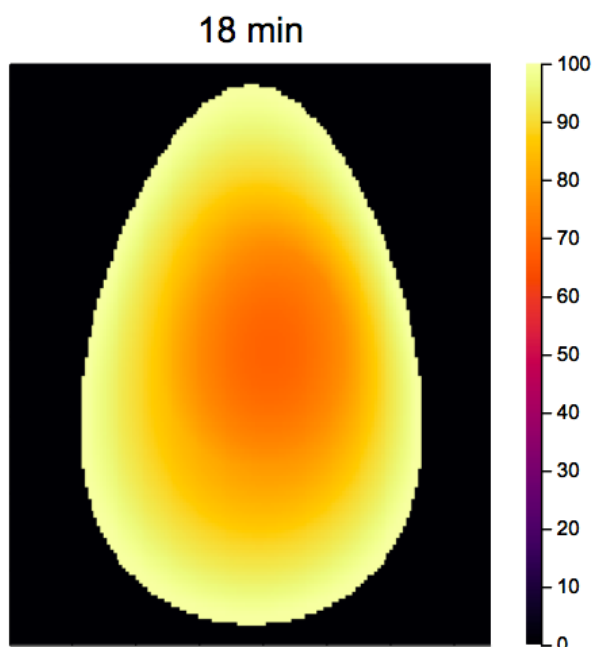


FIG. 17: Simulación de la cocción de un huevo en agua hirviendo $t=18$ min

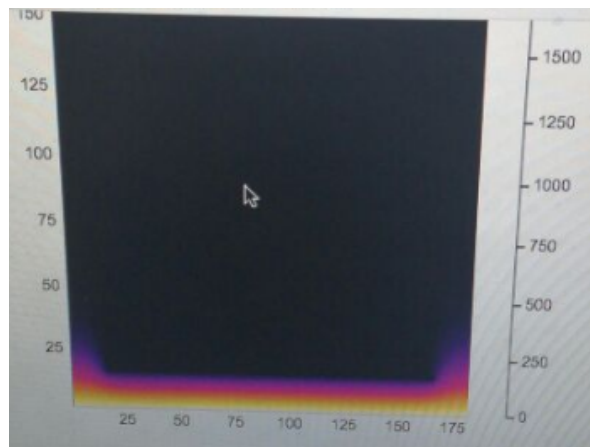


FIG. 19: Simulación de la cocción de un huevo en agua a temperatura ambiente y $t=10$ s

VI. COMPARACIÓN CON RESULTADOS EXPERIMENTALES Y ANALÍTICOS

Con la simulación realizada en 2 dimensiones, se encontró que al dejar caer un huevo con una temperatura inicial de 10 grados celsius en agua hirviendo, se encontró esta relación

entre la temperatura del centro de la yema y el tiempo.

TABLE VI: Add caption

T [$^{\circ}$ C]	t [min]
63	15
70	18
73	18.3
77	18.8
80	19.1
90	20

VII. CONCLUSIONES

Los modelos numéricos de la difusión de calor en sistemas tan complejos como el de un huevo dentro de un contene-

dor en agua sometido a una fuente de calor constante son sumamente demandantes computacionalmente. No obstante, es posible obtener algunas simulaciones bajo ciertas restricciones del sistema como la ausencia de interfaces.

VIII. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo corresponde al proyecto final del curso de Física Computacional a cargo de David Philip Sanders y Ricardo Atahualpa Solórzano Kraemer de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, semestre 2018-1, .Es a ellos, y los ayudantes de clase Alan Rodrigo Mendoza Sosa e Ilya Orson Sandoval Cárdenas, a quienes agradecemos, por no subestimar nuestras capacidades y confiar ciegamente en lo que podríamos realizar.

-
- [1] *Computational physics*, <http://home.thep.lu.se/~tobias/FYTN03/Projects.html>, 15-01-18.
 - [2] J. P. Holman, *HEAT TRANSFER* (McGRAW HILL BOOK COMPANY, INC., 1999).
 - [3] M. Ascher, Douglas Aircraft Company **001**, 1 (-).
 - [4] G. J. y Linda R.Harrison, *Avian Medicine: principles and appli-*

- cation*. (Unabridged Edition, 2006).
- [5] B. K. M. Pradeepta Kumar Rath, Prasanna Kumar Mishra and N. C. Behura, *Veterinary World* **001**, 1 (2015).
- [6] O. P. S. S. L. Polley and P. Kotnour, - **001**, (-).
- [7] P. Barham, *The Science of Cooking* (Springer, 2001).