

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.

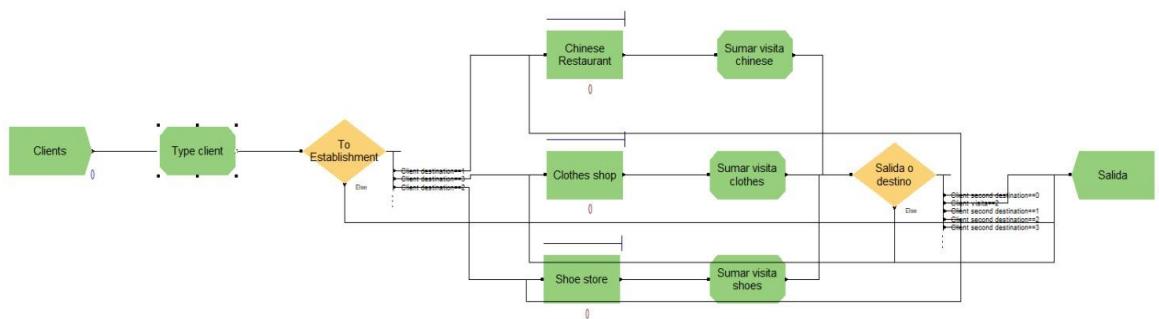
5. Registro de Tiempos

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

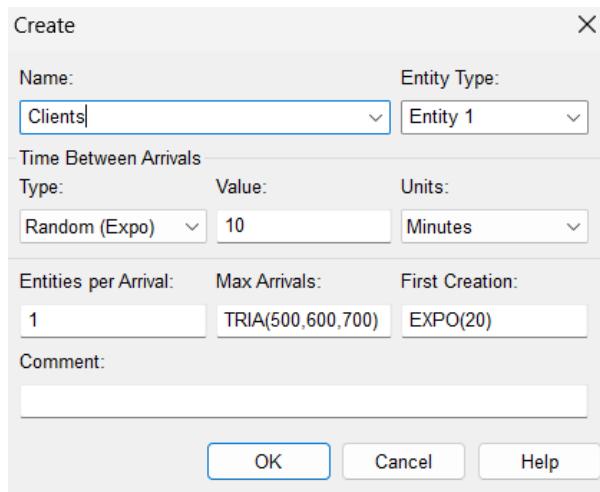


A continuación, se describe, de forma detallada, el funcionamiento del modelo de simulación desarrollado en Arena para representar el comportamiento de los clientes en un centro comercial con varios establecimientos. El objetivo del modelo es reproducir el flujo de clientes, la asignación de destinos, 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.



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

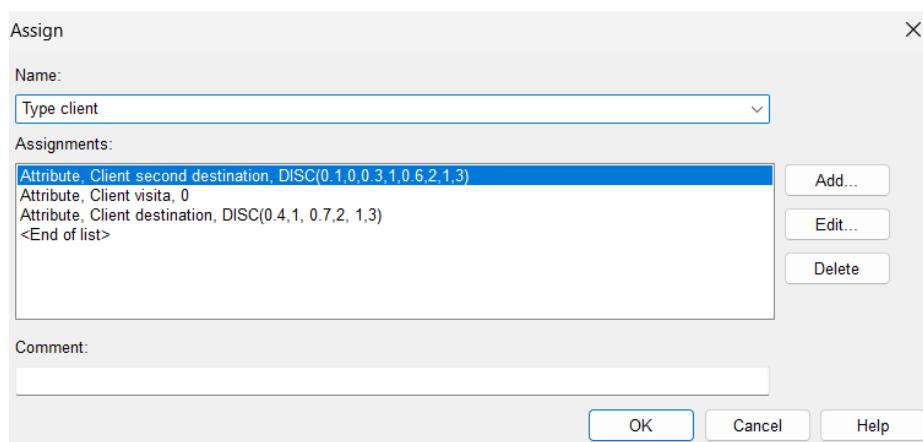
Mediante una distribución discreta, el modelo asigna al cliente su primer establecimiento objetivo dentro del centro comercial. Este destino puede ser:

- 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.



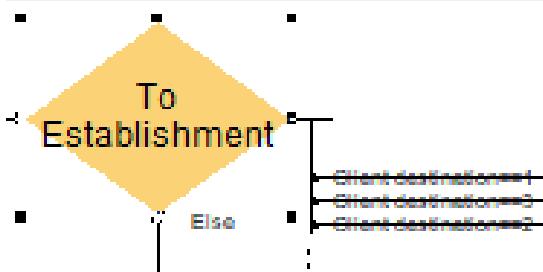
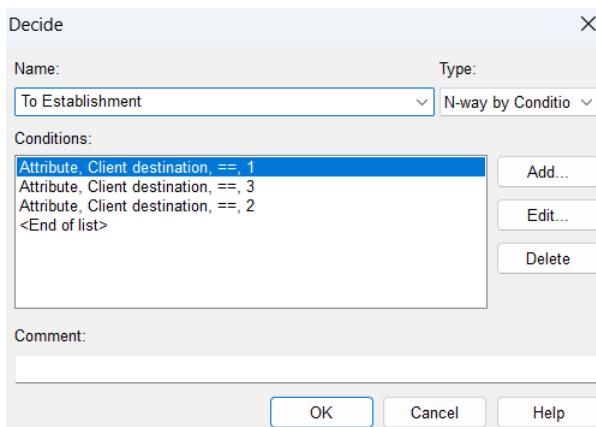
3. DECISIÓN INICIAL ‘TO ESTABLISHMENT’

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"/>	

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:

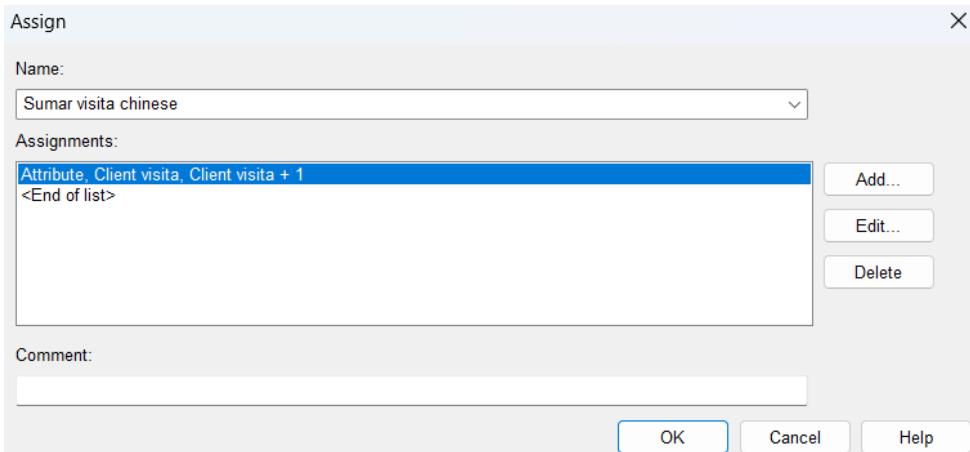
1. Incrementar el contador de visitas del cliente

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 decisional 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:

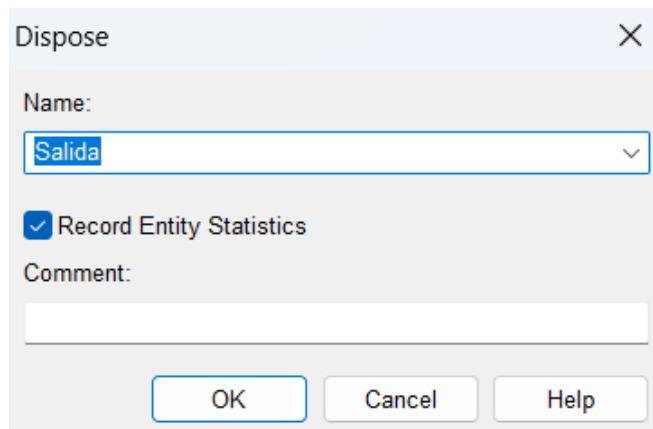
- Clientes que tras comprar en una tienda deciden ir a comer
- Clientes que tras una primera compra deciden continuar comprando
- Clientes que finalizan su recorrido y se marchan del centro comercial

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"/>	

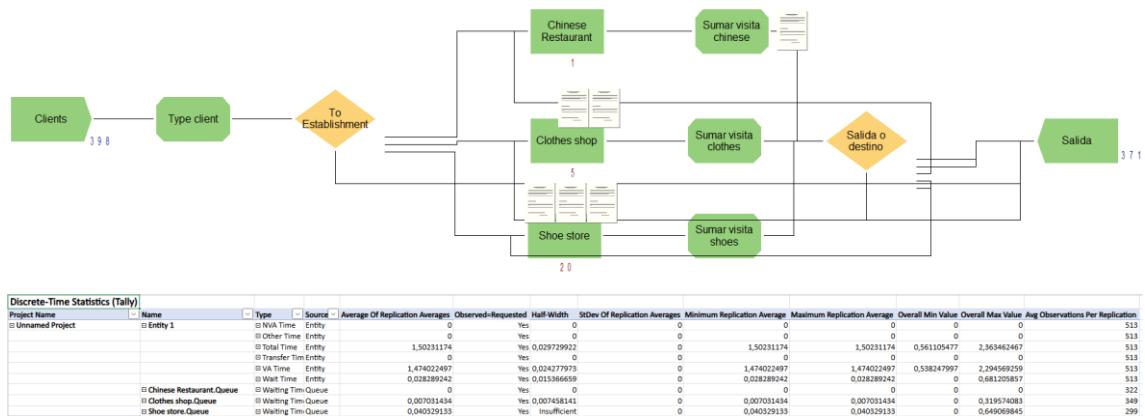
9. CONCLUSIÓN

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	
Unnamed Project	Entity 1	WIP Entity		8,968175811 0,930132631	0	8,968175811	8,968175811	0	21		
	Available Ta	Instantaneous 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 shop	Number Wa Queue		0,028555911 Insufficient	0	0,028555911	0,028555911	0	3		
	Employees	Instantaneous 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	Instantaneous 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			
Unnamed 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.NumberS	Total Numb Resource		299	NoCalc	0	299	299			
	Employees shoe.Schedule	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	<input checked="" type="checkbox"/>			
2	Employees shoe	Fixed Capacity	5	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>			
3	Employees clothes	Fixed Capacity	6	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>			
Discrete-Time Statistics (Tally)												
Project Name	Name	Type	Source	Average Of Replication Averages	Observed=Requested	Half Width	StDev Of Replication Average	Minimum Replication Average	Maximum Replication Average	Overall Min Value	Overall Max Value	Avg Observations Per Replication
□ Unnamed Project	□ Entity 1	□ WIP Entity	□ Other 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	0,5510553308	15,51545899	531
□ Transfer Tim Entity				0	Yes	0	0	0	0	0	0	531
□ VA Time Entity				1,335205995	Yes	0,02611905	0	1,335205995	1,335205995	0,503328787	1,957924824	531
□ VR Time Entity				1,84479612	Yes	Correlated	0	1,84479612	1,84479612	0	13,62618097	531
□ Chinese Restaurant.Queue				0	Yes	0	0	0	0	0	0	345
□ Clothes shop.Queue				0,395581916	Yes	0,165013886	0	0,395581916	0,395581916	0	2,176050551	365
□ Shoe store.Queue				2,840766206	Yes	Insufficient	0	2,840766206	2,840766206	0	7,640133751	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	□ Instantaneo Resource	18,90897953	Correlated	0	18,90897953	18,90897953	0	0	38	
□ Available Ta				0,266805761	0,036202269	0	0,266805761	0,266805761	0	1		
□ Number Bus Resource				2,668057614	0,362022693	0	2,668057614	2,668057614	0	10		
□ Number Sch Resource				10	Insufficient	0	10	10	10	10		
□ Chinese Res	□ Number Wa Queue			0	Insufficient	0	0	0	0	0	0	
□ ClientEntity	□ WIP Entity			0	Insufficient	0	0	0	0	0		
□ Clothes sho	□ Number Wa Queue			1,616884794	0,674376768	0	1,616884794	1,616884794	0	10		
□ Employees	□ Instantaneo Resource			0,861831241	Insufficient	0	0,861831241	0,861831241	0	1		
□ Employees	□ Instantaneo Resource			2,585493722	Insufficient	0	2,585493722	2,585493722	0	3		
□ Number Bus Resource				3	Insufficient	0	3	3	3	3		
□ Number Sch Resource				0	Insufficient	0	0	0	0	0		
□ Shoe store	□ Number Wa Queue			9,352605276	Correlated	0	9,352605276	9,352605276	0	28		
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	□ System.NumberOut	□ Number Ou System		531	NoCalc	0	531	531	531			
□ Entity 1.NumberIn		□ Number In Entity		531	NoCalc	0	531	531	531			
□ Entity 1.NumberOut		□ Number Ou Entity		531	NoCalc	0	531	531	531			
□ Available Tables.NumberSe		□ Total Numb Resource		345	NoCalc	0	345	345	345			
□ Available Tables.Scheduled		□ Scheduled I Resource		0,266805761	NoCalc	0	0,266805761	0,266805761	0,266805761			
□ ClientEntity 1.NumberIn		□ Number In Entity		0	NoCalc	0	0	0	0			
□ ClientEntity 1.NumberOut		□ Number Ou Entity		0	NoCalc	0	0	0	0			
□ Employees clothes.Numb		□ Total Numb Resource		365	NoCalc	0	365	365	365			
□ Employees clothes.Schedule		□ Scheduled I Resource		0,861831241	NoCalc	0	0,861831241	0,861831241	0,861831241			
□ Employees shoe.NumberSe		□ Total Numb Resource		294	NoCalc	0	294	294	294			
□ Employees shoe.Schedule		□ Scheduled I Resource		0,895312709	NoCalc	0	0,895312709	0,895312709	0,895312709			