

# LA PROPAGACIÓN DEL CALOR EN LOS SERES VIVOS

Jorge Sztrajman

UNIVERSIDAD  
DE BUENOS AIRES  
Ciclo Básico Común  
Departamento de  
Físicomatemática

La forma de un cuerpo, es decir, la relación que existe entre su superficie y su volumen, condiciona muchos procesos físicos y químicos de intercambio con el ambiente externo, entre ellos, la propagación del calor y la difusión de sustancias. Analizamos aquí el aporte que puede brindar a la comprensión de estos procesos, una propuesta didáctica no convencional, basada en un modelo bidimensional que emplea métodos numéricos sencillos.

Elsa Meinardy Agustín Adúriz  
Bravo

UNIVERSIDAD  
DE BUENOS AIRES  
Facultad de Ciencias  
Exactas y Naturales  
Centro de Formación e  
Investigación en Enseñanza  
de las Ciencias

## INTRODUCCIÓN

El concepto de calor y su relación con el cambio de temperatura de los cuerpos es uno de los más difíciles de adquirir. En un trabajo anterior (Sztrajman y Rela, 1991) se propuso una actividad que permite comprender la transferencia de calor en una barra de una manera sencilla.

En este trabajo, se analiza una modificación posterior de esa propuesta didáctica, adecuada al área de Ciencias Naturales. Los ejes para el análisis han sido:

1. El uso de metodologías *no convencionales* como instrumento para lograr mayores niveles de motivación, participación y compromiso por parte de los alumnos.
2. La discusión sobre el concepto de *modelización* y sus implicaciones.
3. La implementación de *métodos numéricos* como “primera aproximación” para el trabajo de algunas temáticas de Ciencias Naturales.

Presentaremos a continuación un resumen de la propuesta, a la que anteriormente llamamos el *Juego del Calor* (Meinardi, Sztrajman y Rela, 1996). Luego revisaremos los aportes que la misma realiza en cada uno de los tres ejes teóricos esbozados más arriba. Por último, plantearemos algunas reflexiones que pueden ayudar a su inclusión en el aula.

## EL JUEGO DEL CALOR

Se propone para el aula y, bajo la forma de un juego, una simulación dinámica con un modelo biofísico sencillo: un animal de sangre fría (poiquiloterma) expuesto al Sol, con una temperatura inicial de 40°C y que, al trasladarse a otro ambiente (por ejemplo, el agua), queda rodeado por un medio que se mantiene a una temperatura constante de, por ejemplo, 0°C.

El animal se modela como una figura plana, rectangular y homogénea, en la que el intercambio térmico con el ambiente ocurre principalmente por conducción (es decir que su evolución térmica responde a la ecuación de Fourier (Resnick y Halliday, 1984)). Además, se considera al animal formado por porciones discretas que, en la simulación, estarán representadas por alumnos

dispuestos en un arreglo geométrico. Como ejemplo, se podría reunir un grupo de 16 alumnos (provistos de papel y lápiz) sentados en un cuadrado de 4 alumnos por lado. Las temperaturas iniciales serán las que se muestran en el si-

	0	0	0	0	
0	40	40	40	40	0
0	40	40	40	40	0
0	40	40	40	40	0
0	40	40	40	40	0
	0	0	0	0	

Figura 1

*Inicialmente, todos los participantes tienen 40°C. Los ceros representan la temperatura del ambiente que rodea al animal.*

Las temperaturas de 0°C, correspondientes al ambiente, se pueden representar por trozos de papel en los que se escriben dichos valores, ubicados en el suelo alrededor de los alumnos.

Cuando el docente da la señal, cada uno de los participantes le pregunta la temperatura a sus cuatro vecinos (los que tiene atrás, adelante, a la izquierda y a la derecha). Con los cuatro valores averiguados realiza el promedio (suma y divide por cuatro) y adopta ese valor como su nueva temperatura. Los participantes ubicados en los bordes tendrán que promediar también cuatro valores: los de sus vecinos y las temperaturas del ambiente al que se hallan expuestos. Una vez completados los promedios, la distribución de tem-

	0	0	0	0	
0	20	30	30	20	0
0	30	40	40	30	0
0	30	40	40	30	0
0	20	30	30	20	0
	0	0	0	0	

Figura 2

*Resultado de la primera ronda. Se considera que el ambiente permanece a una temperatura constante de 0°C.*

Puesto que el objetivo principal de la simulación no es la exactitud de los cálculos, conviene sugerir que los promedios se redondeen a números enteros, una vez en exceso y otra en defecto, o al azar.

Si el procedimiento es repetido varias veces, las temperaturas evolucionarán y mostrarán claramente la diferencia entre quienes están ubicados en las puntas, en los bordes y en el centro del arreglo. La ronda 7 presentará el siguiente aspecto:

	0	0	0	0	
0	5	8	8	5	0
0	8	12	12	8	0
0	8	12	12	8	0
0	5	8	8	5	0
	0	0	0	0	

Figura 3

*Después de realizado 7 veces el procedimiento, se notan claras diferencias en la distribución de las temperaturas del cuerpo.*

Como variante, se pueden considerar disposiciones alargadas que representen, por ejemplo, la cola del animal. Una disposición de 8 x 2 para 16 alumnos, que comience en 40°C, mostrará una disminución de temperaturas mayor que la distribución cuadrada anterior:

Figura 4

Si en la disposición alargada las temperaturas iniciales son de 40°C (a), en la ronda 7 (b) las temperaturas de los participantes, que representan las diferentes partes del cuerpo, no superan los 5°C.

	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	40	40	40	40	40	40	40	40	0
0	40	40	40	40	40	40	40	40	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	

	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	2	4	5	5	5	5	4	2	0
0	2	4	5	5	5	5	4	2	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	

## METODOLOGÍAS NO CONVENCIONALES: LOS ALUMNOS COMO SIMULACIÓN DINÁMICA Y COMO ELEMENTOS DE UNA COMPUTADORA

En un trabajo anterior (Ádam y Sztrajman, 1992) se llamó *métodos no convencionales* a recursos didácticos de muy diferente concepción, poco utilizados y con la capacidad potencial de aumentar los niveles de interés de los alumnos hacia las temáticas de las Ciencias Naturales.

La simulación dinámica propuesta se enmarca en este tipo de metodologías didácticas. Por un lado, constituye una instancia de concreción del modelo abstracto que se desea trabajar, en la cual los alumnos participan como *elementos de masa del cuerpo del animal*, y llevan registro de "su propia temperatura", que es la de la parte del cuerpo que ellos representan. Por otro lado, en la resolución de la ecuación que muestra la evolución de la temperatura en distintos instantes (la iteración del método numérico propiamente dicho), los alumnos participan a modo de *elementos de operación* (calculan) y de *memoria* (almacenan) de una computadora.

La dramatización convoca a los alumnos activamente, a la vez que sirve de instancia de *visualización del comportamiento de un sistema biofísico en el tiempo*, lo que torna más significativo el trabajo con el modelo.

## NOTAS ALREDEDOR DEL CONCEPTO DE MODELIZACIÓN

En presentaciones descuidadas del concepto de *modelización científica* y su aplicación al aula, suelen aparecer sólo dos niveles de trabajo esquemáticos: realidad *versus* modelo, funcionando este último término como un sinónimo (apenas más elaborado) de "maqueta".

Para enriquecer el trabajo con el concepto de modelo, y remitirlo a un contexto epistemológico más amplio que el de los contenidos trabajados en cada caso en particular, resulta útil recurrir a la distinción entre modelos cien-

tíficos y modelos didácticos (Adúriz Bravo y Galagovsky, 1997).

Así, podemos hablar en este caso de la *modelización científica* propiamente dicha, en la cual el *sistema* (un animal) se convierte en el *modelo* (plano homogéneo con propagación lineal del calor); y la *modelización didáctica*, por la cual el modelo biofísico sencillo se transforma en una simulación o “maqueta viviente”. En el camino también se producen diversas re-representaciones: el modelo original, formado por elementos de masa diferenciales que responden a la ecuación de Fourier, es transformado en un modelo didáctico en el cual los elementos de masa son discretos y las ecuaciones diferenciales son aproximadas por ecuaciones en diferencias finitas (de la manera en que resolvería el problema una computadora). Finalmente, todos estos elementos se integran en un algoritmo computacional sencillo que permite almacenar datos de la temperatura en las distintas partes del cuerpo, instante a instante.

Existen distintos órdenes de representación, involucrados en esta estrategia de modelización relativamente sencilla: el trabajo *metacognitivo* explícito sobre las transposiciones que operan entre unos y otros es el que justifica su utilización en el aula, a la vez que permite remitir el ejemplo al concepto supraordenado de *modelización*.

### **Los alumnos aprenden a construir modelos construyéndolos y reflexionando sobre ellos.**

Es de destacar que, por un lado, la representación de un animal real como una figura plana y homogénea que responde, a los fines de la propagación del calor, a la ecuación lineal de Fourier, constituye en sí misma un ejemplo, aunque rudimentario, de modelo biofísico. Por otro lado, la transformación de este modelo en una simulación dinámica constituida por elementos de masa discretos y resuelta en diferencias finitas, constituye una nueva instancia de representación: se ha pasado a un modelo de segundo orden (modelo del modelo) que, en este caso, obedece a finalidades didácticas (entre otras, facilitar la visualización de la evolución temporal del sistema).

La distancia representacional entre la realidad del animal y el modelo aquí propuesto es un ejemplo válido de la operación de *simplificación*. Para responder a una pregunta sencilla (¿qué partes de un animal se enfriarán más rápido?), se construye un heurístico que mantiene los *caracteres relevantes para la solución del problema* y desestima la incidencia de los demás factores.

Por otra parte, la distancia entre el modelo científico inicial y su simulación es una segunda representación, y funciona como instancia de *aproximación*, para facilitar el tratamiento numérico de la evolución temporal del modelo.

Mientras que la *simplificación* involucra una transformación conceptual que reduce el número de variables y la complejidad de sus relaciones en el pasaje desde el sistema hacia el modelo, la *aproximación* es una transformación operacional que permite hacer más sencillo el tratamiento formal (cuantitativo) del modelo construido.

La adecuada distinción de estas dos instancias logra mantener claramente separadas las suposiciones biológicas, físicas y matemáticas que fueron puestas en juego en la construcción del heurístico y, consecuentemente, facilitar la revisión de las mismas en caso de que este último resulte insuficiente.

## **VALOR DE LOS MÉTODOS NUMÉRICOS**

El uso de un método numérico en la simulación dinámica de un animal de sangre fría tiene, a nuestro entender, dos valores intrínsecos diferenciados,

que bien se podrían trasladar a la aplicación de métodos similares en diversidad de situaciones de enseñanza:

### 5.1. Los métodos numéricos permiten analogar la visualización de la resolución con la evolución del sistema

En el pasaje del modelo biofísico a la simulación dinámica se realizaron dos aproximaciones principales: se supuso al sistema formado por un número finito de elementos discretos, y se trabajó con la evolución temporal de la temperatura iterando sobre incrementos finitos. Al dramatizar esta simulación con la clase, cada alumno quedó implicado simultáneamente en dos tareas: primero, representó un elemento de masa del cuerpo que, poco rigurosamente, se pudo asimilar a una parte anatómica constituyente (pata, oreja, cola); segundo, representó un elemento de memoria y de cálculo de un ordenador en la iteración del algoritmo de resolución.

Esta doble representación permitió una relativa rapidez en la distribución de la información de las temperaturas de cada parte, con lo que la clase constituyó una verdadera "visualización" del animal en su evolución temporal. Así, el recurso de la "dramatización" queda justificado en la medida en que permite vivenciar el significado físico de la solución del problema.

### 5.2. Los métodos numéricos permiten conectar más fácilmente la formalización del modelo con la realidad empírica

Buzzo Garrao (1992) afirma que la introducción de los métodos numéricos como estrategias de tratamiento aproximado del comportamiento de un sistema físico, tradicionalmente *han sido posteriores al tratamiento analítico riguroso por medio del aparataje de las ecuaciones diferenciales* y que, aunque esta postura puede tener sustento epistemológico, es didácticamente cuestionable. Garrao opina que la presentación de las soluciones en el orden inverso contribuye a una mayor significatividad en la comprensión de un modelo.

Es razonable pensar que la obtención de la solución por medio de un algoritmo, que relaciona la temperatura en un cierto instante y en un punto dado con las temperaturas de los puntos vecinos en el instante anterior, de una manera aritméticamente sencilla, permite un pasaje accesible hacia su formalización diferencial. Es de destacar que el tratamiento numérico *no transiciona en ningún momento el comportamiento biofísico del problema* a su versión analítica, puesto que no se produce una nueva *simplificación* las suposiciones físicas y biológicas involucradas permanecen intactas en la *aproximación*.

## CONCLUSIONES

La propagación del calor y la difusión de sustancias se ven fuertemente afectadas por la relación que existe entre la superficie de un cuerpo y su volumen. A pesar de haber trabajado con un modelo bidimensional, la simulación muestra la importancia de la relación superficie-volumen respecto de la propagación del calor; por otro lado, las mismas consideraciones podrían ser hechas para la difusión, ya que las ecuaciones que describen ambos procesos físicos son las mismas. Por otro lado, su abordaje clásico es muy difícil, lo que torna casi imposible la aproximación didáctica.

Respecto de la capacidad del modelo de describir el comportamiento de la realidad, pensamos que aun tratándose de un animal de sangre caliente (homeotermo), cuya temperatura interna es independiente de la exterior, es sabido que las regiones del cuerpo más expuestas, como las orejas o la cola, se enfrían más rápido. De allí, la importancia de que, a lo largo de la evolución, estas superficies más expuestas se hayan reducido en las poblaciones de animales que viven en climas muy fríos.

Una conclusión importante de este trabajo es la variedad y riqueza de los planos que convergen al analizar una propuesta didáctica sencilla, y cuyo interjuego positivo derivará en que tal propuesta sea potencialmente valiosa. Una serie de factores que tienen que ver con la situación áulica particular determinará finalmente si la propuesta resulta exitosa.

---

## REFERENCIAS

Ádam R. y Sztrajman J. (1992) *Métodos no-convencionales para la enseñanza de la física*. Caderno Catarinense de Ensino de Física 9 (2):152-156.

Buzzo Garrao (1992) *Aproximación a la física a través de métodos numéricos y simulación computacionales*. Caderno Catarinense de Ensino de Física 9 (2):143-146.

Adúriz Bravo A. y Galagovsky L. (1997) *Modelos científicos y modelos didácticos en la enseñanza de las ciencias naturales*. X Reunión de Educación en Física de la APFA, Mar del Plata.

Meinardi E., Sztrajman J. y Rela A. (1996) *El juego del calor: una experiencia integradora en ciencias naturales*. Novedades Educativas 65, Suplemento5:18-19.

Resnick R. y Halliday D. (1984, séptima impresión) *Física Parte I*. Ed. CECSA, México.

Sztrajman J. y Rela A. (1991) *Heat Transfer in a Bar: Numerical Method and Group Dynamics*. Int. J. Math. Educ. Sci. Technol. 22: 937.