

# MÉTODOS DE SIMULACIÓN Y MODELADO

## Trabajo Práctico – Convocatoria ordinaria del curso 2023/24

### 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:
  - o 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.
  - o El código Modelica (ficheros .mo) y FlexPDE (ficheros .pde) solución a los ejercicios. No entregue ficheros ejecutables (ficheros .exe).

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 necesario 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.
- Si no entrega la memoria, el trabajo estará suspenso y será calificado con 0 puntos.
- 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 **detalladamente** 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. Explique detalladamente la Figura 1 basándose en el artículo.

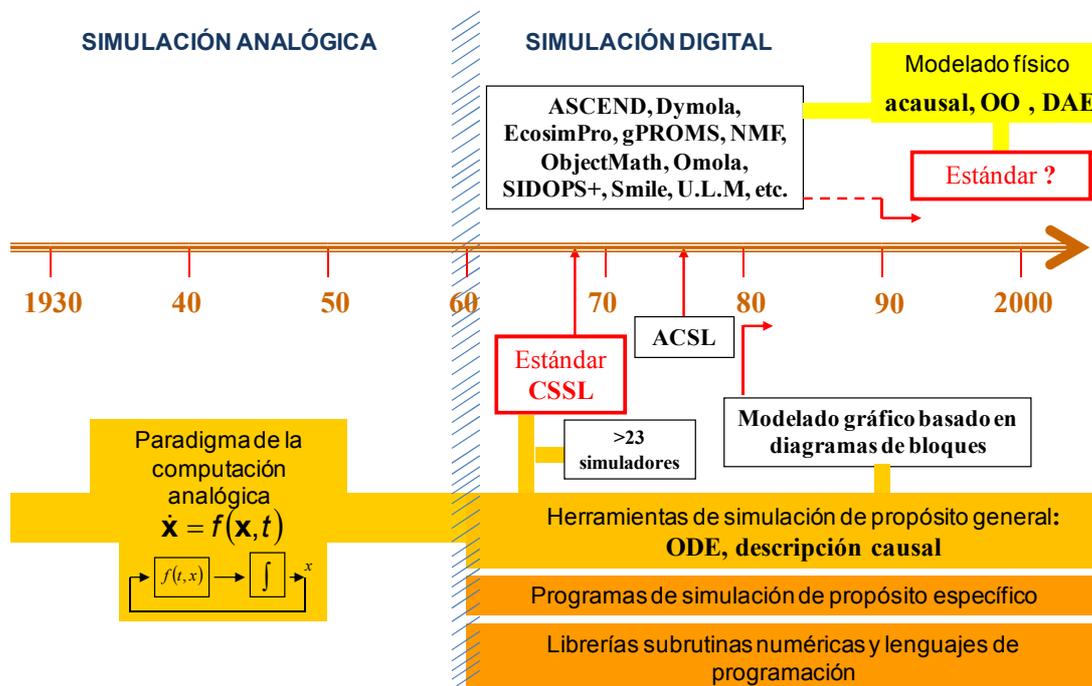


Figura 1: Evolución del modelado y simulación de tiempo continuo.

## EJERCICIO 2

El circuito mostrado en la Figura 2 está compuesto por los componentes siguientes: una batería de voltaje constante  $U_S$ , dos resistencias de valores constantes  $R_S$  y  $R_L$ , un condensador de valor constante  $C$ , dos interruptores y un circuito de control.

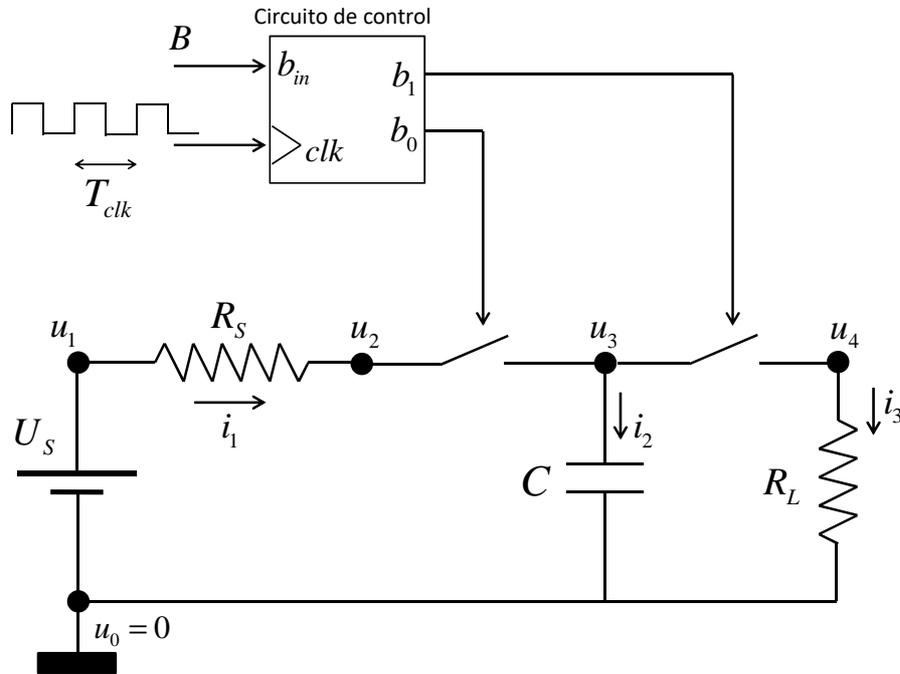


Figura 2: Diagrama del circuito.

El circuito de control tiene dos entradas ( $b_{in}$  y la entrada de la señal de reloj  $clk$ ) y dos salidas ( $b_0$  y  $b_1$ ). Las entradas aplicadas y las salidas obtenidas son señales binarias. Las señales binarias se describen en este modelo mediante variables Booleanas. Las transiciones en las señales de salida se producen en el flanco de subida de la señal de reloj ( $clk$ ), es decir, en el instante en que ésta pasa de valer *false* a valer *true*. La señal de reloj tiene un periodo ( $T_{clk}$ ) constante conocido. La tabla de la verdad del circuito de control es la siguiente:

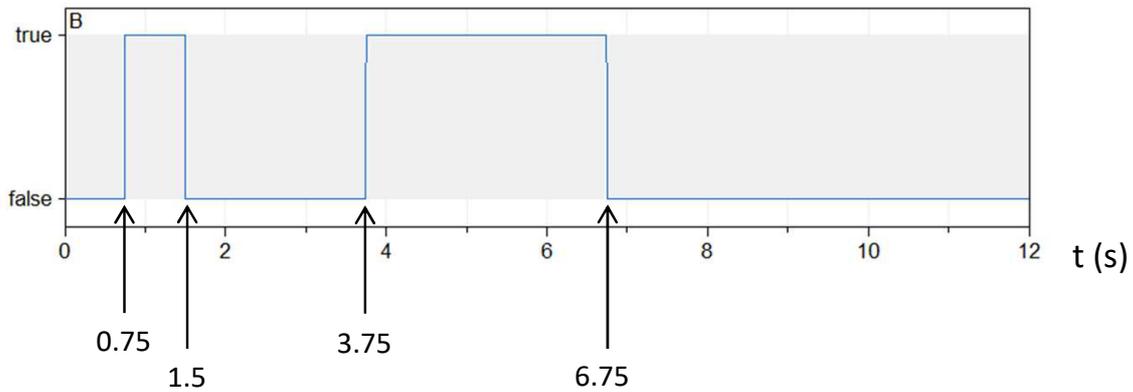
$b_{in}$	$b_0$	$b_1$
false	true	false
true	false	true

Las dos salidas ( $b_0$  y  $b_1$ ) del circuito de control están conectadas al puerto de control de sendos interruptores. El interruptor se modela como una resistencia de valor variable, de la forma descrita a continuación.

- Mientras la señal Booleana aplicada al puerto de control del interruptor vale *true*, la resistencia del interruptor vale  $R_{closed} = 10^{-8} \Omega$ .
- Mientras la señal Booleana aplicada al puerto de control del interruptor vale *false*, la resistencia del interruptor vale  $R_{open} = 10^8 \Omega$ .

El modelo debe permitir calcular la evolución de las variables Booleanas  $b_0, b_1$ ; de los voltajes  $u_1, u_2, u_3$  y  $u_4$ ; y de las corrientes  $i_1, i_2$  e  $i_3$ .

Se asignan los valores siguientes a los parámetros:  $U_S = 12 \text{ V}$ ,  $R_S = 8000 \Omega$ ,  $R_L = 5000 \Omega$ ,  $C = 0.0001 \text{ F}$ ,  $T_{clk} = 1 \text{ s}$ . En el instante inicial, el voltaje  $u_3$  vale  $5 \text{ V}$ . En el instante inicial, se produce un flanco de subida de la señal de reloj. El modelo se simula durante  $12 \text{ s}$ . La señal  $B$ , que es aplicada al puerto de entrada  $b_{in}$  del circuito de control, es conocida. Su evolución se muestra en la Figura 3.



**Figura 3:** Evolución de la variable  $B$ .

1. Escriba las ecuaciones del modelo.
2. Asigne la causalidad computacional. Si el modelo que ha planteado tuviera lazos algebraicos lineales, manipúlelos “a mano” a fin de obtener el modelo ordenado y resuelto.
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 alcance el valor  $12 \text{ s}$ .
4. Programe el algoritmo anterior en lenguaje R y ejecute la simulación. Explique detalladamente cómo ha escogido el tamaño del paso de integración. Represente gráficamente frente al tiempo las variables siguientes:  $B, clk, b_0, b_1, u_1, u_2, u_3, u_4, i_1, i_2, i_3$ .

### EJERCICIO 3

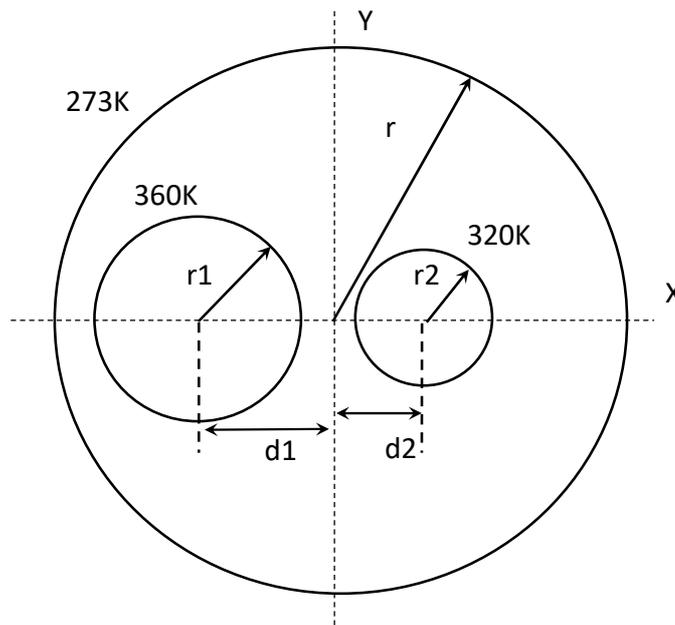
Describa en lenguaje Modelica el sistema del ejercicio anterior, de las dos maneras siguientes:

1. Como un modelo atómico, que viene descrito por las ecuaciones que usted ha planteado al contestar a la pregunta anterior.
2. Programe una librería que contenga los componentes necesarios para componer el sistema descrito en el Ejercicio 2. A continuación, defina dicho sistema como un modelo compuesto, instanciando y conectando componentes de la librería que ha creado.

Asigne a los parámetros los valores indicados en el ejercicio anterior y simule los dos modelos anteriores durante 12 s. Compruebe que las simulaciones de ambos modelos proporcionan el mismo resultado. Para ello, represente gráficamente frente al tiempo las variables siguientes:  $B$ ,  $clk$ ,  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$ ,  $u_4$ ,  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$ .

**EJERCICIO 4**

Consideremos el problema en dos dimensiones de un tubo cilíndrico macizo, fabricado con un material aislante térmico, de conductividad térmica  $\kappa$ , que contiene en su interior dos tubos cilíndricos de diferente radio que transportan agua a diferente temperatura. En la Figura 4 se muestra el sistema descrito en dos dimensiones, que es simétrico respecto al eje X.



**Figura 4:** Sistema térmico.

El radio del tubo exterior es  $r = 0.5$  m, y los radios de los tubos internos miden  $r1 = 0.15$  m y  $r2 = 0.1$  m. La distancia  $d1$  vale 0.2 m y la distancia  $d2$  vale 0.15 m.

La parte exterior del tubo de radio  $r$  se mantiene a una temperatura de 273 K, y los tubos interiores izquierdo y derecho se mantienen a unas temperaturas de 360 K y 320 K respectivamente. La conductividad térmica del material aislante vale  $\kappa = 0.03 \frac{W}{K \cdot m}$ .

Obtenga un gráfico con las curvas de nivel de la temperatura, empleando FlexPDE. Escriba el código del *script* de FlexPDE correspondiente y muestre el gráfico generado por FlexPDE.