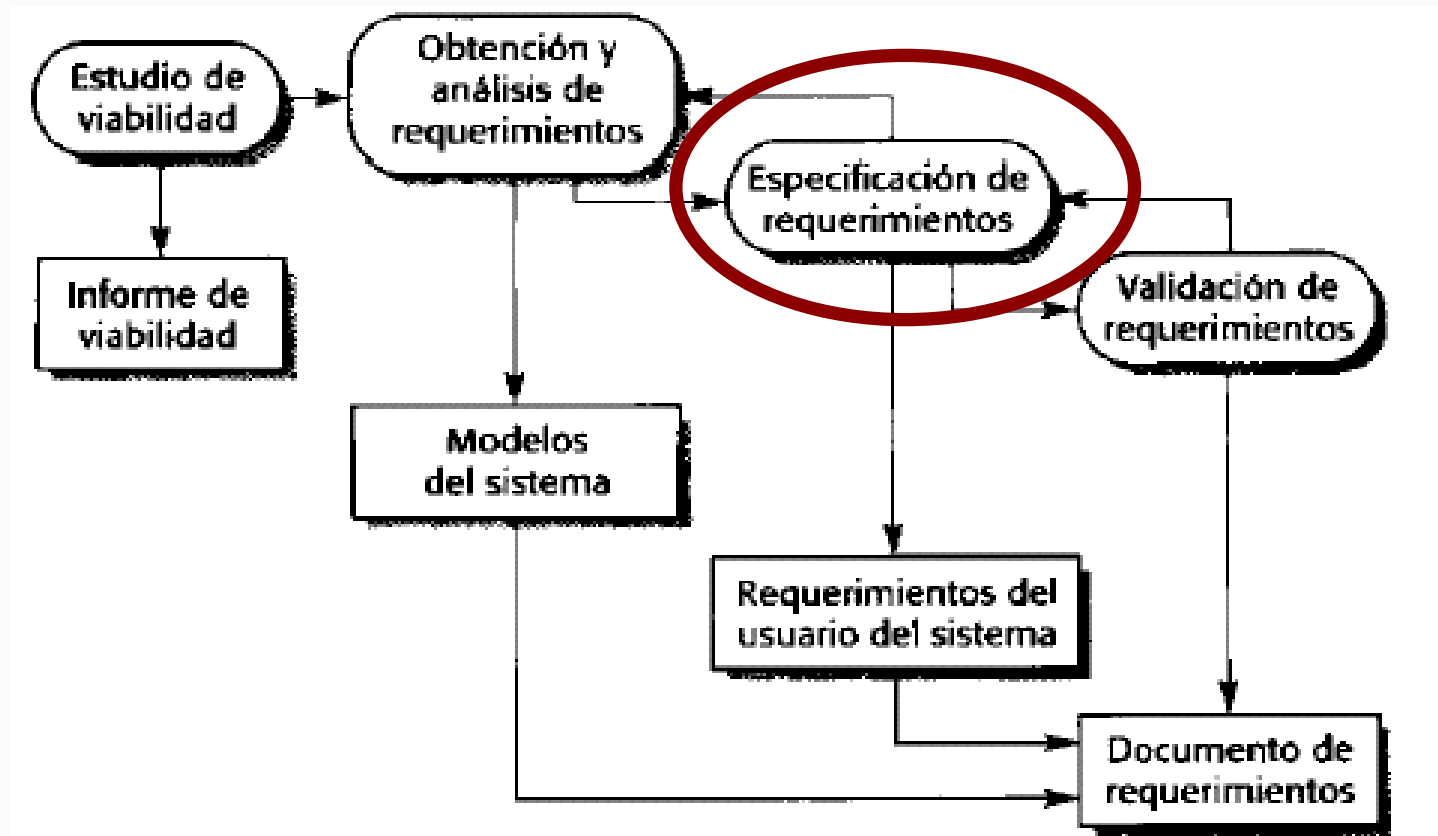




# Ingeniería de Software I - Redes de Petri

2023

# Ingeniería de Requerimientos



# Especificación de Requerimientos – Redes de Petri

---

# Técnicas de Especificación de Requerimientos Dinámicas

---

## » Redes de Petri

Fueron inventadas por Carl Petri en la Universidad de Bonn, Alemania Occidental.

Utilizadas para especificar sistemas de tiempo real en los que son necesarios representar aspectos de concurrencia.

Los sistemas concurrentes se diseñan para permitir la ejecución simultánea de componentes de programación, llamadas tareas o procesos, en varios procesadores o intercalados en un solo procesador.

# Redes de Petri

---

- » Las tareas concurrentes deben estar sincronizadas para permitir la comunicación entre ellas (pueden operar a distintas velocidades, deben prevenir la modificación de datos compartidos o condiciones de bloqueo).
- » Pueden realizarse varias tareas en paralelo, pero son ejecutados en un orden impredecible.
- » Éstas NO son secuenciales.

# Redes de Petri

---

»Sincronización  
Orquesta sinfónica  
Compartir archivos



»Las tareas que ocurren en paralelo y se necesitan coordinar  
forma de controlar los eventos para cambiarlos  
Estación de servicios



# Redes de Petri

---

» EVENTOS o ACCIONES

» ESTADOS o CONDICIONES

» Los eventos se representan como transiciones (T).

» Los estados se representan como lugares o sitios (P).

# Redes de Petri

---

»Caso más simple:

$f(\text{EstadoA}, \text{Evento}) \rightarrow \text{EstadoS}$

»Se requieren varios eventos para pasar de un estado a otro. Los eventos NO ocurren en un orden determinado.

$f(\text{EstadoA}, \text{Even1}, \text{Even2} \dots \text{EvenN}) \rightarrow \text{EstadoS}$

»Se requieren varios eventos para habilitar el paso del estado a otros varios estados que se ejecutan en paralelo.

$f(\text{EstadoA}, \text{Even1}, \text{Even2} \dots \text{EvenN}) \rightarrow \text{Estado1}, \text{Estado2} \dots, \text{EstadoN}$



# Redes de Petri

» Definición formal Una estructura de Red de Petri es una 4-upla

$$C = (P, T, I, O)$$

Lugares

$P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$

Transiciones

$T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$

Función de  
entrada

$I: T \rightarrow P$

Función de  
salida

$O: T \rightarrow P$

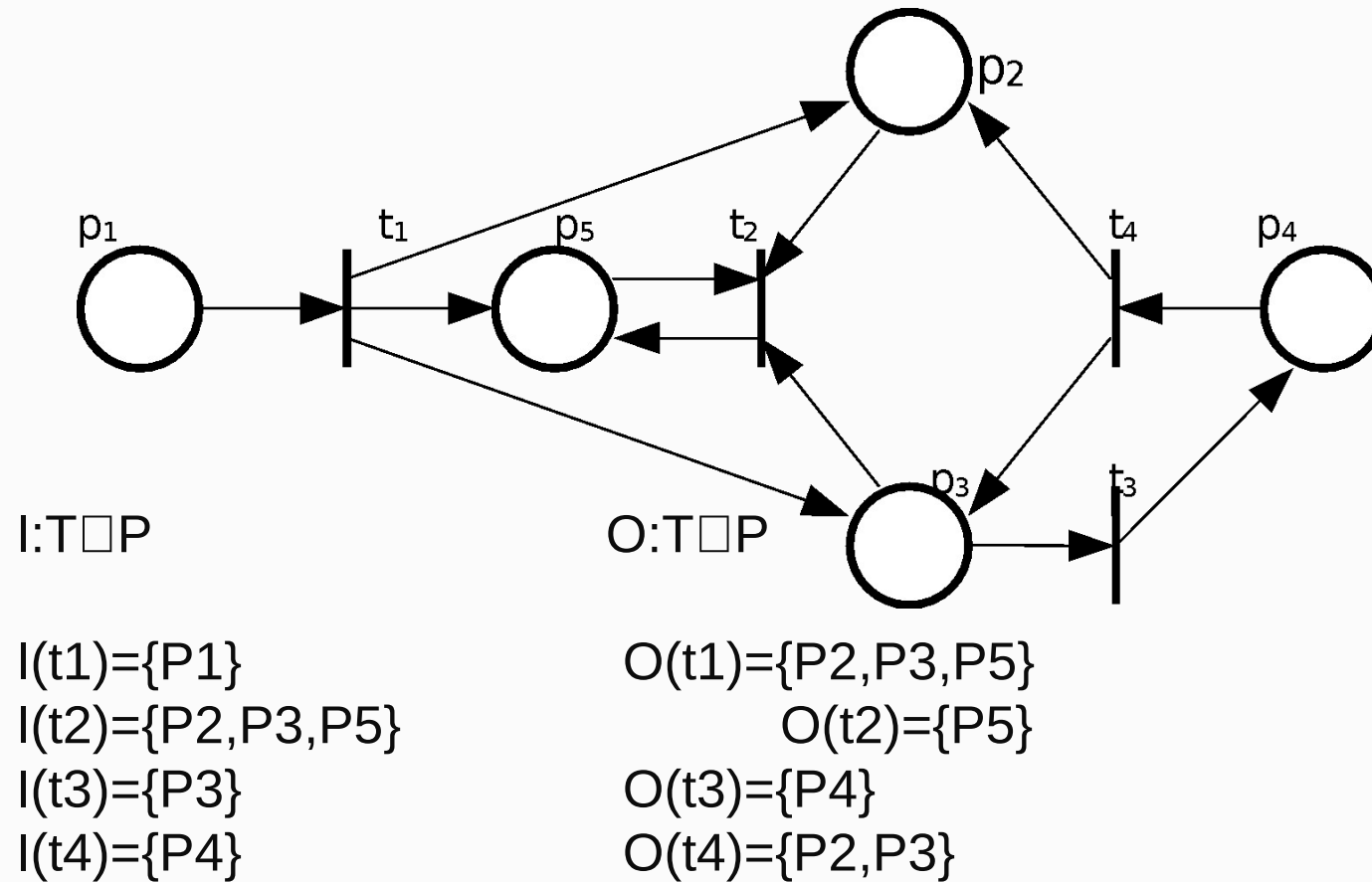
Multigrafo (de un nodo puede partir más de un arco),  
bipartito, dirigido

# Redes de Petri

---

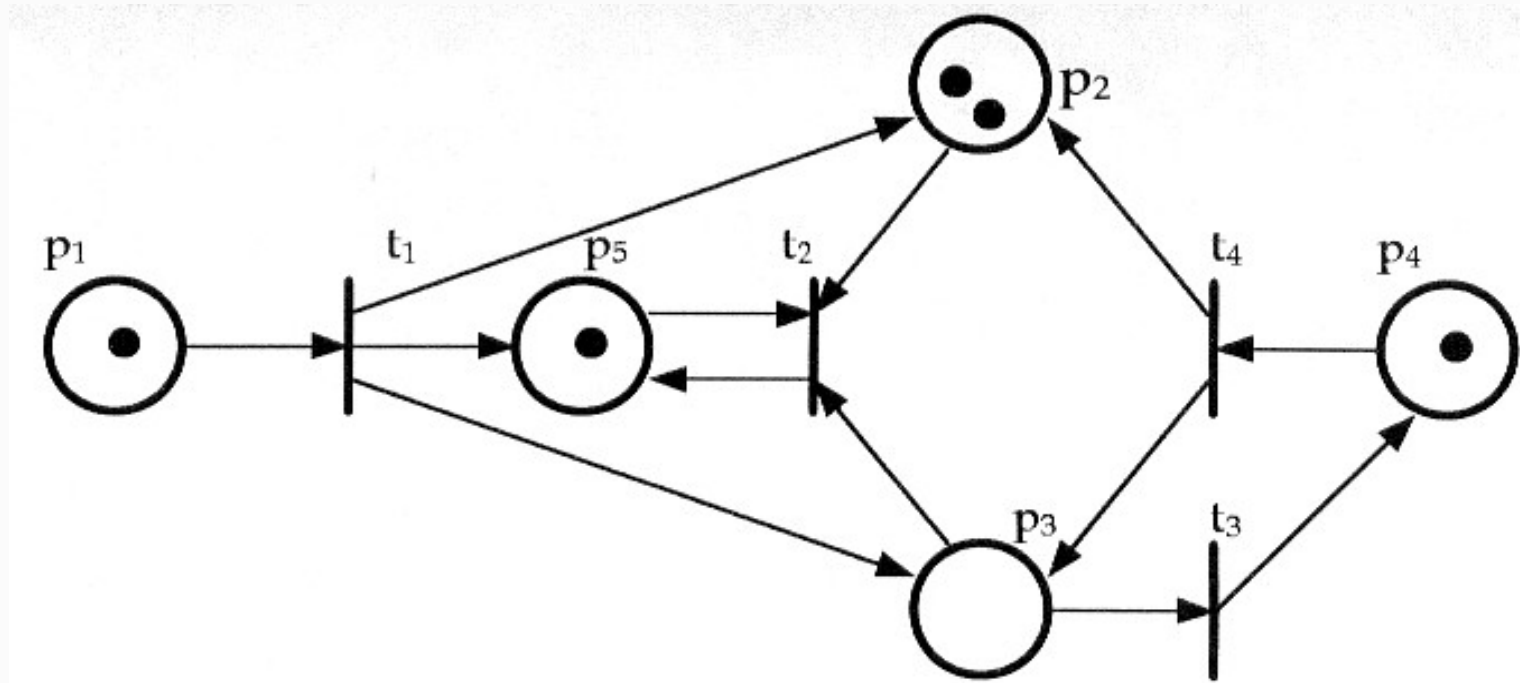
- » Los arcos indican a través de una flecha la relación entre sitios y transiciones y viceversa.
- » A los lugares se les asignan tokens (fichas) que se representan mediante un número o puntos dentro del sitio. Esta asignación de tokens a lugares constituye la marcación.
- » Luego de una marcación inicial se puede simular la ejecución de la red. El número de tokens asignados a un sitio es ilimitado.

# Redes de Petri



# Redes de Petri

---



$$M(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5) = (1, 2, 0, 1, 1)$$

# Redes de Petri

---

- » El conjunto de tokens asociado a cada estado sirve para manejar la coordinación de eventos y estados.
- » Una vez que ocurre un evento, un token puede “viajar” de uno de los estados a otro.
- » Las reglas de disparo provocan que los tokens “viajen” de un lugar a otro cuando se cumplen las condiciones adecuadas.
- » La ejecución es controlada por el número y distribución de los tokens.

# Redes de Petri

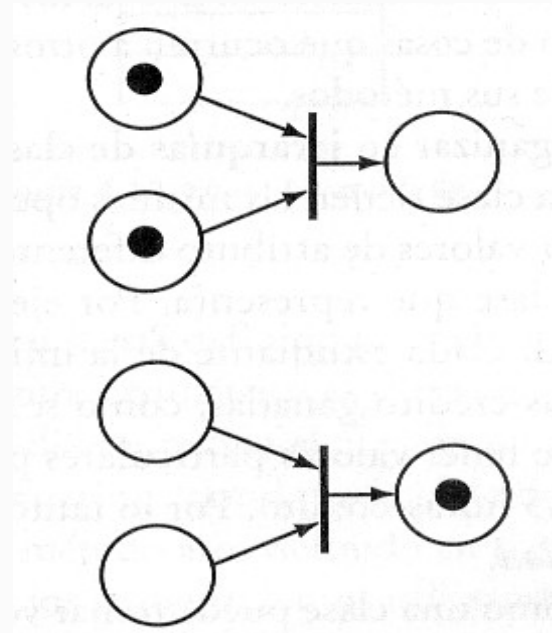
---

- »La ejecución de una Red de Petri se realiza disparando transiciones habilitadas.
- »Una transición está habilitada cuando cada lugar de entrada tiene al menos tantos tokens como arcos hacia la transición.
- »Disparar una transición habilitada implica remover tokens de los lugares de entrada y distribuir tokens en los lugares de salida (teniendo en cuenta la cantidad de arcos que llegan y la cantidad de arcos que salen de la transición).

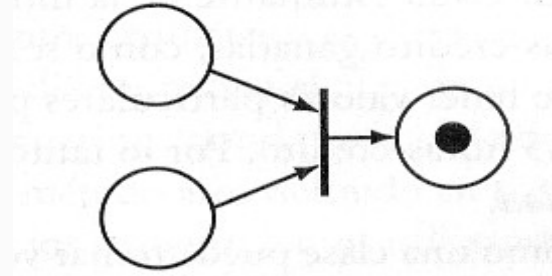
# Redes de Petri

## » Transiciones

La transición está  
habilitada



La transición no está  
habilitada



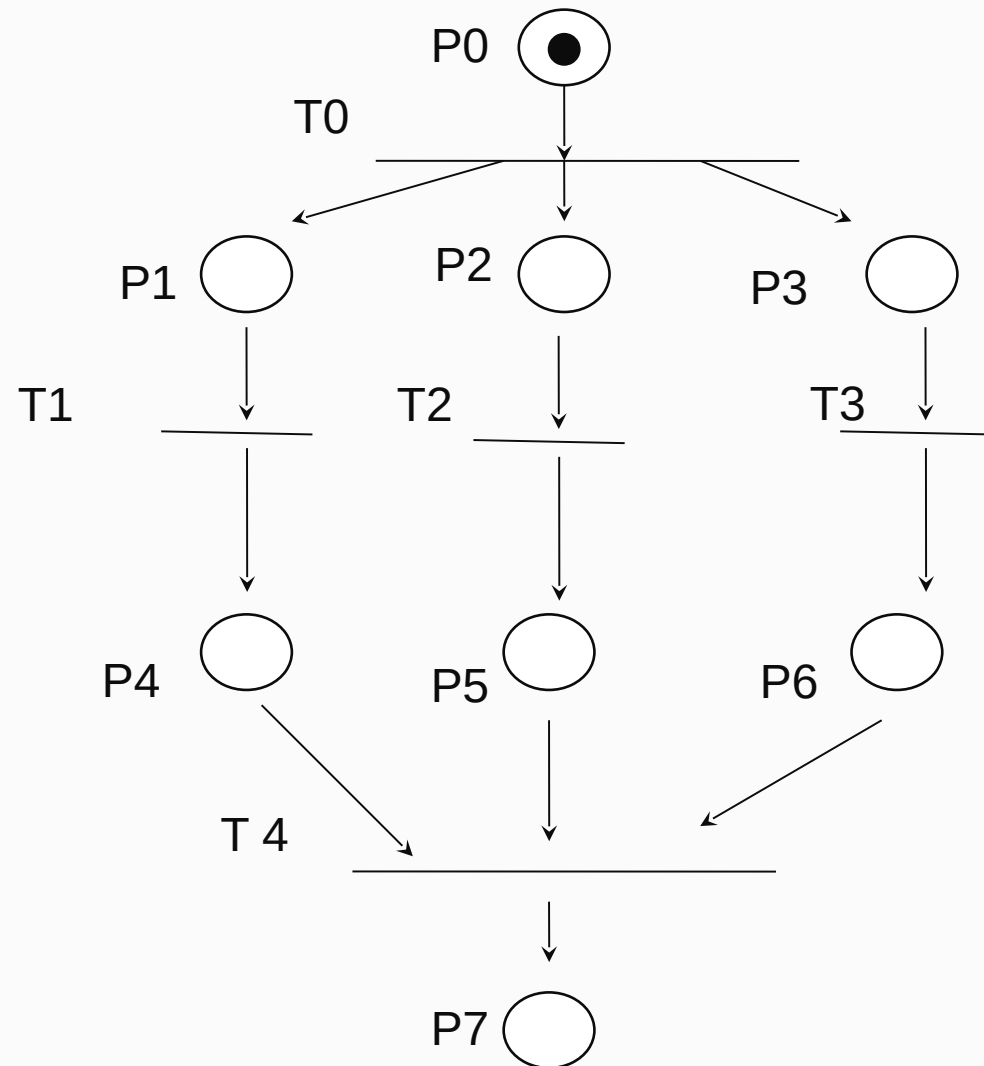
# Redes de Petri

---

- »La ocurrencia de los eventos (transiciones) depende del estado del sistema.
- »Una condición puede ser V (con token) o F (sin token)
- »La ocurrencia de un evento está sujeta a que se den ciertas condiciones (pre) y al ocurrir el evento causa que se hagan verdaderas las post-condiciones.
- »Las RP son asincrónicas y el orden en que ocurren los eventos es uno de los permitidos  
La ejecución es NO DETERMINÍSTICA
- »Se acepta que el disparo de una transición es instantáneo.



## »Paralelismo



# Redes de Petri

---

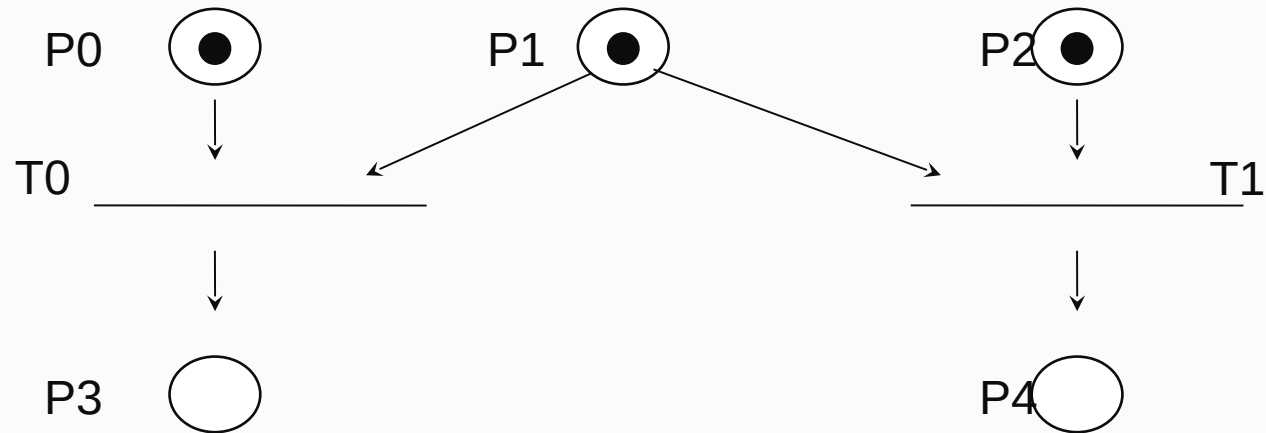
## » Sincronización

Para que varios procesos colaboren en la solución de un problema es necesario que compartan información y recursos pero esto debe ser controlado para asegurar la integridad y correcta operación del sistema.



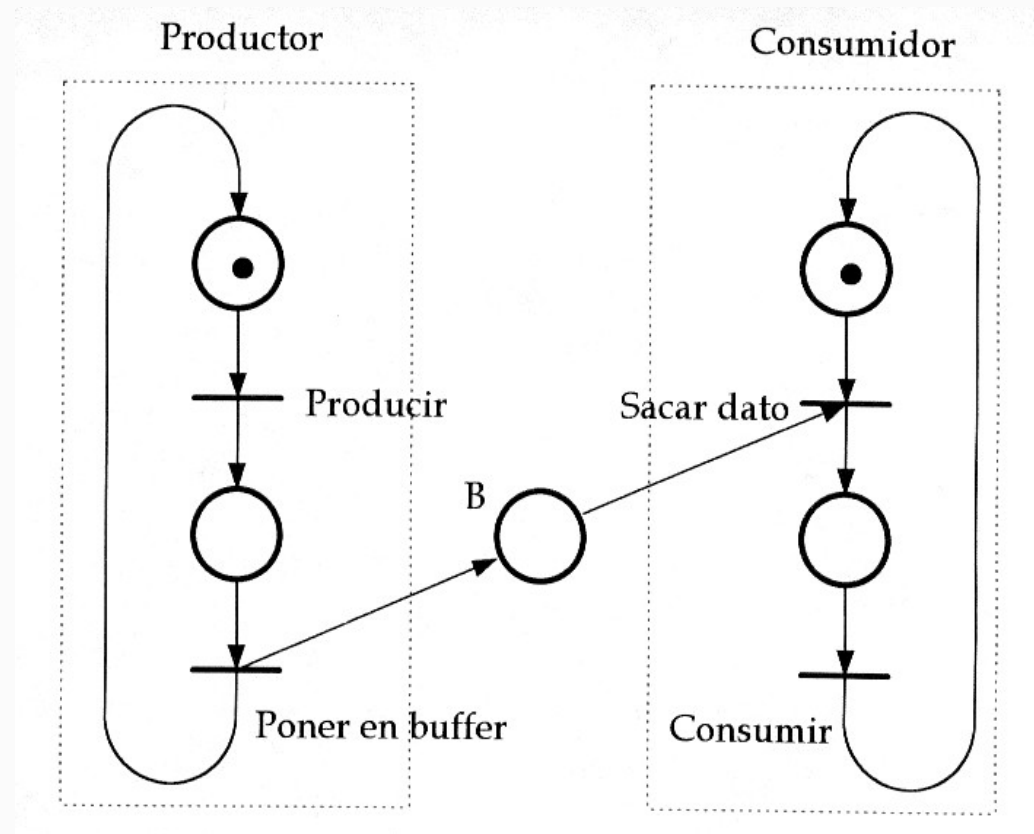
# Redes de Petri

## » Expresión de exclusión mutua



# Redes de Petri

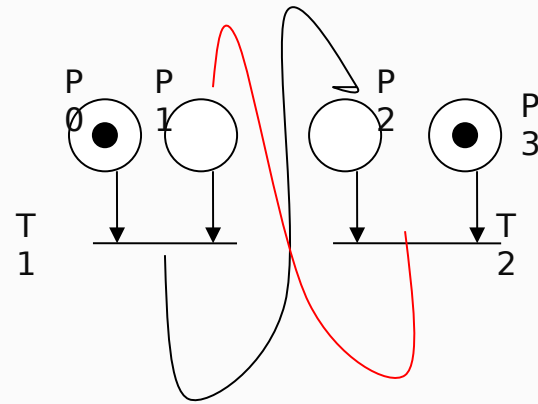
## »Productor - Consumidor



# Redes de Petri

---

## »Condición de bloqueo



# Ejemplos de Redes de Petri

---

# Brazo robot

- » Este ejemplo considera un sistema de manufactura flexible donde se tiene una banda transportadora por donde arriban piezas para ser procesadas.
- » Estas piezas son tomadas por un brazo de robot que las deposita en una máquina para su procesamiento.
- » Al finalizar el proceso, el brazo de robot vuelve a tomar la pieza para depositarla en una banda de salida.

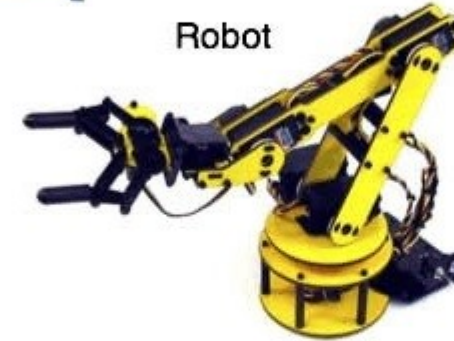
Banda de entrada



Banda de salida



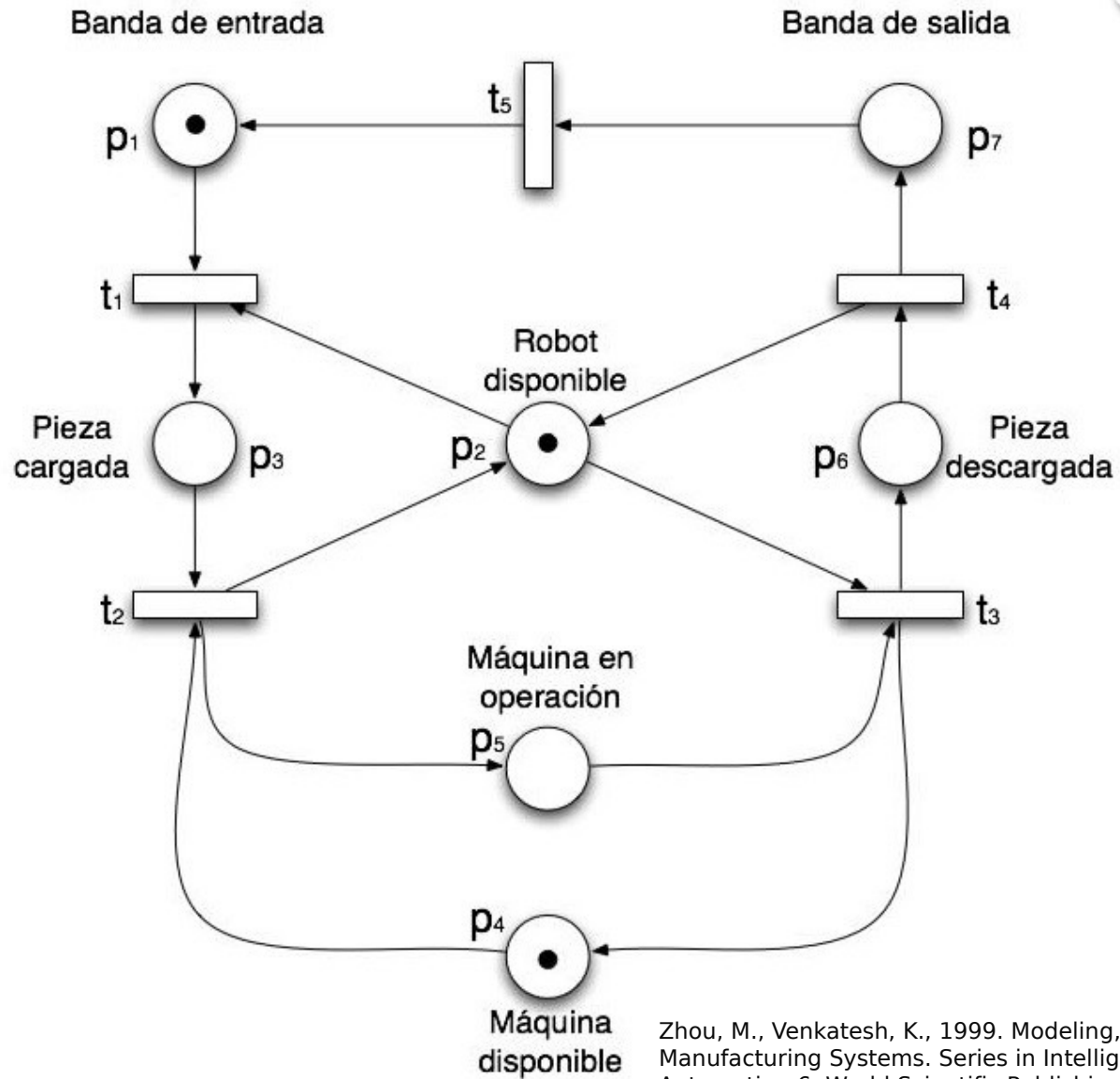
Robot



Máquina de proceso



# Brazo robot



Zhou, M., Venkatesh, K., 1999. Modeling, Simulation, and Control of Flexible Manufacturing Systems. Series in Intelligent Control and Intelligent Automation 6, World Scientific Publishing

Banda de entrada



Banda de salida



Robot

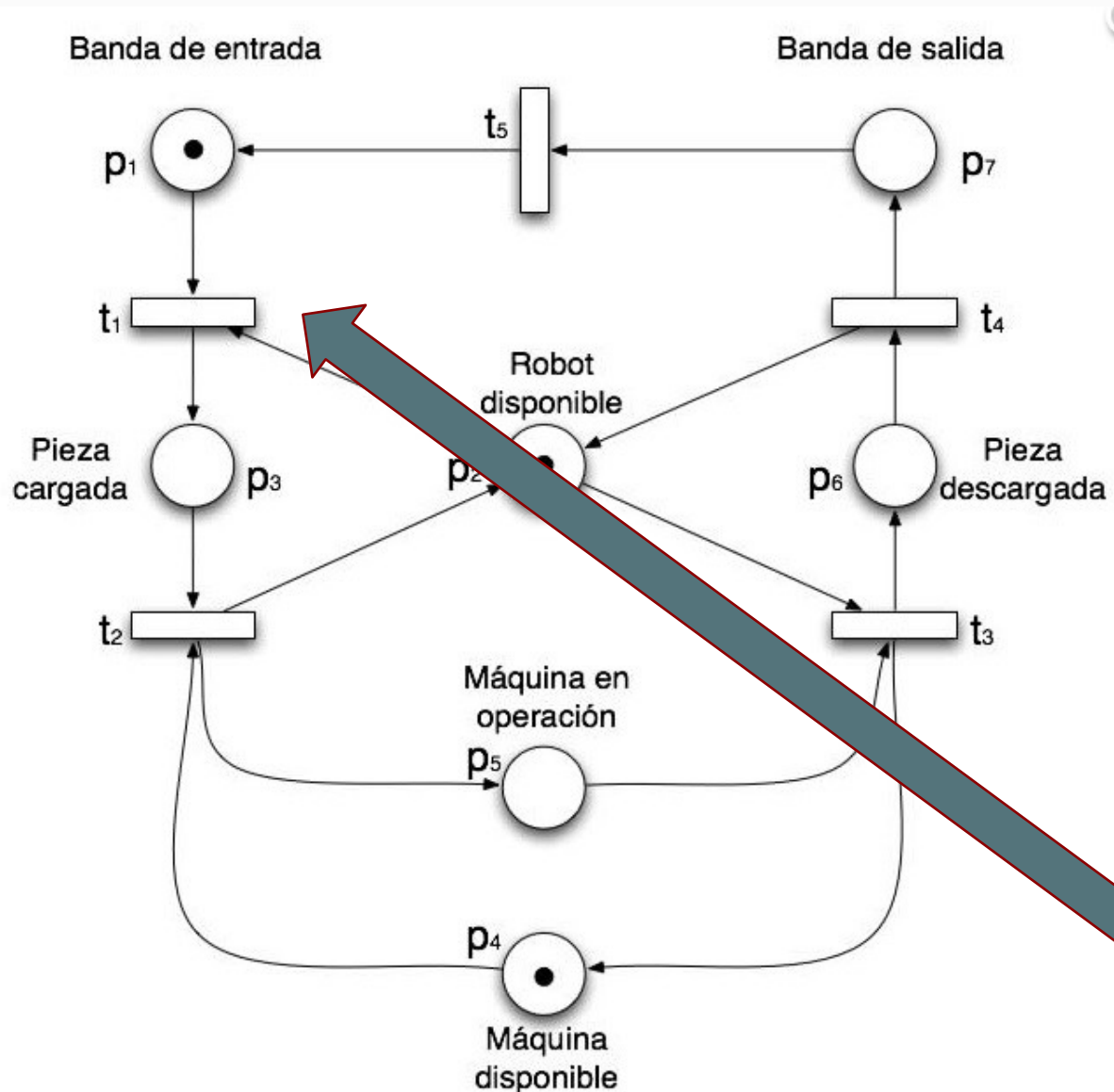


Máquina de proceso





# Brazo robot

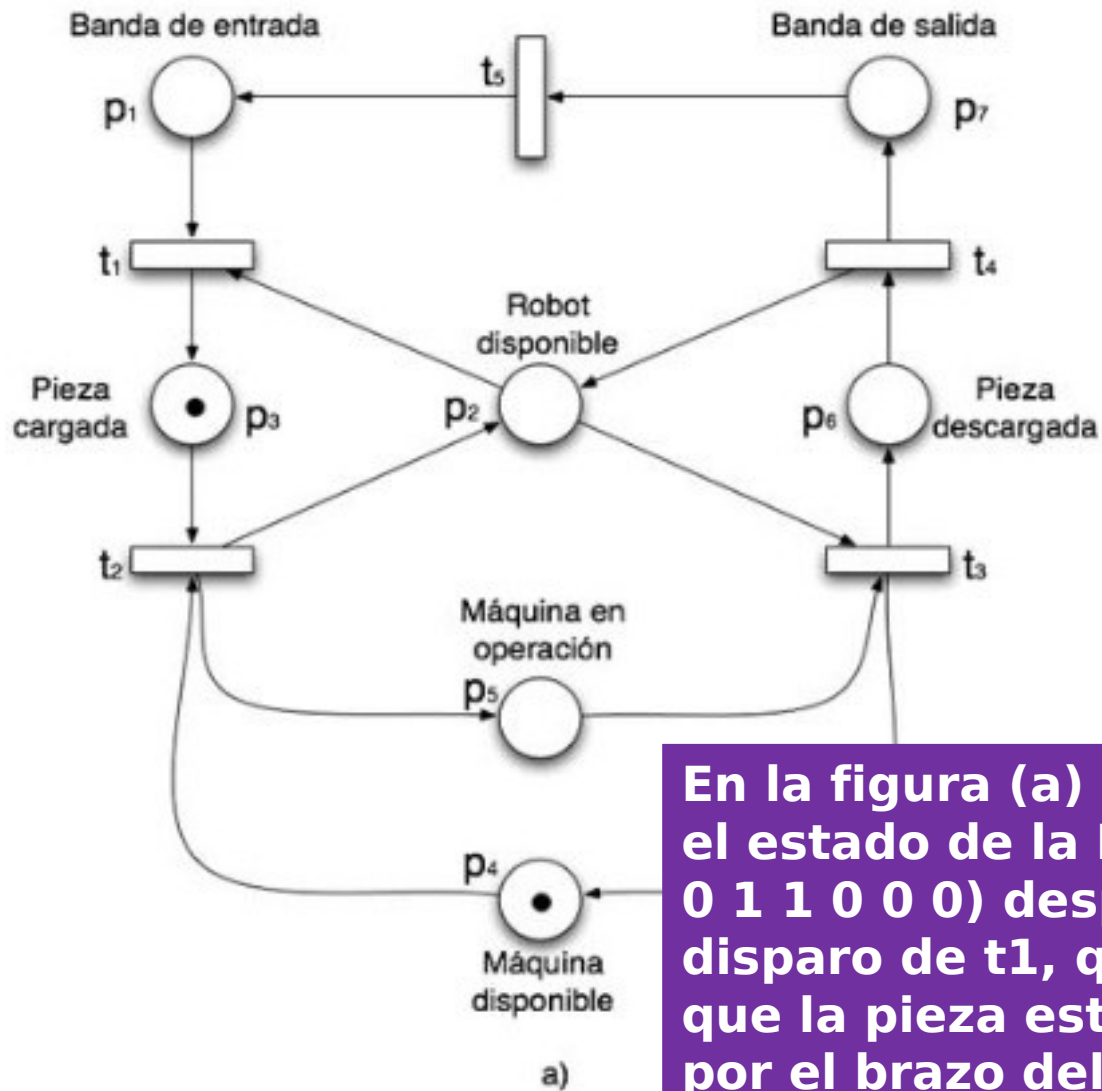


El **estado inicial** del sistema modelado por la RdP indica que existe una pieza en la banda de entrada (p1), que el brazo de robot está listo para tomar alguna pieza (p2) y que la máquina de proceso también está disponible (p4).

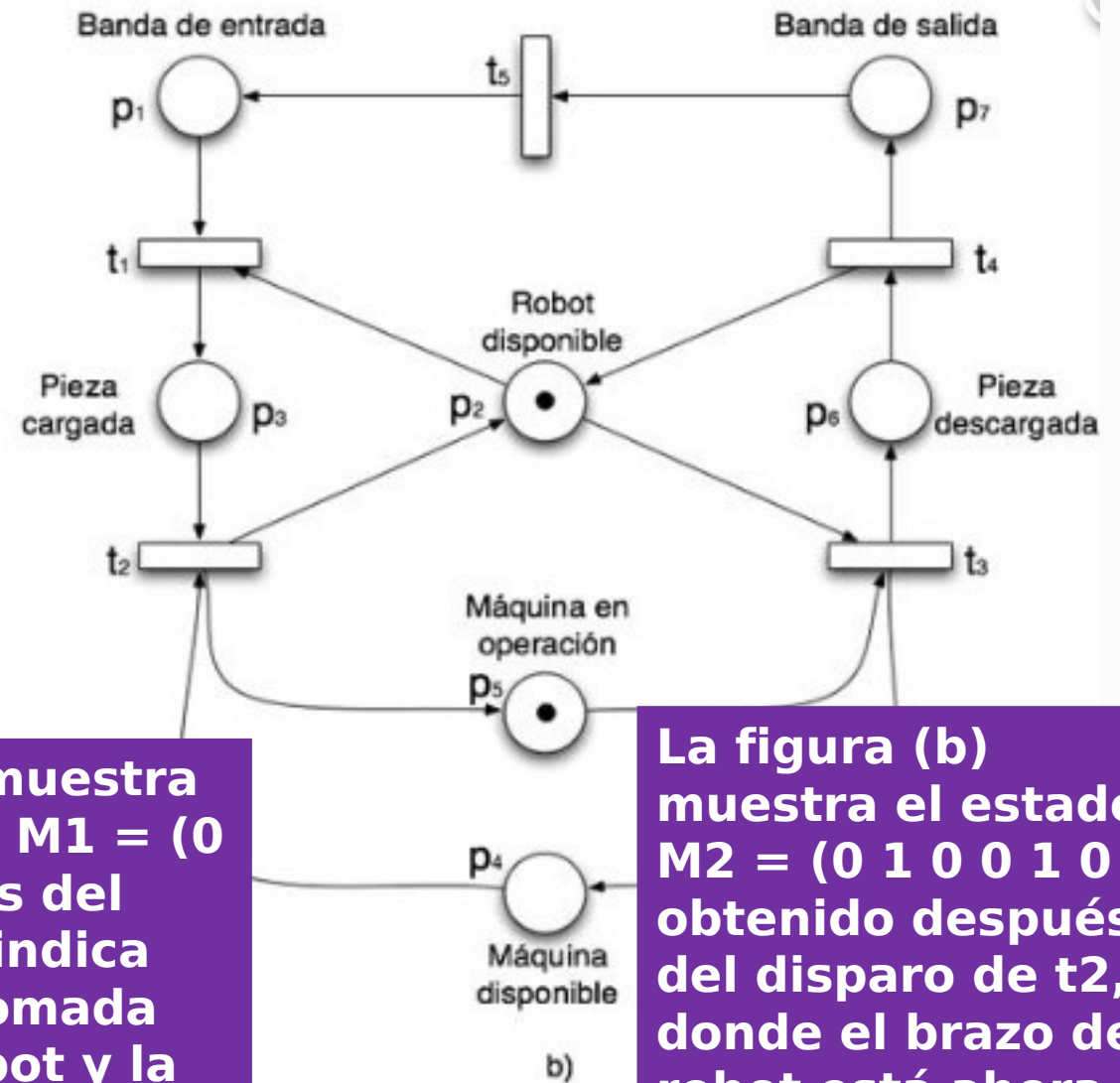
El marcado de este estado sería  $M0 = (1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)$ , que corresponden a los tokens de los lugares  $M0 = (p1 \ p2 \ \dots$

La **transición t1** se encuentra **habilitada**, es decir, para que una pieza sea tomada por el brazo de robot es necesario que la pieza se encuentre en la banda de entrada y el brazo de robot se encuentre disponible.

# Brazo robot



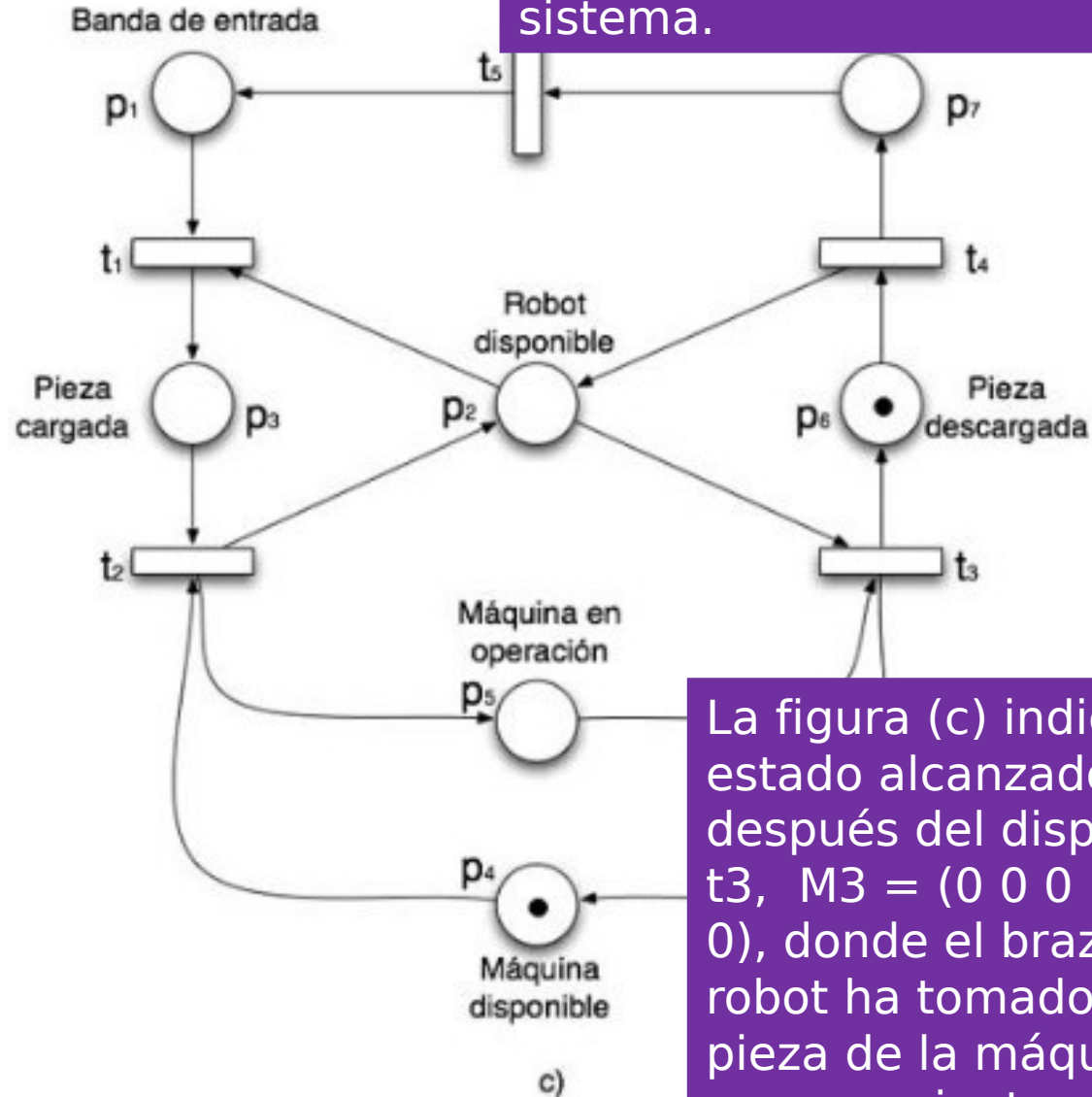
En la figura (a) se muestra el estado de la RdP  $M1 = (0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)$  después del disparo de  $t_1$ , que indica que la pieza está tomada por el brazo del robot y la máquina de procesamiento aún se encuentra disponible.



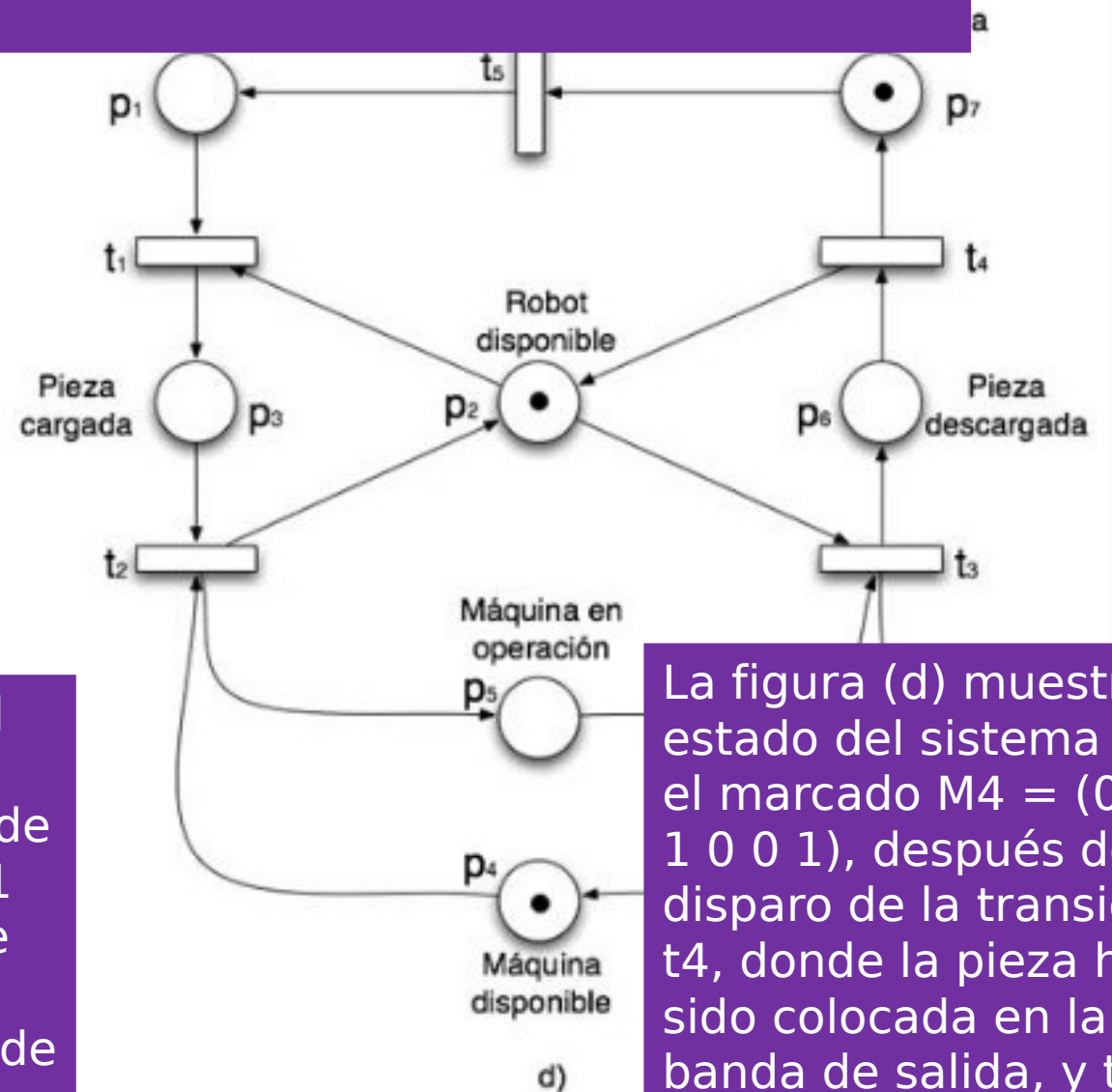
La figura (b) muestra el estado  $M2 = (0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0)$ , obtenido después del disparo de  $t_2$ , donde el brazo de robot está ahora disponible y la máquina de procesamiento se

# Brazo robot

A partir del marcado M4 se habilita la transición t5, cuyo disparo generaría el marcado M0, el cual corresponde al estado inicial del sistema.



La figura (c) indica el estado alcanzado después del disparo de  $t_3$ ,  $M_3 = (0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0)$ , donde el brazo de robot ha tomado la pieza de la máquina de procesamiento y ésta se encuentra disponible.



La figura (d) muestra el estado del sistema con el marcado  $M_4 = (0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1)$ , después del disparo de la transición  $t_4$ , donde la pieza ha sido colocada en la banda de salida, y tanto el brazo de robot como la máquina de

# Ejercicio para resolver paso a paso

---

» Los autos llegan a una estación de servicios para cargar combustible. La estación sólo posee lugar de espera para cinco autos. De no haber lugar quedará esperando fuera de la estación, hasta que se libere un lugar y pasará a esperar adentro. La estación tiene tres surtidores. Cada surtidor atiende de un auto a la vez. Una vez finalizada la carga, los autos pasan a esperar que se libere una de las dos cajas. Las cajas atienden de un auto a la vez. Una vez que ha realizado el pago, el auto se retira.

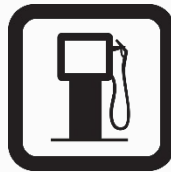
LOS  
AUTOS  
LLEGAN Y  
ESPERAN



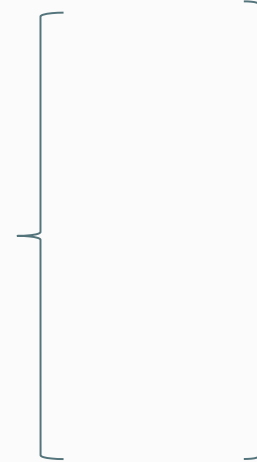
5  
LUGARE  
S DE  
ESPERA

Los autos llegan a una estación de servicios para cargar combustible. La estación sólo posee lugar de espera para cinco autos. De no haber lugar, quedará esperando fuera de la estación.

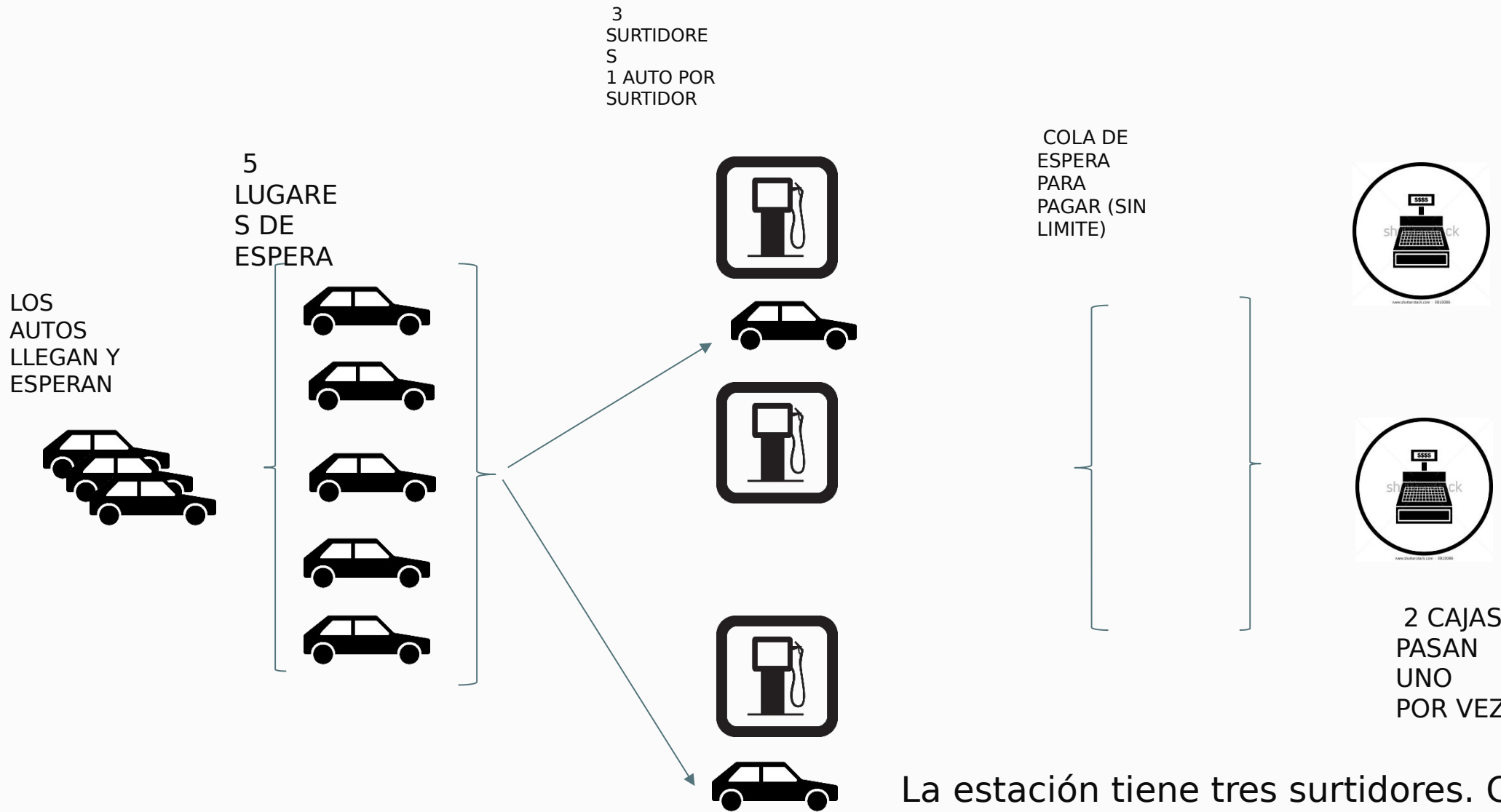
3  
SURTIDORE  
S  
1 AUTO POR  
SURTIDOR



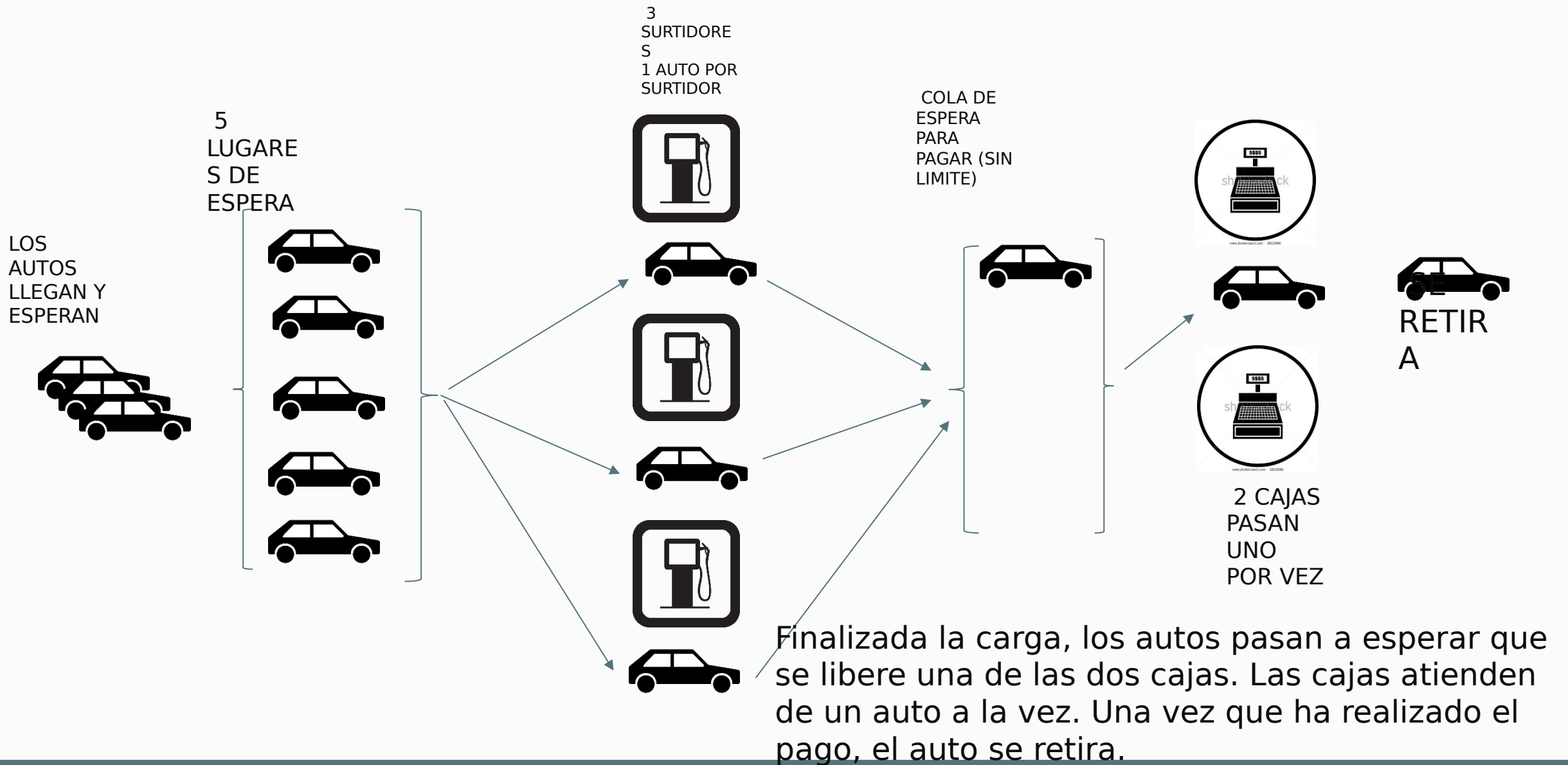
COLA DE  
ESPERA  
PARA  
PAGAR (SIN  
LIMITE)

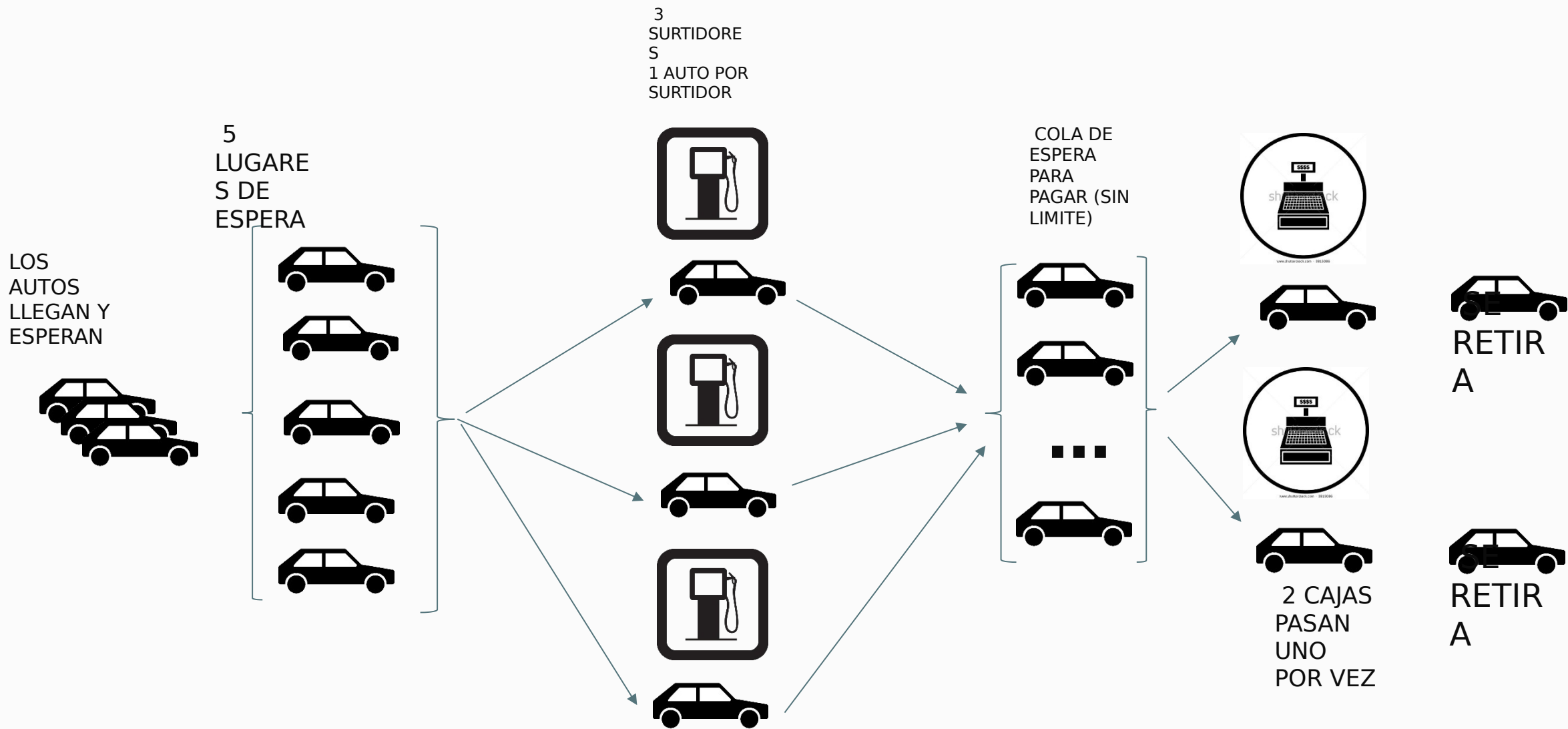


2 CAJAS  
PASAN  
UNO  
POR VEZ

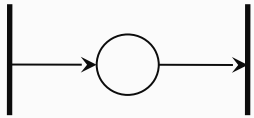
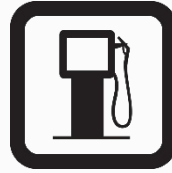


La estación tiene tres surtidores. Cada surtidor atiende de a un auto a la vez.

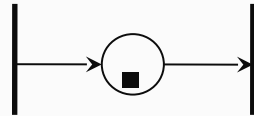




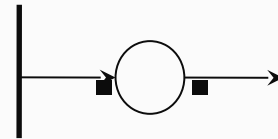




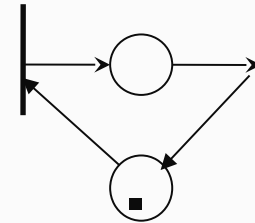
SURTIDOR LIBRE



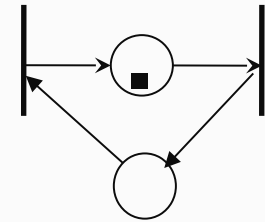
SURTIDOR OCUPADO



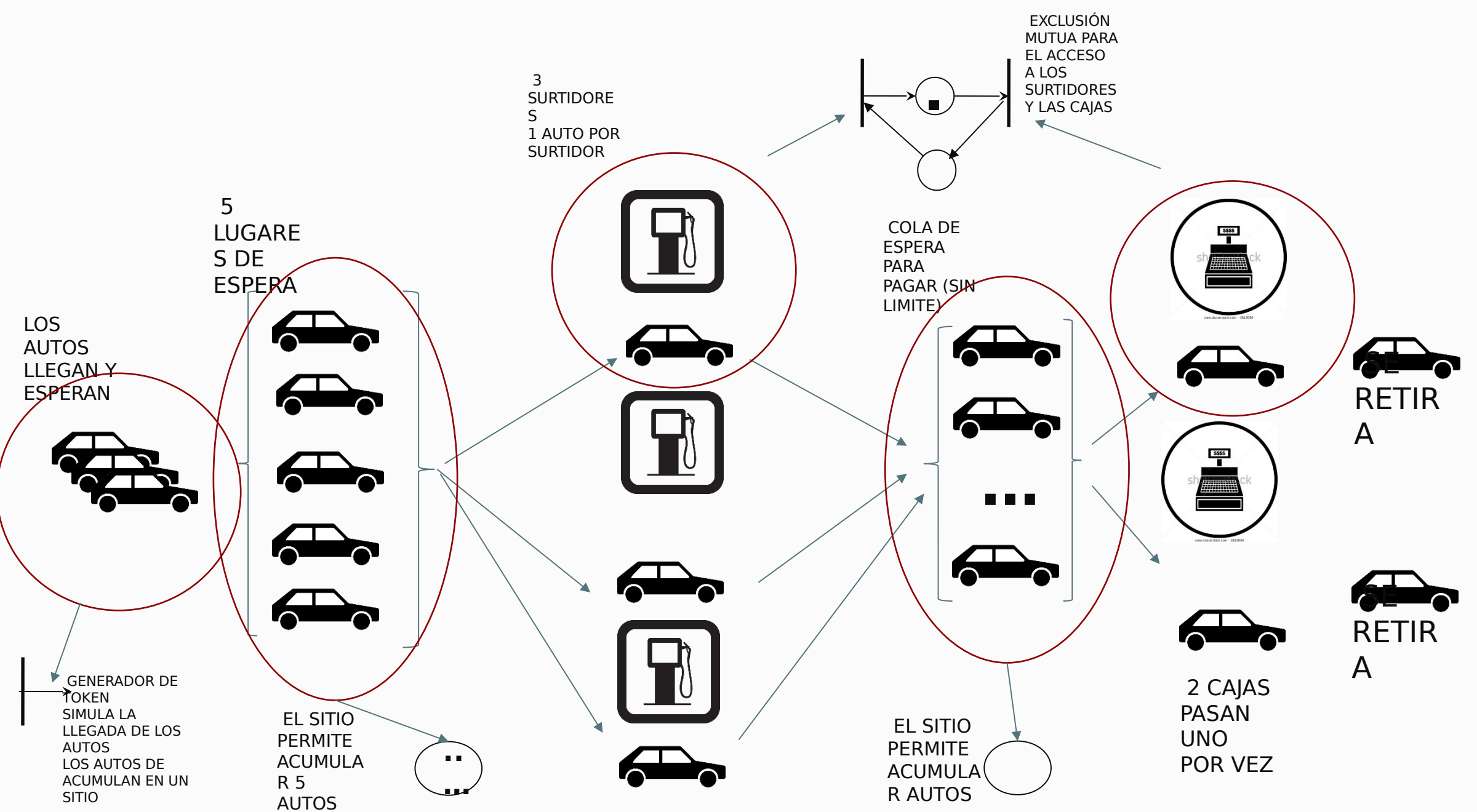
SURTIDOR  
OCUPADO  
SIN  
RESTRICCIÓNES

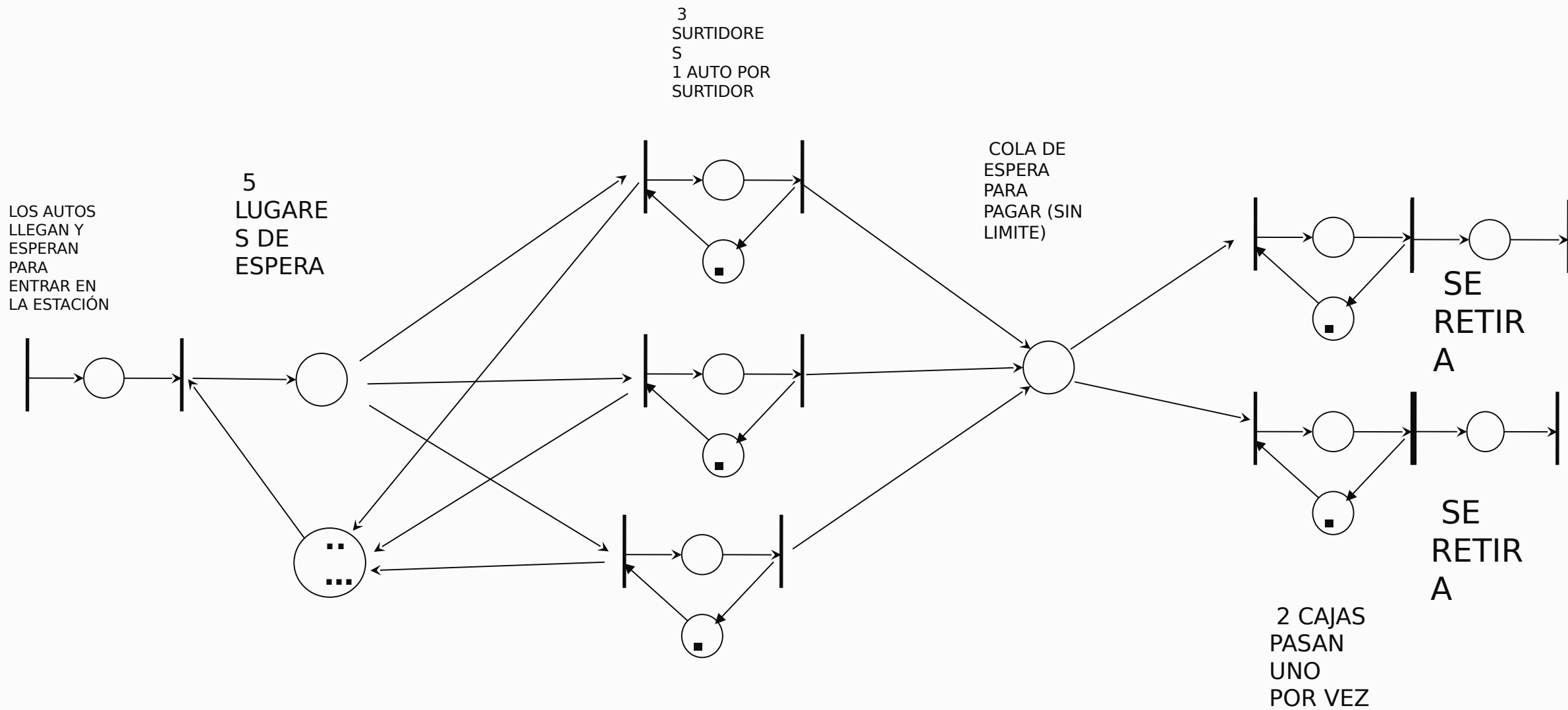


SURTIDOR LIBRE  
CON RESTRICCIÓN  
DE UN AUTO



SURTIDOR OCUPADO  
CON RESTRICCIÓN DE  
UN AUTO





# Redes de Petri – Características

---

- »Es importante desarrollar modelos de los sistemas de eventos discretos para estudiarlos y comprender su comportamiento.
- »Existen herramientas computacionales que permiten analizar este tipo de sistemas, las cuales están basadas en análisis estadísticos y ofrecen soluciones con ciertos grados de incertidumbre.
- »Por otro lado, las RdP pueden ser aplicadas para la modelación de sistemas de eventos discretos, las cuales ofrecen una forma de representación gráfica y matemática de los sistemas modelados.
- »La formalidad matemática de la RdP proporcionan herramientas de análisis para analizar los posibles estados a los que el sistema modelado pudiera alcanzar.