

## Applet 2.1. Balance de energía de un animal

### Introducción

Este *applet* simula el balance de energía de animales de forma ideal, esférica o cilíndrica. Los flujos de energía considerados son los siguientes:

1. Radiación
2. Absorción de radiación de onda corta
3. Convección-conducción
4. Calor latente
5. Producción de energía metabólica

1. Las pérdidas (o ganancias) de energía por radiación se calculan a partir de la ecuación de Stefan-Boltzmann

$$\Phi_n = \varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_0^4)$$

Donde  $\Phi_n$  (en W) es la radiación neta entre el animal y el exterior,  $\varepsilon$  es la emisividad del cuerpo del animal,  $A$  es su superficie corporal (en m<sup>2</sup>),  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann,  $T$  es la temperatura (en K) del animal y  $T_0$  es la temperatura (en K) del ambiente circundante.

2. A la ecuación anterior se le añade un término correspondiente a la absorción de energía de onda corta (radiación solar), con lo que la ecuación se convierte en

$$\Phi_n = \varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_0^4) - a_s \cdot S$$

Donde  $a_s$  es la absorptividad de la radiación de onda corta y  $S$  la radiación de onda corta recibida (en W·m<sup>-2</sup>).

3. En el modelo se tratan conjuntamente la convección y la conducción de calor según la siguiente ecuación:

$$I_n = k_c \cdot A \cdot \frac{T - T_0}{\Delta x}$$

Donde  $I_n$  es la pérdida neta de calor por convección + conducción (en W),  $k_c$  es la conductividad térmica por conducción y convección (W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>) y  $\Delta x$  es la distancia a través de la cual se considera el transporte de calor (en m).

4. Las pérdidas por calor latente (evaporación de agua) se calculan según la siguiente ecuación:

$$L_n = \lambda \cdot g \cdot A \cdot (e - e_0)$$

Donde  $L_n$  es la pérdida de calor latente,  $\lambda$  es el calor latente de vaporización del agua (J·kg<sup>-1</sup>),  $g$  es la conductancia al vapor de agua de la superficie del animal, y  $e$  y  $e_0$  son las concentraciones (o presiones parciales) de vapor de agua en la superficie del animal

y en el aire circundante, respectivamente.

5. El animal produce calor mediante su metabolismo según la siguiente ecuación:

$$M = C \cdot m^{3/4}$$

Donde  $M$  es la producción de energía metabólica (en W),  $C$  es una constante (en  $W \cdot kg^{4/3}$ ), y  $m$  es la masa del animal (en kg).

A cada paso de tiempo el modelo suma todos los términos anteriores y a continuación aumenta o disminuye la temperatura del animal según sea el signo de su balance energético. Para poder pasar de energía a temperatura es necesario especificar el calor específico del animal  $c$ .

El usuario puede seleccionar los siguientes parámetros y variables del modelo:  $\varepsilon$ ,  $k_c$ ,  $T_0$ ,  $T$ ,  $S$ ,  $e_0$  (en unidades de humedad relativa, véase apartado 2.3 del libro)  $C$  y el tamaño del animal (el cual determina su superficie  $A$  y su masa  $m$ , dada una densidad  $\delta$ ). El resto de parámetros se ha fijado a los siguientes valores:

$$\begin{aligned}\sigma &= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \\ a_s &= 0,5 \\ \Delta x &= 0,01 \text{ m} \\ \lambda &= 2.454.000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \\ g &= 7,22 \cdot 10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \\ \delta &= 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \\ c &= 3,43 \text{ kJ} \cdot \text{kg} \text{ peso}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\end{aligned}$$

El paso de tiempo del modelo es de 1 segundo. El usuario puede avanzar el modelo en intervalos de 1 segundo, 1 minuto, 1 hora y 1 día, pero los cálculos se realizan siempre segundo a segundo.

## Applet

Si el *applet* se ha cargado correctamente se mostrará una imagen como la siguiente:

Comprobar	Emisividad	0.9		Forma animal:	<input checked="" type="radio"/> Esfera	<input type="radio"/> Cilindro
Inicializar	Cond. termica	0.1	W/m/K	Radio	0.2	m
1 segundo	T ambiente	20	°C	Longitud	1	m
1 minuto	Rad. solar	500	W/m2	T animal	35	°C
1 hora	Humedad aire	60	%			
1 día	C (metabolismo)	5	W·kg^(4/3)			

JP & JMV, 2004

## Funcionamiento del *applet*

1. Entrar los parámetros y variables que se desee ( $\varepsilon$ ,  $k_c$ ,  $T_0$ ,  $T$ ,  $S$ ,  $e_0$ ,  $C$  y el tamaño del animal). Clicar el botón "Comprobar" para ver si los valores se encuentran dentro de los rangos permitidos.

2. Inicializar el modelo clicando el botón "Inicializar". Al hacerlo se listan las siguientes propiedades del animal:

#### CARACTERÍSTICAS DEL ANIMAL

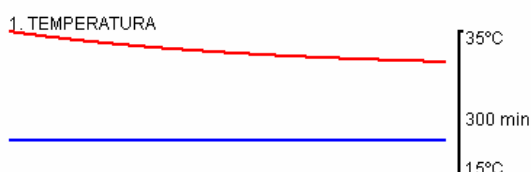
Volumen	0.0335	m <sup>3</sup>
Área superficial	0.5027	m <sup>2</sup>
Relación S/V	15	1/m
Masa	33.51	kg
Temp. exterior	20.00	°C
Temp. animal	35.00	°C
Energía	35,418,885	J

La energía que contiene el animal resulta de multiplicar su peso (en kg) por su temperatura (en K) y por el calor específico  $c$ .

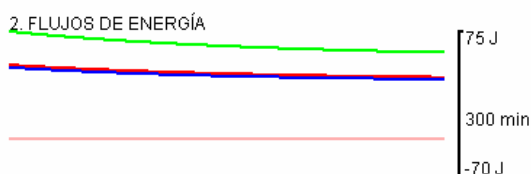
3. Avanzar el modelo en pasos de tiempo de 1 segundo, 1 minuto, 1 hora o 1 día.

#### CARACTERÍSTICAS DEL ANIMAL

Volumen	0.0335	m <sup>3</sup>
Área superficial	0.5027	m <sup>2</sup>
Relación S/V	15	1/m
Masa	33.51	kg
Temp. exterior	20.00	°C
Temp. animal	30.82	°C
Energía	34,938,420	J



FLUJOS	Instant.	Periodo	Total
Radiación	29.55 J	108.29 kJ	612.30 kJ
Rad. solar	-31.42 J	-113.10 kJ	-565.49 kJ
Convección	54.39 J	199.09 kJ	1.12 MJ
Calor latente	27.51 J	100.68 kJ	569.74 kJ
Metabolismo	-69.64 J	-250.70 kJ	-1.25 MJ
TOTAL	10.39 J	44.26 kJ	480.46 kJ



Tiempo (s)	1	3600	18000
Evaporación	0.011 g	0.041 l	0.232 l

<b>Comprobar</b>	Emisividad	0.9	Forma animal: <input checked="" type="radio"/> Esfera <input type="radio"/> Cilindro Radio: 0.2 m Longitud: 1 m T animal: 35 °C JP & JMV, 2004
<b>Inicializar</b>	Cond. termica	0.1 W/m/K	
<b>1 segundo</b>	T ambiente	20 °C	
<b>1 minuto</b>	Rad. solar	500 W/m <sup>2</sup>	
<b>1 hora</b>	Humedad aire	60 %	
<b>1 día</b>	C (metabolismo)	5 W·kg <sup>4/3</sup>	

En el ejemplo anterior se ha hecho avanzar el modelo 5 horas (clicando 5 veces el botón de 1 hora). El *applet* proporciona los siguientes resultados:

- Primera columna ("Instant."): valores numéricos de los flujos de calor instantáneos (en realidad en el último segundo de la simulación). El valor TOTAL expresa el

- Segunda columna ("Periodo"): como la anterior, pero para el último periodo simulado, de 1 hora en este caso (3600 s).
- Tercera columna ("Total"): como las anteriores, pero para todo el periodo de simulación desde que se clicó el botón "Inicializar". En este caso son 5 horas (18.000 segundos).
- Gráfico superior: variación temporal de la temperatura del animal. Se da también la temperatura ambiental, aunque ésta se mantiene constante a lo largo de la simulación.
- Gráfico inferior: variación temporal de los flujos de calor. Como antes, por convención, los valores negativos representan una ganancia de energía para el animal y los positivos una pérdida.