

PROYECTO SIMULACIÓN

Javier Mendoza Guerrero, Luis Bertrán Vidal Campos, Álvaro Rodríguez Mesa, Carlos
Hernández López

ÍNDICE

- 1. Descripción de la simulación**
- 2. Foto del modelo y explicación**
- 3. Resultados**
- 4. Cambios a raíz de los resultados**

1. Descripción del proyecto

El objetivo de este proyecto es diseñar y analizar un modelo de simulación de eventos discretos utilizando el software Arena Simulation. El sistema elegido es un centro comercial compuesto por varias áreas de servicio, entre ellas una tienda de ropa, una tienda de zapatos y un restaurante.

Los clientes llegan al centro comercial con diferentes características definidas mediante atributos, como su destino principal y un segundo destino opcional. Tras completar su primera visita, el modelo verifica mediante módulos Decide si existe un segundo destino: si el atributo es 0, el cliente abandona el sistema; si es un valor distinto, se dirige al segundo establecimiento indicado. Para controlar este comportamiento se incorpora un contador que permite identificar cuándo el cliente sale por segunda vez de un establecimiento, garantizando que, una vez realizada su segunda visita, el modelo lo envíe directamente fuera del sistema. Además, el funcionamiento global se estructura mediante decisiones, procesos con recursos limitados, asignación de atributos y medición de tiempos de servicio y colas.

La simulación permite evaluar el rendimiento del centro comercial bajo distintas condiciones, analizando indicadores como el tiempo total de estancia, la utilización de recursos, los tiempos de espera y la presencia de cuellos de botella. Asimismo, se experimenta con escenarios alternativos (variación de recursos, cambios en la llegada de clientes, modificación de rutas, etc.) para comparar el comportamiento del sistema y plantear mejoras operativas.

1. Generación de Clientes

Los clientes se crean mediante un módulo Create usando una distribución exponencial EXPO(2), que modela llegadas aleatorias cada 2 minutos. Este módulo genera hasta 600 clientes, iniciando el flujo del sistema.

2. Asignación de Atributos

Con un módulo Assign se asignan dos atributos clave:

- Prisa del cliente usando una distribución discreta DISC, con 30% de clientes con prisa y 70% sin prisa.
- Destino del cliente (restaurante, ropa o zapatos) también con una distribución DISC.

Esto permite diferenciar comportamientos dentro del centro comercial.

3. Enrutamiento según Destino

Un módulo Decide dirige a cada cliente al establecimiento correspondiente según su atributo de destino. No se utilizan distribuciones aquí, solo condiciones lógicas que definen el camino dentro del sistema.

4. Procesos de los Establecimientos

Cada establecimiento (restaurante, tienda de ropa y zapatería) se modela con un módulo Process de tipo Seize–Delay–Release, con recursos limitados (mesas o empleados).

El tiempo de servicio depende de la prisa del cliente mediante una expresión IF que selecciona una distribución triangular:

- Restaurante: TRIA(10,15,20) con prisa / TRIA(20,35,50) sin prisa.
- Tienda de ropa: TRIA(3,6,10) / TRIA(5,10,15).
- Zapatería: TRIA(5,8,12) / TRIA(7,12,18).

Esto refleja la variabilidad real en los tiempos de atención.

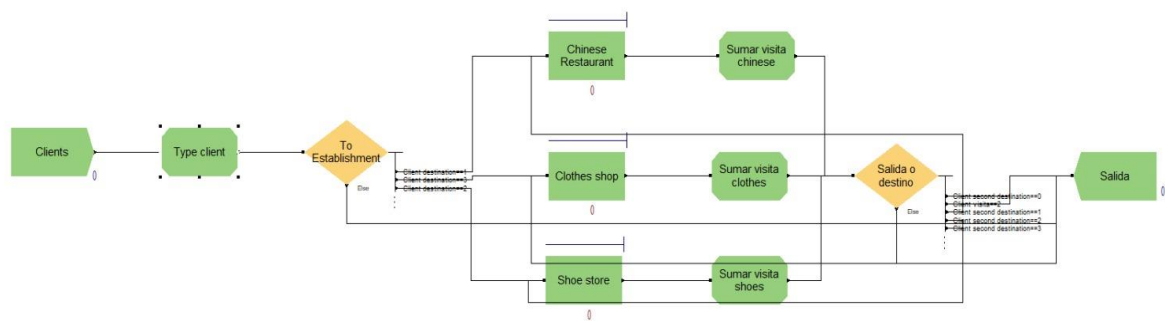
5. Registro de Tiempos

Cada establecimiento usa un Assign adicional para guardar el tiempo de servicio generado, facilitando el análisis posterior de tiempos totales y esperas.

6. Procesos Finales y Salida

Finalmente, los clientes pasan por un último proceso (si corresponde) y luego son eliminados del sistema mediante un módulo Dispose, que marca el fin de su recorrido.

2. Foto del modelo y explicación



A continuación, se describe, de forma detallada, el funcionamiento del modelo de simulación desarrollado en Arena para representar el comportamiento de los clientes en un centro comercial con varios establecimientos. El objetivo del modelo es reproducir el flujo de clientes, la asignación de destinos, el proceso de atención en cada establecimiento, las estadísticas de visitas y el comportamiento de salida o redirección hacia otros comercios.

1. LLEGADA CLIENTES AL CENTRO COMERCIAL

El modelo comienza con un módulo Create, denominado ‘Clients’, que genera de manera continua la llegada de clientes al sistema. Las llegadas se producen siguiendo un proceso estocástico con tiempos entre llegadas aleatorios (en este caso de tipo exponencial), lo que permite representar un flujo realista y variable de personas entrando al centro comercial.

Cada cliente que ingresa al modelo es una entidad que recorrerá distintas etapas según su comportamiento dentro del centro comercial.

Create

Name:

Clients

Entity Type:

Entity 1

Time Between Arrivals

Type:

Random (Expo)

Value:

10

Units:

Minutes

Entities per Arrival:

1

Max Arrivals:

TRIA(500,600,700)

First Creation:

EXPO(20)

Comment:

OK

Cancel

Help

2. ASIGNACIÓN INICIAL DE LOS ATRIBUTOS

Tras su creación, cada entidad pasa por un módulo Assign llamado Type client. Aquí se le asignan varios atributos fundamentales:

a) Cliente “visita”

Se inicializa un contador que indica cuántos establecimientos ha visitado el cliente hasta ese momento. Este valor comienza en 0 y se irá incrementando cada vez que el cliente sea atendido en una tienda o restaurante.

b) Primer destino del cliente

Mediante una distribución discreta, el modelo asigna al cliente su primer establecimiento objetivo dentro del centro comercial. Este destino puede ser:

- Restaurante chino
- Tienda de ropa
- Zapatería
- O incluso ninguno, si se decide que el cliente no entra a ningún establecimiento en su primera decisión

La asignación probabilística permite que el flujo de clientes se distribuya entre las distintas tiendas de manera realista.

c) Segundo destino (para visitas posteriores)

También se asigna un atributo adicional que representa el posible segundo destino del cliente si decide continuar visitando establecimientos. Este atributo será utilizado más adelante en la decisión de salida o continuación.

Assign

Name: Type client

Assignments:

- Attribute, Client second destination, DISC(0.1,0.0,3.1,0.6,2.1,3)
- Attribute, Client visita, 0
- Attribute, Client destination, DISC(0.4,1, 0.7,2, 1,3)
- <End of list>

Comment:

OK Cancel Help

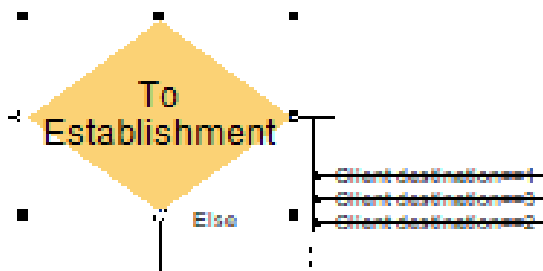
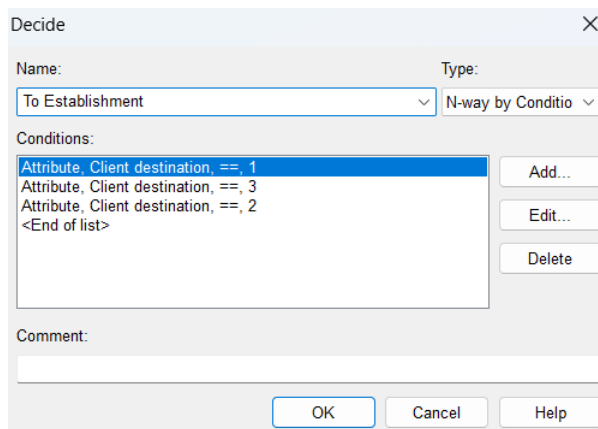
3. DECISIÓN INICIAL 'TO ESTABLISHMENT'

El modelo utiliza un módulo Decide para dirigir al cliente hacia el establecimiento correspondiente según su atributo destination.

El módulo contiene varias condiciones, de forma que cada cliente será enviado al establecimiento que se le asignó.

De esta forma, el flujo se divide en tres ramas principales:

- Ramas que conducen a los distintos establecimientos que cumplen la condición de tener asociado un lugar de establecimiento
- Una rama else para aquellos clientes que no cumplan ninguna de las condiciones establecidas. No obstante, esta rama nunca será activada puesto que todos los clientes estarán asociados a un destino.



4. PROCESO DE ATENCIÓN EN LOS ESTABLECIMIENTOS

Cada establecimiento está modelado mediante un módulo **Process** que representa:

1. Entrada del cliente a la cola
2. Ocupación de un recurso (empleados o mesas)
3. Tiempo de servicio
4. Liberación del recurso

Este proceso reproduce la experiencia de atención en el establecimiento:

a) Restaurante chino

- Modelo de servicio: triangular
- Recurso: mesas disponibles
- El cliente permanece un tiempo aleatorio en el restaurante que representa su estancia.

b) Tienda de ropa

- Modelo de servicio: triangular
- Recurso: empleados que atienden
- Simula el tiempo que un cliente pasa siendo atendido por un dependiente.

c) Zapatería

- Estructura análoga al resto, con su propio recurso y tiempo de servicio.

	Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Expression	Report Statistics	Comment
1	Chinese Restaurant	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	TRIA(40,55,70)	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Clothes shop	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	TRIA(25,37,52)	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Shoe store	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	TRIA(30,56,60)	<input checked="" type="checkbox"/>	

Process

Name:

Chinese Restaurant

Type:

Standard

Logic

Action:

Seize Delay Release

Priority:

Medium(2)

Resources:

Resource: Available Tables, 1
<End of list>

Delay Type:

Expression

Units:

Minutes

Allocation:

Value Added

Expression:

TRIA(40,55,70)

☒ Report Statistics

Comment:

OK

Cancel

Help

Process

Name:

Clothes shop

Type:

Standard

Logic

Action:

Seize Delay Release

Priority:

Medium(2)

Resources:

Resource: Employees clothes, 1
<End of list>

Delay Type:

Expression

Units:

Minutes

Allocation:

Value Added

Expression:

TRIA(25,37,52)

☒ Report Statistics

Comment:

OK

Cancel

Help

Process

Name:

Shoe store

Type:

Standard

Logic

Action:

Seize Delay Release

Priority:

Medium(2)

Resources:

Resource: Employees shoe, 1
<End of list>

Delay Type:

Expression

Units:

Minutes

Allocation:

Value Added

Expression:

TRIA(30,56,60)

☒ Report Statistics

Comment:

OK

Cancel

Help

5. REGISTRO DE VISITAS

Al salir del módulo Process de cada establecimiento, el cliente pasa por un módulo Assign llamado *Sumar visita*. Este módulo cumple dos funciones esenciales:

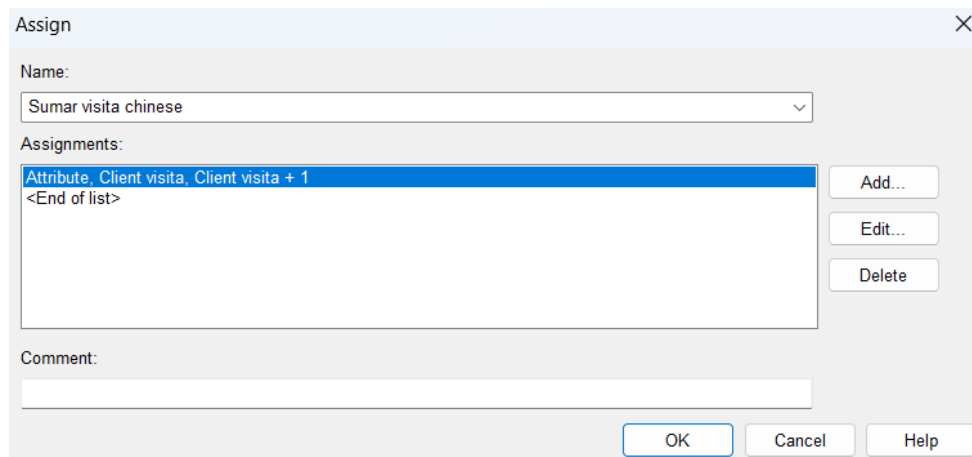
1. Incrementar el contador de visitas del cliente

El atributo Client.visita aumenta en +1, permitiendo controlar cuántas tiendas ha visitado ese cliente antes de salir del centro comercial.

2. Registrar la visita en las estadísticas del centro comercial (si corresponde)

Esto permite conocer cuántas visitas ha recibido cada tienda, lo cual es una métrica clave del modelo.

Este bloque está presente en cada establecimiento, garantizando que cada visita se contabiliza correctamente.



6. DECISIÓN FINAL

Después de ser atendido, los clientes convergen hacia un módulo decisonal denominado “Salida o destino”.

Aquí se evalúan condiciones utilizando el atributo second destination del cliente. Según este valor, el cliente puede:

- Salir definitivamente del sistema
- Ser redirigido a otro establecimiento diferente (simulando que continúa su recorrido por el centro comercial)

Este módulo permite modelar comportamientos realistas como:

- Clientes que tras comprar en una tienda deciden ir a comer
- Clientes que tras una primera compra deciden continuar comprando
- Clientes que finalizan su recorrido y se marchan del centro comercial

La lógica del Decide contempla todas las alternativas posibles a partir de los valores del atributo Client second destination.



7. SALIDA DEL SISTEMA

Por último, los clientes que han completado su recorrido llegan al módulo Dispose llamado Salida. Este representa la salida física del cliente del centro comercial. Aquí finaliza la simulación del ciclo del cliente.

8. RECURSOS

Los recursos empleados en el modelo representan la capacidad operativa de cada establecimiento del centro comercial y determinan cuántos clientes pueden ser atendidos simultáneamente. En el restaurante chino, el recurso Available Tables con capacidad 7 simboliza el número de mesas disponibles, reflejando la limitación física del local y regulando la entrada de clientes según haya mesas libres. En las tiendas, los recursos Employees shoe y Employees clothes, ambos con capacidad 3, representan al personal de atención al cliente, de modo que el número de dependientes condiciona el flujo de servicio y la formación de colas. Estos recursos son esenciales para capturar los cuellos de botella reales del sistema, medir la utilización del personal y del espacio, y evaluar cómo la disponibilidad de capacidad impacta en los tiempos de espera, el ritmo de atención y la eficiencia global del centro comercial.

	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics	Comment
1	Available Tables	Fixed Capacity	7	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Employees shoe	Fixed Capacity	3	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Employees clothes	Fixed Capacity	3	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>	

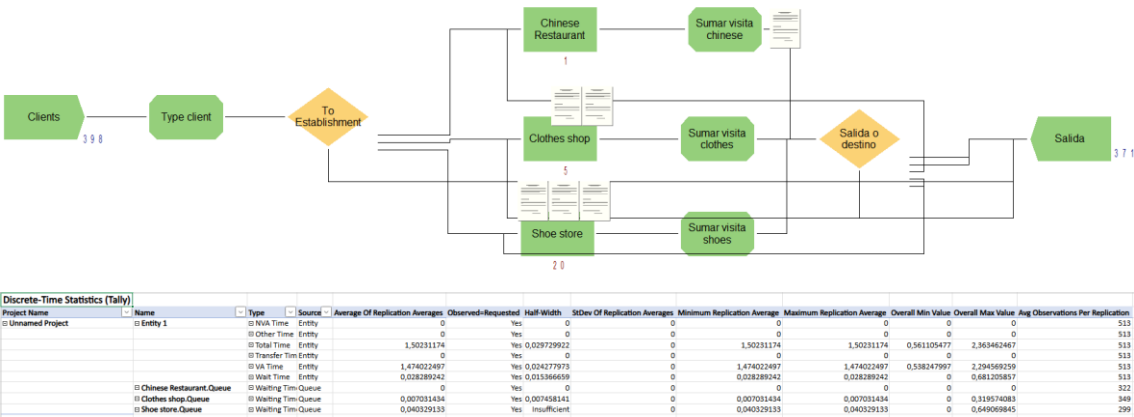
9. CONCLUSIÓN

El modelo desarrollado en Arena ofrece una representación detallada y flexible de los flujos de clientes en un centro comercial. Permite analizar la demanda de cada establecimiento, los recursos necesarios, los tiempos de servicio y el comportamiento secuencial de los clientes, ofreciendo una visión completa del funcionamiento del sistema y permitiendo probar escenarios alternativos o propuestas de mejora.

3. Resultados

En la primera simulación de los resultados observamos que, debido al tiempo de procesamiento de los negocios, se producen grandes aglomeramientos como podemos observar que ocurre en la ‘Shoe store’. Llegando a procesar a la vez más de 20 clientes lo que produce retrasos en los tiempos.

Como el ‘Chinese Restaurant’ tiene un tiempo de procesamiento menor, casi no se llegan a acumular los clientes, donde únicamente se ha podido observar colas de máximo 3-4 clientes.



Continuous-Time Statistics (Time Persistent)										
Project Name	Name	Type	Source	Average Of Replication Averages	Half-Width	StDev Of Replication Averages	Min Replication Average	Max Replication Average	Overall Min Value	Overall Max Value
Unnamd Project	Entity 1	WIP	Entity	8,968175811	0,930132631	0	8,968175811	8,968175811	0	21
	Available Ta	Instantaneo	Resource	0,26396692	0,036197903	0	0,26396692	0,26396692	0	0,769230769
		Number Bus	Resource	3,431569966	0,470572742	0	3,431569966	3,431569966	0	10
		Number Sch	Resource	13	Insufficient	0	13	13	13	13
	Chinese Res	Number Wa	Queue	0	Insufficient	0	0	0	0	0
	ClientEntity	WIP	Entity	0	Insufficient	0	0	0	0	0
	Clothes sho	Number Wa	Queue	0,028555911	Insufficient	0	0,028555911	0,028555911	0	3
	Employees	Instantaneo	Resource	0,422270017	0,05486255	0	0,422270017	0,422270017	0	1
		Number Bus	Resource	2,533620105	0,329175302	0	2,533620105	2,533620105	0	6
		Number Sch	Resource	6	Insufficient	0	6	6	6	6
	Employees	Instantaneo	Resource	0,566822148	0,079260132	0	0,566822148	0,566822148	0	1
		Number Bus	Resource	2,834110738	0,396300658	0	2,834110738	2,834110738	0	5
		Number Sch	Resource	5	Insufficient	0	5	5	5	5
	Shoe store	Number Wa	Queue	0,140319091	Insufficient	0	0,140319091	0,140319091	0	5
Output Statistics (Reports End of Replication Value)										
Project Name	Name	Type	Source	Average Across Replications	Half-Width	Overall StDev Across Replications	Min Replication Value	Max Replication Value		
Unnamd Project	System.NumberOut	Number Ou	System	513	NoCalc	0	513	513		
	Entity 1.NumberIn	Number In	Entity	513	NoCalc	0	513	513		
	Entity 1.NumberOut	Number Ou	Entity	513	NoCalc	0	513	513		
	Available Tables.NumberSe	Total Numb	Resource	322	NoCalc	0	322	322		
	Available Tables.Scheduled	Scheduled I	Resource	0,26396692	NoCalc	0	0,26396692	0,26396692		
	ClientEntity 1.NumberIn	Number In	Entity	0	NoCalc	0	0	0		
	ClientEntity 1.NumberOut	Number Ou	Entity	0	NoCalc	0	0	0		
	Employees clothes.Number	Total Numb	Resource	349	NoCalc	0	349	349		
	Employees clothes.Schedu	Scheduled I	Resource	0,422270017	NoCalc	0	0,422270017	0,422270017		
	Employees shoe.NumberSe	Total Numb	Resource	299	NoCalc	0	299	299		
	Employees shoe.Scheduled	Scheduled I	Resource	0,566822148	NoCalc	0	0,566822148	0,566822148		

Estos tiempos se pueden llegar a mejorar cambiando algunos parámetros como puede ser aumentar el tiempo de aparición de los clientes o la reducción del tiempo de los negocios a la hora de procesar a los diferentes. Esto lo estudiaremos en el siguiente apartado.

4. Cambios a raíz de los resultados

Tras analizar en profundidad el comportamiento de nuestro modelo, concluimos que los tiempos de procesamiento en los establecimientos y los tiempos de creación de clientes pueden mantenerse sin modificaciones, ya que representan adecuadamente el patrón real de llegada y atención dentro del centro comercial. Estos parámetros reproducen de forma fiel la variabilidad natural del sistema y permiten observar el funcionamiento habitual de los establecimientos bajo condiciones realistas de demanda.

No obstante, el análisis de la utilización de recursos y de los niveles de congestión reveló que las tiendas presentan limitaciones de capacidad derivadas principalmente del número reducido de empleados disponibles para atender a los clientes. Esta restricción provoca incrementos en las colas y en los tiempos de espera, lo que afecta negativamente tanto al rendimiento del sistema como a la experiencia del cliente.

Por ello, identificamos que una estrategia eficiente para optimizar el sistema sin alterar su dinámica temporal consiste en incrementar los recursos de ambas tiendas, es decir, aumentar el número de empleados asignados a la tienda de ropa y a la zapatería. Esta medida permite absorber un mayor flujo de clientes, reducir las colas, mejorar la velocidad de servicio y disminuir el tiempo total que cada

cliente pasa en el establecimiento. En consecuencia, el sistema opera de forma más fluida y equilibrada, logrando un funcionamiento más eficiente sin necesidad de modificar los patrones de llegada ni los tiempos de atención establecidos originalmente.

	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics	Comment
1	Available Tables	Fixed Capacity	13	0.0	0.0	0.0		0 rows		
2	Employees shoe	Fixed Capacity	5	0.0	0.0	0.0		0 rows		
3	Employees clothes	Fixed Capacity	6	0.0	0.0	0.0		0 rows		

Discrete-Time Statistics (Tally)

Project Name	Name	Type	Source	Average Of Replication Averages	Observed-Required	Half-Width	StDev Of Replication Averages	Minimum Replication Average	Maximum Replication Average	Overall Min Value	Overall Max Value	Avg Observations Per Replication
Unnamed Project	Entity 1	NVA Time	Entity	0	Yes	0	0	0	0	0	0	531
		Other Time	Entity	0	Yes	0	0	0	0	0	0	531
		Total Time	Entity	3,179975607	Yes	Correlated	0	3,179975607	3,179975607	0,551953308	15,51543899	531
		Transfer Tim	Entity	0	Yes	0	0	0	0	0	0	531
		Wait Time	Entity	1,335205995	Yes	0,022613905	0	1,335205995	1,335205995	0,903328786	1,957924824	531
		VIA Time	Entity	1,844769612	Yes	Correlated	0	1,844769612	1,844769612	0	13,62628097	531
		Wait Time	Entity	0	Yes	0	0	0	0	0	0	345
		Waiting Tim Queue	Entity	0	Yes	0	0	0	0	0	0	345
		Chinese Restaurant Queue	Entity	0,395581916	Yes	0,165013886	0	0,395581916	0,395581916	0	2,176505515	365
		Clothes shop Queue	Entity	2,840766206	Yes	Insufficient	0	2,840766206	2,840766206	0	7,940133751	294
		Shoe store Queue	Entity	0	Yes	0	0	0	0	0	0	294
		Waiting Tim Queue	Entity	0	Yes	0	0	0	0	0	0	294

Continuous-Time Statistics (Time Persistent)

Project Name	Name	Type	Source	Average Of Replication Averages	Half-Width	StDev Of Replication Averages	Min Replication Average	Max Replication Average	Overall Min Value	Overall Max Value
Unnamed Project	Entity 1	WIP	Entity	18,90897953	Correlated	0	18,90897953	18,90897953	0	38
		Instantaneous Resource	Entity	0,266805761	0,036202269	0	0,266805761	0,266805761	0	1
		Number Bus Resource	Entity	2,668057614	0,362022693	0	2,668057614	2,668057614	0	10
		Number Sch Resource	Entity	10	Insufficient	0	10	10	10	10
		Chinese Restaurant Queue	Entity	0	Insufficient	0	0	0	0	0
		ClientEntity WIP	Entity	0	Insufficient	0	0	0	0	0
		Clothes shop Queue	Entity	1,616884794	0,674376768	0	1,616884794	1,616884794	0	10
		Instantaneous Resource	Entity	0,861831241	Insufficient	0	0,861831241	0,861831241	0	1
		Number Bus Resource	Entity	2,585493722	Insufficient	0	2,585493722	2,585493722	0	3
		Number Sch Resource	Entity	3	Insufficient	0	3	3	3	3
		Employees clothes Queue	Entity	0,895312709	Insufficient	0	0,895312709	0,895312709	0	1
		Number Bus Resource	Entity	2,685938127	Insufficient	0	2,685938127	2,685938127	0	3

Output Statistics (Reports End of Replication Value)

Project Name	Name	Type	Source	Average Across Replications	Half-Width	Overall StDev Across Replications	Min Replication Value	Max Replication Value
Unnamed Project	Entity 1	System.NumberOut	Number Out System	531	NoCalc	0	531	531
		Entity 1.NumberIn	Number In Entity	531	NoCalc	0	531	531
		Entity 1.NumberOut	Number Out Entity	531	NoCalc	0	531	531
		Available Tables.NumberSe	Total Numb Resource	345	NoCalc	0	345	345
		Available Tables.Scheduled	Scheduled (Resource	0,266805761	NoCalc	0	0,266805761	0,266805761
		ClientEntity 1.NumberIn	Number In Entity	0	NoCalc	0	0	0
		ClientEntity 1.NumberOut	Number Out Entity	0	NoCalc	0	0	0
		Employees clothes.NumberSe	Total Numb Resource	365	NoCalc	0	365	365
		Employees clothes.Schedu	Scheduled (Resource	0,861831241	NoCalc	0	0,861831241	0,861831241
		Employees shoe.NumberSe	Total Numb Resource	294	NoCalc	0	294	294
		Employees shoe.Scheduled	Scheduled (Resource	0,895312709	NoCalc	0	0,895312709	0,895312709
		Shoe store.NumberSe	Total Numb Resource	294	NoCalc	0	294	294