Modelado y Simulación de Sistemas Dinámicos: Métodos, Algoritmos y Herramientas

Sistemas de Eventos Discretos

Ernesto Kofman

Laboratorio de Sistemas Dinámicos y Procesamiento de la Información
FCEIA - Universidad Nacional de Rosario.
CIFASIS – CONICET. Argentina

Organización de la Presentación

1. Representaciones Tradicionales
2. El Formalismo DEVS
3. Simulación de Modelos DEVS

Organización de la Presentación

1. Representaciones Tradicionales
2. El Formalismo DEVS
3. Simulación de Modelos DEVS

Representación de Modelos de Eventos Discretos

Existen varios formalismos de representación de sistemas por eventos discretos:

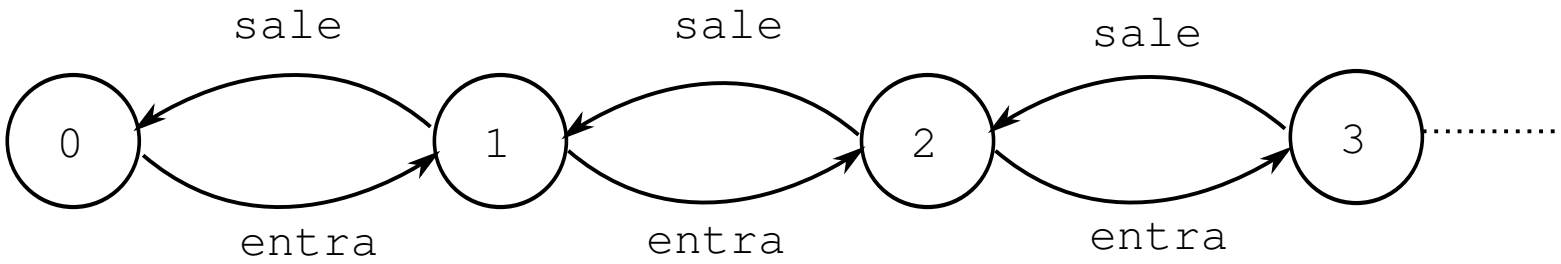
- State Transition Graphs
- Redes de Petri
- Grafcet
- DEVS (Discrete EVent system Specification)

DEVS es el formalismo más general, ya que cualquier modelo de eventos discretos puede representarse mediante DEVS.

State Transition Graphs

Ejemplo Introductorio

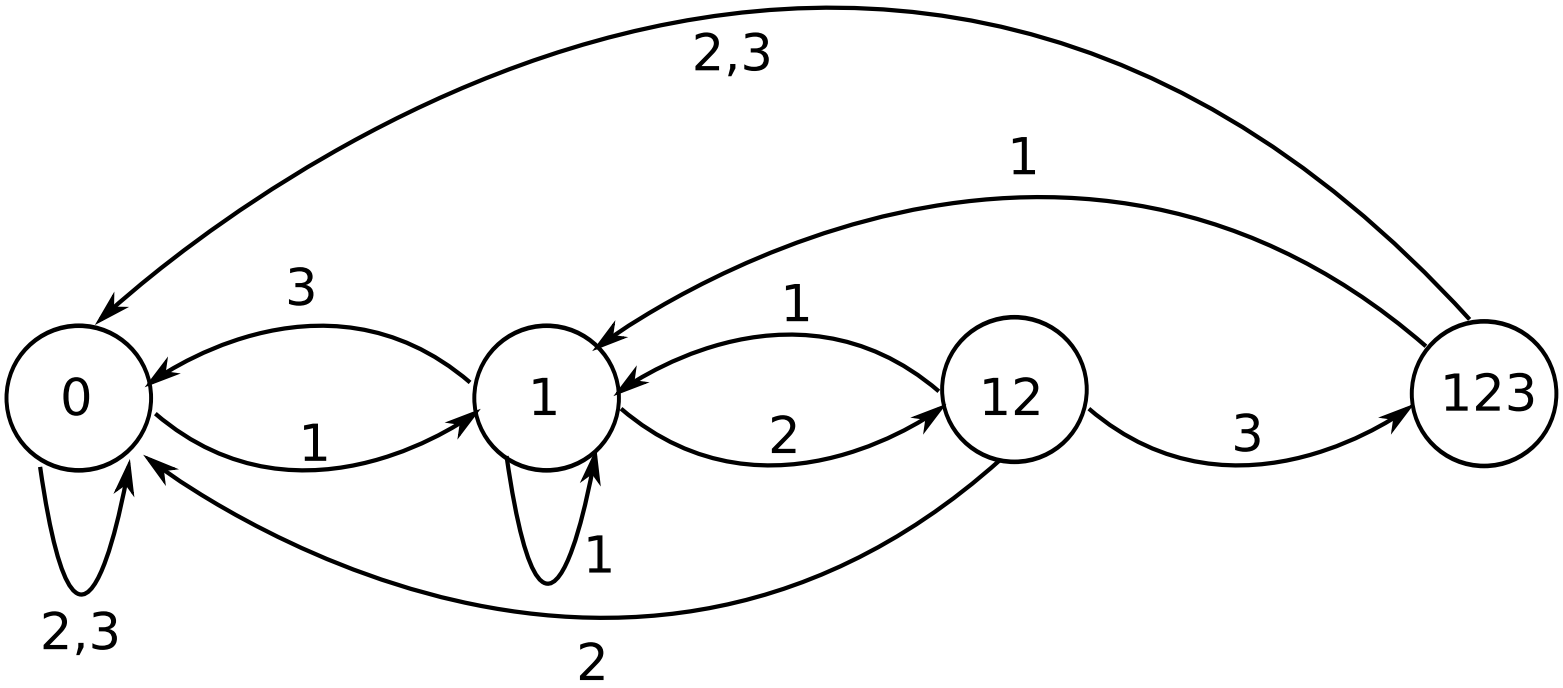
Consideremos un sistema que cuenta el número de personas que hay en una habitación sensando las personas que entran y salen.



- El estado del sistema es el número de personas en la habitación.
- Cada vez que entra o sale una persona, ocurre un evento y se produce una transición de estado.
- No hay una representación explícita del tiempo en este modelo.

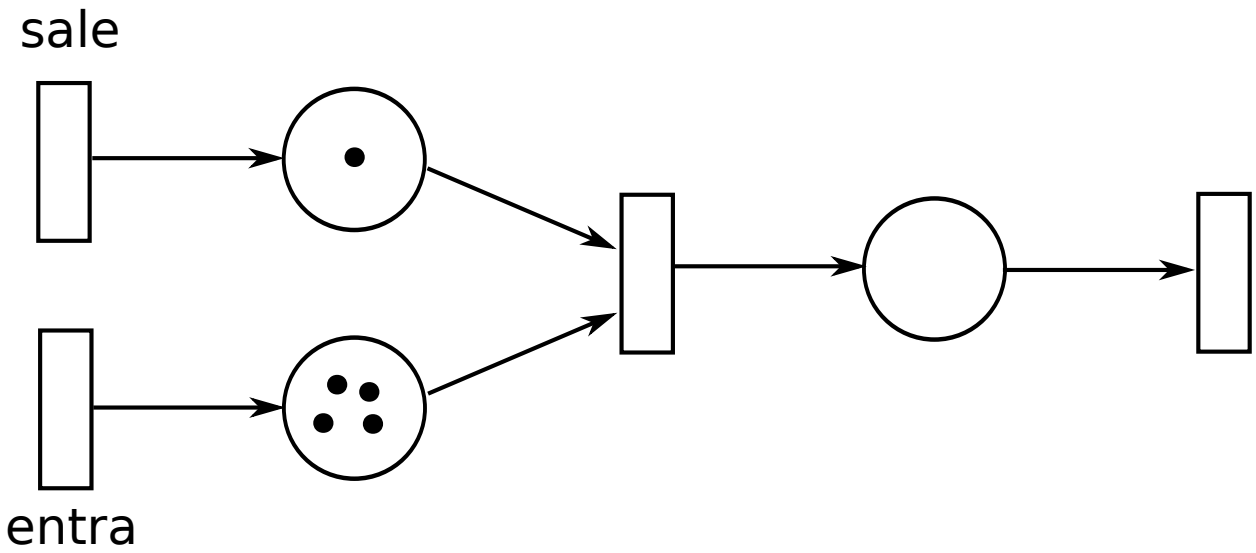
State Transition Graphs

Sistema de Reconocimiento de Secuencias



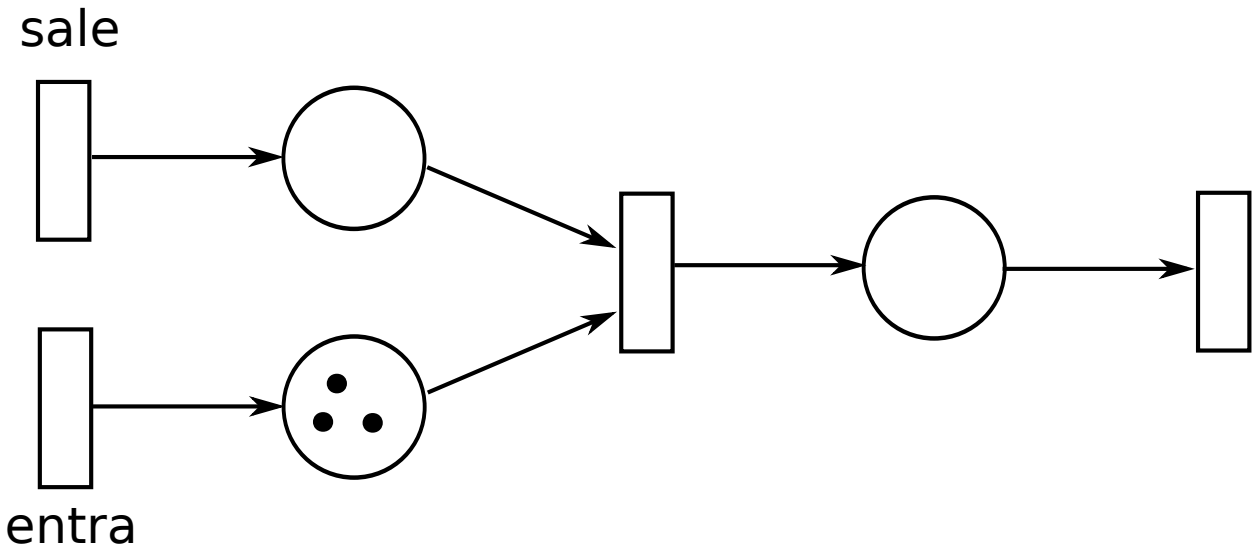
El sistema reconoce la secuencia $1, 2, 3$. El estado representa la secuencia reconocida hasta el momento actual.

Redes de Petri



- Las redes de Petri se componen de arcos, lugares (places), transiciones (transitions) y marcas (tokens).
- El estado queda determinado por el número de marcas en cada lugar.

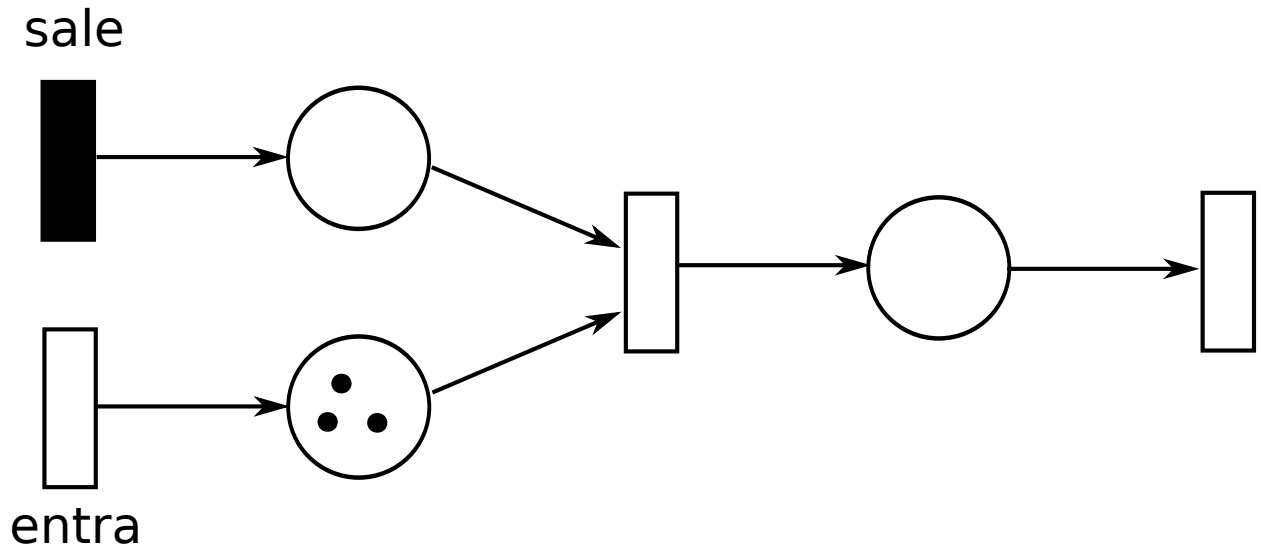
Redes de Petri
Ejemplo Introductorio



- Las transiciones se activan cuando en todos los lugares precedentes hay al menos una marca. Tras esto, todos los lugares precedentes pierden una marca y los lugares posteriores ganan una.
- Las transiciones de entrada son aquellas que no tienen lugares precedentes y se activan por acciones externas.

Redes de Petri

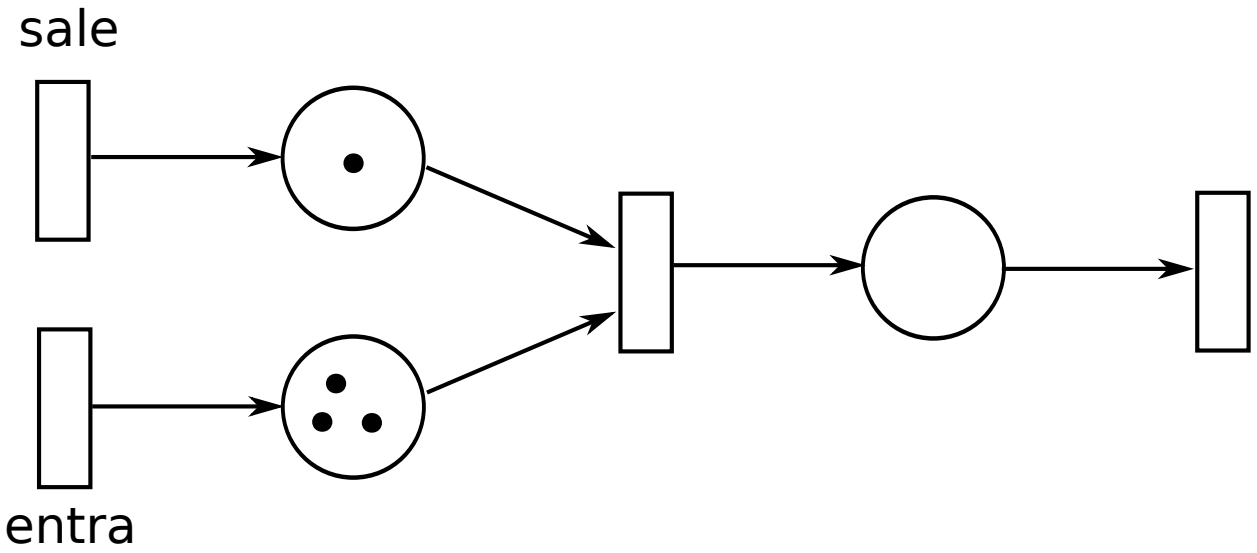
Ejemplo Introductorio



- Las transiciones se activan cuando en todos los lugares precedentes hay al menos una marca. Tras esto, todos los lugares precedentes pierden una marca y los lugares posteriores ganan una.
- Las transiciones de entrada son aquellas que no tienen lugares precedentes y se activan por acciones externas.

Redes de Petri

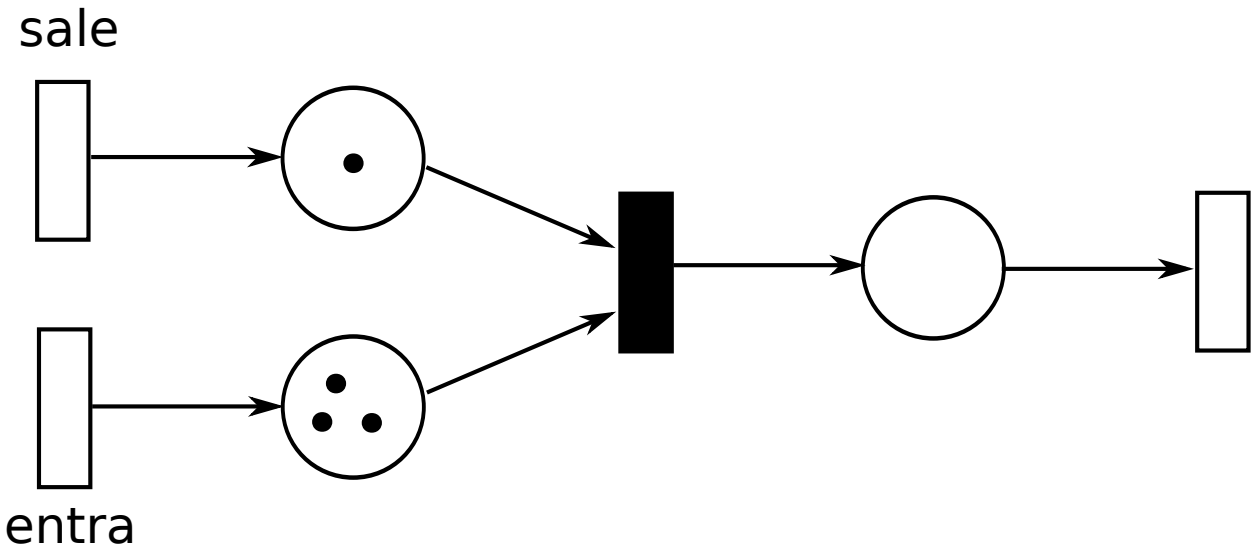
Ejemplo Introductorio



- Las transiciones se activan cuando en todos los lugares precedentes hay al menos una marca. Tras esto, todos los lugares precedentes pierden una marca y los lugares posteriores ganan una.
- Las transiciones de entrada son aquellas que no tienen lugares precedentes y se activan por acciones externas.

Redes de Petri

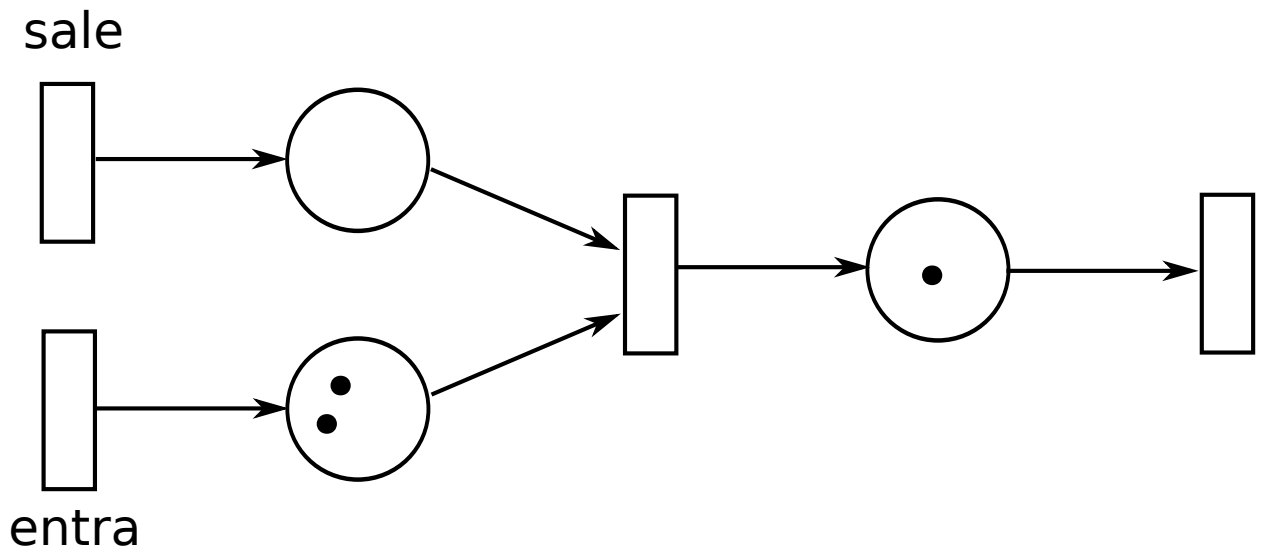
Ejemplo Introductorio



- Las transiciones se activan cuando en todos los lugares precedentes hay al menos una marca. Tras esto, todos los lugares precedentes pierden una marca y los lugares posteriores ganan una.
- Las transiciones de entrada son aquellas que no tienen lugares precedentes y se activan por acciones externas.

Redes de Petri

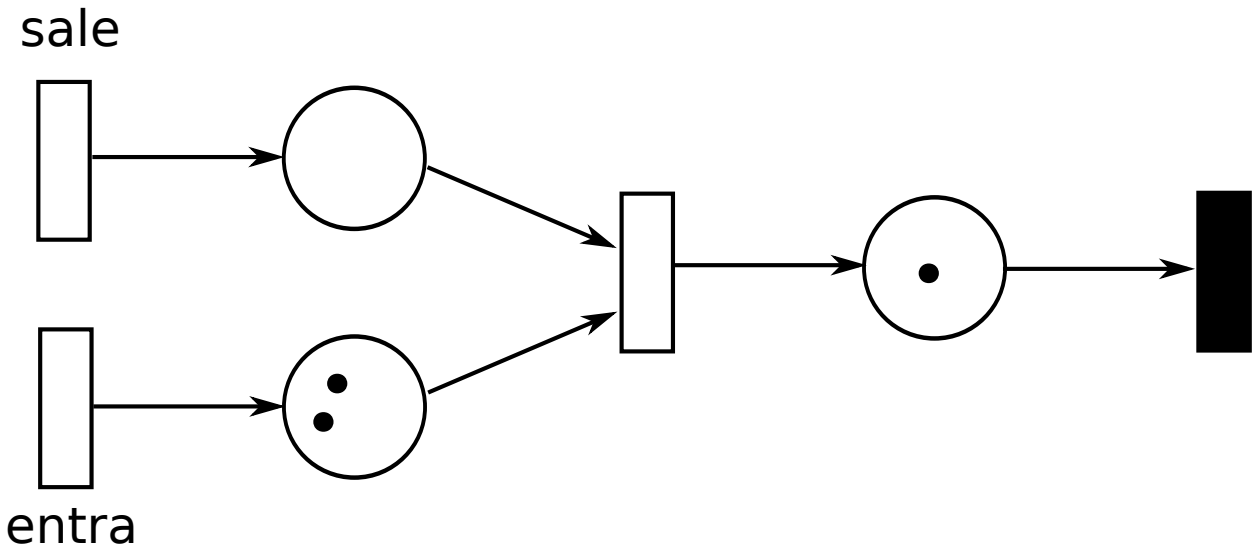
Ejemplo Introductorio



- Las transiciones se activan cuando en todos los lugares precedentes hay al menos una marca. Tras esto, todos los lugares precedentes pierden una marca y los lugares posteriores ganan una.
- Las transiciones de entrada son aquellas que no tienen lugares precedentes y se activan por acciones externas.

Redes de Petri

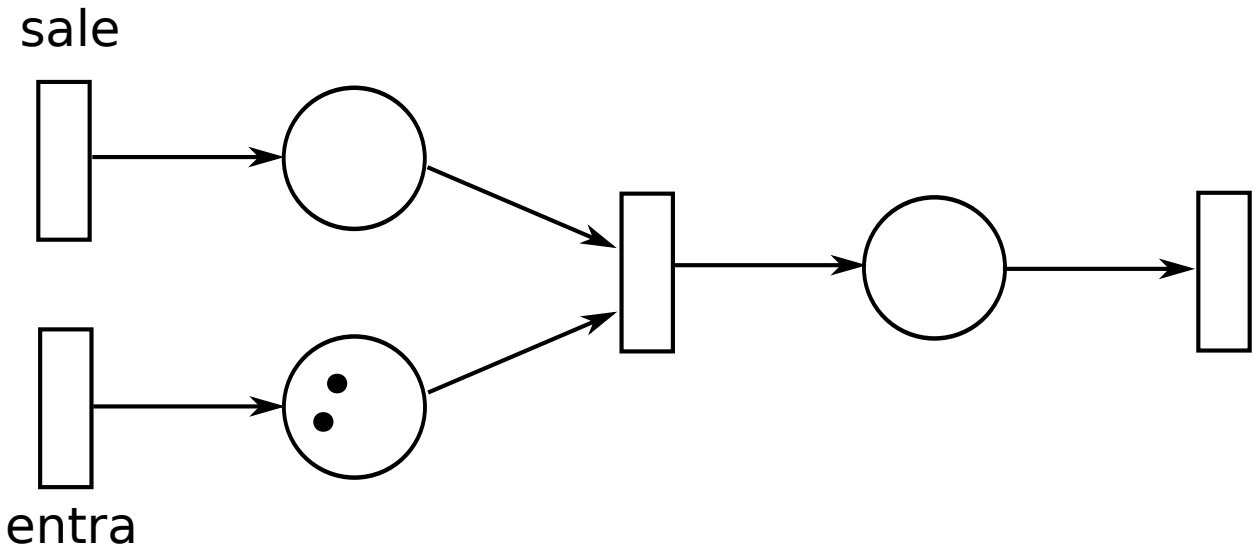
Ejemplo Introductorio



- Las transiciones se activan cuando en todos los lugares precedentes hay al menos una marca. Tras esto, todos los lugares precedentes pierden una marca y los lugares posteriores ganan una.
- Las transiciones de entrada son aquellas que no tienen lugares precedentes y se activan por acciones externas.

Redes de Petri

Ejemplo Introductorio



- Las transiciones se activan cuando en todos los lugares precedentes hay al menos una marca. Tras esto, todos los lugares precedentes pierden una marca y los lugares posteriores ganan una.
- Las transiciones de entrada son aquellas que no tienen lugares precedentes y se activan por acciones externas.

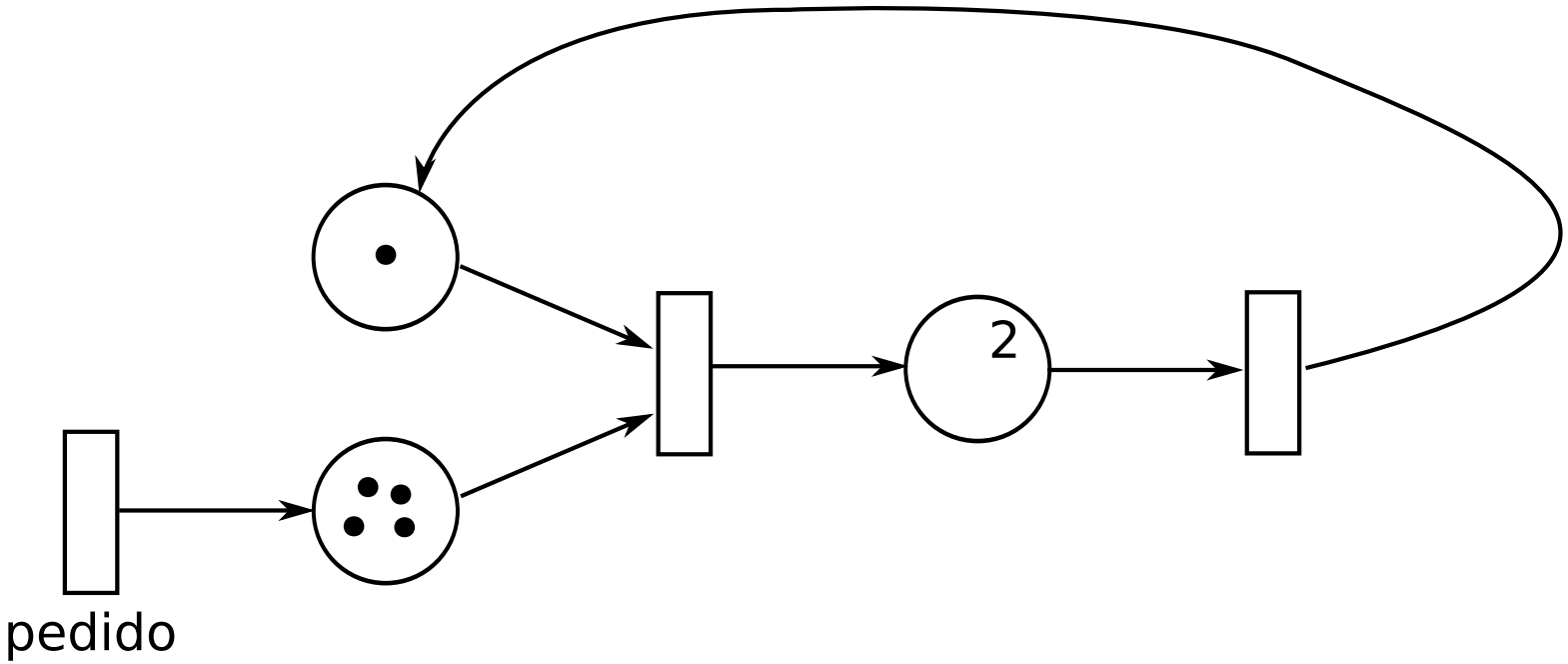
Redes de Petri Temporizadas

- Una de las maneras de incluir la acción del tiempo es considerar que las marcas deben permanecer un tiempo mínimo en un lugar para activar las transiciones correspondientes.
- De esta forma, la dinámica del sistema no depende sólo del ordenamiento de la secuencia de eventos de entrada, sino también de los tiempos de los eventos.
- Otra alternativa de temporización es considerar que los disparos de cada transición consumen cierto tiempo.

Redes de Petri Temporizadas

Ejemplo: Sistema cola-servidor

Un sistema cola-servidor recibe pedidos, los acumula y los procesa. El tiempo de procesamiento de cada pedido es de 2 segundos.



Redes de Petri
Software de Simulación

Hay varias alternativas para modelar y simular Redes de Petri:

- Herramientas gratuitas multiplataforma en Java: Pipe2, Tapaal, HiSim, etc.
- Diversas herramientas comerciales específicas.
- Librerías y Toolboxes de herramientas de software más generales: Matlab, Dymola/Modelica.

Organización de la Presentación

1 Representaciones Tradicionales

2 El Formalismo DEVS

3 Simulación de Modelos DEVS

Formalismo DEVS

El formalismo DEVS, formulado por Bernard Zeigler a mediados de los 70, permite representar cualquier sistema que tenga un número finito de cambios en un intervalo finito de tiempo.

Un modelo DEVS procesa una secuencia de eventos de entrada y de acuerdo a su condición inicial produce una secuencia de eventos de salida.

DEVS – Modelo Atómico

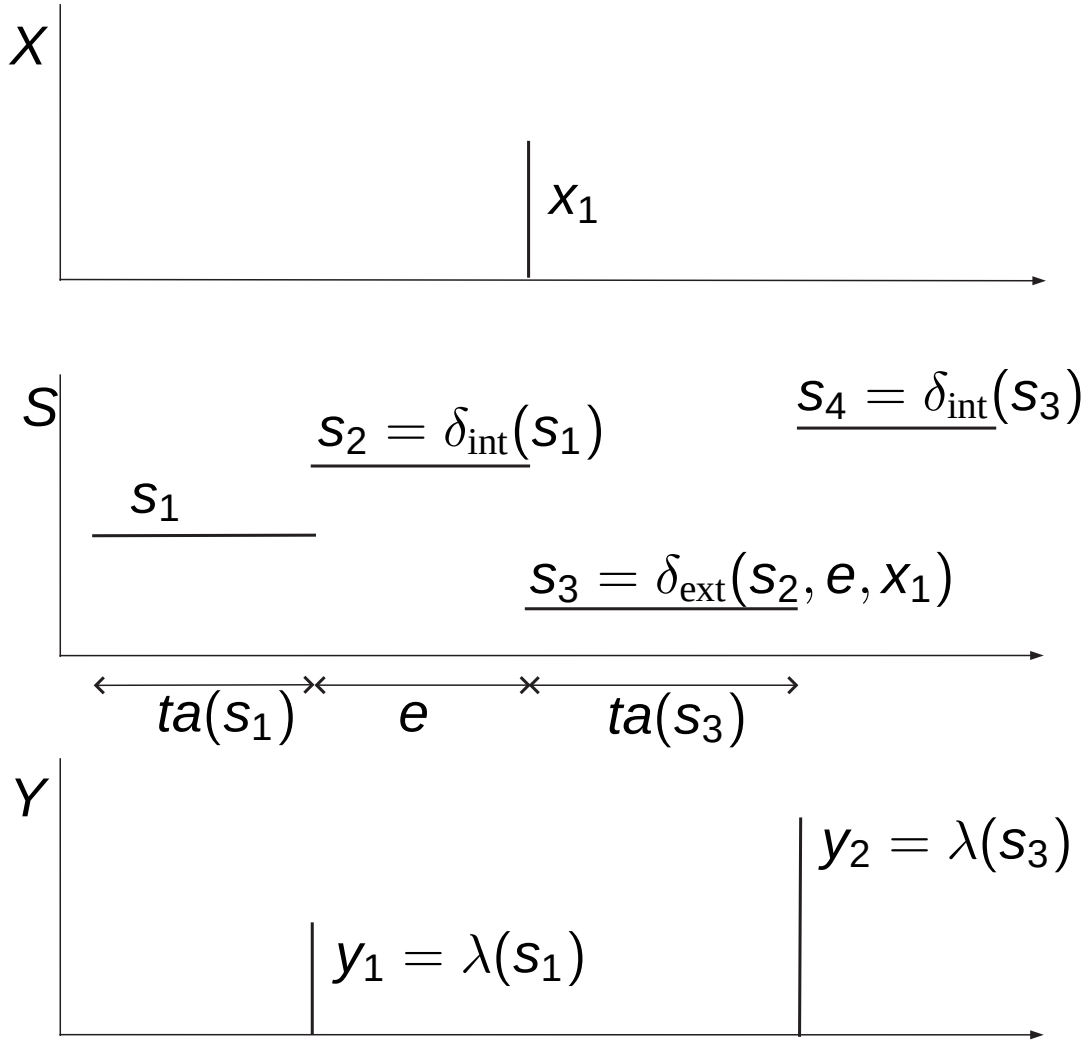
Un modelo atómico DEVS se define por la estructura:

$$M = (X, Y, S, \delta_{\text{int}}, \delta_{\text{ext}}, \lambda, ta)$$

donde:

- X es el conjunto de valores de entrada.
- Y es el conjunto de valores de salida.
- S es el conjunto de valores de estado.
- δ_{int}, δ_{ext}, λ y ta son las funciones que definen la dinámica del sistema.

DEVS – Trayectorias



DEVS – Ejemplo 1

Un sistema (que llamaremos generador) produce eventos que representan trabajos a realizar. El sistema produce eventos según la siguiente secuencia: $t = 0, y = 1$; $t = 1, y = 2$; $t = 3, y = 1$; $t = 4, y = 2$; etc.

$$G_1 = < X, Y, S, \delta_{\text{int}}, \delta_{\text{ext}}, \lambda, ta >$$
$$X = Y = S = \mathbb{R}^+$$
$$\delta_{\text{int}}(s) = 3 - s$$
$$\lambda(s) = 3 - s$$
$$ta(s) = s$$

DEVS – Ejemplo 2

Un procesador recibe trabajos identificados por un número real positivo que indica cuanto tiempo demora en procesarse dicho trabajo. Transcurrido el tiempo de procesamiento, el procesador emite un evento con valor 1.

$$P_1 =< X, Y, S, \delta_{\text{int}}, \delta_{\text{ext}}, \lambda, ta >$$
$$X = Y = S = \mathbb{R}^+$$
$$\delta_{\text{ext}}(s, e, x) = x$$
$$\delta_{\text{int}}(s) = \infty$$
$$\lambda(s) = 1$$
$$ta(s) = s$$

Este modelo se olvida del trabajo que estaba procesando al recibir uno nuevo

DEVS – Ejemplo 2

Para ignorar los eventos de entrada mientras se está procesando un trabajo, podemos modificar el modelo anterior como sigue:

$$P_2 =< X, Y, S, \delta_{\text{int}}, \delta_{\text{ext}}, \lambda, ta >$$

$$X = Y = \mathbb{R}^+$$

$$S = \mathbb{R}^+ \times \{true, false\}$$

$$\delta_{\text{ext}}(s, e, x) = \delta_{\text{ext}}((\sigma, busy), e, x) = \begin{cases} (\sigma - e, true) & \text{si } busy = true \\ (x, true) & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$\delta_{\text{int}}(s) = (\infty, false)$$

$$\lambda(s) = 1$$

$$ta((\sigma, busy)) = \sigma$$

DEVS – Legitimidad

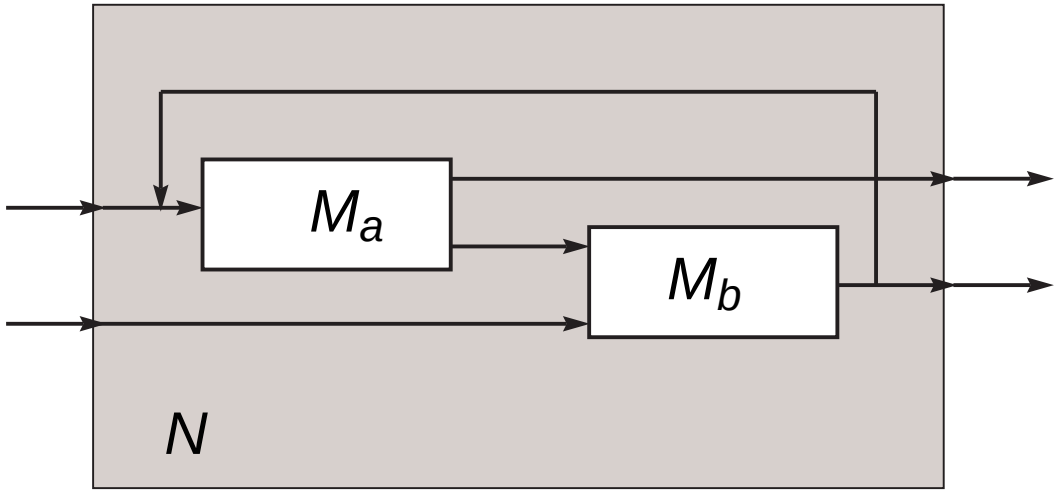
Legitimidad

Un modelo DEVS es legítimo si sólo puede producir una cantidad acotada de cambios en cada intervalo finito de tiempo.

El siguiente generador es ilegítimo:

$$G_1 =< X, Y, S, \delta_{\text{int}}, \delta_{\text{ext}}, \lambda, ta >$$
$$X = Y = S = \mathbb{R}^+$$
$$\delta_{\text{int}}(s) = s/2$$
$$\lambda(s) = 1$$
$$ta(s) = s$$

DEVS – Modelos Acoplados



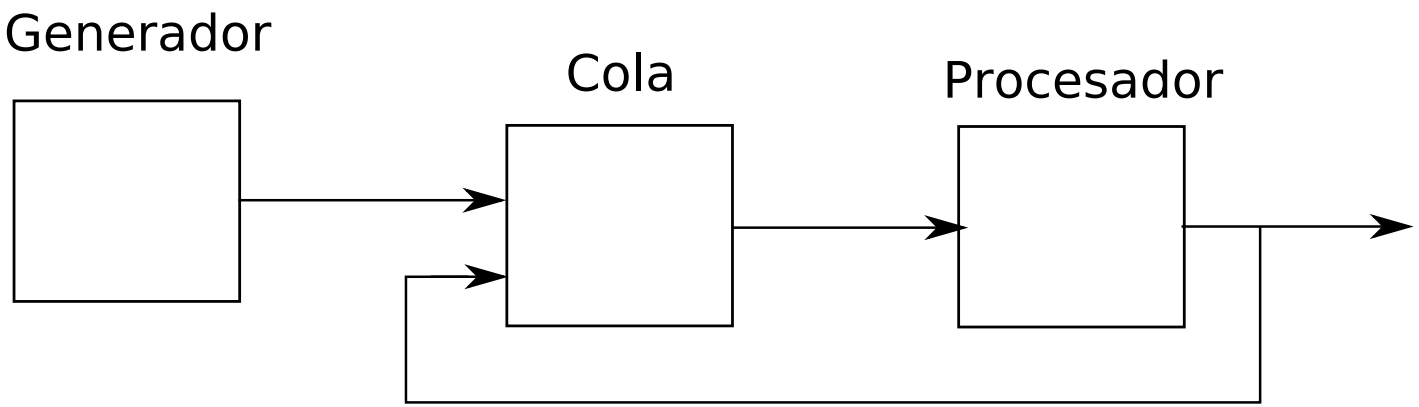
En el acoplamiento modular los eventos de salida de un modelo DEVS se convierten en eventos de entrada de otro.

Clausura bajo acoplamiento

El acoplamiento de modelos atómicos DEVS define un modelo atómico equivalente.

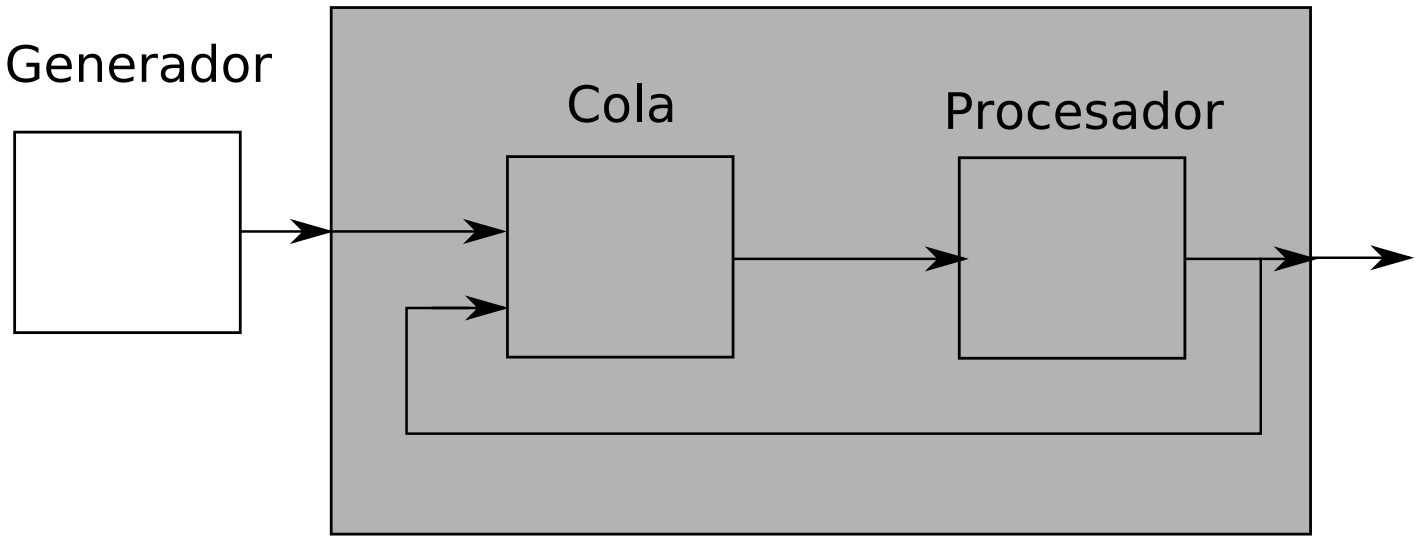
DEVS – Acoplamiento Jerárquico

La clausura bajo acoplamiento garantiza la posibilidad de realizar acoplamiento jerárquico, para construir fácilmente modelos complejos:



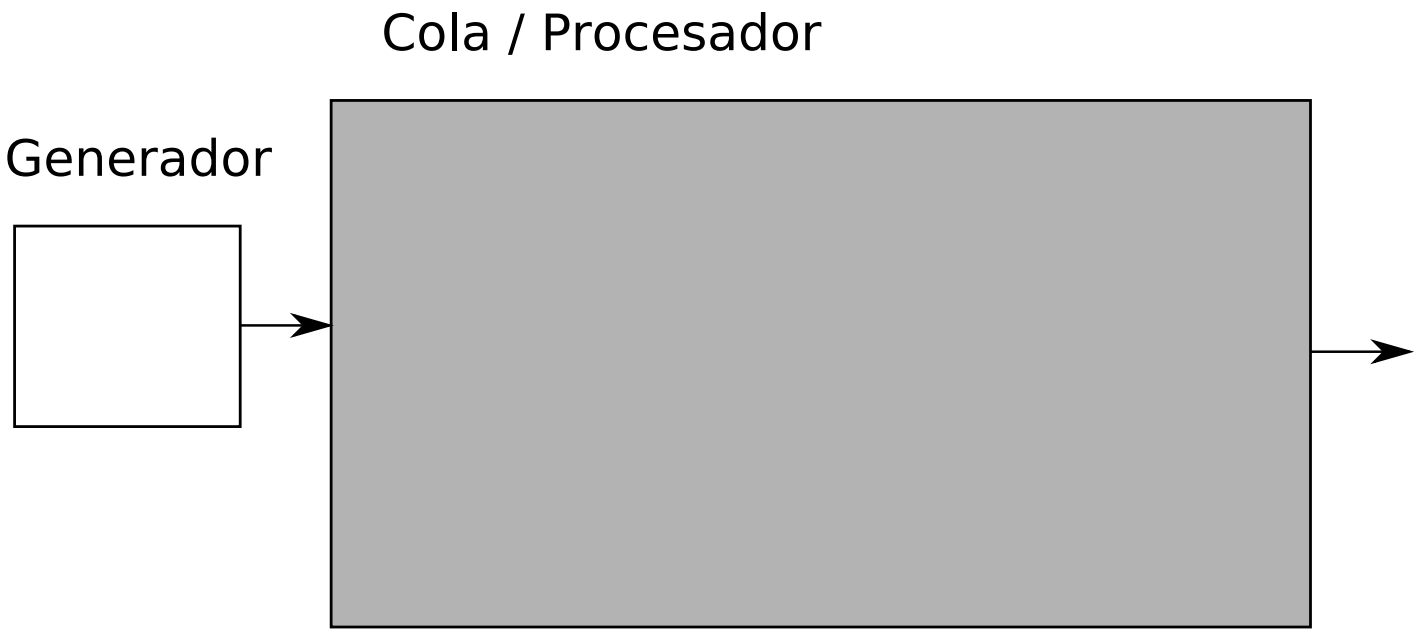
DEVS – Acoplamiento Jerárquico

La clausura bajo acoplamiento garantiza la posibilidad de realizar acoplamiento jerárquico, para construir fácilmente modelos complejos:



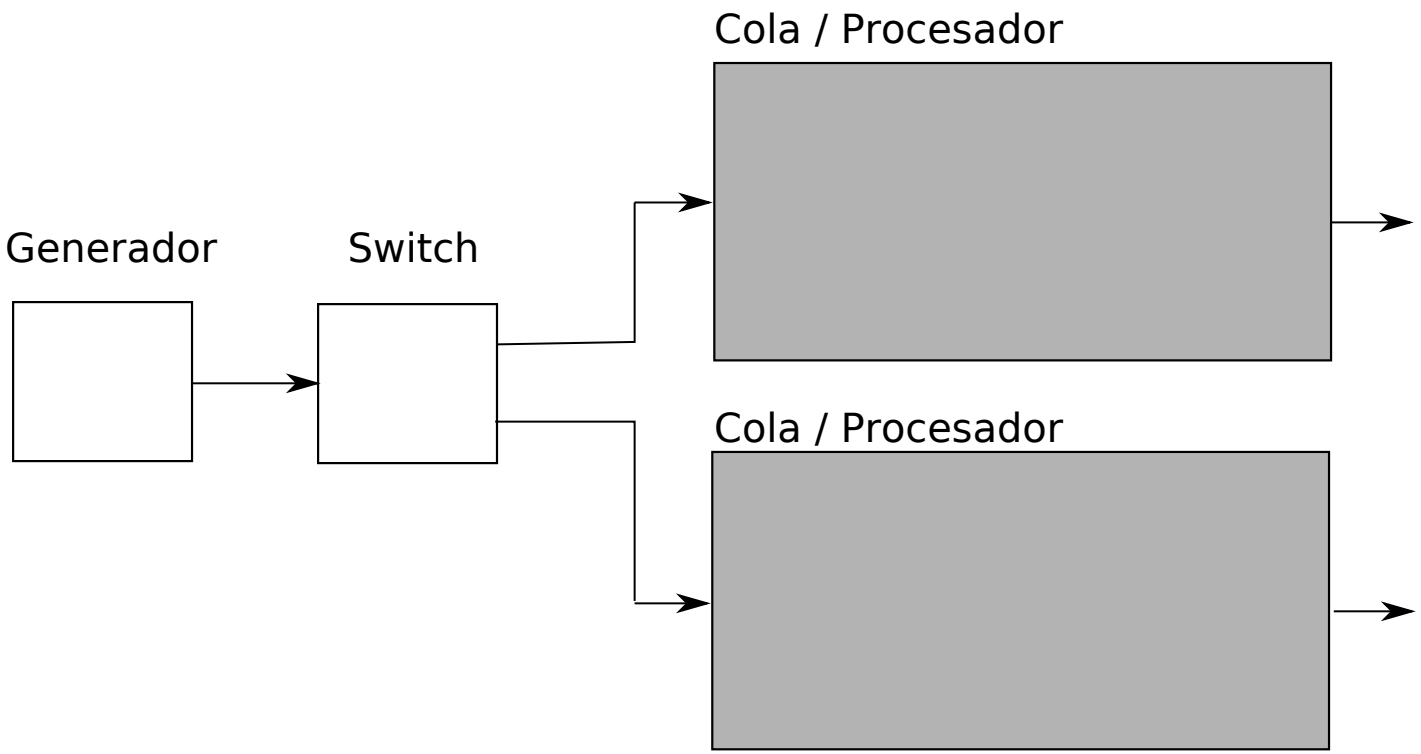
DEVS – Acoplamiento Jerárquico

La clausura bajo acoplamiento garantiza la posibilidad de realizar acoplamiento jerárquico, para construir fácilmente modelos complejos:



DEVS – Acoplamiento Jerárquico

La clausura bajo acoplamiento garantiza la posibilidad de realizar acoplamiento jerárquico, para construir fácilmente modelos complejos:



Organización de la Presentación

1 Representaciones Tradicionales

2 El Formalismo DEVS

3 Simulación de Modelos DEVS

Simulación de Modelos DEVS

Un simulador genérico de modelos DEVS funciona como sigue:

1. Para cada atómico $d \in N$, calculamos $tn_d = ta_d(s_d) - e_d$ (tiempo del próximo evento interno en el atómico d).
2. Buscamos el modelo atómico d^* que tiene el mínimo tn_d (d^* es el próximo atómico en realizar una transición interna).
3. Avanzamos el tiempo de la simulación t haciendo $t = tn_{d^*}$.
4. Calculamos el evento de salida $\lambda_{d^*}(s_{d^*})$.
5. Para cada modelo atómico d conectado a la salida del modelo d^*, ejecutamos la función de transición externa y recalculamos tn_d.
6. Ejecutamos la transición interna de d^* y recalculamos tn_{d^*}.
7. Volvemos al punto 2.

Software de Simulación de Modelos DEVS

Actualmente, existen varias herramientas de software basadas en DEVS, desarrollada por los distintos grupos de investigación que trabajan en el tema:

- ADEVS, DEVS/C++ y DEVSJAVA (University of Arizona).
- DEVSSim++ (KAIST, Corea).
- CD++ (Carleton University y UBA).
- LSIS-DME (LSIS, Marsella, Francia)
- VLE (Université du Littoral Côte d'Opale, Francia).
- SmallDEVS (Brno University of Technology, República Checa).
- JDEVS (Université de Corse).
- PowerDEVS (Universidad Nacional de Rosario).

Bibliografía


Christos Cassandras and Stéphane Lafortune.
Introduction to Discrete Event Systems. Second Edition.
Springer, New York, 2008.


Ernesto Kofman.
Introducción a la Modelización y Simulación de Sistemas de Eventos Discretos con el Formalismo DEVS, 2003.
http://www.fceia.unr.edu.ar/dsf/files/Apunte_DEVS.pdf.


B. Zeigler, T.G. Kim, and H. Praehofer.
Theory of Modeling and Simulation. Second edition.
Academic Press, New York, 2000.