

## MÉTODOS DE SIMULACIÓN Y MODELADO

### Trabajo Práctico – Convocatoria ordinaria del curso 2019/20

#### INSTRUCCIONES

- El trabajo práctico debe realizarse de manera individual. No debe realizarse en grupo. Se penalizará cualquier uso compartido de las soluciones propuestas y de los códigos programados.
- El trabajo debe entregarse a través del curso virtual de la asignatura en la plataforma Alf.
- La fecha límite de entrega es el día 10 de enero.
- El alumno debe entregar un fichero comprimido, en formato zip o tar, que contenga:
  - Una memoria en la cual explique la solución a los ejercicios, incluyendo los listados documentados de los modelos desarrollados y gráficas que muestren los resultados de las simulaciones. Este documento deberá estar en formato pdf.
  - El código Modelica (ficheros .mo) y FlexPDE (ficheros .pde) solución a los ejercicios.

El nombre del fichero comprimido debe ser la concatenación de los dos apellidos y el nombre del alumno. Por ejemplo, GomezMartinLuisa.zip

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

- Para que el trabajo pueda ser corregido, es imprescindible que el alumno entregue dentro del plazo establecido un fichero comprimido que contenga la memoria en formato pdf y el código de los modelos correspondiente a los ejercicios que haya realizado.
- El trabajo se compone de 4 ejercicios, cada uno de los cuales se valorará sobre 2.5 puntos.
- No es necesario realizar todos los ejercicios, pero para aprobar el trabajo es necesario que la suma de las puntuaciones obtenidas en los ejercicios sea mayor o igual que 5.
- Se valorará positivamente la adecuada documentación del código de los modelos, así como la presentación y calidad de las explicaciones proporcionadas en la memoria.
- Al plantear los modelos puede realizar las suposiciones e hipótesis de modelado que estime oportunas, siempre que no estén en contradicción con las especificaciones sobre el sistema dadas en el enunciado.

## EJERCICIO 1

Lea el artículo citado a continuación, que puede descargar de la página web de la asignatura, y conteste a las preguntas.

Åström, K.J., Elmqvist, H., Mattsson, S.E. *Evolution of continuous-time modeling and simulation*. The 12<sup>th</sup> European Simulation Multiconference, ESM'98, June 16–19, 1998, Manchester, UK.

1. ¿Qué analogías pueden establecerse entre el modelado basado en diagramas de bloques y el paradigma de la simulación analógica?
2. ¿Qué es el paradigma de modelado físico? ¿Qué tipo de modelos matemáticos se obtienen de aplicar el paradigma del modelado físico?
3. ¿Qué diferencias hay entre el paradigma de la simulación analógica y el paradigma del modelado físico?
4. Observe la Figura 1.1 y comente su contenido basándose en el artículo.

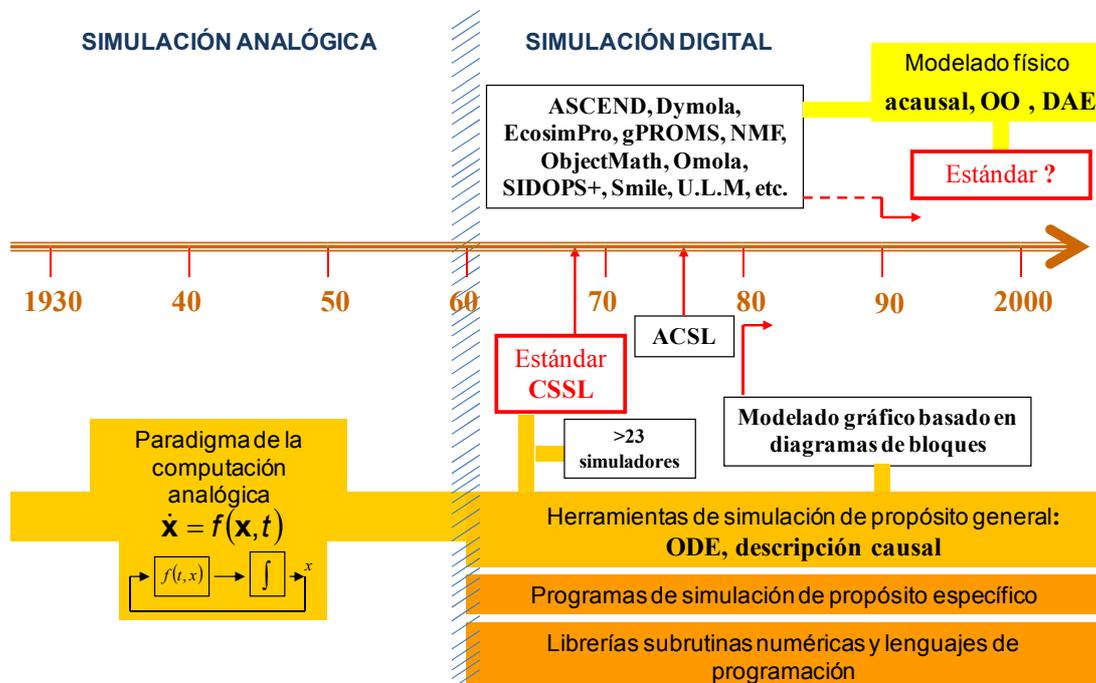


Figura 1.1: Evolución del modelado y simulación de tiempo continuo.

## EJERCICIO 2

Se ha modelado matemáticamente el comportamiento térmico de una vivienda que dispone de un sistema de climatización regulado por un controlador PI. En la figura siguiente se muestra un diagrama del sistema.

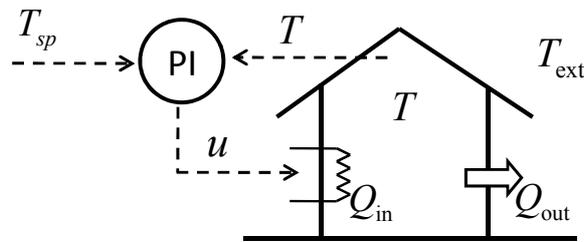


Figura 1.2: Vivienda con sistema de climatización.

La temperatura a la que se encuentra el interior de la vivienda es  $T$  y la temperatura en su exterior  $T_{\text{ext}}$ . Ambas están expresadas en Kelvin. El sistema de climatización suministra a la vivienda una potencia calorífica  $Q_{\text{in}}$ . La potencia calorífica intercambiada entre la vivienda y su entorno, debido a la transferencia de calor, es  $Q_{\text{out}}$ .

El controlador PI, representado en la figura mediante una circunferencia con la etiqueta PI, tiene como entradas el valor actual de la temperatura en el interior de la vivienda ( $T$ ) y el valor deseado de la misma ( $T_{\text{sp}}$ , denominado valor de consigna de la temperatura). El controlador PI tiene como salida el voltaje  $u$ , que es la señal de entrada al sistema de climatización. Las ecuaciones mostradas a continuación describen el comportamiento térmico de la casa y el comportamiento del controlador. La variable  $t$  representa el tiempo en segundos.

$$\begin{aligned}
 C \cdot \frac{dT}{dt} &= Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} \\
 Q_{\text{out}} &= k \cdot (T - T_{\text{ext}}) \\
 T_{\text{ext}} &= 275 + 10 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{3600 \cdot 24}\right) \\
 e &= T_{\text{sp}} - T \\
 \frac{dI}{dt} &= e \\
 u &= k_p \cdot e + \frac{1}{k_I} \cdot I \\
 Q_{\text{in}} &= K_c \cdot u
 \end{aligned}$$

La capacidad calorífica de la casa vale  $C = 1E7$  J/K. La constante de proporcionalidad  $k = 2E3$  W/K representa la conductividad térmica de las paredes y ventanas. Los parámetros del controlador PI valen  $k_p = 7$  V/K,  $k_I = 2E2$  K·s/V. La constante de proporcionalidad del sistema climatizador vale  $K_c = 4E3$  W/V.

El valor de consigna para la temperatura ( $T_{sp}$ ) va alternando cada 6 horas entre los valores 293 K y 300 K. En la figura se muestra la evolución de  $T_{sp}$  durante el primer día. El comportamiento es el mismo (alternante entre 293 K y 300 K) los siguientes días.

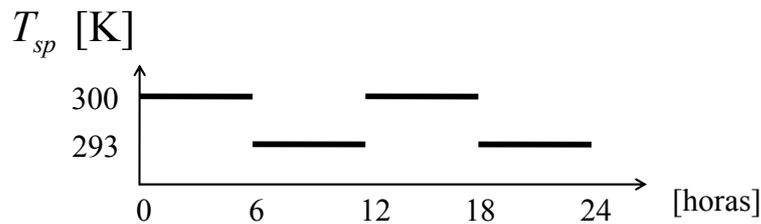


Figura 1.3: Evolución del valor de consigna para la temperatura.

1. Escriba las ecuaciones del modelo completo del sistema.
2. Asigne la causalidad computacional. Indique cuántos grados de libertad tiene el modelo.
3. Escriba el diagrama de flujo del algoritmo para la simulación de este modelo. Emplee el método de integración de Euler explícito. La condición de finalización de la simulación es que el tiempo simulado alcance el valor 86400 s.
4. Programe el algoritmo anterior en lenguaje R y ejecute la simulación. Represente gráficamente la evolución frente al tiempo de las tres siguientes variables: la temperatura a la que se encuentra el interior de la vivienda ( $T$ ), el valor de consigna para dicha temperatura ( $T_{sp}$ ) y la temperatura exterior ( $T_{ext}$ ). Explique qué criterio ha seguido para escoger el tamaño del paso de integración.

### EJERCICIO 3

Describa en lenguaje Modelica el sistema mostrado en la Figura 1.2 de las dos maneras siguientes:

1. Como un modelo atómico, que viene descrito por las ecuaciones que usted ha planteado al resolver el ejercicio anterior.
2. Descomponga el sistema en partes y programe una librería en lenguaje Modelica cuyos componentes describan estas partes. Emplee dicha librería para modelar en Modelica el sistema como un modelo compuesto.

Asigne a los parámetros los valores indicados en el ejercicio anterior y simule los dos modelos anteriores durante 86400 s. Represente gráficamente la evolución frente al tiempo de  $T$ ,  $T_{sp}$  y  $T_{ext}$ , mostrando las gráficas en la memoria.

## EJERCICIO 4

Escriba un *script* en FlexPDE para obtener el mapa de contorno de distribución de temperatura y los vectores correspondientes al flujo de calor del sistema descrito a continuación. Se trata de un problema de dos dimensiones cuya geometría se muestra en la siguiente figura.

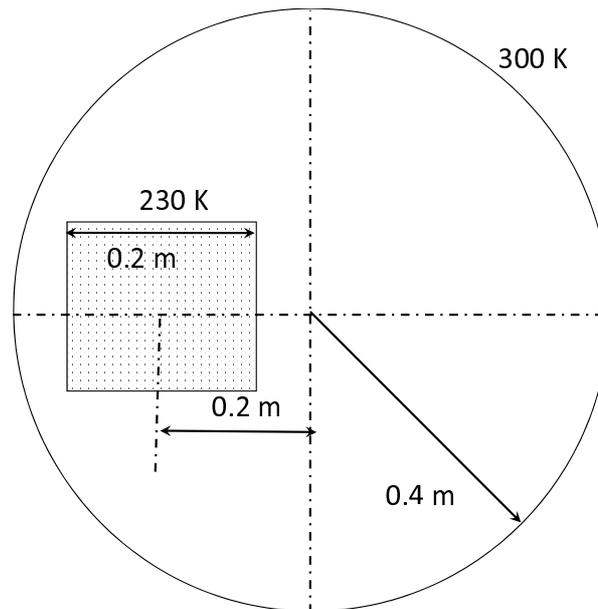


Figura 1.4: Geometría del sistema.

El sistema que se desea simular está formado por un círculo de un material de conductividad  $\kappa_1 = 1 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ , que tiene en su interior un cuadrado de un material aislante de conductividad  $\kappa_2 = 0.01 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ . El círculo tiene de radio 0.4 m y su contorno exterior se mantiene a 300 K. El cuadrado interior tiene de lado 0.2 m y su contorno exterior se mantiene a 230 K. El centro del cuadrado está separado 0.2 m del centro del círculo.

Obtenga los dos siguientes gráficos empleando FlexPDE: un gráfico con las curvas de nivel de la temperatura y un gráfico vectorial del flujo de calor. En la memoria del trabajo ha de mostrar el código del script de FlexPDE correspondiente y los dos gráficos generados por FlexPDE.