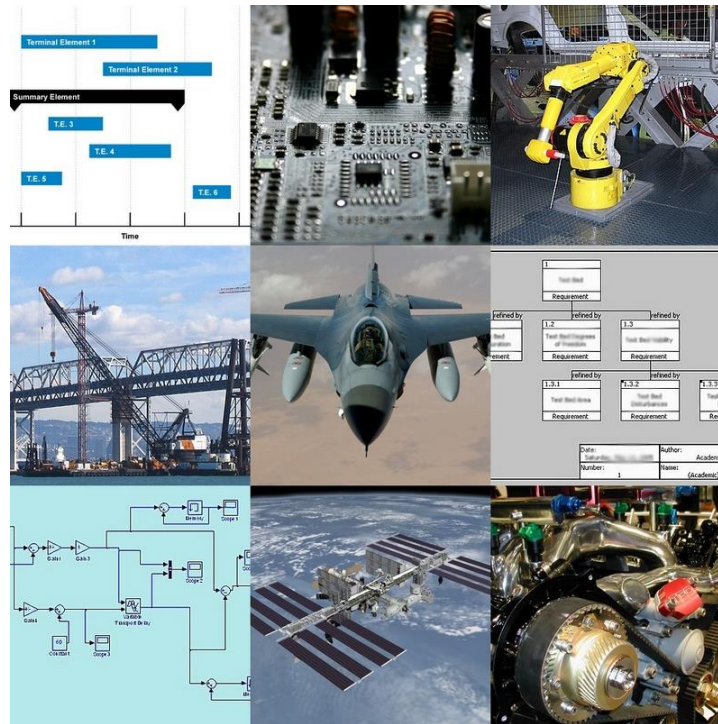


MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS



Dr. D. Javier González Monroy
Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE EVENTOS DISCRETOS



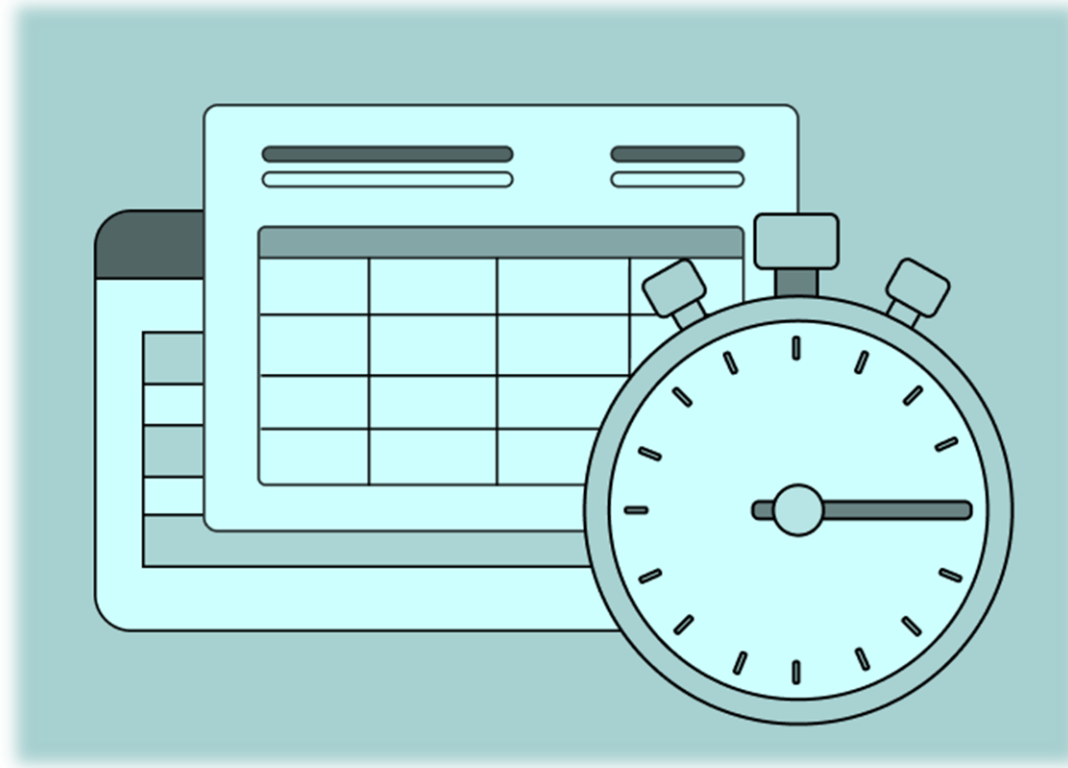
MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado II: Mejora del Modelo

- Buscamos Implementar un modelado más preciso
 - ❑ **Turnos de Trabajo:** El modelo actual sólo considera un turno de trabajo, cuando en realidad la fábrica dispone de dos turnos diarios. En el segundo turno hay dos operarios en el proceso de carga-lenta (el cuello de botella actual del sistema).
 - ❑ **Fallos en Recursos:** Hasta ahora todos los recursos siempre estaban o “disponibles” u “ocupados”. Se trata de modelar nuevos estados de los recursos que tengan en cuenta, por ejemplo, que un recurso puede estar “estropeado”. En nuestro ejemplo la estación de Reacondicionamiento falla algunas veces atendiendo a:
 - **Uptimes** ~ exponencial, media 2 horas
 - **Repair times** ~ exponencial, media 4 minutos

Se necesita: *Planificación, Estados de Recurso, Fallos de Recurso*



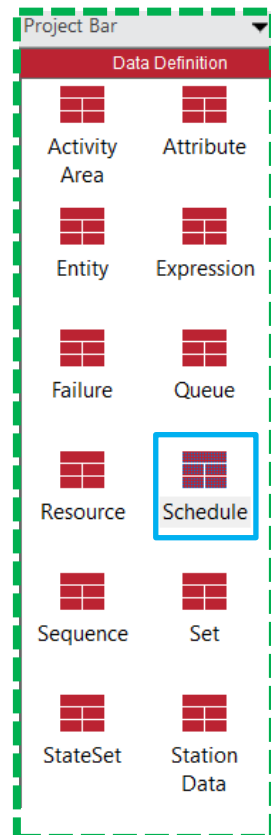
PLANIFICACIÓN HORARIA **SCHEDULES**

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado II: Planificación Horaria (Schedule)

Schedule Data Module: Variación de la capacidad de un recurso (número de unidades a procesar en paralelo) a lo largo del tiempo, o variación de la tasa de llegada de un módulo Create.



Ejemplos:

- Work schedule for staff, including breaks
- Breakdown patterns for equipment
- Volume of customers arriving at a store

Spreadsheet view

- ▶ **Name:** Nombre único de la planificación horaria
- ▶ **Type:** **Capacity** (para recursos), **Arrival** (para módulos Create).
- ▶ **Durations:** Lista (tabla) de pares “Value-Duration” que definen la planificación horaria.

Schedule Data

| Schedule - Basic Process | | | | | | |
|--------------------------|------------|----------|------------|--------------|-----------|-----------|
| | Name | Type | Time Units | Scale Factor | File Name | Durations |
| 1 ▶ | Schedule 1 | Capacity | Minutes | 1.0 | | 1 rows |

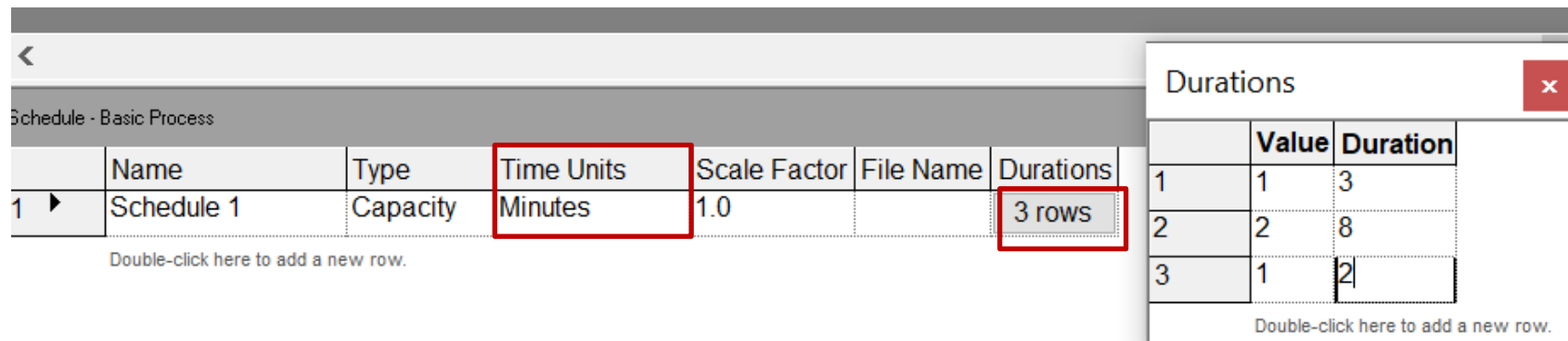
Double-click here to add a new row.

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado II: Planificación Horaria (Schedule)

- Durations:** Definimos la planificación que cada recurso va a seguir en formato tabla: "Capacity-Duration".
- A)** Añadiendo los pares directamente **en la vista de spreadsheet** (como en una tabla de excel).



Schedule - Basic Process

| | Name | Type | Time Units | Scale Factor | File Name | Durations |
|---|------------|----------|------------|--------------|-----------|-----------|
| 1 | Schedule 1 | Capacity | Minutes | 1.0 | | 3 rows |

Double-click here to add a new row.

Durations

| | Value | Duration |
|---|-------|----------|
| 1 | 1 | 3 |
| 2 | 2 | 8 |
| 3 | 1 | 2 |

Double-click here to add a new row.

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado II: Planificación Horaria (Schedule)

- **Durations:** Definimos la planificación que cada recurso va a seguir en formato tabla: "Capacity-Duration".

- **B) Con el diálogo gráfico:**
 - Hacer doble-click sobre la primera celda de la fila del schedule deseado,.
 - Pulsando botón derecho sobre la fila y seleccionando la opción "Edit Via Dialog".

Schedule - Basic Process

| | Name | Type | Time Units | Scale Factor |
|-------------------------------------|------------|----------|------------|--------------|
| 1 ▶ | Schedule 1 | Capacity | Minutes | 1.0 |
| Double-click here to add a new row. | | | | |

- Insert Row
- Delete Row
- Build Expression...
- Edit via Dialog...**
- Properties...

Schedule

Name: Format Type:

Type:

Time Units: Scale Factor:

Durations:

<End of list>

Add... Edit... Delete

OK Cancel Help

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado II: Planificación Horaria (Schedule)

- ¿Cómo se definen los pares “Capacity-Duration”
 - Si todas las entradas especifican una duración, el schedule se repite continuamente en bucle.

| | Value | Duration |
|---|-------|----------|
| 1 | 1 | 3 |
| 2 | 2 | 8 |
| 3 | 1 | 2 |

Double-click here to add a new

- Si una de las entradas se deja con una duración vacía, por defecto esta se mantiene hasta el infinito (final de la simulación).

| | Value | Duration |
|---|-------|----------|
| 1 | 1 | 3 |
| 2 | 2 | 8 |
| 3 | 1 | |

Double-click here to add a new

- **IMPORTANTE:** Se pueden usar variables y expresiones!

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado II: Planificación Horaria (Schedule)

Capacity (para recursos)

| Durations | | | | |
|-----------|-------|----------|--|--|
| | Value | Duration | | |
| 1 | 1 | 3 | | |
| 2 | 2 | 8 | | |
| 3 | 1 | 2 | | |

Duración temporal (según unidades)

Numero de recursos disponibles

Arrival (para módulos Create)

| Durations | | | | |
|-----------|-------|----------|--|--|
| | Value | Duration | | |
| 1 | 1 | 3 | | |
| 2 | 2 | 8 | | |
| 3 | 1 | 2 | | |

Duración temporal
(según unidades)

Nº medio de llegadas **por hora!**

Each schedule segment (that is, *Value* and *Time Duration* pair) specifies *Value* average arrivals **per hour** over *Time Duration*. **An exponential distribution is used to evenly distribute the *Value* arrivals over each hour.**

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado II: Planificación Horaria (Schedule)

- **Para Recursos:** La alternativa a “Fixed Capacity”, es “Based on Schedule” la cual está accesible desde el módulo de datos “Resources”

| Resource - Basic Process | | | |
|--------------------------|-----------------|----------------|----------|
| | Name | Type | Capacity |
| 1 ▶ | Operario_Bcoche | Fixed Capacity | 1 |
| 2 | Operario_Bmovil | Fixed Capacity | 1 |
| 3 | Charger_fast | Fixed Capacity | 1 |
| 4 | Charger_slow | Fixed Capacity | 1 |



| Resource - Basic Process | | | | | |
|--------------------------|-----------------|-------------------|----------|------------------|---------------|
| | Name | Type | Capacity | Schedule Name | Schedule Rule |
| 1 ▶ | Operario_Bcoche | Based on Schedule | 1 | \$Schedule_coche | Wait |
| 2 | Operario_Bmovil | Fixed Capacity | 1 | 1 | Wait |
| 3 | Charger_fast | Fixed Capacity | 1 | 1 | Ignore |
| 4 | Charger_slow | Fixed Capacity | 1 | 1 | Preempt |

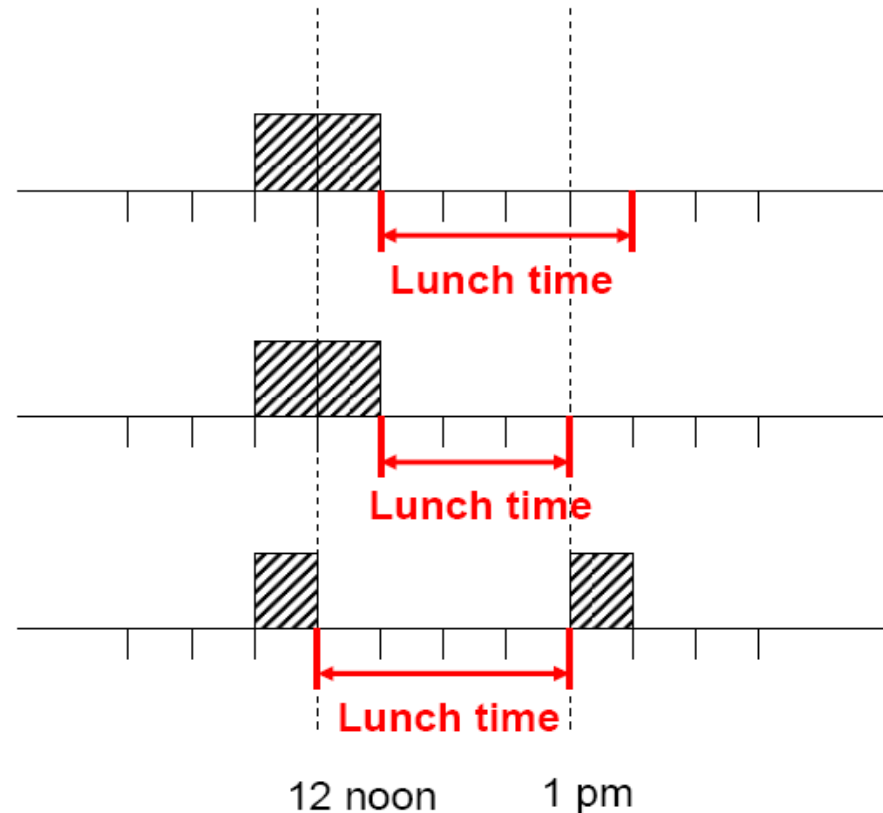
MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado II: Planificación Horaria (Schedule)

¿Cuándo se aplica un cambio del horario? Puede pasar que en el momento justo haya un proceso en curso.

- Wait
- Ignore
- Preempt



MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado II: Planificación Horaria (Schedule)

- **Para Recursos:** Arena posee **4 Estados de Recurso** automáticos, controlando estadísticos en todos ellos:
 - **Idle:** Recurso libre y disponible para procesar entidades.
 - **Busy:** Recurso ocupado (procesando entidad(es)).
 - **Inactive:** La capacidad del recurso es cero (e.g. Apagado). No se puede usar en este momento, pero no tiene ningún fallo.
 - **Failed:** No disponible por fallo en el recurso (caídas del recurso)

Además, Arena permite definir nuevos estados de recurso, si fuese necesario.



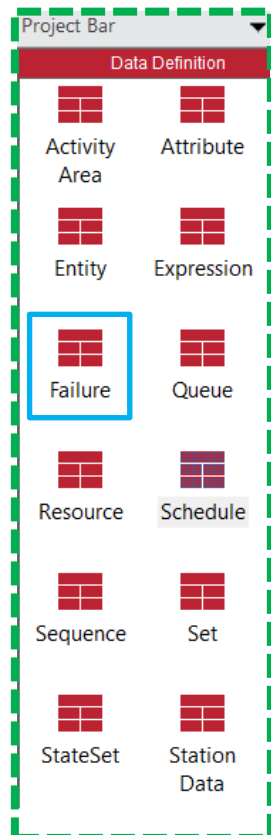
FALLOS Y/O PARADAS
FAILURES

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado II: Resource Failures

Para “definir” cada fallo, tenemos que acceder al módulo “**Failure**” dentro de “Data Definition”.



- **Name:** Nombre del fallo
- **Type:** **Count** (cada cuantas entidades procesadas se produce el fallo), o **Time** (cada cuanto tiempo se produce el fallo)
- **DownTime:** Tiempo en el que el recurso estará en estado Failure. Simularía el tiempo de reparación. Naturalmente, se pueden usar Expresiones de Probabilidad.

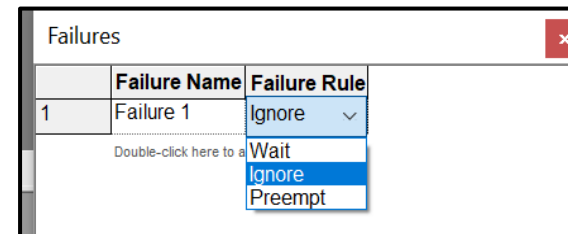
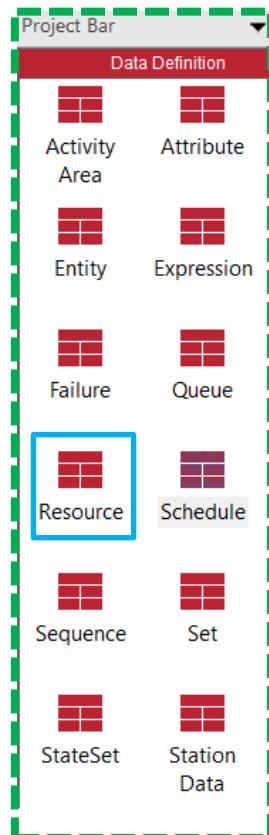
| Failure - Advanced Process | | | | | |
|----------------------------|--|---------|---------------------|-----------|-----------------|
| | Name | Type | Count | Down Time | Down Time Units |
| 1 ▶ | Failure 1 | Count ▼ | 60.0000000000000000 | 0.0 | Hours |
| | Double-click here to edit the failure. | | | | |
| | | Count | | | |
| | | Time | | | |

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado II: Resource Failures

- Buscamos modelar fallos (inoperatividad) de un recurso.
- En el menú de Datos **Resource**, tenemos el campo “**Failures**” que nos permite editar en formato Tabla, diferentes tipos de fallos que pueden aplicarse a dicho recurso.



| | Name | Type | Capacity | Schedule Name | Schedule Rule | Busy / Hour | Idle / Hour | Per Use | StateSet | Name | Failures | Rep |
|---|-----------------|-------------------|----------|---------------|---------------|-------------|-------------|---------|----------|------|----------|-------------------------------------|
| 1 | Operario_Bcoche | Based on Schedule | 1 | 1 Nombre | Wait | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | | 0 rows | <input type="checkbox"/> |
| 2 | Operario_Bmovil | Fixed Capacity | 1 | 1 | Wait | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | | 0 rows | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3 | Charger_fast | Fixed Capacity | 1 | 1 | Wait | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | | 0 rows | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4 | Charger_slow | Fixed Capacity | 1 | 1 | Wait | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | | 0 rows | <input checked="" type="checkbox"/> |

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS



UTILIZACIÓN DE RECURSOS
UTILIZATION

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Comentarios sobre la utilización de recursos

- *Utilización Instantánea* es la media a lo largo del tiempo del ratio entre el número de unidades ocupadas y el número de unidades disponibles o capacidad ($M(t)$)

$$Utilization = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{B(t)}{M(t)} dt$$

- *Utilización Planificada (Scheduled Utilization)* es el ratio entre la media del número de unidades ocupadas y la media del número de unidades disponibles

$$Scheduled\ Utilization = \frac{\int_0^T B(t)dt / T}{\int_0^T M(t)dt / T} = \frac{\int_0^T B(t)dt}{\int_0^T M(t)dt}$$

- ▶ Valen lo mismo para recursos con capacidad fija
- ▶ Pueden variar para recursos con schedule

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Ejemplo: Utilización para un recurso de capacidad fija = 2

B(t)

M(t)

U(t)

| DISCRETE-CHANGE VARIABLES | | | | | |
|---------------------------------|---------|------------|---------|---------|-------------|
| Identifier | Average | Half width | Minimum | Maximum | Final value |
| Entity 1.WIP | 1.1020 | (Insuf) | .00000 | 6.0000 | .00000 |
| Resource 1.NumberBusy | .93233 | (Insuf) | .00000 | 2.0000 | .00000 |
| Resource 1.NumberScheduled | 2.0000 | (Insuf) | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 |
| Resource 1.Utilization | .46616 | (Insuf) | .00000 | 1.0000 | .00000 |
| PROCESS 1.Queue.NumberInQueue | .16970 | (Insuf) | .00000 | 4.0000 | .00000 |
| OUTPUTS | | | | | |
| Identifier | value | | | | |
| Entity 1.NumberIn | 90.000 | | | | |
| Entity 1.NumberOut | 90.000 | | | | |
| Resource 1.NumberSeized | 90.000 | | | | |
| Resource 1.ScheduledUtilization | .46616 | | | | |
| System.NumberOut | 90.000 | | | | |

$$Utilization = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{B(t)}{M(t)} dt$$

$$Scheduled Utilization = \frac{\int_0^T B(t) dt / T}{\int_0^T M(t) dt / T} = \frac{\int_0^T B(t) dt}{\int_0^T M(t) dt}$$

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Ejemplo: Utilización para un recurso de capacidad planificada
(capacidad 1 durante 2000 minutos y 2 durante otros 2000)

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

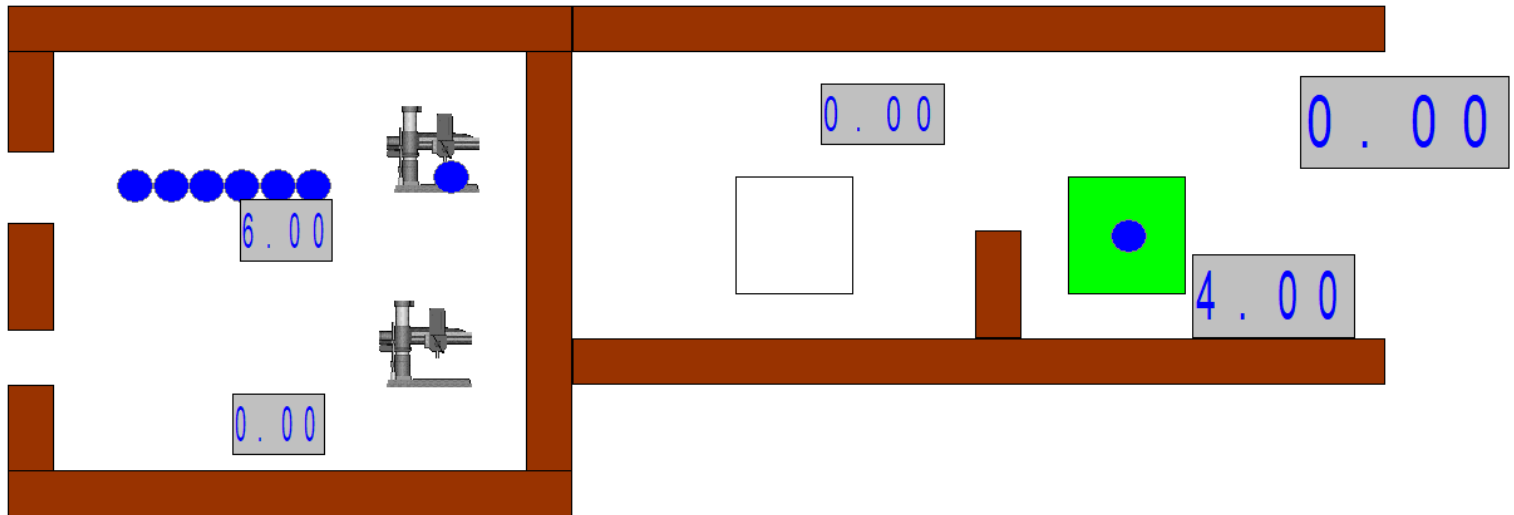
| Identifier | Average | Half Width | Minimum | Maximum | Final Value |
|--|---------|------------|---------|---------|-------------|
| Rework_resource.NumberBusy $B(t)$ | 1.4757 | (Insuf) | .00000 | 2.0000 | 2.0000 |
| Rework_resource.NumberScheduled $M(t)$ | 1.5000 | (Insuf) | 1.0000 | 2.0000 | 1.0000 |
| Rework_resource.Utilization $U(t)$ | .97570 | (Insuf) | .00000 | 1.0000 | 1.0000 |
| Rework.Queue.NumberInQueue | 22.875 | (Insuf) | .00000 | 39.000 | 23.000 |

OUTPUTS

| Identifier | Value |
|--------------------------------------|--------|
| Rework_resource.NumberSeized | 127.00 |
| Rework_resource.ScheduledUtilization | .9 |

$$Utilization = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{B(t)}{M(t)} dt$$

$$Scheduled Utilization = \frac{\frac{\int_0^T B(t) dt}{T}}{\frac{\int_0^T M(t) dt}{T}} = \frac{\int_0^T B(t) dt}{\int_0^T M(t) dt}$$



MEJORA DE LAS ANIMACIONES
2D ANIMATIONS

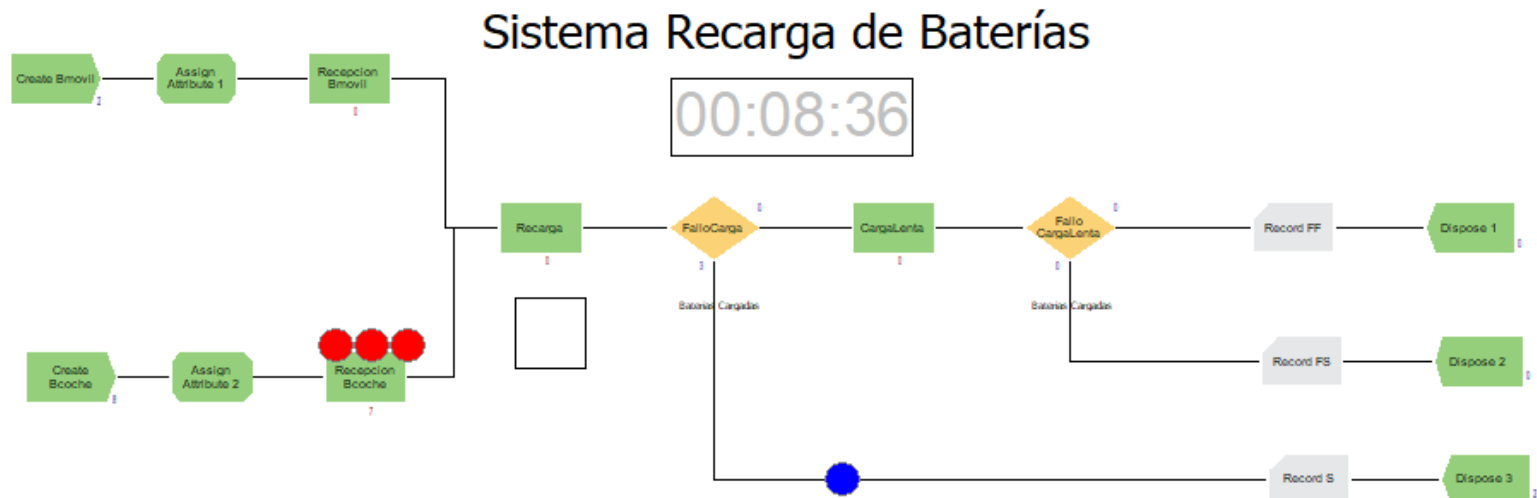
MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado III: Mejoras Animación

Arena nos permite animar nuestra simulación en diferentes grados:

1. **Tomar los valores por defecto para casi todo.** Esto será suficiente para verificación y validación del sistema modelado. Veremos las entidades y colas animadas sobre el modelo lógico del sistema.



MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado III: Mejoras Animación

Arena nos permite animar nuestra simulación en diferentes grados:

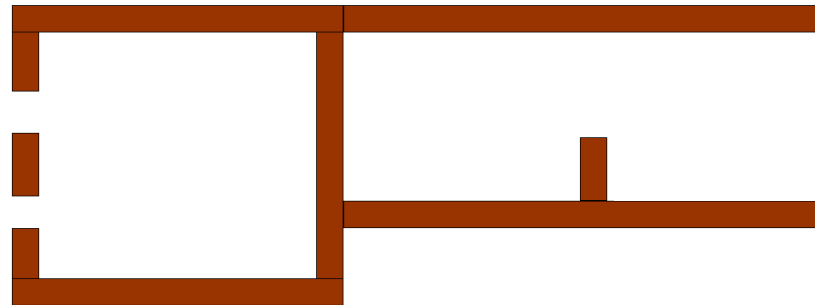
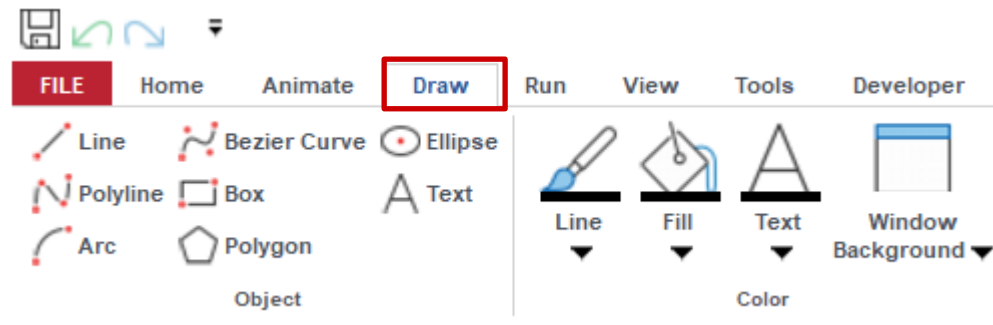
1. **Tomar los valores por defecto para casi todo.** Esto será suficiente para verificación y validación del sistema modelado. Veremos las entidades y colas animadas sobre el modelo lógico del sistema.
2. **Acondicionar la animación al sistema modelado y al gusto del cliente.** Con esto conseguiremos un mayor realismo e impacto (jefe / posible cliente).
3. **Crear una animación separada del modelo lógico.** Opción de separar la animación del modelo lógico dentro de la misma ventana de modelo:
 - Útil para grandes modelos y animaciones complejas

[Mostrar Videos Arena]

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado III: Setup del Entorno



Pestaña “Draw”

- Permite añadir líneas, polígonos, etc. A modo de setup del entorno.
- Podemos cambiar colores y añadir etiquetas

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

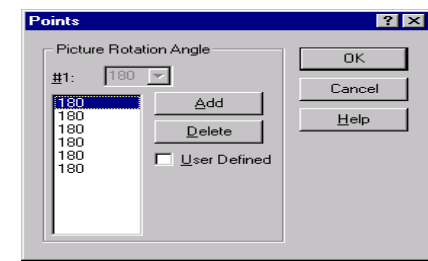
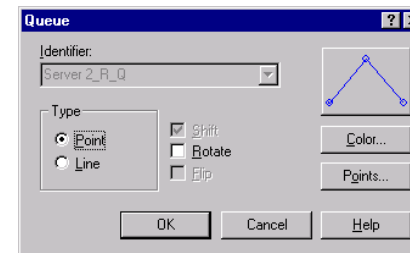
Sistema de Reciclado III: Animación de Colas

Modificar el formato de las Colas:

- **Longitud de Cola** => cambio con el ratón
- **Rotación** => Rota las entidades en cola para obtener un mayor realismo
- **Puntos** => Cambio de forma de línea a cadena de puntos (posiciones de espera de las entidades)



1. Doble-click en la cola
2. Poner Type a Point
3. Pinchar el botón Points
4. Pinchar Add para añadir puntos
5. Arrastrar los puntos hasta la posición deseada

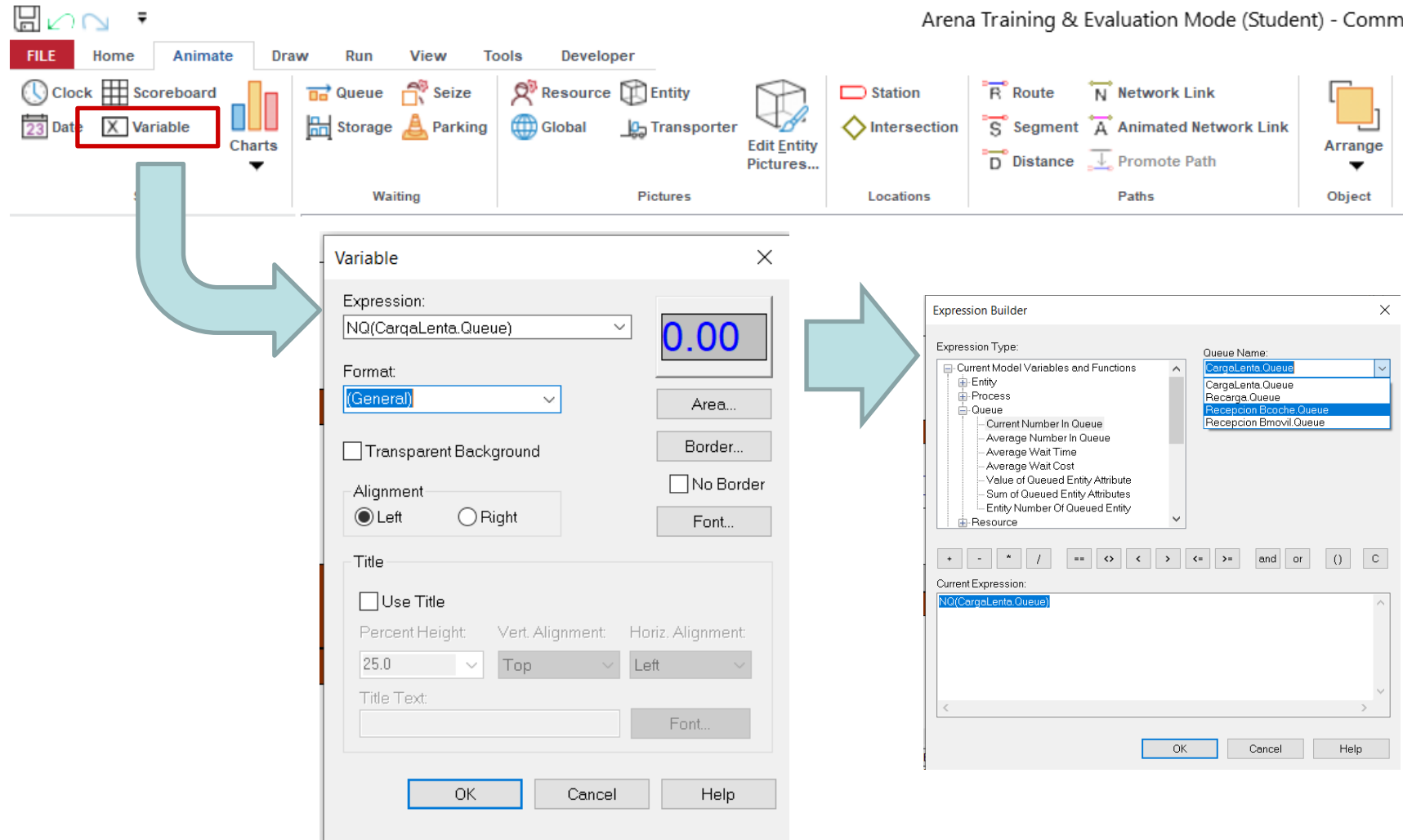


MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado III: Visores Numéricos

Arena Training & Evaluation Mode (Student) - Comm

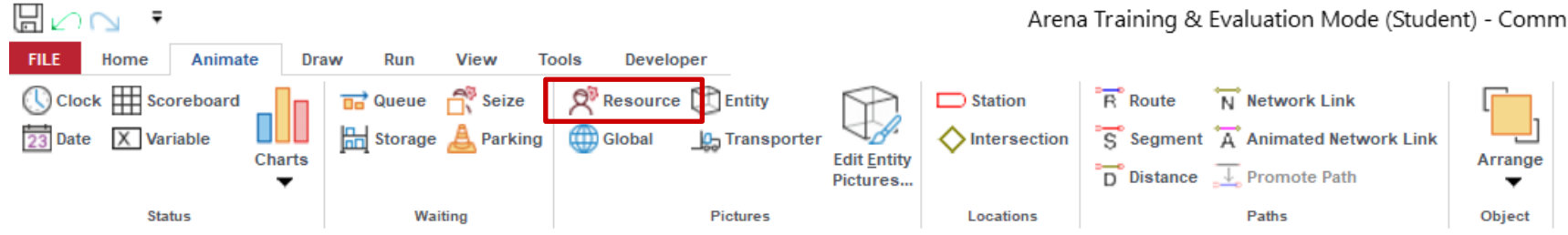


The screenshot shows the Arena software interface in Training & Evaluation Mode (Student) - Comm. The 'Variable' dialog box is open, showing the 'Expression' field with 'NQ(CargaLenta.Queue)' and the 'Format' field with '(General)'. The 'Expression Builder' dialog box is also open, showing the 'Queue Name' field with 'CargaLenta.Queue' and the 'Current Expression' field with 'NQ(CargaLenta.Queue)'.

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado III: Iconos de Recursos



Arena permite “editar” y “asignar” diferentes iconos según el recurso modelado y su estado (Idle, Busy, Inactive, Failure, etc.)

- Pestaña “Animate”, botón “Resource”
- Seleccionar el recurso a configurar de la lista de recursos (los del sistema actual)
- Para cada posible estado seleccionar (de las librerías disponibles) el icono a usar. Se pueden crear o editar los iconos si fuese necesario.
- Tras Aceptar, posicionar el icono en el lugar deseado.
- Ajuste de tamaño — Size Factor (o posteriormente con el ratón)
- Recursos de capacidad múltiple
 - Múltiples puntos de servicio

Ejemplos



MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado III: Iconos de Recursos

Identifier:
 Current Library: contactcenter.plb

State:

Picture ID:

Add Copy Delete

Idle Busy Inactive Failed

<< >>

New Open... Save...

Size Factor: ☐ Auto Scale

Iconos de la libreria

Librerias de Iconos

Effects

When multiple pictures are defined for the same resource state, use this simulation timing to animate a series of pictures:

Hours per picture

☐ Rotate By Expression:

☐ Seize Area

OK Cancel Help

Identifier:
 Current Library: contactcenter.plb

State:

Picture ID:

Add Copy Delete

Idle Busy Inactive Failed

<< >>

New Open... Save...

Size Factor: ☐ Auto Scale

Effects

When multiple pictures are defined for the same resource state, use this simulation timing to animate a series of pictures:

Hours per picture

☐ Rotate By Expression:

☐ Seize Area

OK Cancel Help

MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tema 4: Modelado Básico con Arena

Sistema de Reciclado III: Mejoras Animación

