

Simulación Final

Especificación y Desarrollo del Modelo de Simulación

Prácticas de Diseño de Modelos de Simulación

Alejandro Arroyo Loaisa

Prácticas de DMS

Universidad de Jaén - 2024

ÍNDICE DE CONTENIDOS

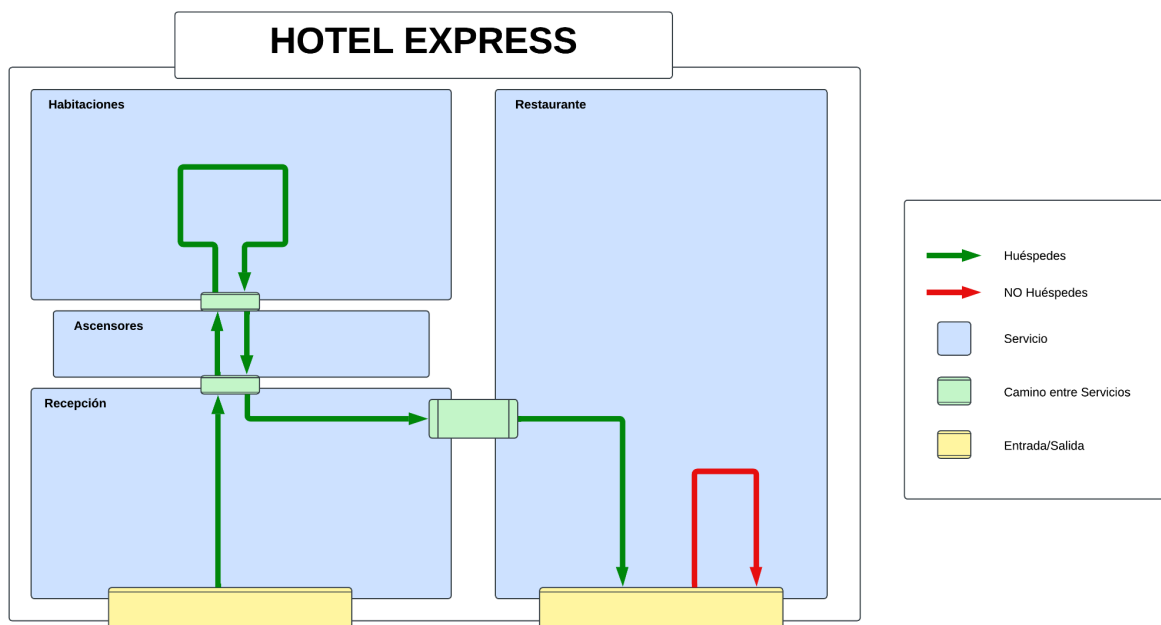
Sistema Real.....	3
Objetivos.....	4
Estructura Lógica del Modelo.....	5
Descripción Verbal.....	5
Especificación de Eventos.....	5
Diseño del Modelo.....	8
Variables del Sistema.....	8
Distribución de Llegada de Clientes.....	10
Modelo de Flujo Observado.....	11
Experimentos Planteados.....	11
Modelo de Simulación Desarrollado.....	14
Entidades.....	15
Huéspedes.....	15
Comensales.....	15
Servicios.....	16
Caminos.....	18
Nodos de Cruce de caminos.....	18
Eventos del Modelo.....	20
StateAssignments.....	21
Add-On Process Triggers.....	22
Análisis de Resultados.....	25
Mejor Escenario.....	25
Peor Escenario.....	27
Análisis Experimento.....	28
Respuesta a las preguntas.....	29
Reflexión sobre otro posible estudio del sistema.....	30

Sistema Real

HOTEL EXPRESS es un pequeño hotel de montaña que cuenta con diversos servicios tales como: *recepción, ascensor, servicio de limpieza, habitación y restaurante*. Está sumamente comprometido con la satisfacción de sus clientes, considerando que cada segundo de espera es crucial en esta. Al entrar al hotel se encuentra la recepción, donde se gestiona la demanda del cliente y se le asigna la habitación. Para acceder a ella deben hacer uso del ascensor que posee, con aforo limitado a una persona. Las habitaciones, además, son limpiadas a la entrada de cada cliente por el servicio de limpieza, que actúa rápidamente con la intención de no hacerle esperar demasiado. Si el flujo de clientes lo demanda, se estudiará ampliar el número de habitaciones e instalar nuevos ascensores. El hotel, también, posee un humilde restaurante. Recientemente, y debido a las buenas críticas, ha sido abierto también para los no residentes. Estos últimos pueden llegar a ocupar el restaurante por completo, no pudiéndose dar servicio a los huéspedes, y esto preocupa a los propietarios del hotel.

Atendiendo a esto, hay dos tipos de personas que visitan el hotel:

- **Personas que tienen la experiencia “EXPRESS” completa**, y que hacen uso de todos los servicios durante su estancia. El objetivo del hotel es mejorar su satisfacción atendiendo a sus tiempos de espera.
- **Personas que solo visitan el restaurante del hotel** y, por tanto, no se hospedan. El aumento en el número de estas personas, hace que empeore la experiencia de los huéspedes, pero negarles la entrada implicaría que el hotel perdiera dinero. Se estudiará esto durante el proyecto.



Se ha solicitado la creación de un Modelo de Simulación para optimizar este problema. Esto es, para estudiar la configuración del hotel y averiguar qué tanto merece la pena contratar

más o menos personal para dar servicio en el hotel, instalar o no más ascensores, disminuir los tiempos de espera del cliente y, en definitiva, aumentar la satisfacción final de este.

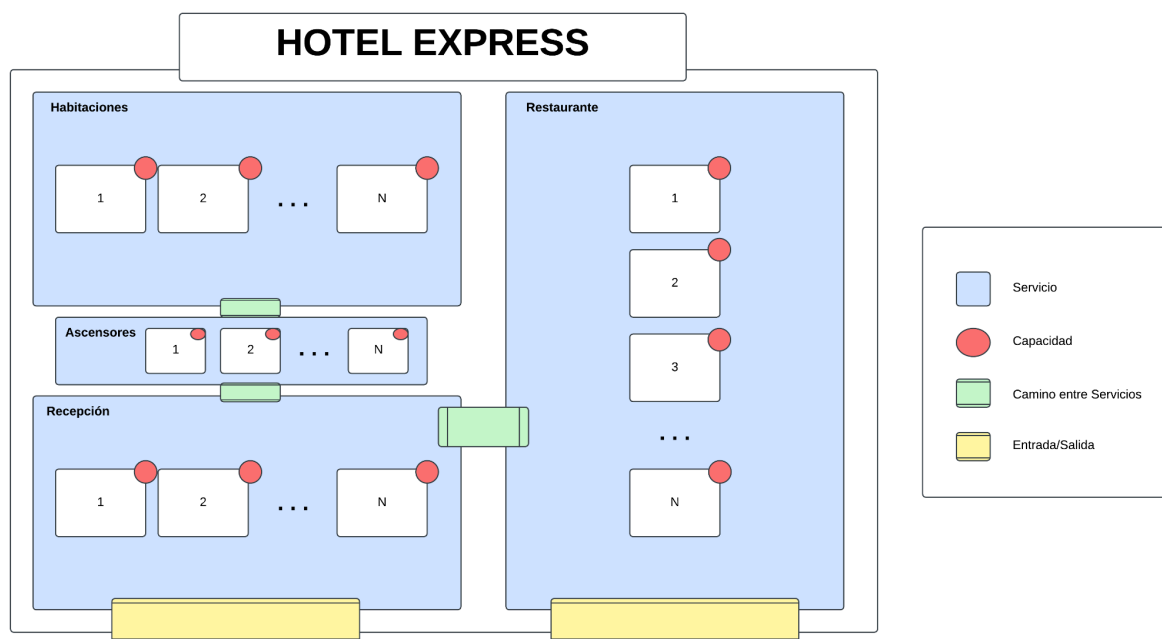
Objetivos

Con el planteamiento de esta simulación se pretende responder a las siguientes cuestiones:

- **¿Cuál es la mejor configuración de los servicios del hotel para optimizar la satisfacción de los huéspedes?**

Se quiere estudiar la influencia del número de empleados contratados para cada servicio del hotel en la satisfacción del huésped. Se pretende encontrar la mejor configuración para optimizar los tiempos de espera en cada servicio. Estos son:

- Recepción (número de recepcionistas)
- Ascensor (número de ascensores)
- Habitaciones (número de habitaciones)
- Restaurante (número de mesas)



- **¿Cómo influye en la satisfacción de los huéspedes permitir el acceso al restaurante a los clientes que no lo son?**

Como el restaurante está abierto también para los no residentes, se quiere estudiar cómo influye la cantidad de personas externas a las que se le brinda servicio en el tiempo de espera de los huéspedes, puesto que la prioridad es maximizar la satisfacción de estos.

Estructura Lógica del Modelo

Descripción Verbal

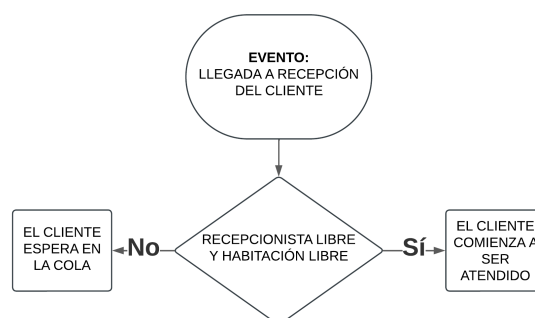
Al llegar al hotel, el huésped pasa a la recepción. Si no hay ningún recepcionista libre o si no hay habitaciones disponibles, espera en la sala hasta que pueda ser atendido. Una vez que ha terminado el servicio en recepción, llama al ascensor para poder acceder a la planta donde se encuentran las habitaciones. Si este está siendo usado por algún cliente, deberá esperar para poder montarse. Cuando el huésped llega a la primera planta, se dirigirá a su habitación. Debe esperar a que termine de limpiarla el servicio de limpieza. Tras descansar durante un tiempo en la habitación, el cliente bajará al restaurante, utilizando de nuevo el ascensor, con el objetivo de comer antes de irse del hotel. Habrá una cola para los clientes que estén esperando mesa. Si el huésped termina de comer, se marchará del hotel dejando su habitación libre.

Por otro lado, los clientes que no se hospeden en el hotel, al llegar, se dirigirán directamente al restaurante. Sin embargo, tendrán prioridad de encontrar mesa los huéspedes del hotel.

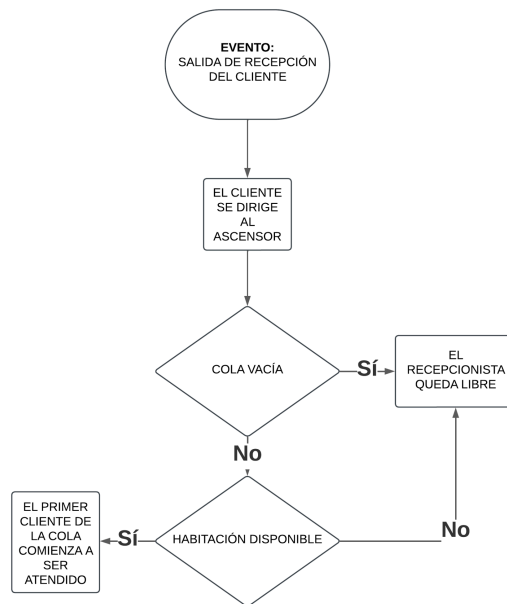
Especificación de Eventos

Los eventos contemplados para la construcción del Modelo de Simulación de este sistema son:

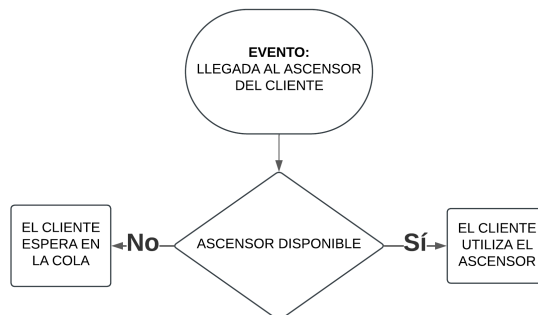
- **Inicio de la Simulación.** Es el evento que da comienzo a la Simulación.
- **Llegada a Recepción del Cliente:** llega el cliente al hotel y, si no hay ningún recepcionista libre o no hay habitaciones disponibles, espera a ser atendido.



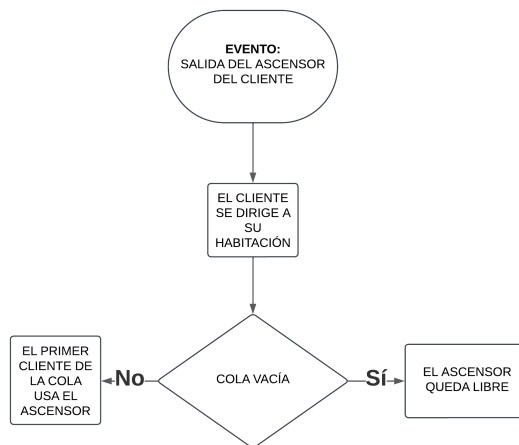
- **Salida de Recepción del Cliente:** terminan de atender al cliente en recepción. Si hay personas esperando y hay habitaciones disponibles, el siguiente cliente pasa a ser atendido.



- **Llegada al Ascensor del Cliente:** tras ser atendido, el cliente pasa a montarse en el ascensor. Si no hay ningún ascensor libre, espera en una cola a que haya alguno disponible.



- **Salida del Ascensor del Cliente:** el cliente llega a la primera planta tras subir en el ascensor, dejándolo libre para el siguiente huésped que necesite usarlo, en caso de haberlo.



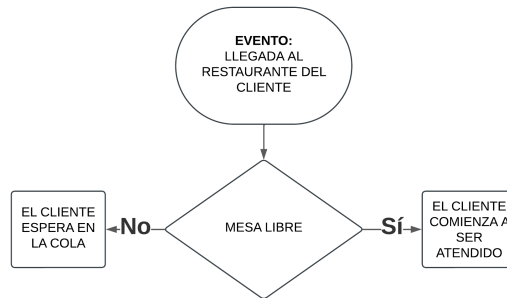
- **Llegada a Habitación del Cliente:** el cliente llega a su habitación y espera a que esta sea limpiada por el servicio del hotel.



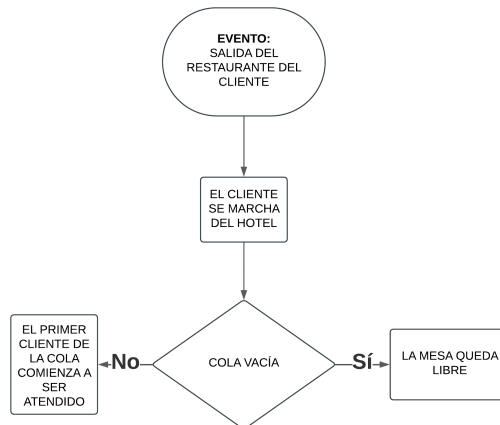
- **Salida de Habitación del Cliente:** una vez que ha descansado en la habitación, el cliente sale dejándola libre, comunicando a recepción que ésta está libre.



- **Llegada al Restaurante del Cliente:** llega el cliente al restaurante con el objetivo de encontrar una mesa libre en la que sentarse y comer. Si no es así, espera a que alguna mesa se quede disponible para acceder a ella, mientras espera en la cola.



- **Salida del Restaurante del Cliente:** el cliente termina su almuerzo y se va del hotel, dejando libre la mesa en la que comió para que el próximo cliente acceda a ella.



- **Fin de la Simulación.** Es el evento que finaliza la Simulación.

Diseño del Modelo

Variables del Sistema

Al estudiar este sistema, nos encontramos con las siguientes variables:

- **Entidades.** En el modelo de simulación se identifican dos tipos principales de entidades que representan a los distintos tipos de clientes que interactúan con los servicios del hotel. Estas entidades se clasifican según el uso que hacen de los servicios disponibles:

- **Huésped:** representa a los clientes que eligen la experiencia “EXPRESS” completa, es decir, aquellos que se hospedan en el hotel y utilizan todos los servicios disponibles, como recepción, ascensor, habitación y restaurante.
- **Comensal:** agrupa a los clientes que visitan únicamente el restaurante del hotel, sin hacer uso de los otros servicios. Estos clientes no están alojados y su única interacción con el sistema es para comer en el restaurante.
- **Recursos.** El modelo también contempla varios recursos clave, que son los elementos limitados que prestan servicio a las entidades en el hotel. Cada recurso afecta al flujo y la experiencia del cliente debido a su disponibilidad y capacidad:
 - **Recepcionistas:** número de empleados dedicados a la atención en recepción, responsables de la gestión de llegadas y asignación de habitaciones a los huéspedes.
 - **Ascensores:** cantidad de ascensores disponibles en el hotel, cada uno con una capacidad máxima de una persona a la vez, lo cual afecta el flujo de clientes que se desplazan entre pisos.
 - **Habitaciones:** representa el número total de habitaciones del hotel. Este recurso limita la cantidad de huéspedes que pueden hospedarse de manera simultánea.
 - **Mesas del restaurante:** número de mesas disponibles en el restaurante. Afecta tanto a los huéspedes como a los comensales externos en la medida en que limita la cantidad de personas que pueden ser atendidas a la vez en el restaurante.
- **Tiempos de servicio.** Para cada servicio en el hotel, se especifican las funciones de distribución que caracterizan los tiempos de atención, considerando que cada una de estas se cronometró previamente para ajustar el modelo:
 - **Atención en recepción:** la atención en recepción se ajusta a una distribución exponencial con media de 3 minutos. Esta variabilidad responde al tipo de solicitudes de los huéspedes y al tiempo que toma asignar habitaciones y resolver dudas.
 - **Uso de ascensor:** se ha determinado que el tiempo de uso del ascensor es constante y asciende a 15 segundos para cada trayecto (subida o bajada), independientemente del destino dentro del hotel.
 - **Tiempo de limpieza:** el tiempo necesario para limpiar cada habitación sigue una distribución normal con media de 10 minutos y desviación estándar de 2 minutos, representando el proceso estandarizado del servicio de limpieza.
 - **Comer en restaurante:** para los clientes que usan el restaurante, el tiempo de comida sigue una distribución normal con media de 45 minutos y desviación estándar de 10 minutos, reflejando el tiempo total que ocupan la mesa, incluyendo espera y consumo.
- **Espacio entre servicios.** Las distancias físicas entre los diferentes servicios del hotel afectan el desplazamiento de los clientes y el flujo en general. Las siguientes medidas se implementarán en el modelo para calcular tiempos de recorrido:

- **Puerta hotel-recepción:** la distancia entre la entrada principal del hotel y la recepción es de 5 metros, recorriéndose generalmente en aproximadamente 5 segundos a pie.
- **Recepción-ascensor:** desde la recepción al ascensor, los huéspedes recorren 10 metros, lo cual toma en promedio 10 segundos.
- **Ascensor-habitación:** al salir del ascensor, el huésped debe recorrer 15 metros para llegar a su habitación, en un tiempo aproximado de 15 segundos.
- **Habitación-restaurant:** desde las habitaciones hasta el restaurante, los clientes recorren 20 metros, lo cual implica un tiempo de recorrido de unos 20 segundos.
- **Restaurante-Puerta hotel:** la distancia final, desde el restaurante hasta la salida del hotel, es de 25 metros, estimándose el tiempo de recorrido en 25 segundos.

Distribución de Llegada de Clientes

Para representar de manera realista la demanda de los servicios del hotel, se han definido las distribuciones de llegada de los diferentes tipos de clientes, en función de los datos históricos de ocupación y actividad del restaurante.

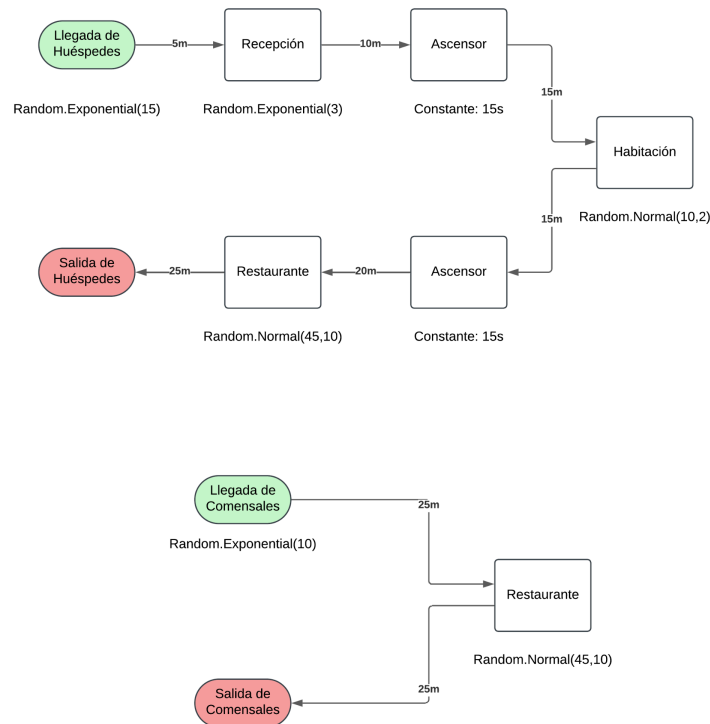
- **Huéspedes:** La llegada de los huéspedes al hotel sigue una distribución exponencial con un promedio de llegada de 1 huésped cada 15 minutos. Este patrón refleja la variabilidad en la demanda de hospedaje y permite modelar períodos de mayor o menor afluencia de forma aleatoria.
- **Comensales:** Los comensales que visitan solo el restaurante tienen un ritmo de llegada que sigue una distribución exponencial con un promedio de 1 cliente cada 10 minutos durante horas de mayor afluencia.

La llegada de huéspedes es mayor alrededor de las horas de check-in y check-out. Sin embargo, la llegada de comensales sólo podrá darse durante las horas de desayuno, comida y cena establecidas por el hotel, puesto que el restaurante estará abierto a los no residentes solo durante estas horas, mientras que para los huéspedes estará disponible todo el día.

🕒	HORA	▼	HUÉSPEDES	▼	COMENSALES	▼
	0:00		2		0	
	1:00		3		0	
	2:00		1		0	
	3:00		2		0	
	4:00		4		0	
	5:00		2		0	
	6:00		6		0	
	7:00		4		6	
	8:00		6		7	
	9:00		9		5	
	10:00		7		0	
	11:00		14		0	
	12:00		15		0	
	13:00		12		5	
	14:00		6		10	
	15:00		5		6	
	16:00		8		3	
	17:00		7		0	
	18:00		4		0	
	19:00		9		0	
	20:00		13		6	
	21:00		7		9	
	22:00		5		6	
	23:00		4		0	

Modelo de Flujo Observado

Teniendo en cuenta todo lo descrito anteriormente, podemos obtener el siguiente diagrama de flujo del sistema:



Experimentos Planteados

Una vez modelado y construido el sistema, se van a realizar los siguientes experimentos (esto es, escenarios de experimentación) sobre la simulación, para tratar de obtener variedad de resultados lo suficientemente buenos como para llevar a cabo el análisis necesario y conseguir la mejor configuración de los servicios del “HOTEL EXPRESS” que satisfaga al Cliente.

Como se ha explicado a lo largo de este documento, se está tratando de medir la satisfacción del cliente y maximizarla. Esta se calculará mediante la suma total de los tiempos de espera del cliente a lo largo de todo su recorrido por el hotel. A mayor tiempo de espera, menor satisfacción. Por lo tanto se mide como:

$$Satisfacción_{cliente} = \sum_{i=1}^n (Tiempo_Servicio_i)$$

Midiéndose ésta como la sumatoria de los tiempos de espera de los n servicios por los que pasó el cliente. Cada uno de los tiempos de servicio, a su vez, será la suma del tiempo esperado en la cola para tomarlo (t_i) y el tiempo de atención del servicio (T_i):

$$Tiempo_Servicio_i = (t_i + T_i)$$

Las configuraciones de los experimentos serán las siguientes:

Experimento	Número de recepcionistas	Número de ascensores	Número de habitaciones	Número de mesas en restaurante	Repeticiones	Número de limpiezas	Tiempo de simulación
1	2	1	10	15	10	1	1 mes
2	3	1	10	15	10	1	1 mes
3	4	1	10	15	10	1	1 mes
4	2	2	10	15	10	2	1 mes
5	3	2	10	15	10	2	1 mes
6	4	2	10	15	10	2	1 mes
7	2	3	10	15	10	3	1 mes
8	3	3	10	15	10	3	1 mes
9	4	3	10	15	10	3	1 mes
10	2	1	8	15	10	1	1 mes
11	3	1	8	15	10	1	1 mes
12	4	1	8	15	10	1	1 mes
13	2	2	8	15	10	2	1 mes
14	3	2	8	15	10	2	1 mes
15	4	2	8	15	10	2	1 mes
16	2	3	8	15	10	3	1 mes
17	3	3	8	15	10	3	1 mes
18	4	3	8	15	10	3	1 mes
19	2	1	12	12	10	1	1 mes
20	3	1	12	12	10	1	1 mes
21	4	1	12	12	10	1	1 mes
22	2	2	12	12	10	2	1 mes
23	3	2	12	12	10	2	1 mes

Experimento	Número de recepcionistas	Número de ascensores	Número de habitaciones	Número de mesas en restaurante	Repeticiones	Número de limpiezas	Tiempo de simulación
24	4	2	12	12	10	2	1 mes
25	2	3	12	12	10	3	1 mes
26	3	3	12	12	10	3	1 mes
27	4	3	12	12	10	3	1 mes
28	2	1	16	12	10	1	1 mes
29	3	1	16	12	10	1	1 mes
30	4	1	16	12	10	1	1 mes
31	2	2	16	12	10	2	1 mes
32	3	2	16	12	10	2	1 mes
33	4	2	16	12	10	2	1 mes
34	2	3	16	12	10	3	1 mes
35	3	3	16	12	10	3	1 mes
36	4	3	16	12	10	3	1 mes

Modelo de Simulación Desarrollado

La versión de SIMIO en la que se ha desarrollado el sistema es 17.261.39190 (64 bits).

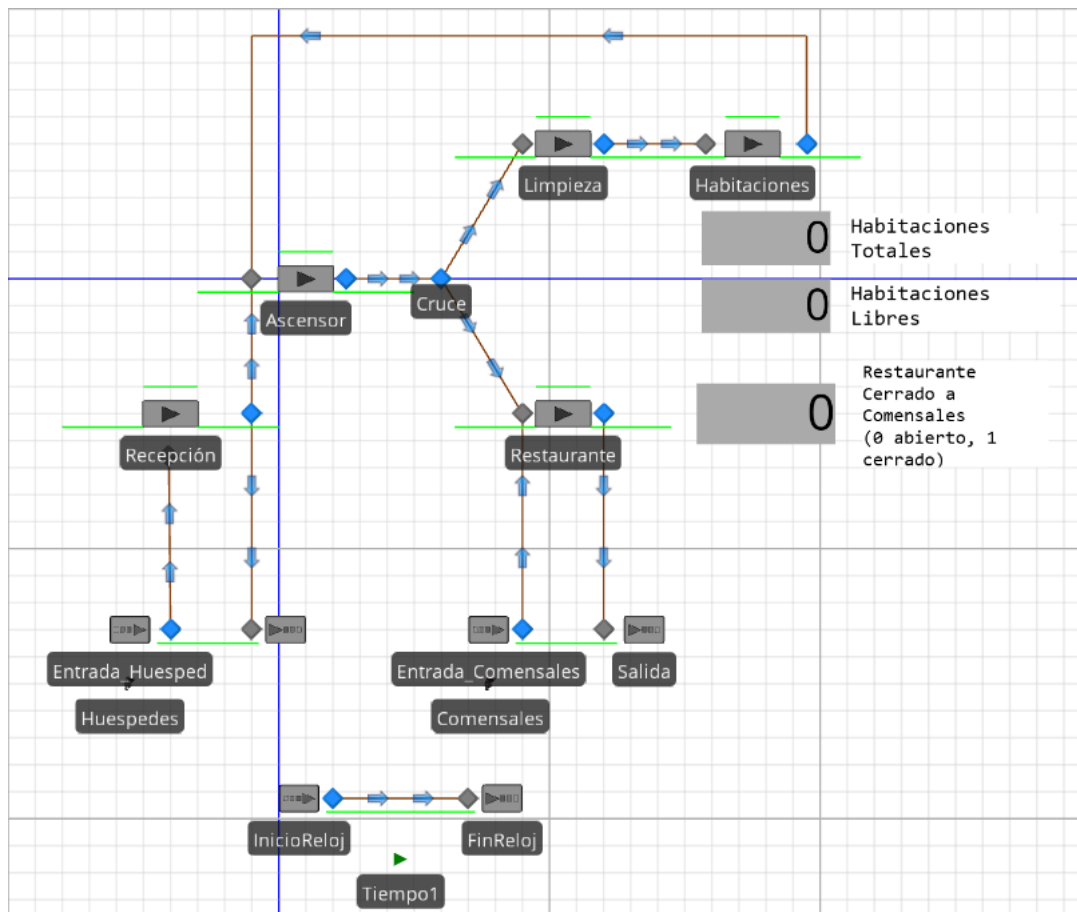
El modelo de Simulación diseñado en páginas anteriores, se ha llevado a la práctica haciendo uso del software de simulación SIMIO. Se ha optado por este programa, no solo porque se ha aprendido a usar en prácticas, si no por su sencillo manejo de entidades y paso del tiempo, que sería lo más complejo de llevar a cabo en cualquier lenguaje de programación.

Se han hecho ajustes que mejoran al sistema conforme se ha construido. Concretamente:

- Los huéspedes no esperan más de cierto tiempo para obtener una habitación. Si se les agota la paciencia, se marchan.
- Los comensales son expulsados de las colas del restaurante cuando este cierra al público exterior.
- Se ha añadido un reloj artificial para el lanzamiento de algunos eventos.
- Se ha añadido un servicio de limpieza como Servidor. Ya que esto constaba en la teoría, pero no se concretó como servicio en el esquema final de la simulación. Por lo tanto un Huésped haría el siguiente recorrido:

Recepción → Ascensor → Servicio de Limpieza → Habitación → Ascensor → Restaurante

El Modelo Global Final que se ha construido, y sobre el que se ejecutarán todos los experimentos, es el siguiente:



Entidades

En nuestro sistema se observan tres entidades: *Huéspedes*, *Comensales* y *Tiempo*. Esta última es “ficticia” y se hablará de ella durante el manejo de eventos de la simulación. Ambas entidades (Huésped y Comensal) se generarán de acuerdo a la Rate Table comentada anteriormente.

Huéspedes

Son personas que descansan en una habitación, comen en el restaurante y se marchan. Si un huésped lleva mucho tiempo esperando en la cola de Recepción, se marchará del hotel. El camino que sigue un Huésped se ha simplificado (sin alterarlo) al esquema que se observa en la imagen. Cuando un Huésped aún no ha descansado en su habitación y llega al punto “Cruce”, siempre tomará el camino hacia las habitaciones. Si ya ha descansado, se dirigirá al restaurante. De esta manera, hacemos que el recurso Ascensor sea compartido entre todas las personas que quieran subir y bajar entre plantas.

Para gestionar los sucesos descritos en el párrafo anterior, se han asignado dos variables (*States*) a cada entidad Huésped que se genere:

- ☒ YaHaDescansado
- ☒ YaHaSidoAtendido

Boolean State Variable
Boolean State Variable

- **YaHaDescansado** es un booleano que se asigna a False por defecto. En el momento en el que el huésped sale de su habitación, se considera que ya ha descansado y se activa este flag a True. Con este flag, cuando un Huésped llegue al punto de Cruce, irá hacia las Habitaciones o hacia el Restaurante dependiendo de este flag, ya que se han ponderado los caminos en base a este atributo de la entidad.
- **YaHaSidoAtendido** es un booleano que se asigna a False por defecto. En el momento en el que el huésped comienza a ser atendido en Recepción, se considera que ya ha sido atendido/está siendo atendido y se activa este flag a True. Sirve para expulsar a los Huéspedes del sistema que lleven más de cierto tiempo en él y aún no han sido atendidos. O lo que es lo mismo, personas que llevan mucho tiempo esperando en la cola, se les agota la paciencia y se marchan del hotel. Con este flag prevenimos de expulsar a entidades que ya han pasado más allá de Recepción.

Comensales

Son personas que no se alojan en el hotel, pero se acercan a comer en el restaurante. Solo entran en el sistema cuando el restaurante está abierto al público exterior, es decir, durante las horas que se han considerado para Desayuno, Comida y Cena. Durante el resto de horas, no pueden entrar y deben ser expulsados si aún están en la cola. Esta acción la manejará un evento, que comprobará la hora para expulsar a los comensales.

En la cola del Restaurante, los Huéspedes se colocarán delante de los Comensales porque tienen prioridad. Esto se ha configurado desde el nodo Input del Restaurante, indicando que la regla de Ranking de Entrada sea por peso (mayor peso primero), y que este peso sea la Prioridad de cada cliente.



A los Huéspedes se les ha asignado Priority=10 y a los Comensales se les ha asignado Priority=0.

Servicios

El “Hotel EXPRESS” se enorgullece de la calidad de sus múltiples servicios. Estos son los siguientes, configurados tal y como se describe a continuación:

- **Recepción**

Se ha utilizado una función de distribución estadística Exponencial(10), en minutos. La capacidad del servicio (número de recepcionistas) ha sido parametrizada con *RecepcionCapacidad* para los experimentos. Este servicio tiene un State Assignment antes de procesar a cada entidad que será explicado en su respectivo apartado en páginas posteriores.

Properties: Recepción (Server)	
Process Logic	
Capacity Type	Fixed
Initial Capacity	RecepcionCapacidad
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
Transfer-In Time	0.0
Process Type	Specific Time
Processing Time	Random.Exponential(10)
Off Shift Rule	Suspend Processing
Other Processing Options	
Buffer Logic	
Reliability Logic	
Table Row Referencing	
State Assignments	
On Entering	0 Rows
Before Processing	1 Row
After Processing	0 Rows

- **Ascensor**

Se ha utilizado, como se explicó, una velocidad de servicio de 15 segundos CONSTANTE. Esto es, porque el ascensor tarda siempre lo mismo en subir y en bajar. La capacidad del servicio (número de ascensores) ha sido parametrizada con *AscensoresCapacidad* para los experimentos.

Properties: Ascensor (Server)	
Process Logic	
Capacity Type	Fixed
Initial Capacity	AscensoresCapacidad
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
Transfer-In Time	0.0
Process Type	Specific Time
Processing Time	15
Units	Seconds
Off Shift Rule	Suspend Processing
Other Processing Options	

- **Servicio de Limpieza**

Se ha utilizado una función de distribución estadística Triangular(10, 12.5, 17), en minutos. Por lo tanto, el servicio de limpieza tarda un mínimo de 10 minutos, de media 12.5 y máximo 17, en limpiar una habitación. La capacidad del servicio (número de limpiadores) ha sido parametrizada con *LimpiezaCapacidad* para los experimentos.

Properties: Limpieza (Server)	
Process Logic	
Capacity Type	Fixed
Initial Capacity	↗ LimpiezaCapacidad
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
▶ Transfer-In Time	0.0
Process Type	Specific Time
▶ Processing Time	Random.Triangular(10, 12.5, ...
Off Shift Rule	Suspend Processing
▶ Other Processing Options	

- **Habitaciones**

Se ha utilizado una función de distribución estadística Triangular(5, 6.5, 9), en horas. La capacidad del servicio (número de habitaciones) ha sido parametrizada con *HabitacionesCapacidad* para los experimentos.

Properties: Habitaciones (Server)	
Process Logic	
Capacity Type	Fixed
Initial Capacity	↗ HabitacionesCapacidad
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
▶ Transfer-In Time	0.0
Process Type	Specific Time
▶ Processing Time	Random.Triangular(5, 6.5, 9)
Units	Hours
Off Shift Rule	Suspend Processing
▶ Other Processing Options	

- **Restaurante**

Se ha utilizado una función de distribución estadística Normal(45, 10), en minutos. Es decir, se tarda una media de 45 minutos en comer, con desviación típica de 10 minutos, arriba o abajo. La capacidad del servicio (número de mesas) ha sido parametrizada con *RestauranteCapacidad* para los experimentos.

Properties: Restaurante (Server)	
Process Logic	
Capacity Type	Fixed
Initial Capacity	↗ RestauranteCapacidad
▶ Ranking Rule	Largest Value First
Dynamic Selection Rule	None
▶ Transfer-In Time	0.0
Process Type	Specific Time
▶ Processing Time	Random.Normal(45, 10)
Off Shift Rule	Suspend Processing
▶ Other Processing Options	

Caminos

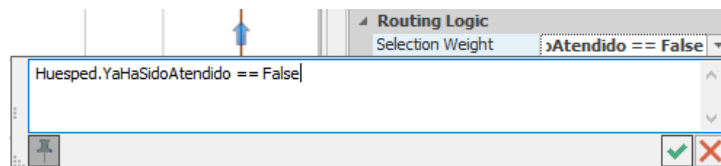
En la simulación del hotel desarrollada, podríamos decir que solo existen dos caminos: el que siguen los huéspedes y el que siguen los comensales.

- **Camino de Huéspedes:** aunque se haya comprimido cierta parte del camino global para reutilizar el ascensor (simplificación matemática del grafo) y esto ha hecho que se haya incluido un cruce, en realidad sobre el papel es un camino unidireccional.
 - Desde que el huésped entra al hotel, hasta que sale habiendo comido en el restaurante: 105m (experiencia completa)
 - Si el huésped se cansa de esperar en la cola y se marcha del hotel: 10m
 - Desde que entra al hotel hasta que puede descansar en una habitación: 35m
- **Camino de Comensales:** es muy sencillo. Entran al restaurante, comen y se van. Sin embargo, pueden ser expulsados de la cola si se cierra el restaurante al exterior, abandonando el edificio por el mismo camino que lo harían al haber comido (50m).

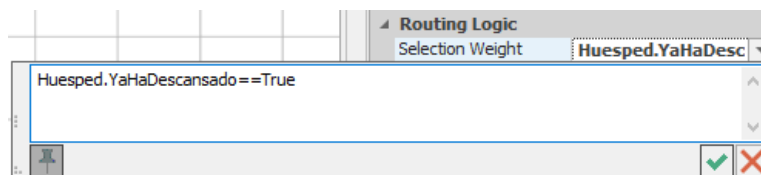
Nodos de Cruce de caminos

Con el sistema planteado, hay dos situaciones en las que los Huéspedes tomarán un camino respecto de otro. Esto genera nodos de cruce, que serán los siguientes:

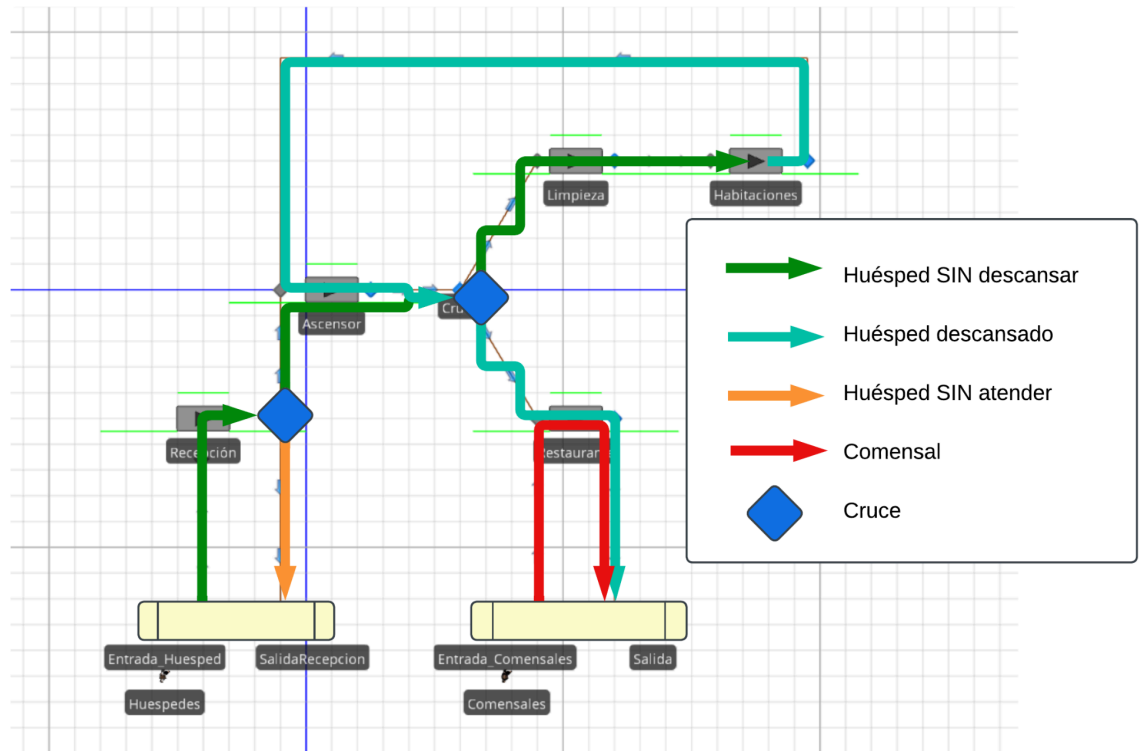
- **Cruce a la salida de Recepción:** si una persona se cansa de esperar por una habitación, abandonará la cola de Recepción y se dirigirá a la salida de Recepción. Esto se realizará indicando que, si el Huésped ha llegado al cruce sin ser atendido, tome el camino de salida, puesto que esto significará que se cansó de esperar y quiere abandonar las instalaciones. Si ya fue atendido (recibió el servicio de Recepción y asignación de habitación), entonces este camino de salida nunca podrá tomarlo y elegirá dirigirse a su habitación. Se utiliza el flag YaHaSidoAtendido y la siguiente Selection Weight en el camino de salida:



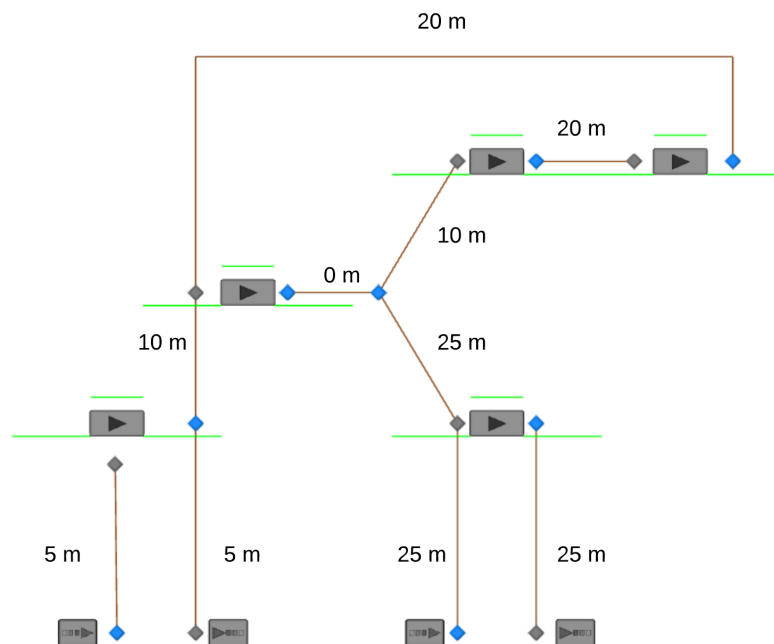
- **Cruce a la salida del Ascensor:** cuando una persona recibe una habitación, debe dirigirse a ella. Y después de descansar en esta, bajar al restaurante. Como se comparte Ascensor durante este camino, a la salida de este se ha colocado un cruce para estas dos direcciones (hacia Habitaciones y hacia Restaurante). Por lo tanto, un Huésped solo se dirigirá hacia el Restaurante si ya descansó. Para esto se utiliza el flag YaHaDescansado y la siguiente Selection Weight en el camino hacia el Restaurante:



Por lo tanto, y siguiendo el mismo formato del diagrama del “Hotel EXPRESS” del inicio del documento, los caminos en nuestra simulación quedarán de la siguiente manera:



Atendiendo a lo especificado en este documento, y a los cambios realizados a la hora de desarrollar la simulación, las distancias de los caminos serán las siguientes:



Eventos del Modelo

Llamaremos eventos a las acciones de control para el correcto funcionamiento de nuestro modelo. Estos eventos tendrán en cuenta la actualización de ciertas variables para hacer cambios o ejecutar acciones durante la simulación.

Estas variables en SIMIO son conocidas como States (Estados). Son variables que se asigna a un elemento de la simulación y que pueden ser modificadas durante la ejecución del mismo. En nuestro modelo solo los Huéspedes y el Hotel tienen States:

HUÉSPED	<i>YaHaDescansado</i>	Booleano
	<i>YaHaSidoAtendido</i>	Booleano
HOTEL	<i>HabitacionesOcupadas</i>	Entero
	<i>RestauranteCerradoAComensales</i>	Entero

Las variables de Huésped ya fueron explicadas anteriormente. Sin embargo, las de Hotel:

- **HabitacionesOcupadas:** número de habitaciones que están asignadas a un cliente actualmente. Esta variable será actualizada cuando un Huésped abandone una habitación (valor actual menos 1) y cuando a un Huésped se le asigne una habitación.

habitación (valor actual más 1).

- **RestauranteCerradoAComensales:** si el Restaurante está cerrado (valor 1) a Comensales o está abierto (valor 0). Esta variable será modificada para abrir o cerrar el Restaurante a clientes externos del hotel según las horas establecidas.

La lógica de los eventos de nuestro modelo se realizará a partir de estas cuatro variables y el uso de “*StateAssignments*” y “*Add-On Process Triggers*”.

StateAssignments

Es una funcionalidad de SIMIO que te permite cambiar el valor de los States de la Simulación cuando ocurren ciertas acciones en los Servicios. Estas acciones son:

- Al entrar una entidad a la cola del Servicio (*On Entering*)
- Justo el instante antes de darle servicio a una entidad, esto es, ya ha sido seleccionada para darle servicio pero este aún no ha comenzado (*Before Processing*)
- Justo el instante después de darle servicio a una entidad (*After Processing*)
- Justo el instante en el que la entidad abandona por completo el Servicio (*Before Exiting*)
- ... entre otros

SIMIO tiene un sistema de Ítems (cada ítem es una modificación de un estado) que te permite añadir tantos ítems en estas acciones como se requiera, indicando el nombre del State y el nuevo valor que se le asigna. En el sistema construido:

- **En Recepción:**
 - *Before Processing:* contiene un solo ítem

Basic Logic	
State Variable Name	Huesped.YaHaSidoAtendido
New Value	True

Justo antes de comenzar a darle servicio a un Huésped, indico que este “Ya está siendo atendido” poniendo su correspondiente flag en True.

- **En Habitaciones:**
 - *After Processing:* contiene dos ítems

Basic Logic	
State Variable Name	Huesped.YaHaDescansado
New Value	True

Después de que un Huésped esté en su habitación, marcamos a True su flag indicando que “Ya ha descansado”.

Basic Logic	
State Variable Name	HabitacionesOcupadas
New Value	HabitacionesOcupadas-1

Después de que un Huésped salga de su habitación, restamos 1 a las habitaciones ocupadas para que pueda entrar un cliente más desde Recepción.

Add-On Process Triggers

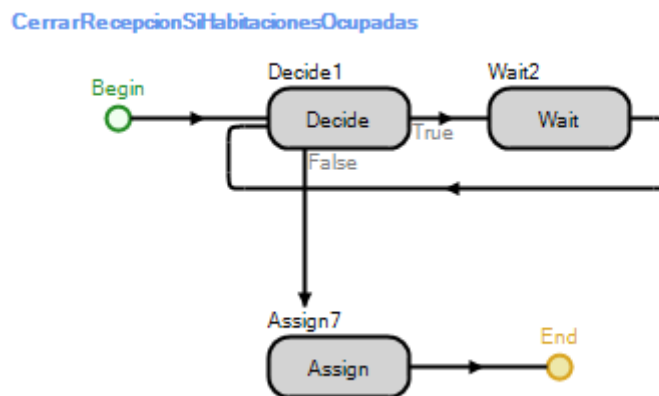
Es una funcionalidad de SIMIO que te permite lanzar funciones para implementar acciones más complejas que los *StateAssignments* sobre la Simulación, cuando en esta ocurren ciertos eventos en los Servicios. Estos eventos son más o menos los mismos que los descritos en el punto anterior.

Estas funciones son denominadas Procesos (*Processes*) y son creadas desde la pestaña del programa con el mismo nombre. Las funciones se construyen con un sistema de Steps o Pasos, en el que arrastras unas acciones predeterminadas para formar un grafo lógico de decisión. Lo que debe rellenar el usuario son las condiciones de estas acciones, la variables que actualizarán o a las entidades que afectará, entre otros. Como estos procesos serán lanzados por el movimiento de entidades, sobre todo afectarán a la entidad que lanzó el evento.

En la simulación del “*Hotel EXPRESS*” se tienen los siguientes procesos:

- **CerrarRecepciónSiHabitacionesOcupadas:**

Se comprueba una condición (*Decide*): ¿están todas las habitaciones ocupadas?. Si la respuesta es que sí, se hace esperar (*Wait*) a la Entidad que activó el evento que lanzó el proceso hasta que se quede una habitación libre. Si la respuesta es no, se le asigna una habitación, actualizando la variable (*Assign*) de *HabitacionesOcupadas*. El bucle entre *Decide* y *Wait* existe para mejorar el control de Entidades y que no se asignen más habitaciones de las que se puedan asignar.

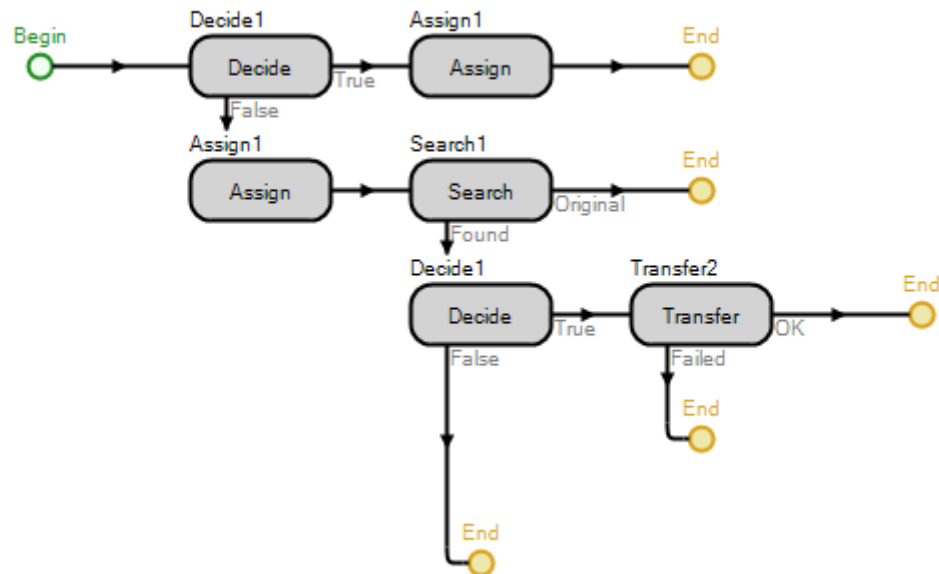


- **CerrarRestaurante:**

Se comprueba una condición (*Decide*): ¿es hora de abrir el servicio a Comensales?. Si la respuesta es que sí, se actualiza la variable (*Assign*) que controla la apertura del Restaurante al público exterior, *RestauranteCerradoAComensales*. Si la respuesta es que no, se actualiza la misma variable (*Assign*) para cerrar el Restaurante, y se buscan (*Search*) todas las entidades Comensal que existan, se pregunta si están en la cola (*Decide*) y se las

expulsa moviéndolas (*Transfer*) hacia la Salida del Restaurante. A los Comensales que ya están recibiendo servicio mientras se cierra el Restaurante se les deja terminar.

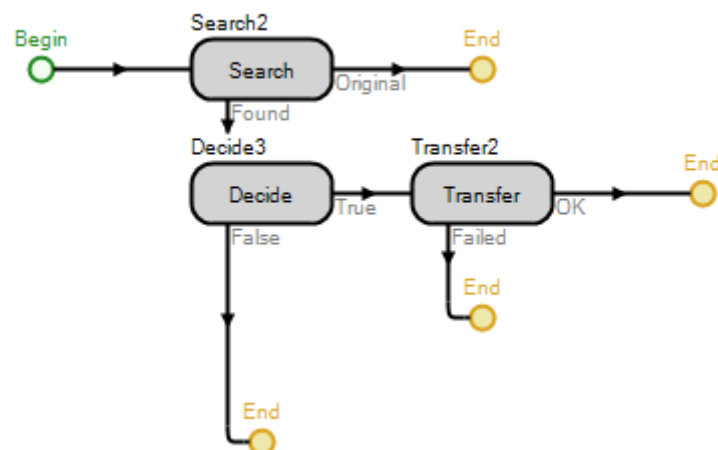
CerrarRestaurante



- **DejarDeEsperar:**

Se buscan (*Search*) todos los Huéspedes que existen. De entre ellos, se eligen solo los que cumplan la condición (*Decide*) de que lleven en el sistema 2 horas o más y aún no hayan sido atendidos, moviéndolos (*Transfer*) a la salida de Recepción. Con esto, los clientes que lleven más de 2 horas en la cola de Recepción, abandonarán el sistema.

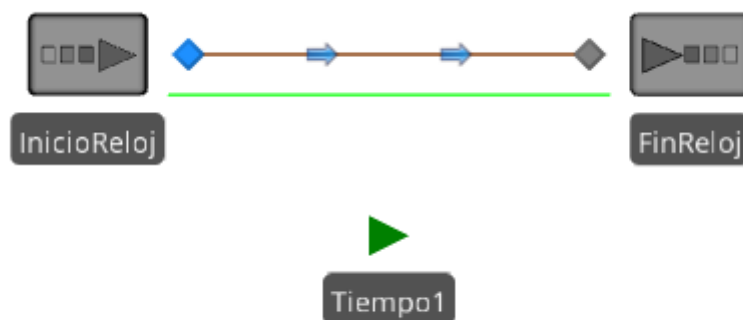
DejarDeEsperar



Debido a la naturaleza de los “*Add-On Process Triggers*”, estas funciones no se lanzan en los momentos correctos que deberían. Es decir, los Triggers se activan para lanzar funciones cuando las entidades se mueven sobre los Servicios y por ejemplo:

Si el Restaurante cierra a las 23:00, y no hay ningún movimiento de entidades hasta las 23:20. No se lanzará la función correspondiente que expulsa a los comensales de la cola para cerrar el Restaurante. Esto no es correcto.

Para solucionar este problema, se ha creado lo que se ha denominado “Reloj”, que aparece abajo de todo el sistema.



Este mecanismo será un comprobador del paso del tiempo en la Simulación, ya que genera entidades cada segundo. De esta manera, cuando una entidad de tiempo llegue a “*FinReloj*”, habrá pasado 1s y podremos lanzar los procesos explicados anteriormente. Así se verificarán las condiciones pertinentes cada segundo, y no se tardará en hacer los cambios sobre el sistema.

Análisis de Resultados

Como se desarrolló a lo largo del documento, se pretende encontrar la mejor combinación de la capacidad de los servicios del “Hotel EXPRESS” que minimice el tiempo de espera del cliente, ya que su satisfacción es lo más importante.

Se han propuesto diferentes Experimentos, reflejados en la tabla de la sección “*Experimentos Planteados*”. Cada uno de ellos, es una posible combinación de las capacidades de los servicios del hotel, pero solo una de ellas será la seleccionada para aplicarse sobre este.

Se han parametrizado, por tanto y como se explicó, las “*InitialCapacity*” de los servicios. Desde la opción de Experimentos de SIMIO, podemos crear los 36 Escenarios planteados, y colocar valores a estas variables parametrizadas. Si ejecutamos estos escenarios, los servicios tomarán las capacidades correspondientes, ajustándose a los experimentos.

Cada uno de los Experimentos, en su finalización, reflejará el Tiempo Medio de Espera de cada uno de sus servicios y el Tiempo Medio de Espera TOTAL. Se siguió la siguiente fórmula:

$$Satisfacción_{cliente} = \sum_{i=1}^n (Tiempo_Servicio_i)$$
$$Tiempo_Servicio_i = (t_i + T_i)$$

[tiempo esperado en la cola para tomarlo (t_i) y el tiempo de atención del servicio (T_i)]

Los valores son calculados en horas. Por ejemplo:

T_E_TOTAL (Hours)	T_E_M_Recepcion (H...	T_E_M_Ascensor (Hours)	T_E_M_Limpieza (Ho...	T_E_M_Habitaciones (Hours)	T_E_M_Resta...
2,2486	2,18815	2,84246E-05	0,0604198	0	1,76574E-07

Se ejecutarán los 36 escenarios 10 veces, durante 1 mes cada uno.

El objetivo de este proyecto es estudiar el escenario, es decir, la configuración de servicios, que proporcione la mayor satisfacción media de los clientes. Para los experimentos realizados, la mayor satisfacción implica el menor tiempo de espera en total sumando el tiempo en cola en todos los servicios.

Mejor Escenario

Una vez ejecutados los 36 escenarios planteados anteriormente, se ha observado que el escenario que mejor resultado ha proporcionado es el escenario 34, cuya configuración de servicios es la siguiente:

- Número de recepcionistas: 2 personas
- Mesas del restaurante: 12 mesas
- Número de ascensores: 3 ascensores

- Número de limpiadores: 3 limpiadores
- Número de habitaciones: 16 habitaciones

El tiempo de espera medio total que ha devuelto es 2,067252433h (124,03 min), el menor tiempo de espera de todos los experimentos.

Si analizamos detenidamente ese valor, se observa que el número de habitaciones es el máximo de todos los probados en los distintos experimentos. Cabía esperar que la satisfacción resultara mayor con esta configuración en las habitaciones, porque en el servicio que ofrece la habitación es en el que más tiempo pasa cada cliente cuando ingresa en el sistema, bloqueando el paso de Huéspedes si estas se llenan. Las configuraciones con menor número de habitaciones han obtenido un resultado con mayor tiempo de espera, puesto que los clientes tienen que esperar en Recepción para poder entrar en la habitación.

El número de empleados de la limpieza también es el máximo porque, para entrar cada cliente en su habitación, previamente deben esperar a que sea limpiada. El número de ascensores del escenario con menor tiempo de espera también corresponde al mayor valor dado.

Sin embargo, el valor de los servicios de recepción (número de recepcionistas) y del restaurante (número de mesas) es el menor valor, 2 recepcionistas y 12 mesas.

La razón de que el número de recepcionistas sea el menor es que el servicio que se da en recepción es más rápido que en cualquier otro servicio y no llegan a generarse largas colas con clientes esperando mucho tiempo, por lo que no es estrictamente necesario colocar más de 2 recepcionistas para obtener el menor tiempo de espera posible.

En el caso del número de mesas, este es menor debido a que solo se permite entrar al restaurante a comensales en unas horas establecidas, entonces, el tiempo de espera que se puede generar durante esas horas contrarresta el poco tiempo de espera que sufren los huéspedes en las demás horas del día. No es notable la diferencia del tiempo de espera que se obtiene en este servicio aumentando el número de mesas.

El valor obtenido en el tiempo de espera del ascensor es despreciable, llegando incluso a ser igual a 0s cuando la capacidad de este servicio es igual a 3. Lo que podemos concluir de esta información es que, en el caso en el que se quisiera estudiar también el coste que provoca al hotel el número de servicios, no merecería la pena tener más de un ascensor pues, con ese valor, los tiempos de espera no son importantes.

Otra observación interesante sobre los resultados obtenidos es que, a diferencia de lo que se podría pensar de que aumentando el número de servicios el tiempo de espera en cola disminuiría, hay situaciones en las que no pasa eso.

Por ejemplo: el tiempo de espera total del escenario 35 es 2,225009242h y el del escenario 36 es 2,36921463h. La única diferencia en la configuración de estos escenarios es que en el escenario 36 se ha ampliado el número de recepcionistas de 3 a 4 y, sin embargo, el tiempo de espera es mayor. La razón de que pase esto es que no podemos olvidar que

estamos trabajando con valores pseudoaleatorios y no es proporcional que, aumentando el número de servicios, disminuya el tiempo de espera en cola.

De esta observación, se concluye que aumentando el número de recepcionistas, independientemente de la configuración de los demás servicios, aumentará el tiempo de espera en recepción en todos los escenarios ejecutados, puesto que además si este primer servicio es muy rápido puede no formar colas en él pero sí en un servicio posterior por embotellamiento.

Para estudiar cómo influye el número de habitaciones en el tiempo de espera total, se ha calculado el tiempo medio en función del número de habitaciones y los resultados son los siguientes:

- Número de habitaciones es igual a 8, el tiempo de espera medio es: 2,383167867h
- Número de habitaciones es igual a 10, el tiempo de espera medio es: 2,355987859h
- Número de habitaciones es igual a 12, el tiempo de espera medio es: 2,327857698h
- Número de habitaciones es igual a 16, el tiempo de espera medio es: 2,256052382h

Como podemos observar, el número de habitaciones influye en el tiempo de espera más que en cualquier otro servicio. Esto se debe a lo mencionado anteriormente, a que el servicio en las habitaciones es el que más tiempo dura y, por tanto, a mayor número de habitaciones, menos tiempo esperarán los huéspedes para entrar en la habitación.

Peor Escenario

El escenario que peores resultados ha devuelto es el 12, con un valor de 2,581293848 horas, cuya configuración de los servicios es la siguiente:

- Número de recepcionistas: 4 personas
- Mesas del restaurante: 15 mesas
- Número de ascensores: 1 ascensores
- Número de limpiadores: 1 limpiadores
- Número de habitaciones: 8 habitaciones

Como vemos, el número de recepcionistas y de mesas en el restaurante es el mayor valor dado, sin embargo esto no implica que se puedan obtener mejores resultados. Esta observación nos indica que esos son los criterios que menos influyen en disminuir el tiempo de espera medio total de los clientes. De hecho, como se ha indicado anteriormente, el tiempo de espera aumenta en función que aumenta el número de recepcionistas.

Que el experimento 12 posea el mayor tiempo de espera de todos nos indica la importancia, ya comentada en este análisis, del número de habitaciones. Además, la diferencia de tiempo de espera de escenarios en función del número de empleados de la limpieza es significativa también.

Resumiendo, que el experimento haya obtenido el peor valor es porque el número de recepcionistas influye negativamente en el tiempo de espera, el número de limpiadores es

importante para disminuir el tiempo de espera medio de los clientes y que, para el factor primordial de este estudio, es el número de habitaciones el que debe tener un mayor valor para poseer menor tiempo de espera.

Análisis Experimento

A continuación, se va a analizar más detenidamente un escenario en específico y no solo el tiempo medio de espera total. El escenario que se va a analizar es el número 22, cuya configuración es la siguiente:

- Número de recepcionistas: 2 personas
- Mesas del restaurante: 12 mesas
- Número de ascensores: 2 ascensores
- Número de limpiadores: 2 limpiadores
- Número de habitaciones: 12 habitaciones

Se ha elegido este escenario porque el valor que se obtiene de tiempo medio de espera total es uno de los menores de todos los escenarios, es 2,159783155h.

El valor medio del número total de huéspedes generados en este escenario entre las 10 ejecuciones que se han llevado a cabo con esta configuración es 4.668,3 huéspedes y el valor de huéspedes destruidos es de 3.044,6. Esto es debido a que no todos los huéspedes que entran por recepción hacen el recorrido completo del sistema. Algunos clientes se van antes porque haya expirado el tiempo que van a permanecer esperando en recepción, por ejemplo.

El tiempo medio total proporcionado por cada servicio a los clientes es el siguiente:

- Recepción: 0,1667 horas
- Restaurante: 0,749 horas
- Ascensores: 0,0042 horas
- Limpiadores: 0,2195 horas
- Habitaciones: 6,8302 horas

El tiempo medio total que han permanecido los huéspedes en el sistema es de 4,1265 horas. El número medio de huéspedes que han estado a la vez en el sistema es 26,7589 clientes y el número máximo de huéspedes que han estado a la vez es 70 clientes.

El tiempo medio total que han permanecido los comensales en el sistema es de 0,7435 horas. El número medio de comensales que han estado a la vez en el sistema es 1,9599 clientes y el número máximo de comensales que han estado a la vez es 14 clientes.

Una de las restricciones que se incluyeron en la ejecución del sistema es que los huéspedes podrían esperar como máximo 2 horas a que se les facilitara una habitación. Si llegaba ese momento y aún no se había quedado ninguna libre, abandonarían el hotel de inmediato. Ha ocurrido esta casuística con una media de 3.496,1 clientes. Este dato indica que aproximadamente han abandonado el hotel sin recibir servicio una media de 116,54

personas. En el escenario con la mejor configuración (escenario 34) se toma un valor medio de 3.083,1 huéspedes que abandonan el sistema sin habitación. Lo que indica que disminuye el número en función del número de habitaciones porque si hay más habitaciones es menos probable que tengan que esperar para que el sistema le asigne una.

Respuesta a las preguntas

- **¿Cuál es la mejor configuración de los servicios del hotel para optimizar la satisfacción de los huéspedes?**

La mejor configuración para el hotel que optimice la satisfacción de los clientes es aquella con el siguiente número en la capacidad de cada servicio:

- Número de recepcionistas: 2 personas
- Mesas del restaurante: 12 mesas
- Número de ascensores: 3 ascensores
- Número de limpiadores: 3 limpiadores
- Número de habitaciones: 16 habitaciones

El tiempo de espera medio total devuelto es de 2,067252433 horas.

La justificación de que esta sea la mejor configuración es la explicada anteriormente, en el apartado de análisis de datos, donde se indicaba que el número de recepcionistas influía negativamente en el tiempo de espera, por lo que el valor óptimo para este estudio es 2, el menor de los probados.

El número de mesas no hacía que variara el tiempo de espera significativamente. Un número de ascensores mayor implica menor tiempo de espera en cola para coger el ascensor, aunque la variación es despreciable con respecto a un número menor en este servicio.

Sin embargo, los servicios que sí influyen mucho en que el tiempo de espera sea menor es el número de empleados de la limpieza y el número de habitaciones, por lo que el valor para estos servicios en este experimento es el mayor valor probado entre todos los experimentos.

- **¿Cómo influye en la satisfacción de los huéspedes permitir el acceso al restaurante a los clientes que no lo son?**

La primera observación que se hace para responder a esta pregunta es el número máximo de mesas que han estado ocupadas en el restaurante. En la mayoría de los escenarios, se ha llenado el restaurante en algún momento de la ejecución. Lo que indica que lo más probable es que hayan coincidido huéspedes y comensales en más de una ocasión en este servicio.

Sin embargo, los huéspedes tienen prioridad para coger una mesa sobre los comensales, si llega un huésped a la cola del restaurante, se colocaría el primero para entrar, por delante de los comensales que puedan estar esperando.

Por lo tanto, concluiría respondiendo que no influye significativamente en la satisfacción de los huéspedes permitir el acceso de comensales al restaurante, pudiendo repercutir beneficios en la parte económica al hotel.

Reflexión sobre otro posible estudio del sistema

En este proyecto se ha estudiado la satisfacción de los clientes de un hotel con el objetivo de encontrar la mejor combinación de valores para los servicios proporcionados, obteniendo así el menor tiempo de espera de los clientes con el mismo.

Tras realizar el estudio y analizando en sistema y el problema planteado, se ha llegado a la conclusión de lo interesante que resultaría modificar el planteamiento del problema para estudiar, no solo la satisfacción de los clientes para minimizar el tiempo de espera en cola, sino también el beneficio económico del hotel con el hospedaje y disfrute de los servicios de los clientes y el coste que sufre el hotel con el número de servicios.