



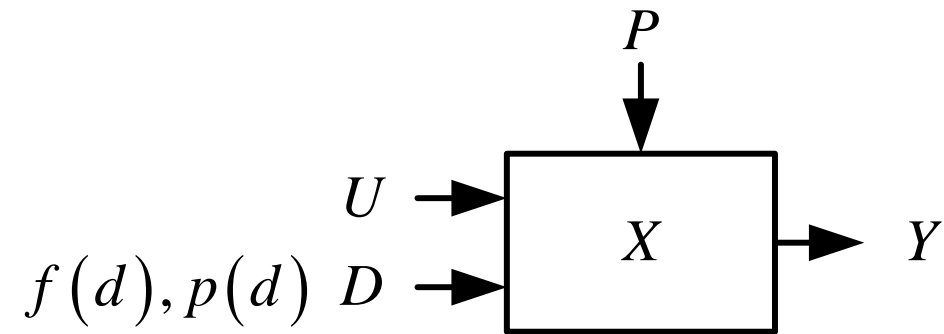
# Sistemas estocásticos

Enrique E. Tarifa, Facultad de Ingeniería, UNJu

# Sistemas estocásticos

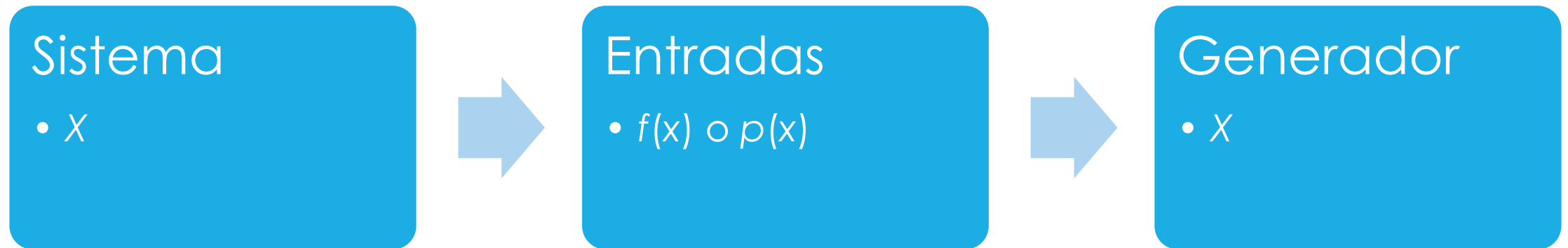
# Clasificación de variables

- Parámetros ( $P$ )
- Variables de entrada:
  - Manipulables ( $U$ )
  - Perturbación ( $D$ )
- Variables de salida ( $Y$ )
- Variables internas ( $I$ )
- Variables de estado ( $X \subseteq I$ )



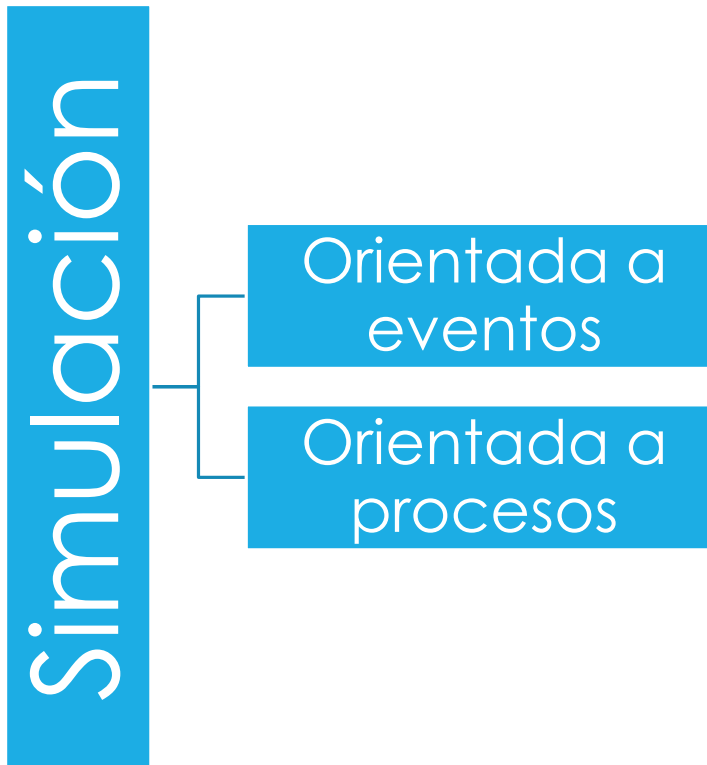
- Tiempo entre arribos de clientes
- Tipo de operación
- Monto de la operación

# Estrategia

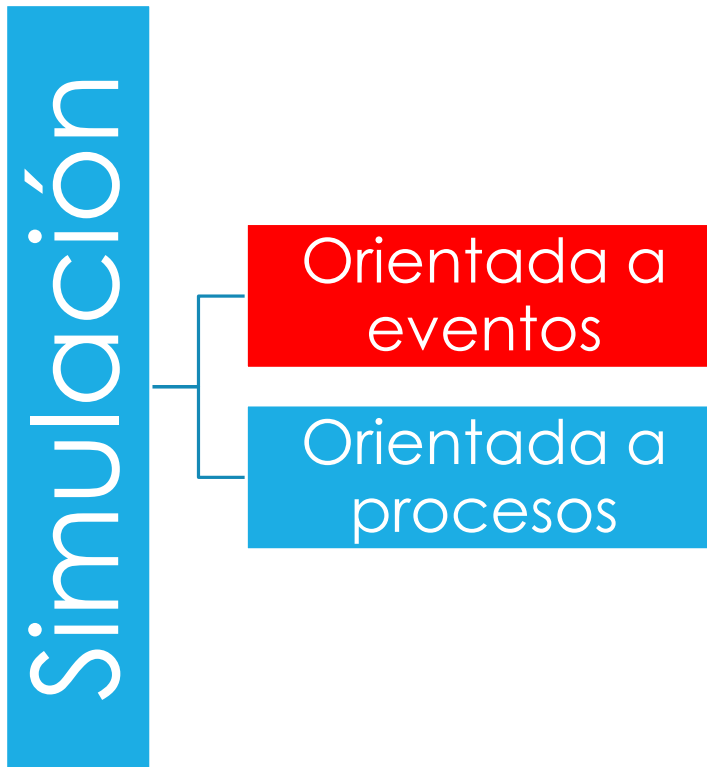


- Se atenúan errores de muestreo.
- Se puede generar cualquier cantidad de números.
- Se puede repetir una secuencia generada.

# Enfoques



# Enfoques



Enfoque orientado a eventos

# Sistema estocástico

- El tiempo es protagonista.
- El *estado* se modifica cada vez que ocurre un *evento*.
- Evento: Causa instantánea de un cambio de estado en un sistema discreto:
  - Llegada de un cliente
  - Falla de un equipo
  - Finalización de la tarea de un servidor



# Centro de cómputos

Una empresa posee dos equipos de computación que brindan idéntico servicio. Cada equipo tiene un tiempo medio de falla de 6 meses. Por cada mes que un equipo está fuera de servicio se pierden \$2000. Cuando ambos equipos fallan, las pérdidas son de \$10000 por mes. Estas pérdidas son causadas por multas que la empresa debe pagar a fin de mes dependiendo exclusivamente del estado de los equipos en ese momento sin importar en qué instante del mes fallaron. El costo de reparación es de \$1000 por equipo, y se abona al final de la misma. El tiempo medio de reparación es de 2 meses. Se quiere determinar el fondo anual que la empresa deberá reservar para enfrentar los gastos provocados por las fallas de los equipos.

# Modelado considerando eventos

## Eventos

- F1: Falla equipo 1.
- F2: Falla equipo 2.
- R1: Se repara equipo 1.
- R2: Se repara equipo 2.
- FM: Fin de mes.

## Velocidades

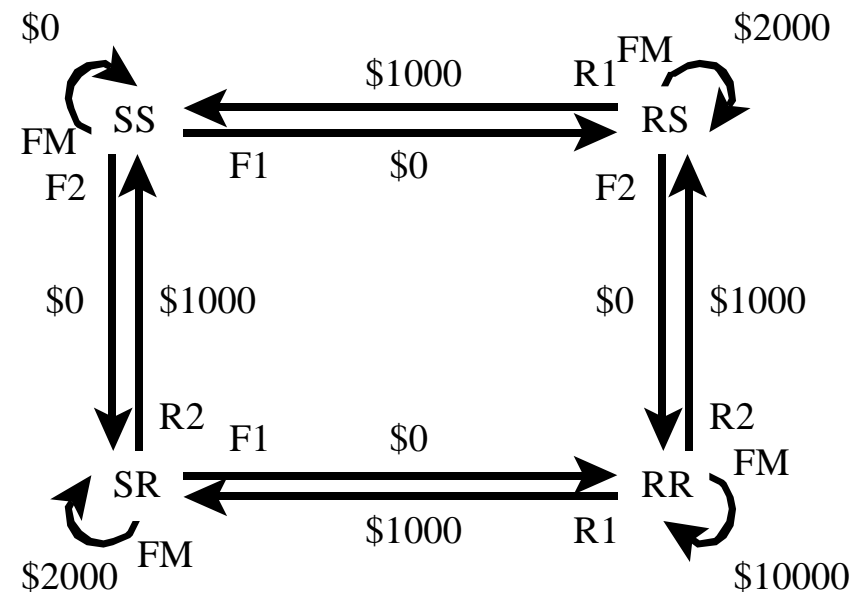
- $\lambda_{F1} = \frac{1}{6} \text{mes}^{-1}$
- $\lambda_{F2} = \frac{1}{6} \text{mes}^{-1}$
- $\lambda_{R1} = \frac{1}{2} \text{mes}^{-1}$
- $\lambda_{R2} = \frac{1}{2} \text{mes}^{-1}$

# Modelado considerando eventos

## Estados

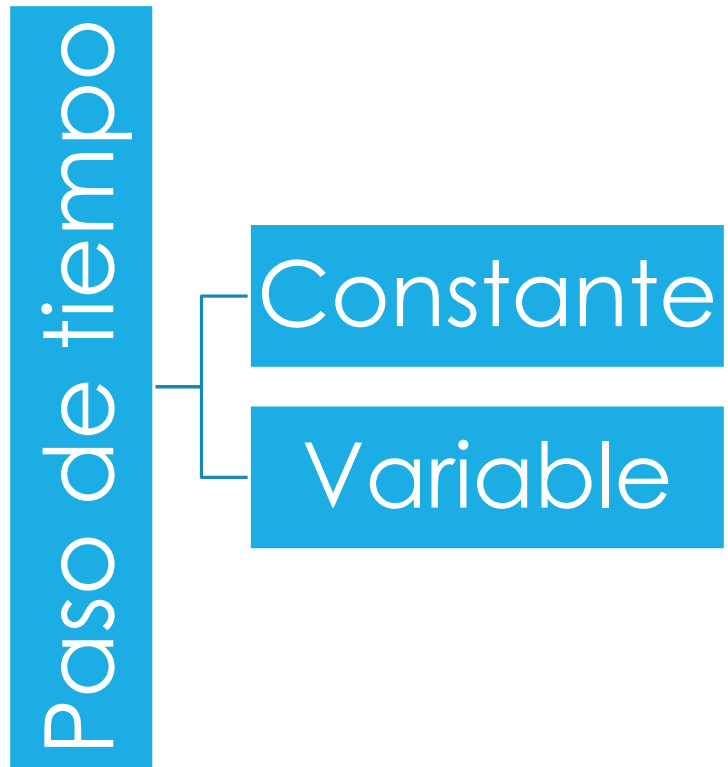
- SS: Los dos equipos en servicio.
- SR: El equipo 1 en servicio, el equipo 2 en reparación.
- RS: El equipo 2 en servicio, el equipo 1 en reparación.
- RR: Los dos equipos en reparación.

## Red de Markov

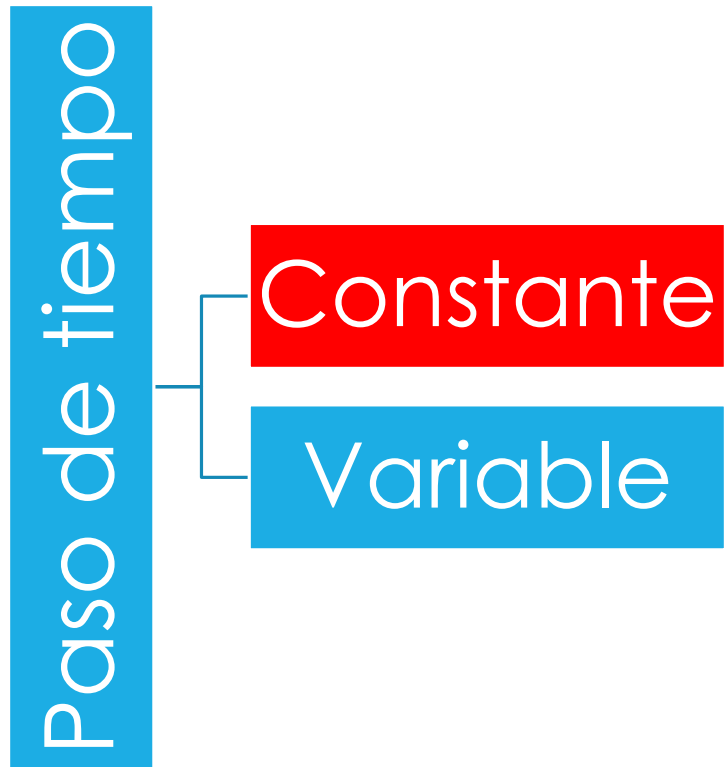


Paso de tiempo

# Paso de tiempo

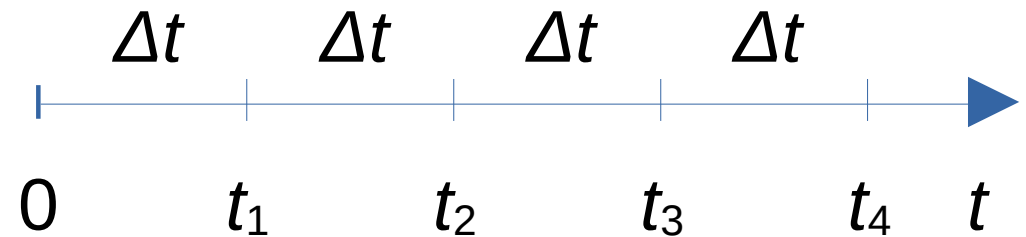


# Paso de tiempo



# Paso constante de tiempo

- Paso constante  $\Delta t$
- Solo ocurre un evento por vez.
- Procedimiento:
  1. Inicializar
  2. Dar un paso  $\Delta t$ .
  3. Determinar el posible evento A.
  4. Generar  $r$
  5. Si  $r < P(A)$ , ocurre A, modificar estado.
  6. Si no finalizó, ir a 2.



Requiere  $P(A)$

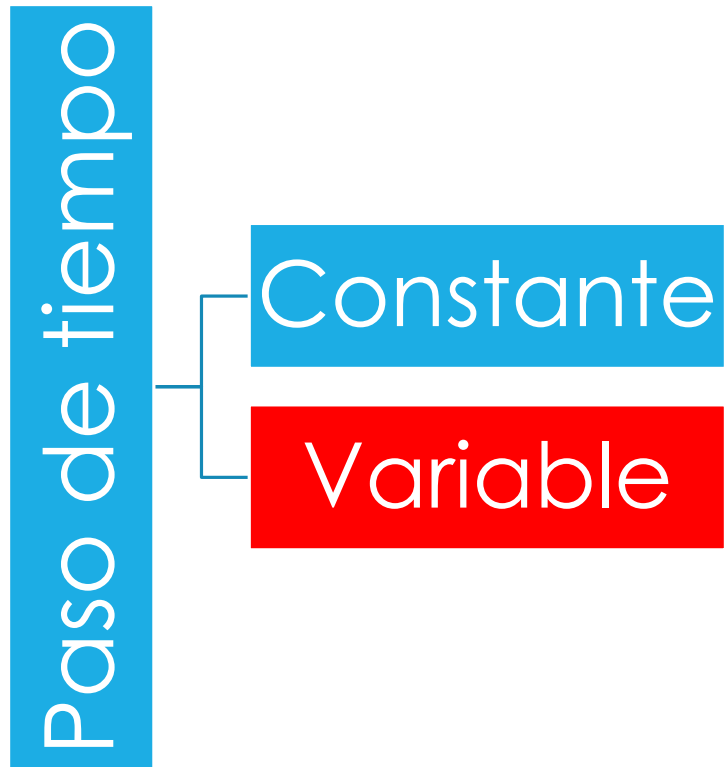
# Paso constante de tiempo

- Distribución exponencial:
  - $P(A) = \lambda_A \Delta t$
- Para  $\Delta t = 0.25$  mes
  - $P(F1) = 0.04$
  - $P(F2) = 0.04$
  - $P(R1) = 0.12$
  - $P(R2) = 0.12$

| Mes          | Evento | Estado | Pérdida (\$)   |
|--------------|--------|--------|----------------|
| 0.00         |        | SS     |                |
| 0.25         |        | SS     |                |
| 0.50         |        | SS     |                |
| 0.75         |        | SS     |                |
| 1.00         | FM     | SS     | 0              |
| ...          | ...    | ...    | ...            |
| 2.00         | FM     | SS     | 0              |
| 2.25         | F2     | SR     | 0              |
| 3.00         | FM     | SR     | 2000           |
| 4.00         | FM     | SR     | 2000           |
| 4.50         | F1     | RR     | 0              |
| 5.00         | FM     | RR     | 10000          |
| 5.25         | R2     | RS     | 1000           |
| 6.00         | FM     | RS     | 2000           |
| 6.50         | R1     | SS     | 1000           |
| 7.00         | FM     | SS     | 0              |
| 7.25         | F1     | RS     | 0              |
| 7.50         | F2     | RR     | 0              |
| 8.00         | FM     | RR     | 10000          |
| 9.00         | FM     | RR     | 10000          |
| 9.50         | R2     | RS     | 1000           |
| 10.00        | FM     | RS     | 2000           |
| 11.00        | FM     | RS     | 2000           |
| 12.00        | FM     | RS     | 2000           |
| <b>Total</b> |        |        | <b>\$45000</b> |

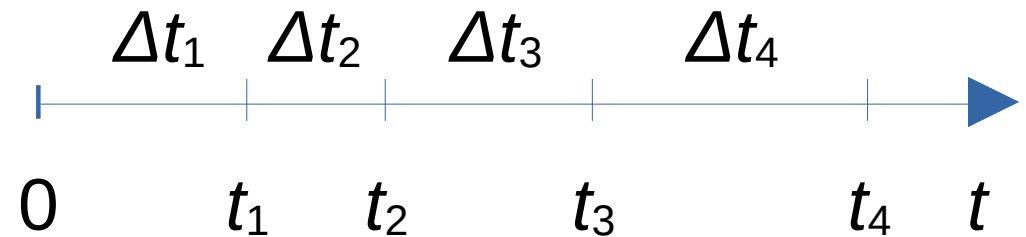


# Paso de tiempo



# Paso variable de tiempo

- Paso variable  $\Delta t$
- $f(\Delta t) \rightarrow$  generadores
- Procedimiento:
  1. Inicializar
  2. Determinar el siguiente evento A.
  3. Dar un paso  $\Delta t$  hasta A.
  4. Modificar el estado.
  5. Agendar eventos futuros.
  6. Si no finalizó, ir a 2.



Requiere generador  $f(\Delta t)$

# Paso variable de tiempo

- Distribución exponencial:

- $\Delta t_A = -\frac{1}{\lambda_A} \ln(r_A)$

- Con velocidades:

- $\lambda_{F1} = \frac{1}{6} \text{mes}^{-1}$

- $\lambda_{F2} = \frac{1}{6} \text{mes}^{-1}$

- $\lambda_{R1} = \frac{1}{2} \text{mes}^{-1}$

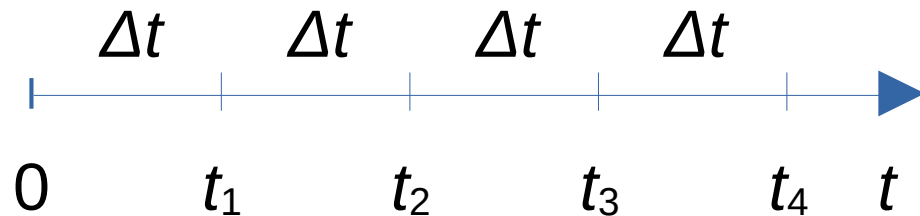
- $\lambda_{R2} = \frac{1}{2} \text{mes}^{-1}$

| Mes          | Evento | Estado | Pérdida (\$)   |
|--------------|--------|--------|----------------|
| 0.00         |        | SS     |                |
| 0.25         |        | SS     |                |
| 0.50         |        | SS     |                |
| 0.75         |        | SS     |                |
| 1.00         | FM     | SS     | 0              |
| ...          | ...    | ...    | ...            |
| 2.00         | FM     | SS     | 0              |
| 2.25         | F2     | SR     | 0              |
| 3.00         | FM     | SR     | 2000           |
| 4.00         | FM     | SR     | 2000           |
| 4.50         | F1     | RR     | 0              |
| 5.00         | FM     | RR     | 10000          |
| 5.25         | R2     | RS     | 1000           |
| 6.00         | FM     | RS     | 2000           |
| 6.50         | R1     | SS     | 1000           |
| 7.00         | FM     | SS     | 0              |
| 7.25         | F1     | RS     | 0              |
| 7.50         | F2     | RR     | 0              |
| 8.00         | FM     | RR     | 10000          |
| 9.00         | FM     | RR     | 10000          |
| 9.50         | R2     | RS     | 1000           |
| 10.00        | FM     | RS     | 2000           |
| 11.00        | FM     | RS     | 2000           |
| 12.00        | FM     | RS     | 2000           |
| <b>Total</b> |        |        | <b>\$45000</b> |

# Comparación

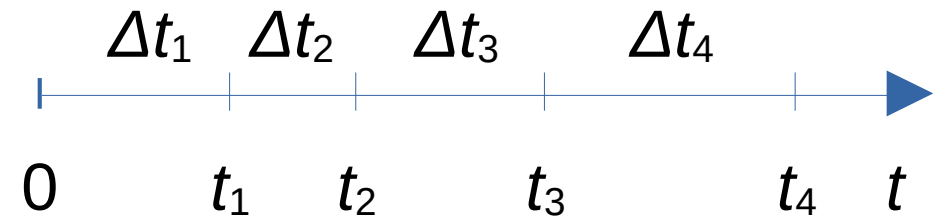
## Paso constante

- Fácil programación
- Sistemas continuos y discretos
- Error  $\Delta t$
- Ineficiente, varios pasos sin eventos



## Paso variable

- Error nulo
- Eficiente
- Programación compleja
- Solo sistemas discretos



# Mantenimiento de aviones

# Mantenimiento de aviones

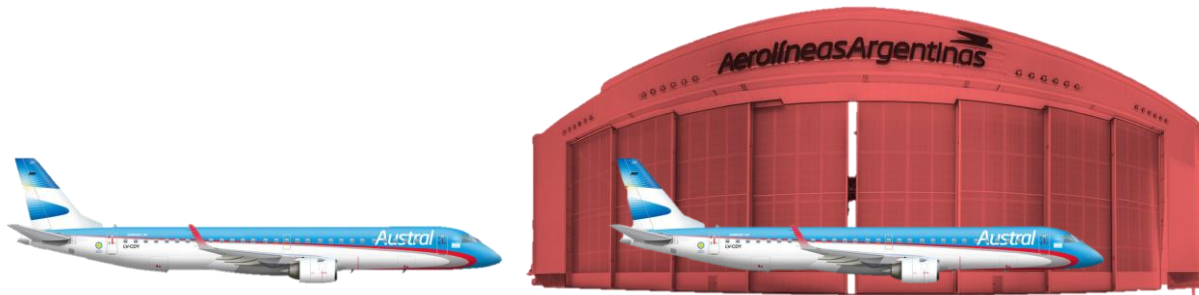
Al inicio de cada día, se revisa un avión. El tiempo de revisión es despreciable. Se decide si la unidad necesita mantenimiento o no. La empresa alquila un taller a \$2500 por día. Por cada día que pasa sin operar un avión, la empresa pierde \$5000. Se desea determinar si conviene alquilar un segundo taller.

# Sistema

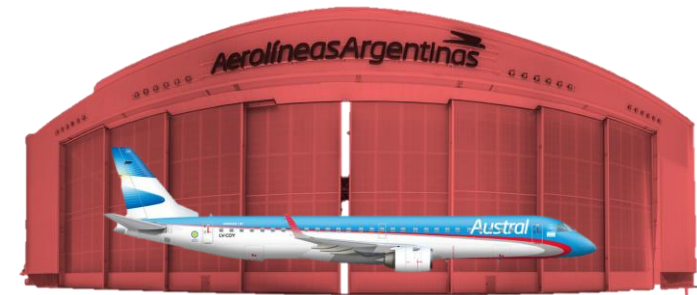
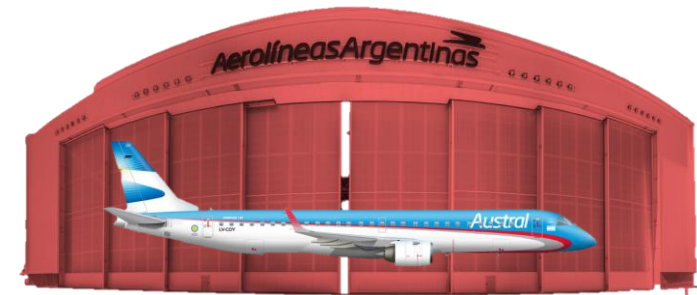


# Casos

Un taller



Dos talleres





# Pasos para la simulación

- Propósito: Determinar si conviene alquilar un segundo taller.
- Sistema: El sistema de mantenimiento de la empresa.
- Adquisición de datos: Registros de tiempo de ingreso de aviones al taller, tiempo de reparación.
- Construcción del modelo: Una maqueta.
- Validación del modelo: Verificación de los costos reales correspondientes al periodo de medición.
- Experimentación: Estudiar los costos con un taller y con dos talleres.
- Implementación de los resultados: Alquilar otro taller o no.

# Modelado de entradas

- Probabilidad de falla: 0.5
- Tiempo de reparación: 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 días con una probabilidad de  $1/6$ .



# Simulación

|                              |                | Un taller |        |       |  |  |  |  |
|------------------------------|----------------|-----------|--------|-------|--|--|--|--|
| Días                         | Días en taller | Entrada   | Salida | Total |  |  |  |  |
| 0                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 1                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 2                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 3                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 4                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 5                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 6                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 7                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 8                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 9                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| <b>Días totales perdidos</b> |                |           |        |       |  |  |  |  |

# Simulación

|                              |                | Un taller |        |       |  |  |  |  |
|------------------------------|----------------|-----------|--------|-------|--|--|--|--|
| Días                         | Días en taller | Entrada   | Salida | Total |  |  |  |  |
| 0                            | 2.5            | 0         | 2.5    | 2.5   |  |  |  |  |
| 1                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 2                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 3                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 4                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 5                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 6                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 7                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 8                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 9                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| <b>Días totales perdidos</b> |                |           |        |       |  |  |  |  |

# Simulación

|                              |                | Un taller |        |       |  |  |  |  |
|------------------------------|----------------|-----------|--------|-------|--|--|--|--|
| Días                         | Días en taller | Entrada   | Salida | Total |  |  |  |  |
| 0                            | 2.5            | 0         | 2.5    | 2.5   |  |  |  |  |
| 1                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 2                            | 2              | 2.5       | 4.5    | 2.5   |  |  |  |  |
| 3                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 4                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 5                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 6                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 7                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 8                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| 9                            |                |           |        |       |  |  |  |  |
| <b>Días totales perdidos</b> |                |           |        |       |  |  |  |  |

# Simulación

|                              |                | Un taller |        |             |  |  |  |  |
|------------------------------|----------------|-----------|--------|-------------|--|--|--|--|
| Días                         | Días en taller | Entrada   | Salida | Total       |  |  |  |  |
| 0                            | 2.5            | 0         | 2.5    | 2.5         |  |  |  |  |
| 1                            |                |           |        |             |  |  |  |  |
| 2                            | 2              | 2.5       | 4.5    | 2.5         |  |  |  |  |
| 3                            |                |           |        |             |  |  |  |  |
| 4                            | 3              | 4.5       | 7.5    | 3.5         |  |  |  |  |
| 5                            | 1.5            | 7.5       | 9      | 4           |  |  |  |  |
| 6                            |                |           |        |             |  |  |  |  |
| 7                            | 2              | 9         | 11     | 4           |  |  |  |  |
| 8                            | 1              | 11        | 12     | 4           |  |  |  |  |
| 9                            |                |           |        |             |  |  |  |  |
| <b>Días totales perdidos</b> |                |           |        | <b>20.5</b> |  |  |  |  |

# Simulación

|                              |                | Un taller |        |             | Dos talleres |        |       |        |
|------------------------------|----------------|-----------|--------|-------------|--------------|--------|-------|--------|
| Días                         | Días en taller | Entrada   | Salida | Total       | Entrada      | Salida | Total | Taller |
| 0                            | 2.5            | 0         | 2.5    | 2.5         |              |        |       |        |
| 1                            |                |           |        |             |              |        |       |        |
| 2                            | 2              | 2.5       | 4.5    | 2.5         |              |        |       |        |
| 3                            |                |           |        |             |              |        |       |        |
| 4                            | 3              | 4.5       | 7.5    | 3.5         |              |        |       |        |
| 5                            | 1.5            | 7.5       | 9      | 4           |              |        |       |        |
| 6                            |                |           |        |             |              |        |       |        |
| 7                            | 2              | 9         | 11     | 4           |              |        |       |        |
| 8                            | 1              | 11        | 12     | 4           |              |        |       |        |
| 9                            |                |           |        |             |              |        |       |        |
| <b>Días totales perdidos</b> |                |           |        | <b>20.5</b> |              |        |       |        |

# Simulación

| Días                         | Días en taller | Un taller |        |             | Dos talleres |        |       |        |
|------------------------------|----------------|-----------|--------|-------------|--------------|--------|-------|--------|
|                              |                | Entrada   | Salida | Total       | Entrada      | Salida | Total | Taller |
| 0                            | 2.5            | 0         | 2.5    | 2.5         | 0            | 2.5    | 2.5   | 1      |
| 1                            |                |           |        |             |              |        |       |        |
| 2                            | 2              | 2.5       | 4.5    | 2.5         |              |        |       |        |
| 3                            |                |           |        |             |              |        |       |        |
| 4                            | 3              | 4.5       | 7.5    | 3.5         |              |        |       |        |
| 5                            | 1.5            | 7.5       | 9      | 4           |              |        |       |        |
| 6                            |                |           |        |             |              |        |       |        |
| 7                            | 2              | 9         | 11     | 4           |              |        |       |        |
| 8                            | 1              | 11        | 12     | 4           |              |        |       |        |
| 9                            |                |           |        |             |              |        |       |        |
| <b>Días totales perdidos</b> |                |           |        | <b>20.5</b> |              |        |       |        |



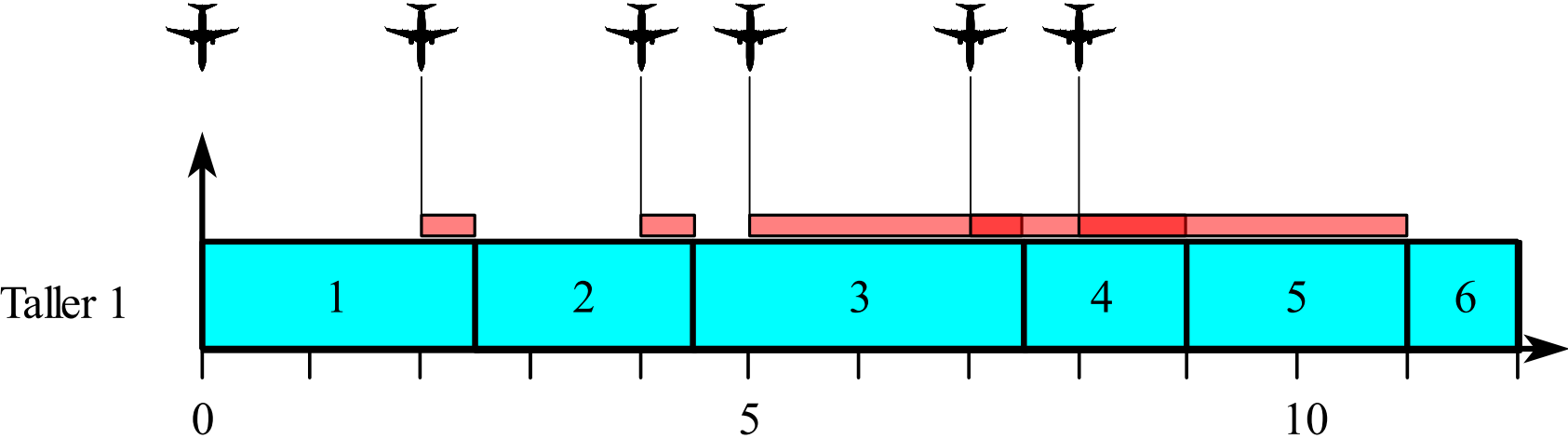
# Simulación

|                              |                | Un taller |        |             | Dos talleres |        |       |        |
|------------------------------|----------------|-----------|--------|-------------|--------------|--------|-------|--------|
| Días                         | Días en taller | Entrada   | Salida | Total       | Entrada      | Salida | Total | Taller |
| 0                            | 2.5            | 0         | 2.5    | 2.5         | 0            | 2.5    | 2.5   | 1      |
| 1                            |                |           |        |             |              |        |       |        |
| 2                            | 2              | 2.5       | 4.5    | 2.5         | 2            | 4      | 2     | 2      |
| 3                            |                |           |        |             |              |        |       |        |
| 4                            | 3              | 4.5       | 7.5    | 3.5         |              |        |       |        |
| 5                            | 1.5            | 7.5       | 9      | 4           |              |        |       |        |
| 6                            |                |           |        |             |              |        |       |        |
| 7                            | 2              | 9         | 11     | 4           |              |        |       |        |
| 8                            | 1              | 11        | 12     | 4           |              |        |       |        |
| 9                            |                |           |        |             |              |        |       |        |
| <b>Días totales perdidos</b> |                |           |        | <b>20.5</b> |              |        |       |        |

# Simulación

| Días                         | Días en taller | Un taller |        |             | Dos talleres |        |             |        |
|------------------------------|----------------|-----------|--------|-------------|--------------|--------|-------------|--------|
|                              |                | Entrada   | Salida | Total       | Entrada      | Salida | Total       | Taller |
| 0                            | 2.5            | 0         | 2.5    | 2.5         | 0            | 2.5    | 2.5         | 1      |
| 1                            |                |           |        |             |              |        |             |        |
| 2                            | 2              | 2.5       | 4.5    | 2.5         | 2            | 4      | 2           | 2      |
| 3                            |                |           |        |             |              |        |             |        |
| 4                            | 3              | 4.5       | 7.5    | 3.5         | 4            | 7      | 3           | 1      |
| 5                            | 1.5            | 7.5       | 9      | 4           | 5            | 6.5    | 1.5         | 2      |
| 6                            |                |           |        |             |              |        |             |        |
| 7                            | 2              | 9         | 11     | 4           | 7            | 9      | 2           | 1      |
| 8                            | 1              | 11        | 12     | 4           | 8            | 9      | 1           | 2      |
| 9                            |                |           |        |             |              |        |             |        |
| <b>Días totales perdidos</b> |                |           |        | <b>20.5</b> |              |        | <b>12.0</b> |        |

# Resultados



# Costos para 10 días

- Costo Total 1 taller =  $10 \times 2500 + 20.5 \times 5000 = \$127500$
- Costo Total 2 talleres =  $10 \times 5000 + 12.0 \times 5000 = \$110000$

# Procesamiento de resultados

# Procesamiento de resultados

- Estadísticas basadas en observaciones: Se promedia un atributo de varias entidades.

$$Xm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - Xm)^2$$

| <i>i</i> | <i>x</i> |
|----------|----------|
| 1        | $x_1$    |
| 2        | $x_2$    |
| ...      | ...      |
| <i>n</i> | $x_n$    |

# Procesamiento de resultados

- Estadísticas basadas en el tiempo: Se promedia un atributo de una entidad en el tiempo.

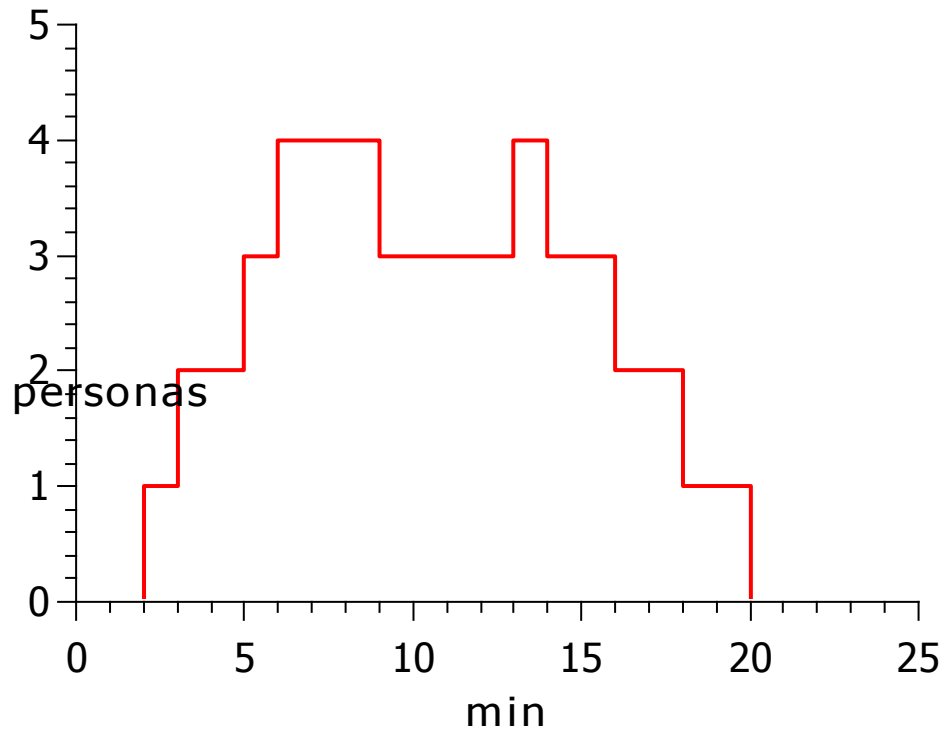
$$T = \sum_{i=1}^n \Delta t_i$$

$$Xm = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n x_i \Delta t_i$$

$$S^2 = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (x_i - Xm)^2 \Delta t_i$$

| $i$ | $x$   | $\Delta t$   |
|-----|-------|--------------|
| 1   | $x_1$ | $\Delta t_1$ |
| 2   | $x_2$ | $\Delta t_2$ |
| ... | ...   | ...          |
| $n$ | $x_n$ | $\Delta t_n$ |

# Procesamiento de resultados



$$T = \sum_{i=1}^n \Delta t_i$$

$$Xm = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n x_i \Delta t_i$$

$$S^2 = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (x_i - Xm)^2 \Delta t_i$$

$$Xm = 2.4$$

$$S^2 = 1.54$$

Promedios para una fila.xlsx

| <i>i</i> | <i>x</i> | $\Delta t$ |
|----------|----------|------------|
| 1        | 0        | 2          |
| 2        | 1        | 1          |
| 3        | 2        | 2          |
| 4        | 3        | 1          |
| 5        | 4        | 3          |
| 6        | 3        | 4          |
| 7        | 4        | 1          |
| 8        | 3        | 2          |
| 9        | 2        | 2          |
| 10       | 1        | 2          |
| 11       | 0        | 0          |



Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programador Ayuda WPS PDF Argo ¿Qué desea hacer?

Calibri 11 Fuente Ajustar texto General

N K S Fuente A

Alineación Combinar y centrar

Número \$ % 000

Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda

Insertar Eliminar Formato

Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar Edición

G4

|    | A              | B        | C                                  | D                               | E   | F       | G    | H | I |
|----|----------------|----------|------------------------------------|---------------------------------|---|---------|------|---|---|
| 1  | <b>t (min)</b> | <b>X</b> | <b><math>\Delta t</math> (min)</b> | <b><math>(X - X_m)^2</math></b> |   |         |      |   |   |
| 2  | 0              | 0        | 2                                  | 5.76                            |   | $X_m =$ | 2.4  |   |   |
| 3  | 2              | 1        | 1                                  | 1.96                            |   | $S^2 =$ | 1.54 |   |   |
| 4  | 3              | 2        | 2                                  | 0.16                            |   |         |      |   |   |
| 5  | 5              | 3        | 1                                  | 0.36                            |   |         |      |   |   |
| 6  | 6              | 4        | 3                                  | 2.56                            | $T = \sum_{i=1}^n \Delta t_i$                             |         |      |   |   |
| 7  | 9              | 3        | 4                                  | 0.36                            |   |         |      |   |   |
| 8  | 13             | 4        | 1                                  | 2.56                            | $X_m = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n x_i \Delta t_i$           |         |      |   |   |
| 9  | 14             | 3        | 2                                  | 0.36                            |   |         |      |   |   |
| 10 | 16             | 2        | 2                                  | 0.16                            | $S^2 = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (x_i - X_m)^2 \Delta t_i$ |         |      |   |   |
| 11 | 18             | 1        | 2                                  | 1.96                            |   |         |      |   |   |
| 12 | 20             | 0        | 0                                  | 5.76                            |   |         |      |   |   |
| 13 |                |          | 20                                 |                                 |   |         |      |   |   |

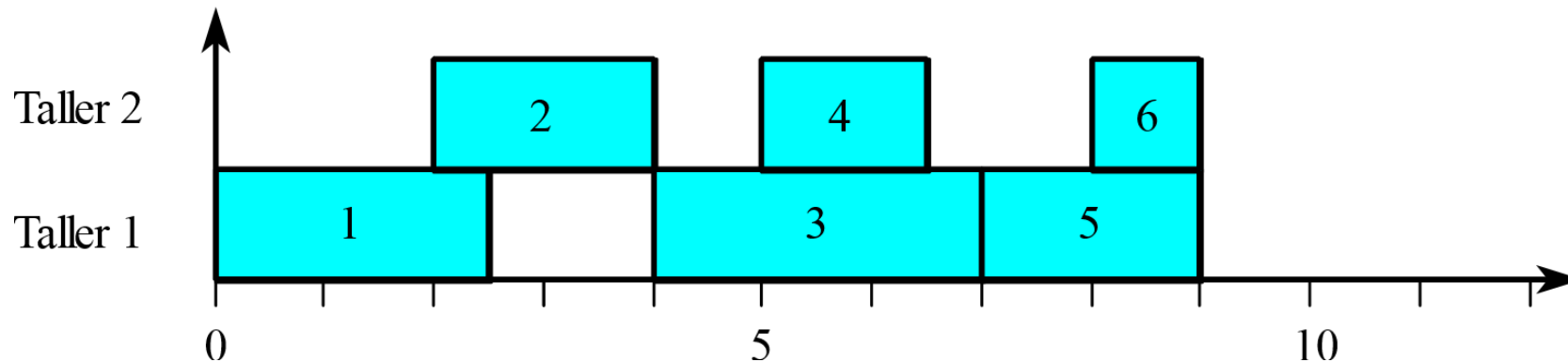
|    | A              | B        | C               | D                                      | E | F   | G                                | H |
|----|----------------|----------|-----------------|--|---|---|----------------------------------|---|
| 1  | <b>t (min)</b> | <b>X</b> | <b>Δt (min)</b> | <b>(X - X<sub>m</sub>)<sup>2</sup></b> |   |   |                                  |   |
| 2  | 0              | 0        | =A3-A2          | =(B2-G\$2)^2                           |   | X <sub>m</sub> =  | =SUMAPRODUCTO(B2:B12,C2:C12)/A12 |   |
| 3  | 2              | 1        | =A4-A3          | =(B3-G\$2)^2                           |   | S <sup>2</sup> =  | =SUMAPRODUCTO(D2:D12,C2:C12)/A12 |   |
| 4  | 3              | 2        | =A5-A4          | =(B4-G\$2)^2                           |   |   |                                  |   |
| 5  | 5              | 3        | =A6-A5          | =(B5-G\$2)^2                           |   |   |                                  |   |
| 6  | 6              | 4        | =A7-A6          | =(B6-G\$2)^2                           |   | $T = \sum_{i=1}^n \Delta t_i$                             |                                  |   |
| 7  | 9              | 3        | =A8-A7          | =(B7-G\$2)^2                           |   |   |                                  |   |
| 8  | 13             | 4        | =A9-A8          | =(B8-G\$2)^2                           |   | $X_m = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n x_i \Delta t_i$           |                                  |   |
| 9  | 14             | 3        | =A10-A9         | =(B9-G\$2)^2                           |   |   |                                  |   |
| 10 | 16             | 2        | =A11-A10        | =(B10-G\$2)^2                          |   | $S^2 = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (x_i - X_m)^2 \Delta t_i$ |                                  |   |
| 11 | 18             | 1        | =A12-A11        | =(B11-G\$2)^2                          |   |   |                                  |   |
| 12 | 20             | 0        | 0               | =(B12-G\$2)^2                          |   |   |                                  |   |
| 13 |                |          | =SUMA(C2:C12)   |  |   |   |                                  |   |

# Resultados

- Número de aviones que entraron
- Número de aviones que salieron
- Tiempo total de espera
- Tiempo medio de espera
- Longitud media de la fila
- Tiempo de utilización del Taller

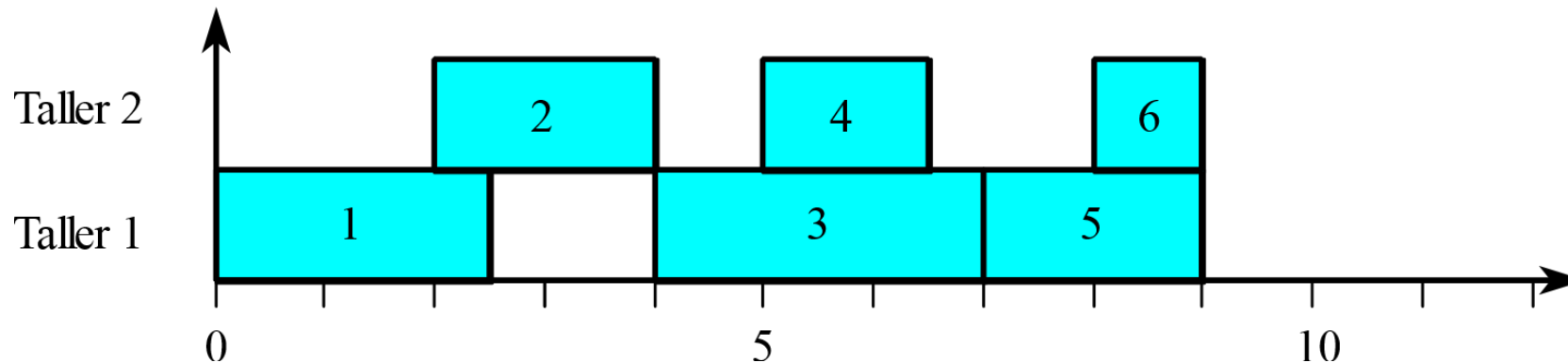
# Utilización media

- Utilización:  $x = Si(\text{Utilizado}, 1, 0)$
- Utilización media: Promedio basado en tiempo.
- Taller 1 =  $(2.5+3+2)/10 = 0.75$
- Taller 2 =  $(2+1.5+1)/10 = 0.45$
- Talleres utilizados =  $0.75+0.45 = 1.2$



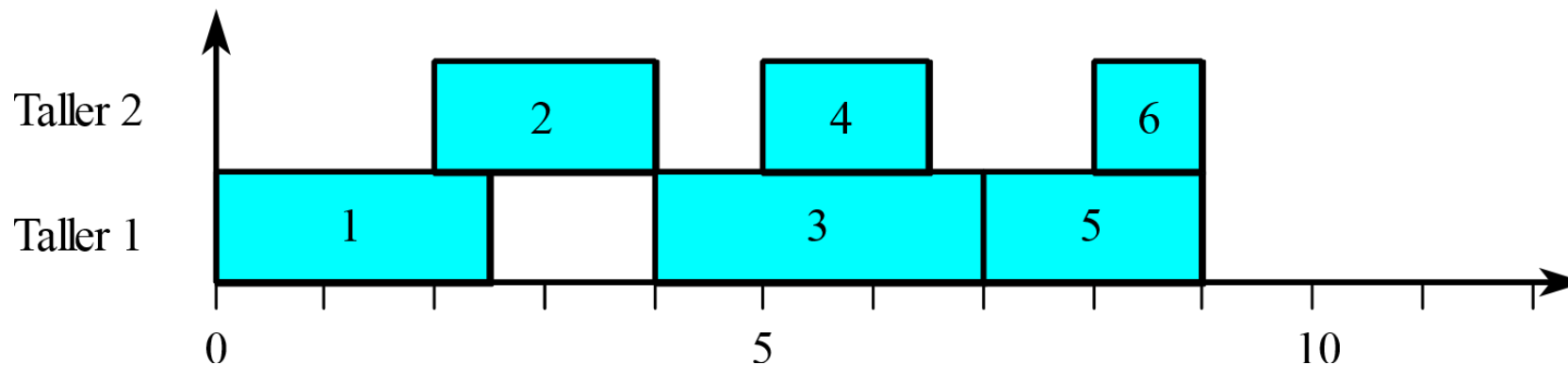
# Tiempo de ocupación medio

- Promedio: Basado en observaciones (los servicios).
- Taller 1 =  $(2.5+5)/2 = 3.25$  día/servicio
- Taller 2 =  $(2+1.5 + 1)/3 = 1.5$  día/servicio
- Talleres =  $(3.25+1.5)/2 = 2.375$  día/(servicio taller)



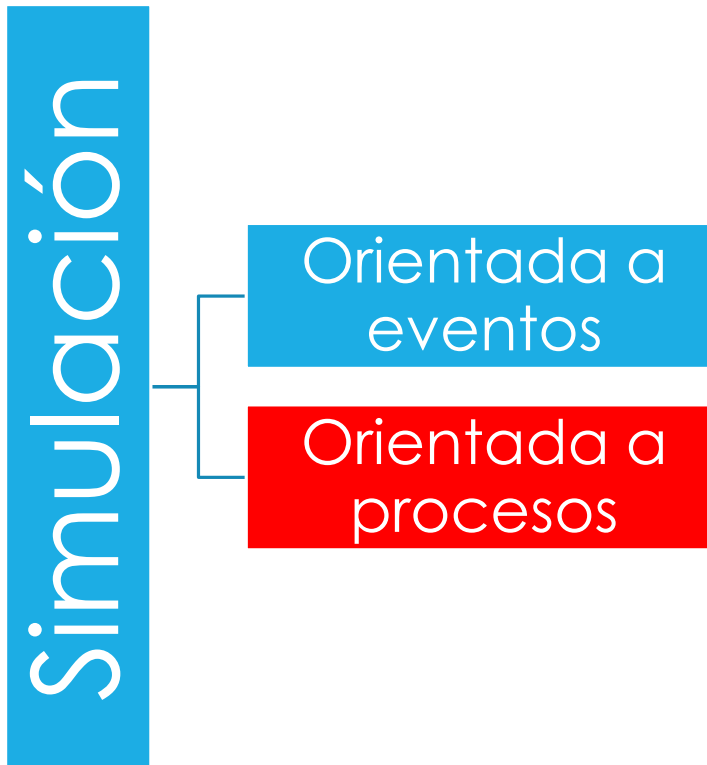
# Tiempo ocioso medio

- Promedio: Basado en observaciones (detenciones).
- Taller 1 =  $(1.5+1)/2 = 1.25$  día/detención
- Taller 2 =  $(2 + 1+1.5+1)/4 = 1.375$  día/detención
- Talleres =  $(1.25+1.375)/2 = 1.3125$  día/(detención taller)



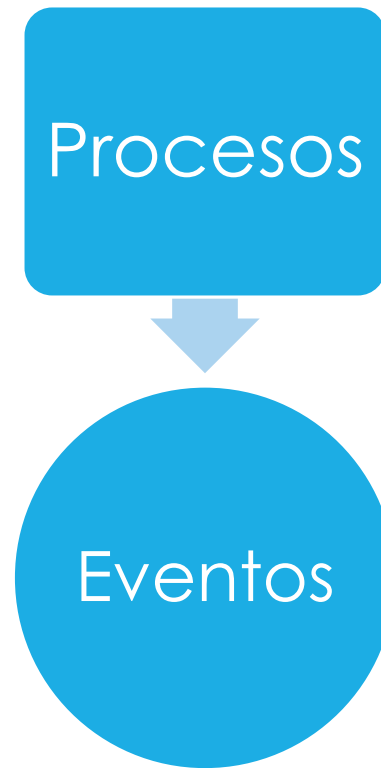
Enfoque orientado a procesos

# Enfoques

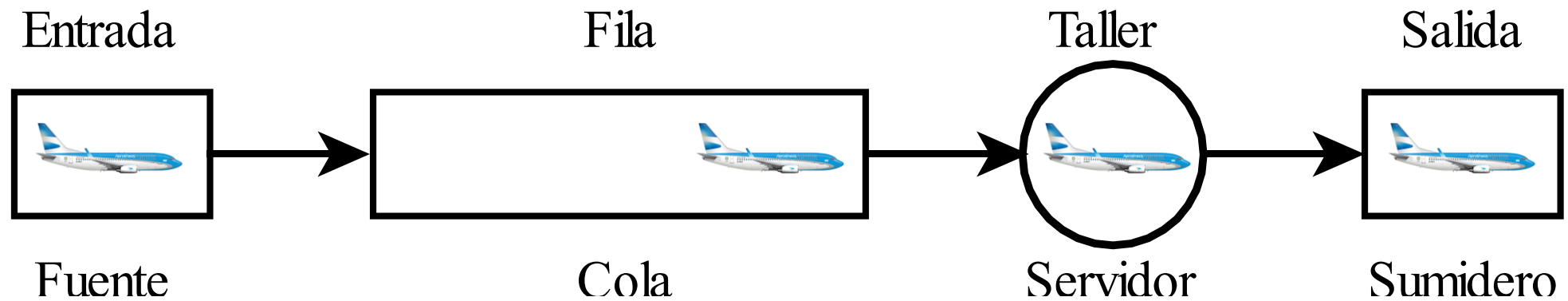




# Enfoque orientado a procesos

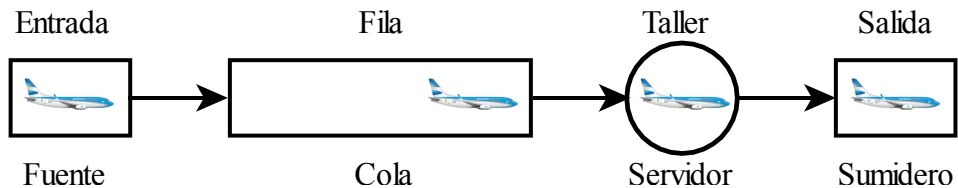


# Simulación orientada a procesos



# Simulación orientada a procesos

## Procesos



## Eventos

- Inicio de la revisión
- Finalización de la revisión
- Inicio del mantenimiento
- Finalización del mantenimiento

# Software para simulación

# Lenguajes para simulación

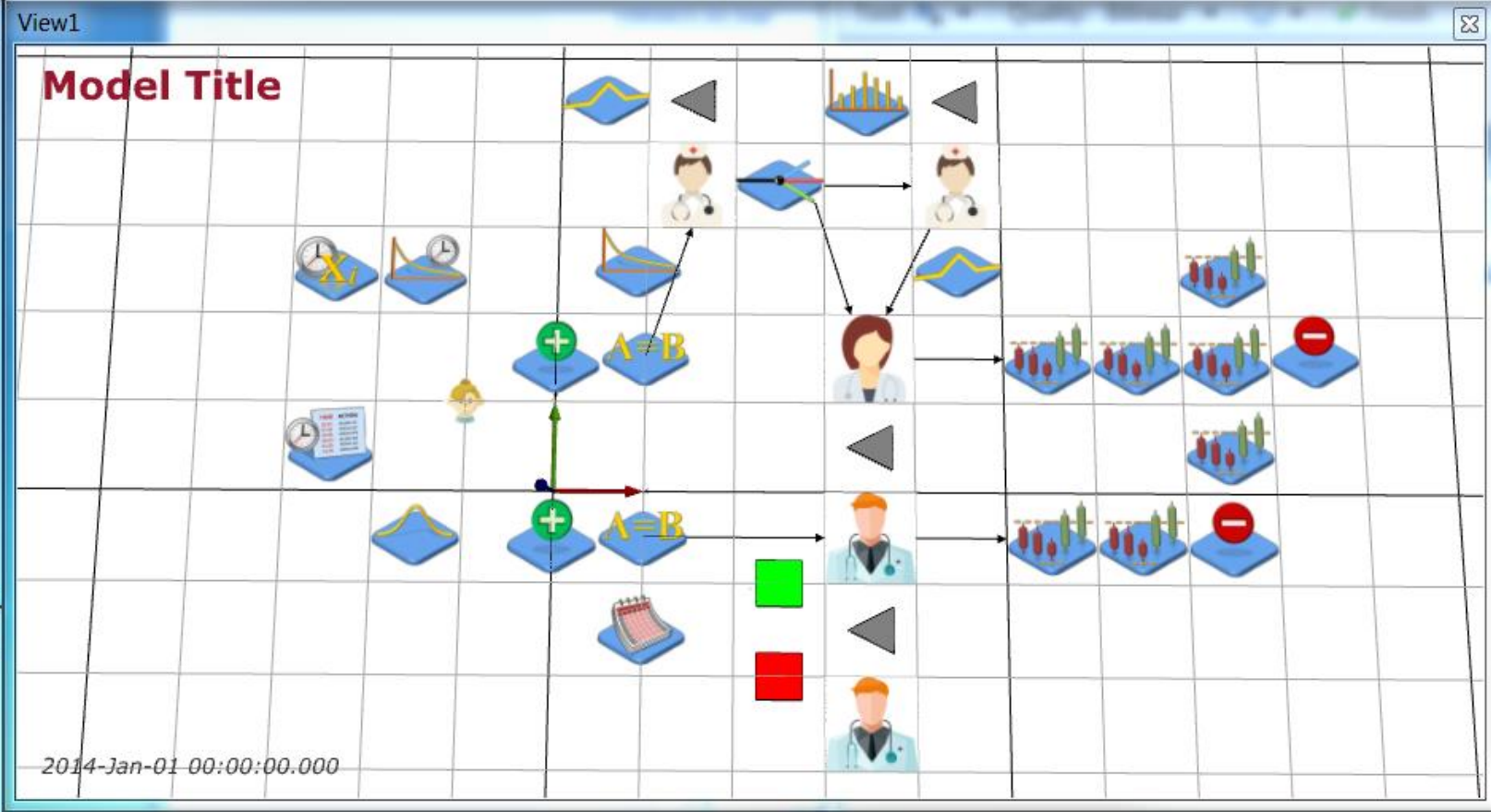
- Propósito general: FORTRAN, C, Pascal
- Orientados a eventos: SIMSCRIPT y SLAM
- Orientados a procesos: GPSS, SIMAN y SIMNET

## SIMSCRIPT II.5 Main program Queueing Model

```
1 MAIN
2
3   READ MEAN.INTERARRIVAL.TIME,
4       MEAN.SERVICE.TIME, AND TOT.DELAYS
5
6   CREATE EVERY SERVER(1)
7   LET U.SERVER(1) = 1
8
9   ACTIVATE AN ARRIVAL.GENERATOR NOW
10
11  START SIMULATION
12
13 END
```

**Model Builder**

- Graphics Objects
- Probability Distributions
- Basic Objects
- Process Flow
- Calculation Objects
- Fluid Objects



**Object Selector**

- Simulation
- Display Models
- Graphics Objects
- Probability Distributions
- Basic Objects
- Process Flow

**Input Editor - Simulation**

| Keyword                 | Default  | Value |
|-------------------------|----------|-------|
| AttributeDefinitionList | None     |       |
| CustomOutputList        | None     |       |
| RunDuration             | 8760.0 h | 168 h |
| InitializationDuration  | 0.0 h    | 24 h  |
| PauseCondition          | None     |       |
| ExitAtPauseCondition    | FALSE    |       |
| ExitAtStop              | FALSE    |       |

**Output Viewer - Simulation**

| Output             | Value                              |
|--------------------|------------------------------------|
| <b>Entity</b>      |                                    |
| Name               | Simulation                         |
| ObjectType         | GraphicSimulation                  |
| SimTime            | 0.00000 h                          |
| <b>Simulation</b>  |                                    |
| Software Name      | JaamSim                            |
| Software Version   | 2017-06                            |
| Configuration File | D:\Documents\uaa\EngSci\Teachin... |
| RunNumber          | 301                                |
| RunIndex           | { 4, 1 }                           |
| Present Time and   | Oct 02, 2017 10:44                 |

# JaamSim

# Simio

Project Home | Run | Drawing | Animation | View | Symbols | Help

Run: Stop | Step | Fast-Forward | Reset | Breakpoint

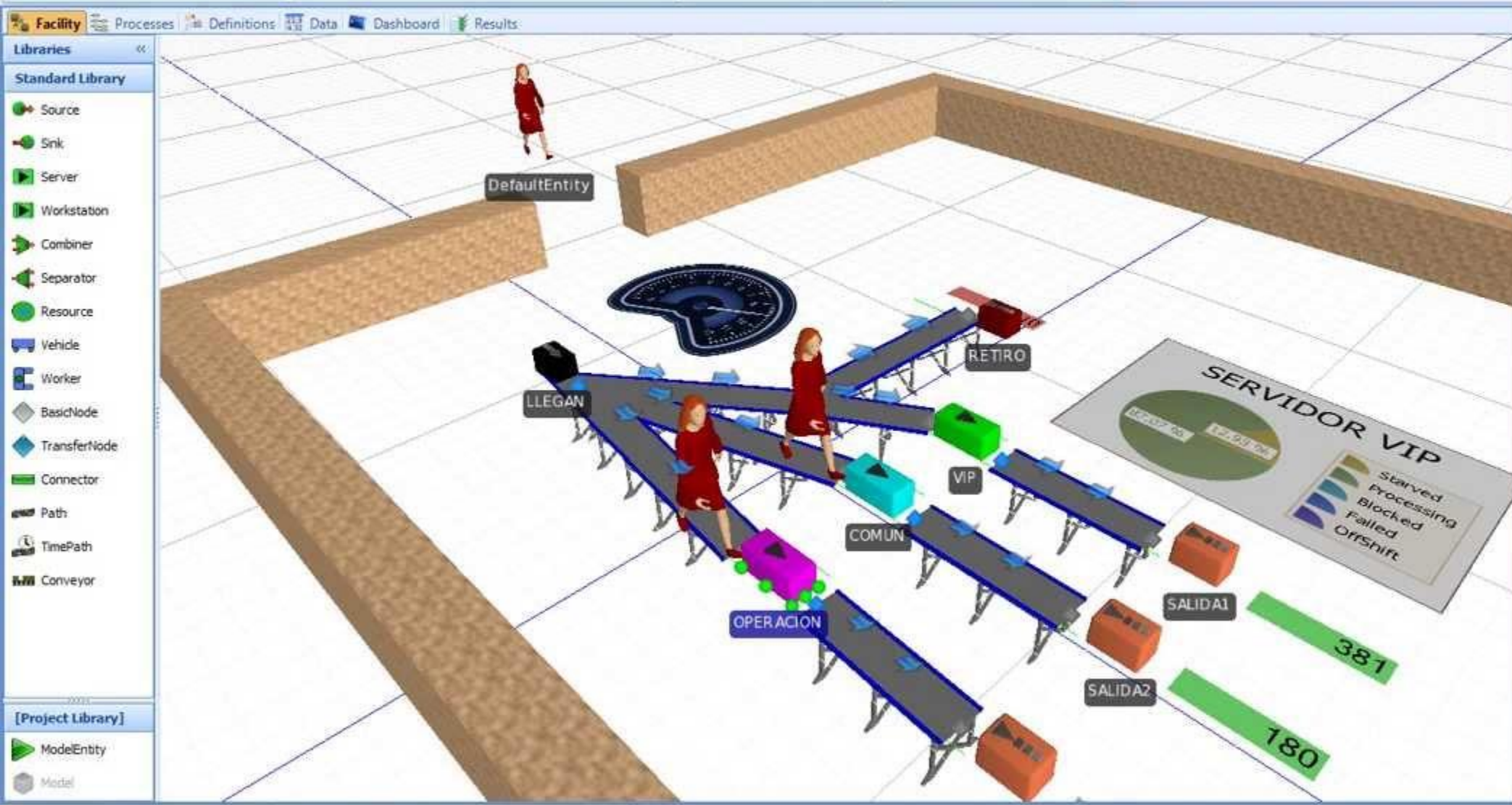
Starting Time: 23/01/2013 09:00:00 a.m. | Ending Type: 9 Hours

Speed Factor: 100.000 | Adjust Speed: [ - ] [ + ]

Time Units: Hours | Length Units: Meters | Rate Units: Meters per Hour

Model Trace | Advanced Options

Run Setup | Animation Speed | Status Units



Browse: Model : OPERACION

Navigation: Model

- Start Page
- Sample SimBit Solutions
- MODELO DE COLAS2
- ModelEntry
- Model

Properties: OPERACION (Server)

**Process Logic**

|                    |                          |
|--------------------|--------------------------|
| Capacity Type      | Fixed                    |
| Initial Capacity   | 2                        |
| Ranking Rule       | First In First Out       |
| Dynamic Selecto... | None                     |
| Transfer-in Time   | 0.0                      |
| Processing Time    | Random.Exponential( 20 ) |

**Buffer Capacity**

**Reliability Logic**

**State Assignments**

**Secondary Resources**

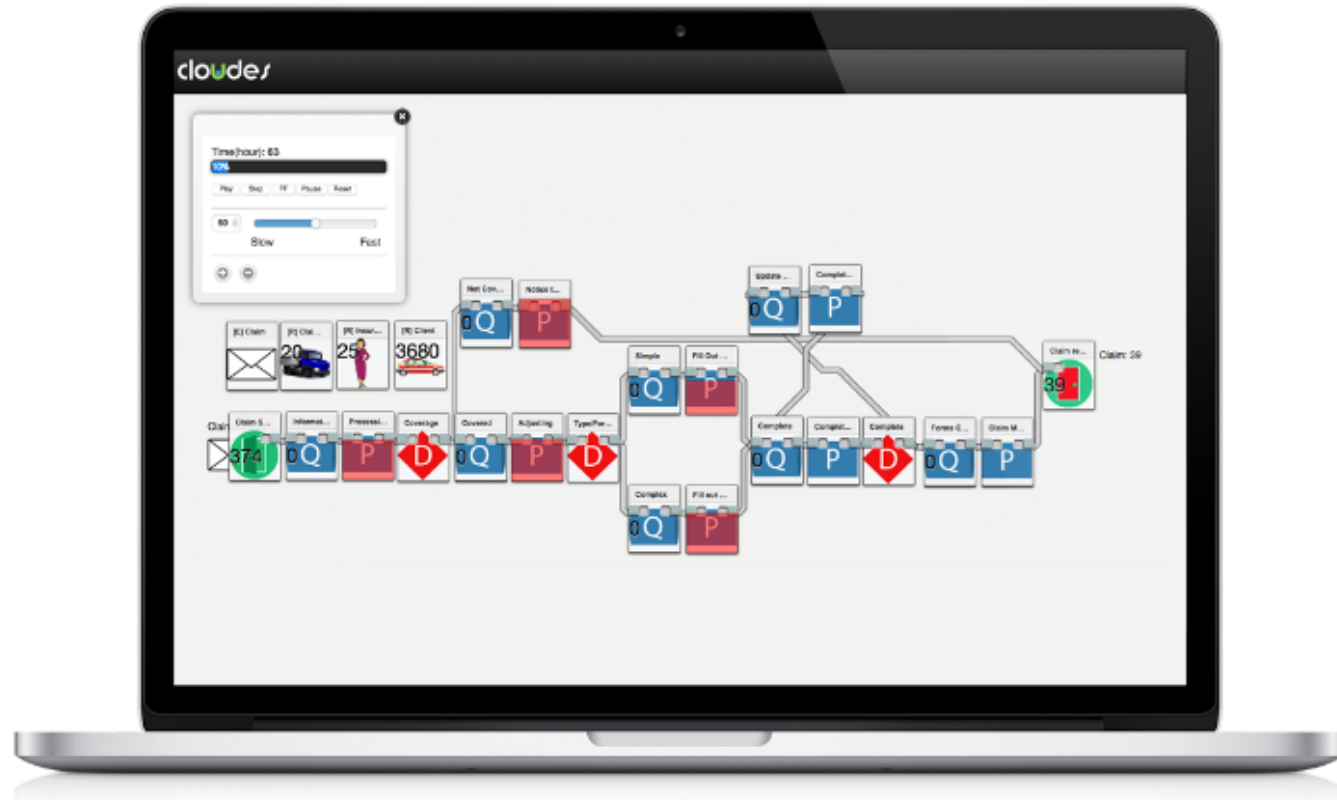
**Add-On Process Triggers**

**Advanced Options**

**General**

**Animation**

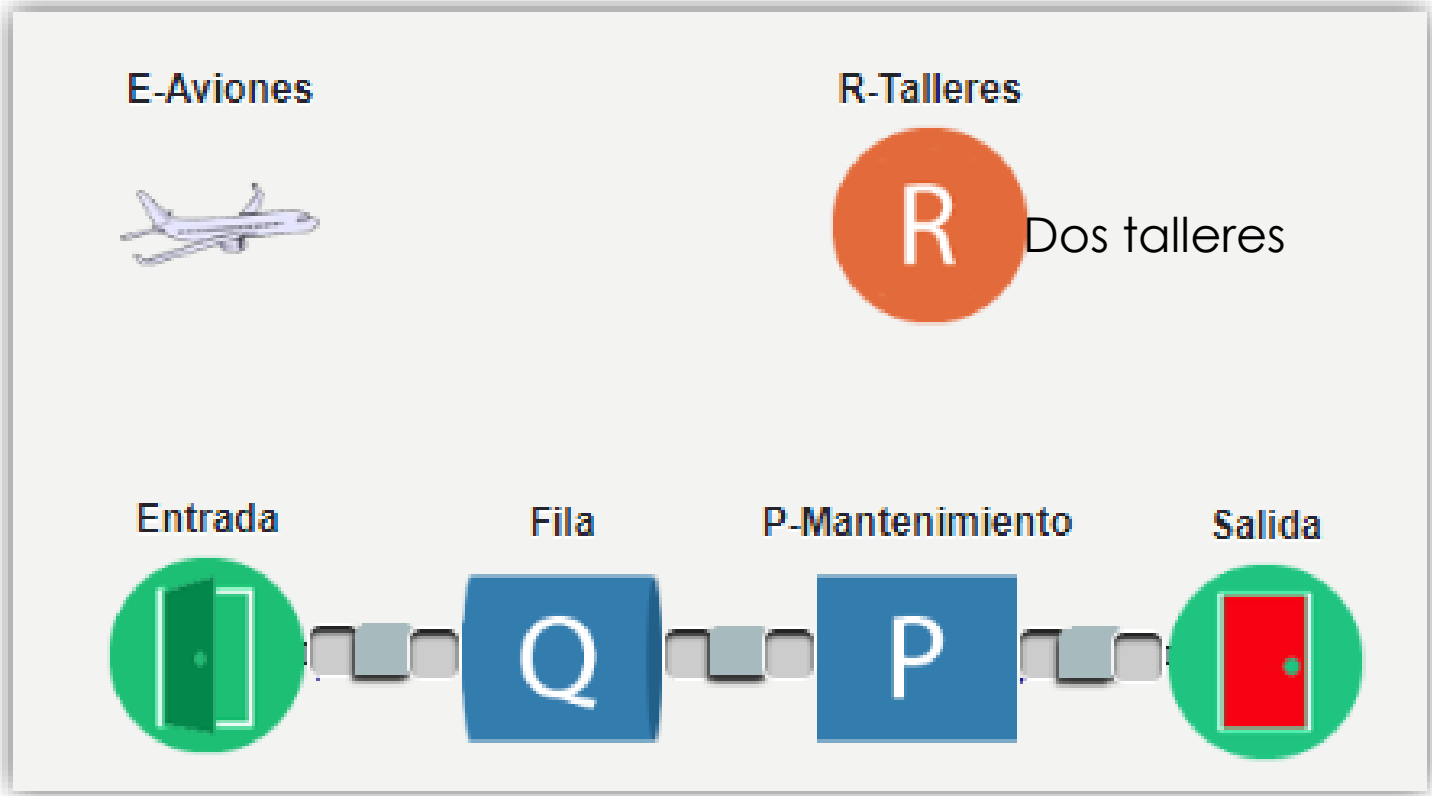
Process Logic  
Process Logic



LEARN BUILD & PLAY  
with Simulations



# Cloudes

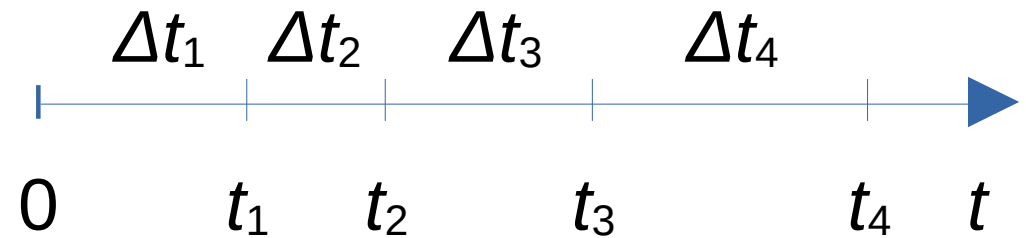


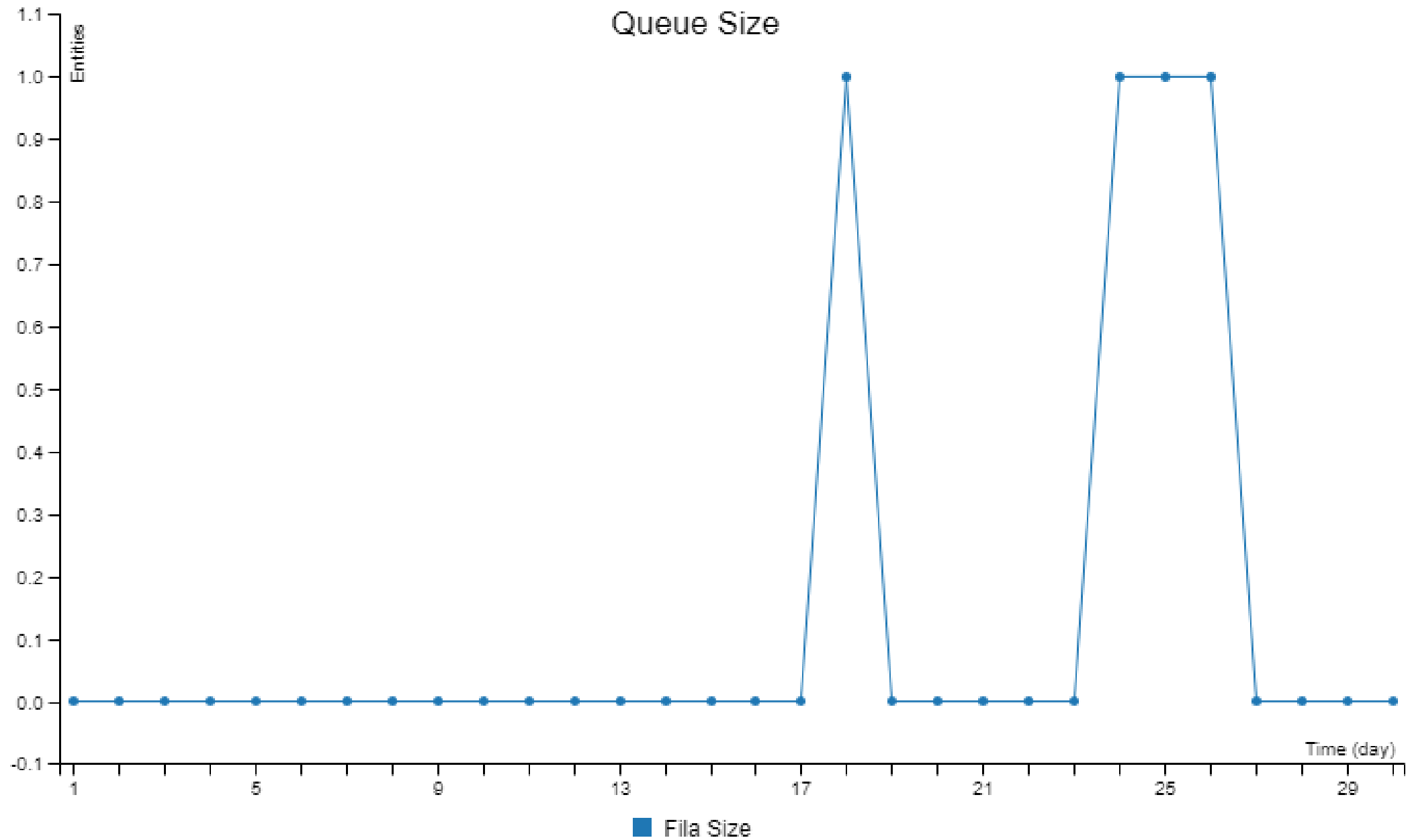
Exponencial(3)

Uniforme(1,3)

# Paso de reloj variable

- Paso variable  $\Delta t$
- $f(\Delta t) \rightarrow$  generadores
- Procedimiento:
  1. Inicializar
  2. Determinar el siguiente evento A.
  3. Dar un paso  $\Delta t$  hasta A.
  4. Modificar el estado.
  5. Agendar eventos futuros.
  6. Si no finalizó, ir a 2.





**Longitud de Simulación: 30 day**

**Repeticiones: 1**

| Entrada        |   |
|----------------|---|
| Total Arrivals | 7 |

| Mantenimiento            |       |
|--------------------------|-------|
| Avg Process Time (day)   | 2.143 |
| Total Idle Time (day)    | 15    |
| Total Entities Processed | 7     |

| Salida           |   |
|------------------|---|
| "Aviones" Exited | 7 |
| Total Exited     | 7 |

| Fila                              |       |
|-----------------------------------|-------|
| Entities Denied (Max Queue Size)  | 0     |
| Entities Balked (Wait Time Limit) | 0     |
| Dequeued                          | 7     |
| Queue Max                         | 2     |
| Queue Final                       | 0     |
| Queue Avg                         | 0.141 |
| Max Wait Time (day)               | 2     |
| Avg Wait Time (day)               | 0     |

| Talleres            |     |
|---------------------|-----|
| Quantity Final      | 1   |
| Max Utilization (%) | 100 |
| Avg Utilization (%) | 50  |

| Aviones                    |      |
|----------------------------|------|
| Total Arrived              | 7    |
| Total Exited               | 7    |
| Total Dropped              | 0    |
| Total Representing A Batch | 0    |
| Total Separated            | 0    |
| Avg Time In System (day)   | 2.71 |