
This is the **published version** of the bachelor thesis:

Casero García, Marina; Ibeas, Asier , dir. Simulació i optimització d'un sistema d'atenció a l'usuari. 2024. 13 pag. (Grau en Gestió de Ciutats Intel·ligents i Sostenibles)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/308112>

under the terms of the  license

Simulación y optimización de un sistema de atención al usuario.

Marina Casero García

Resumen– Para las personas, su tiempo es oro, y más cuando se trata de salud. Es por eso que una gestión óptima del tiempo es lo que todos esperan cuando se presentan en su centro de salud habitual y no tienen que esperar más de 10 minutos para ser atendido. Gracias a los gemelos digitales y en concreto el Software ARENA, en este proyecto se han simulado 4 diferentes modelos de cola atendándose a la realidad que se vive en el Centro de Atención Primaria del barrio de Can Rull, en Sabadell, en los que se ha querido evaluar cuál sería la mejor gestión de cola de espera en la atención presencial para que los pacientes no esperen más tiempo del que les gustaría para ser atendidos por un profesional.

Palabras clave– ARENA, colas de espera, tiempo de espera, atención presencial, gemelo digital, centralita telefónica.

Abstract– For people, their time is money, and even more so when it comes to health. That is why optimal time management is what everyone expects when they show up at their usual health center and don't have to wait more than 10 minutes to be treated. Thanks to digital twins and specifically the ARENA Software, in this project, four different queuing models have been simulated, taking into account the reality that exists in the Primary Care Center of the Can Rull neighborhood, in Sabadell, in which we wanted to evaluate what would be the best waiting queue management in in-person care so that patients don't wait longer than they would like to be seen by a professional.

Keywords– ARENA, waiting queues, waiting time, in-person attention, digital twin, telephone switchboard.



de colas para los sistemas elegidos, como la cola única, una cola para cada empleado, etc.

1 INTRODUCCIÓN

Este trabajo consiste en la realización de una simulación de un servicio de atención al cliente. Se ha querido representar de manera real el sistema de colas de espera en el ambulatorio del barrio de Can Rull, en Sabadell, Barcelona. Se trata de un ambulatorio con un gran volumen de pacientes con una afluencia muy elevada de los mismos. Con ello, se quiere crear un sistema que mejore la situación actual, disminuyendo el tiempo de espera del usuario para ser atendido. La creación del sistema se basa en construir un gemelo digital que se conseguirá con el software ARENA, una plataforma de simulación que funciona con módulos en los que el usuario va introduciendo según demanda que representarán un proceso lógico parecido a un diagrama de flujo. Durante el trabajo se podrán ver los diferentes tipos

La motivación principal sobre este trabajo fue proponerme un reto a la hora de aprender algo nuevo que no había escuchado nunca, en este caso el software ARENA. Además, lo que más me llamó la atención fue el motivo por el que se usaba el software, para optimizar el tiempo de espera de atención al usuario. Desde un primer momento había pensado en el Centro de Atención Primaria de Can Rull ya que ha sido mi trabajo durante 3 años y desde dentro se podía ver el problema que había y no se tenían herramientas para solventarlo, y es por eso que este trabajo lo tomo como motivación de poder ayudar a solventar un problema que viene de años atrás.

2 OBJETIVOS

El objetivo principal y más importante de este trabajo es conseguir una disminución en el tiempo de espera de los pacientes en la cola de la administración del CAP Can Rull (Sabadell).

- E-mail de contacto: marina.casero@autonoma.cat
- Trabajo tutorizado por: Asier Ibeas Hernández (Departamento de Telecomunicaciones e Ingeniería de Sistemas)
- Curso 2023/24

Para conseguirlo, se plantean los siguientes subobjetivos:

1. Realización del diseño de sistema de atención al usuario mediante el software ARENA para la atención presencial del centro.
2. Proponer mejoras en el sistema, realizando una hipótesis inicial estudiando los diferentes tipos de cola posibles en la que se basará la prueba del sistema elegido.
3. Conseguir resultados adecuados que nos permitan la comparación entre los diferentes sistemas para la reducción de tiempo de espera del paciente a un tiempo T y que pueda salir del centro con sensación satisfactoria.

3 MARCO TEÓRICO

En esta sección se tratará de explicar el contexto teórico de los aspectos que conforman este trabajo. Durante esta sección se explicará qué es un gemelo digital y el software que se utilizará para la simulación, el contexto actual del ambulatorio de estudio y como se hace actualmente la atención al usuario en dicho centro y por último, algunos proyectos relacionados con ARENA que se utilizan a día de hoy para simular un sistema real digitalmente.

3.1. Digital Twin

Un gemelo digital [1][2] o *digital twin* es una representación virtual de un sistema real y tangible. Funciona a través de un software que recoge datos del mundo real para crear simulaciones virtuales capaces de predecir el rendimiento de un producto, proceso o sistema.

Tiene varios beneficios tales como adelantarse a un problema que puede suceder en el objeto físico y encontrar una solución mediante la simulación del sistema, además de reducir costes de mantenimientos preventivos. Optimizan los procesos de trabajo y por lo tanto permiten ahorrar costes reduciendo la inversión.

Actualmente, los gemelos digitales son muy usados para diferentes sectores de trabajo, lo que genera grandes ventajas para quien los usa. Algunos ejemplos son: [3]

- Industria aeroespacial. Se usa para la toma de decisiones y tecnología a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Se buscan gemelos digitales para obtener beneficios que incluyen reducción del tiempo de comercialización. [4]
- Sector energético. Gestionar el rendimiento energético de forma remota y en tiempo real. Con esta tecnología, los operadores eléctricos manipulan las condiciones de los activos digitales para la planificación de escenarios sin interferir con la operación del activo físico [5]
- Cadena de suministro. Monitoreo en tiempo real de la seguridad de las operaciones, visualización en tiempo real y diseño. El gemelo digital simula el rendimiento de la cadena de suministro, incluida la complejidad que provoca los desabastecimientos y excesos de existencias. Identifica en etapas más tempranas los riesgos potenciales y planifica mejor los recursos de transporte.[6]

3.1.1. ARENA

Se trata de un programa desarrollado por *Rockwell Automation* [7] y que se usará para hacer la simulación del sistema propuesto. Se trata de un simulador de procesos discretos, el cual nos va a permitir definir, por ejemplo, unos ciertos tiempos de apertura y cierre del centro.

Este programa llama la atención ya que no precisa de programación con código, sino que se trata de un diagrama de flujo que recuerda a un algoritmo de decisión. Esto permitirá ver de manera visual la representación del sistema y acelera el trabajo de mapeo de procesos y optimiza el tiempo de realización. De esta forma, permite predecir el comportamiento hipotético y poder resolver los fallos de manera rápida y efectiva.

Una vez en el entorno del software ARENA, nos encontramos con 3 espacios de trabajo (ver figura 1):

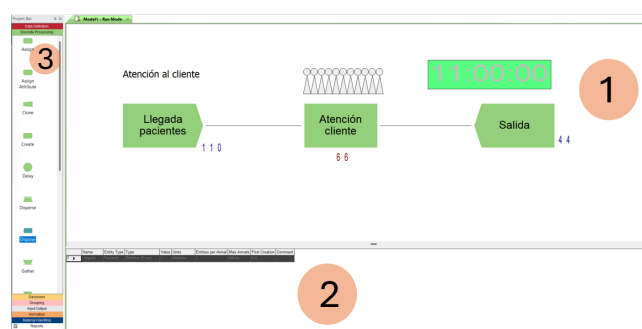


Figura 1: Zonas de trabajo en el software Arena

1. Ventana del diagrama de flujo del modelo. En este espacio se construye el diagrama de bloques que conforman el modelo de simulación del proceso, además de ver las animaciones de las simulaciones.
2. Ventana de hoja de cálculo. Aquí se puede comprobar y modificar los parámetros correspondientes a los procesos.
3. Barra de Proyectos. Este espacio tiene varios paneles desplegables que permiten diseñar el modelo, que contienen los módulos necesarios para construir el modelo. [8]

En la Tabla 1 se pueden ver los principales modelos de flujo más importantes que se usarán para el trabajo y requieren una explicación sobre cómo se usará y para qué sirve cada uno de ellos.

3.2. Contexto actual del CAP Can Rull

Can Rull es un barrio de Sabadell, ubicado en el distrito 4 de la ciudad. Se trata del segundo distrito más poblado de la ciudad, contando con 41.761 habitantes (actualizado por el Ayuntamiento de Sabadell a 1 de enero de 2022 [9]).

Aunque el distrito está dividido en seis barrios, el centro de atención primaria de Can Rull abarca a 30.352 pacientes en situación de alta en el centro de salud con 9 médicos y 9 enfermeras (cifras actualizadas fechadas en febrero por la dirección del centro).

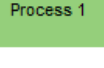
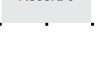
	Crear una entrada de proceso. Se utilizará principalmente para la simulación de llegada de pacientes.
	Final de un proceso. Se usará, al contrario de 'Create', para que los pacientes abandonen el centro.
	Principal proceso en la simulación. Por donde tendrán que pasar los pacientes para ser atendidos. Simularán los empleados o mostradores de atención.
	Permite tomar decisiones al sistema, mediante condiciones. Se puede usar para enviar a los pacientes a una cola u otra o un proceso.
	Con este módulo es posible retener un paciente esperando en la cola. Podemos detener al paciente esperando autorización.
	Permite el registro de recuento de entidades. Es interesante si se quiere saber cuantas personas han pasado por el sistema en un momento determinado.
	Asigna nuevos valores, Podemos usarlo para establecer una variable por ejemplo de tiempo, como se usará en este proyecto.

Tabla 1: Modelos de flujo

En la ciudad hay un total de 12 centros sanitarios de atención primaria, los cuales 11 pertenecen al Instituto Catalán de la Salud (ICS) y el último, el del barrio de Can Rull, pertenece al hospital de Sabadell (Consorci Sanitari Parc Taulí). En el último año, se ha hecho una ampliación de los recursos, terminando de construir un nuevo CAP en el barrio contiguo, Can Llong, para así poder liberar una carga de pacientes que han sumado un total de 8.460. En este centro actualmente se encuentran trabajando 3 doctores y 3 enfermeras (cifras actualizadas fechadas en febrero por la dirección del centro). En total entre los dos ambulatorios se cuenta con 12 médicos, 12 enfermeras para tratar a 38.752 pacientes.

Esta separación entre el Instituto Catalán de la Salud y el hospital de Sabadell, conlleva un funcionamiento diferente al de otros centros. En el caso de los centros del ICS, tienen una centralita de llamadas en las que llegan las de los centros adscritos al ICS y en contrapuesta, el centro de Salud de Can Rull tiene su propia centralita y, por tanto, se reciben peticiones telefónicas y presenciales.

En lo que la atención presencial se refiere, el centro de Can Rull cuenta con tres espacios de trabajo, de los cuales solo se ocupan por dos administrativos en los dos horarios, en la mañana y en la tarde, pues los demás están ocupando los sitios referentes a la centralita telefónica. Se realizan

descansos de media hora por empleado de manera individual desde las 9 de la mañana en el horario de mañana y empezando a las 17 de la tarde en el horario de tarde. Siendo por la mañana seis trabajadores y por la tarde cuatro. Por la mañana se termina el turno de los desayunos a las 12 del mediodía y a las 19 de la tarde en el horario de tarde. En la atención presencial siempre hay dos trabajadores ocupando el puesto de trabajo, cuando empiezan los descansos, alguno de los trabajadores que está atendiendo llamadas acude al puesto exterior a realizar la atención presencial, por lo tanto hay dos trabajadores de manera ininterrumpida durante 12 horas.

3.3. Proyectos relacionados

En este apartado, nos fijaremos en dos proyectos en los que se ha usado el software desarrollado por *Rockwell Automation* para la simulación de ciertos procesos y ha logrado ahorrar en economía y en tiempo de pruebas. Además veremos un proyecto de optimización de colas.

3.3.1. Canal de Panamá

El Canal de Panamá, como ya se conoce, es una de las obras de ingeniería más impresionantes jamás construidas y es el enlace más importante en el comercio marítimo mundial que navega entre los océanos Atlántico y Pacífico.

Ha sido durante más de un siglo la mejor alternativa de transporte marítimo, ya que consigue reducir mucho tiempo al no rodear los dos océanos.

El problema ha llegado cuando se ha querido aumentar el número de viajes y el tamaño de las embarcaciones para el transporte comercial, en este momento es donde se encuentra el desafío.

El equipo de Paragon, desarrolló varios modelos de simulación para el nuevo canal ampliado, tomando el nombre de Modelo de Capacidad del Canal de Panamá. Finalmente, el equipo de la ACP desarrolló varios modelos operativos en ARENA, que se utilizaron para mejorar el desempeño y realizar estudios de impacto de forma continua: procedimientos de operaciones de remolcadores, requisitos de mano de obra, planes de mantenimiento y muchos otros [10].

3.3.2. Lucha contra la COVID-19

Como bien se sabe, durante la pandemia había mucha precariedad de material sanitario, en este caso especialmente se necesitaba material para el país de Brasil. Había como misión transportar 240 millones de mascarillas y otros artículos al hospital de este país.

Los materiales venían transportados desde China, y es por eso que se hicieron muchos estudios de cómo podría realizarse el transporte en el menor tiempo posible. Después de tener todos los datos sobre la mesa, se crearon miles de tablas y escenarios para poder abastecer a todos los hospitales y municipios.

De nuevo, durante todo el proceso se usó el software ARENA para generar miles de tablas con numerosos escenarios, combinados con otras herramientas de visualización de resultados y mapeo de procesos [11].

3.3.3. Modelo de optimización de colas con ARENA

Hoy en día se han realizado varios proyectos y estudios en cómo el Software ARENA puede ayudar a la optimización de colas. Entre ellos podemos destacar este estudio que se explicará a continuación, ha sido publicado en el *International Journal of Multidisciplinary Research and Publications*.

Este proyecto se llama "Modelado y análisis del servicio de atención al cliente en el sistema bancario utilizando en software ARENA"[12]. El problema empieza en un banco local en NCB en Benghazi, que debido a una mayor demanda de diferentes servicios y un mayor número de clientes dentro del espacio limitado del área de servicio, se crean problemas relacionados con largos tiempos de espera y retrasos que resultaron en la insatisfacción de los clientes. Se recopilaban datos de dicho banco, se observaron y posteriormente analizaron. Se eligió desde un primer momento utilizar el Software de ARENA para poder visualizar los diferentes escenarios con los datos que se habían recopilado. Se compararon todos los escenarios creados y finalmente se llegaron a diferentes conclusiones, todas les hicieron ver lo que funcionaba bien y lo que había que cambiar en el banco, esto les permitió ver los diferentes escenarios posibles cambiando virtualmente los modelos y poder llegar a hacerlo en la vida real, ahorrando recursos y mucho tiempo de pruebas.

4 METODOLOGÍA

En esta sección se mostrará el proceso seguido hasta la elaboración de los sistemas para mostrar sus resultados y poder discutirlos. Durante la sección se verá el desarrollo del problema a resolver, cuál es el proceso de creación del proyecto y los diseños del sistema de estudio.

4.1. El problema

Como bien se ha dicho, el Centro de Atención Primaria de Can Rull tiene la desventaja frente a otros centros en dividirse a los trabajadores entre la atención presencial y la atención telefónica, por lo tanto, queda muy poco margen para que haya más de dos trabajadores en la línea presencial.

Como se ha presentado en la Sección 3.2, se trata de un barrio muy poblado y con casi 30 mil pacientes en un solo ambulatorio. Esto hace que sea muy probable el colapso y que se formen colas de muchos pacientes.

Aunque se han digitalizado gran parte de los trámites que se hacían desde el mostrador, actualmente aun hay pacientes que esperan su turno para hacer estos trámites de manera presencial ya que en dicho barrio hay mucha población envejecida y es menos probable que dispongan de herramientas tecnológicas [13].

Por todo esto, hace falta encontrar una solución útil y que ahorre tiempo para no tener una cola en la que se acumulan los pacientes y lleguen enfadados a su turno.

4.2. Hipótesis

Actualmente, al ser solo dos administrativos que se dediquen plenamente a la atención presencial, se cree que el mejor sistema es el de cola única mediante la condición de llegada y salida, o el sistema FIFO (*first-in, first-out*).

Utilizando el método FIFO, se reduciría el tiempo de espera de los usuarios y mejoraría la impresión del servicio de los mismos, con respecto al servicio de dos colas que se ofrece actualmente.

Esto significa que cada paciente que llegue al centro, se situará en una cola única donde esperará que el paciente atendido se marche del lugar de atención. Cuando esto ocurra, el siguiente paciente esperando en la cola, podrá ser atendido por el administrativo que esté libre en ese momento.

4.3. Planificación del proyecto

Se ha hecho uso del Diagrama de Gantt de la Figura 2 para seguir una planificación del proyecto durante los meses de trabajo.

Se ha dividido en 5 tareas las cuales se explican a continuación.

1. Como primera tarea, después de la asignación del trabajo y la primera reunión, se hizo la descarga del Software ARENA, y la prueba del mismo.
2. Comienzo de la escritura del trabajo. En primer lugar contextualizar el trabajo de manera teórica, buscando proyectos con los que se haya usado este mismo Software para resolver problemas. Identificación del sistema de estudio, definición del problema. Realización de una hipótesis.
3. La tercera tarea ha sido buscar cursos sobre ARENA y poder entender el funcionamiento del programa, entenderlo y ponerlo en práctica.
4. Como penúltima tarea y después de saber el funcionamiento del Software, se da comienzo a la creación de los sistemas elegidos en el Software ARENA. Obtener los resultados deseados (en este caso el tiempo de espera) de cada uno de los sistemas creados para hacer una comparación. Acabar la redacción del proyecto y haber sacado las conclusiones sobre cual será el sistema ganador para optimizar el tiempo que los pacientes esperan en la cola.
5. La tarea final se basa en la revisión del proyecto y realización de la presentación sobre el mismo para su posterior entrega.



Figura 2: Estructuración mensual de las tareas con Diagrama de Gantt

4.4. Diseño teórico

Para hacer un sistema de atención al usuario (al paciente en este caso) se ha basado en un esquema teórico que se puede ver en la Figura 3.



Figura 3: Diseño teórico del sistema de atención al usuario

Este flujo tiene en su primera instancia la elección de los parámetros. Éstos incluyen, entre otros, la población, la afluencia de los pacientes (cada cuanto tiempo entrarán en el sistema) que podremos ver la elección en la Sección 4.6, los empleados que tendremos en cuenta para cada escenario, el tipo de cola que se elija para cada uno de los modelos y las horas a tener en cuenta que serán de trabajo en el sistema, en este caso de 8 de la mañana a 20 de la tarde. Se ha elegido tenerlo en cuenta dentro del proceso de atención porque se considera que es una elección importante antes de empezar a simular el modelo.

En segundo lugar tenemos la entrada de los pacientes al sistema. En este paso empieza el proceso propiamente dicho, en el que un paciente entra al sistema virtual, espera un cierto tiempo y será posteriormente atendido, ésto último se refiere al proceso de atención que recibe el usuario. Por último el usuario saldría del sistema habiendo sido atendido por un especialista en el proceso de atención.

4.5. Teoría de colas

La teoría de colas estudia cómo gestionar eficazmente los tiempos de espera, analizando la llegada de clientes, los tiempos de servicio y el número de servidores (empleados) para optimizar la atención. En el caso de este proyecto, en un centro de salud, servirá para modelar los procesos de atención al paciente. Esto mejora la experiencia del paciente y la eficiencia operativa del centro.

Nos basaremos sobre todo en el modelo M/M/c (que se explicarán a continuación) en la notación de Kendall (A/S/c en 1953), donde A describe la distribución del tiempo entre llegada, S la distribución del tiempo de servicio y c el número de recursos disponibles. En estos modelos, la tasa de llegada de usuarios sigue una distribución de Poisson, que se usa normalmente para modelar eventos aleatorios, como en este caso la llegada de los pacientes al centro de salud [14].

El modelo M/M/c servirá para identificar una cola y varios servidores, donde la primera 'M' son las llegadas de los pacientes, que siguen un proceso de Poisson y sus llegadas son exponenciales e independientes entre sí. La segunda 'M' representa el tiempo de servicio, que dice que el tiempo de atención de un paciente es independiente al tiempo de atención para otros pacientes. Por último, la 'c' muestra el número de servidores que hay, que en el caso de la figura 4, serían 3 (este número siempre dependerá del número de servidores del sistema).

En el caso de los modelos con una cola para cada servidor, la notación de Kendall no sirve para representar este tipo de modelos, como el de la figura 5.

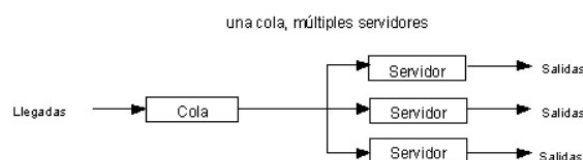


Figura 4: Teoría de 1 cola y 3 servidores

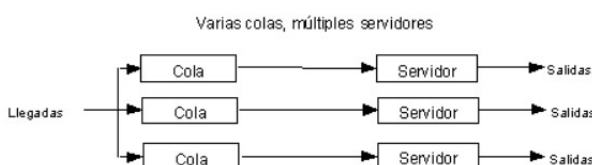


Figura 5: Teoría de colas n colas n servidores

4.6. Tiempos de llegada de los pacientes

Teniendo en cuenta que no se sabe exactamente cual es el volumen de pacientes a cada momento, se ha optado por hacer un modelo propio en el que se hará la entrada de una entidad cada ciertos minutos por afluencias:

- Afluencia alta: cada 3 minutos de manera exponencial, entrará un usuario en el sistema. Este modelo de afluencia se podría suponer en los días que más afluencia hay en el centro, ya sean las mañanas de los lunes y martes.

- **Afluencia media:** cada 4.5 minutos de manera exponencial, entrará un usuario en el sistema. Este tipo de afluencia se puede atribuir a las tardes de lunes a miercoles y las mañanas de miercoles y jueves.
- **Afluencia baja:** cada 6 minutos de manera exponencial, entrará un usuario en el sistema. Normalmente esta afluencia más baja suele ser los jueves por las tardes y normalmente durante todo el día del viernes.

Se ha realizado de esta manera porque no hay datos exactos reales; en caso de existir esos datos reales se podrían utilizar para analizar el sistema.

4.7. Diseños del sistema

Para la realización del proyecto se han elegido dos tipos de sistemas para su simulación y su posterior comparación, uno de los modelos con cola única y otro con una cola por cada empleado trabajando. Se han realizado 6 escenarios diferentes en los que se muestran las maneras posibles de trabajo y finalmente cual serán sus resultados y los modelos que se eligen. Se ha querido estudiar qué pasaría si se reparten de otra manera los empleados entre los teléfonos y la atención presencial, por lo tanto se han hecho modelos presenciales y modelos de centralita telefónica. Cada modelo se puede ver la sección de apéndice A.

4.7.1. UNA COLA, DOS EMPLEADOS

Este es el primer modelo que se llevará a cabo en el estudio del caso, se trata de una cola única con dos empleados atendiendo, en la que los pacientes entran al centro y esperan en una cola a que uno de los dos empleados esté libre. Podemos ver el primer modelo en la figura 6.

Se ha añadido un reloj en el que muestra la hora actual de apertura del centro, en este caso las 8 de la mañana. Además, se cuenta con las 12 horas ininterrumpidas de 8 a 20 en el que se atiende a los pacientes que se usará de igual manera en todos los modelos.

Este modelo cuenta con un módulo de entrada 'Create' (llegada de los pacientes), un 'Assign' (que veremos más tarde de qué se trata), un 'Hold' (para mantener en una cola única a los pacientes que entren al centro), un módulo 'Decide' (decisión que se explicará más adelante), dos 'Process' (simulando cada uno de los dos empleados cada uno con sus características), un segundo 'Assign', un módulo 'Record' (para registrar los dos atributos) y finalmente 'Dispose' como final del sistema y salida de los pacientes.

Create

Para el primer módulo de entrada de pacientes, se define un exponencial de 3 minutos con la llegada de una entidad cada vez que pase ese tiempo. Esta exponencial es una distribución de probabilidad que modela la aleatoriedad de llegada de usuarios. Este tiempo de 3 minutos se modificará en las simulaciones para ver el efecto en el sistema, como se ha explicado en la Sección 4.6.

Hold

El módulo Hold (o como se ha llamado, Cola única), representa los pacientes que esperan en esa cola hasta que pase una condición, esa condición se define por los procesos (empleados) que hemos creado:

$$\text{MR(Empleado1)-NR(Empleado1)} > 0 \quad .\text{or.} \\ \text{MR(Empleado2)-NR(Empleado2)} > 0$$

Donde MR = recursos que tengo en total y NR = recursos ocupados, por lo tanto, la diferencia son los recursos disponibles. Si alguno de los dos empleados están ocupados, el paciente no irá a ninguno y se quedará esperando en la cola única.

Decide

El módulo de decisión tenemos una condición que se debe cumplir para que vaya a 'Atención al paciente emp1', esta condición es $\text{MR(Empleado1)-NR(Empleado1)} > 0$, es decir, si la disponibilidad final es un 0, irá a ese empleado ya que es el que estará libre, con el 'else', lo que queremos decir es que si es cualquier otra cosa, en este caso que el Empleado 1 esté ocupado y el Empleado 2 esté libre, irá hacia el segundo empleado.

Process

Los procesos en este caso son la atención al paciente en el empleado1 y empleado2. Se ha mantenido para todos los modelos las mismas características de empleado, en la que el empleado 1 tarda en atender a un paciente entre 3 y 5 minutos y el empleado 2, que es un poco más lento que el primero, tarda entre 4 y 6 minutos. De igual manera que en todos los sistemas, los pacientes siguen el orden en todo momento de FIFO (*First-in, First-out*).

Assign & Record

Para saber el tiempo medio en el que el paciente está en el centro (haciendo cola o bien siendo atendido), se crean los módulos 'Assign', que en los dos casos lo hemos llamado como un Atributo, en el que guarda una variable de tiempo en el que entra el paciente o entidad (TNOW) y se le asigna un nombre a esa variable, en este caso 'Tllegada'.

En el segundo 'Assign', volvemos a usar TNOW para saber la hora exacta en la que ha salido del proceso de la atención por parte de uno de los dos empleados y lo llamamos como la variable 'Tsalida'.

Finalmente, tenemos el registro ('Record'), que es el que nos hace la resta del tiempo entre el tiempo de Salida menos el tiempo de Llegada (ambos calculados con el tiempo TNOW de entrada y de salida) y lo guarda en la variable 'TSistema' en la que se quiere saber el tiempo que ha estado el paciente dentro del sistema.

4.7.2. UNA COLA, TRES EMPLEADOS

Para exprimir al máximo los recursos que se disponen, se ha realizado un segundo caso de estudio que es el mismo que el anterior pero con un empleado más, para así ver cuanto se reduce el tiempo de espera en la cola y si es mejor

o peor tener un empleado más en los mostradores de atención. Para ver modelo, ver Figura 7.

Para este modelo, que es exactamente igual que el anterior pero con un proceso más, en el que el empleado atiende al paciente entre 3 y 5 minutos, también se le añade al módulo 'Decide' un camino más para poder ir al último empleado disponible.

4.7.3. DOS COLAS, DOS EMPLEADOS

El tercer modelo que se ha querido poner a prueba es el modelo de dos colas y dos empleados, en la que seguirán la regla en la que cuando entra un paciente, se pondrá a la cola de alguno de los dos empleados para ser atendido. Este modelo se puede ver en la Figura 8.

Para este modelo se usan los mismos módulos que en el modelo anterior pero con algunos cambios que veremos a continuación.

Create

Para que fuese una comparación justa y real entre los modelos, se ha seguido el mismo patrón que en el primer modelo de estudio; en un exponencial de 3 minutos, llega una entidad al sistema (que como se ha explicado anteriormente, este tiempo cambiará para ver las diferentes afluencias).

Decide

En este segundo modelo, nos encontramos con dos módulos de decisión. El primero trata sobre buscar cuál de los dos empleados tiene menos cola. Lo hacemos a través de la formulación:

$$NQ(\text{Mostrador1}) < NQ(\text{Mostrador2})$$

Donde NQ = Número de entidades en cola.

Para verificar si la cola para el mostrador 1 (o empleado 1) está menos ocupada que la cola del mostrador 2 y de esta manera que el paciente se decante por ir al mostrador 1.

La siguiente condición que se hace en este módulo es lo mismo que el anterior pero al revés:

$$NQ(\text{Mostrador1}) > NQ(\text{Mostrador2})$$

Para verificar, esta vez, si la cola del mostrador 1 supera la cola del mostrador 2 y de esta manera, el paciente se decantará por ir a la cola del mostrador número 2.

En el segundo módulo de decisión que se ha creado, es para que decida aleatoriamente en caso que sea colas del mismo tamaño en los dos mostradores. Se elige mediante '2-way by chance', es decir, con una probabilidad del 50 % en cada caso para que sea de una manera justa.

Process

En los módulos de proceso los cuales representan cada uno de los mostradores (Mostrador1 y Mostrador2, o empleado1 y empleado2), de igual manera que el módulo de entrada de pacientes, se ha mantenido las mismas características para obtener los resultados y poder hacer una comparación real y justa sobre qué modelo es mejor.

Assign & Record

En este modelo, se ha hecho la prueba para ver si salían los mismos resultados sin tener que adjuntar un proceso más al sistema.

Se ha creado un módulo de asignación en el que guarda, de igual manera que en el sistema anterior, una variable llamada 'Tllegada' (igual que el anterior) con el tiempo TNOW.

En este momento, tenemos guardada la hora en la que la entidad entra al sistema y en este caso, en lugar de guardar otra variable con el tiempo de salida de nuevo con TNOW, se ha creado un módulo de registro, Record'', en el que se define como un intervalo de tiempo que registra desde el atributo de entrada 'Tllegada'. Lo veremos en las estadísticas descrito con el nombre de la variable 'TSistema'.

4.7.4. TRES COLAS, TRES EMPLEADOS

De la misma manera que con el modelo anterior y con el objetivo de exprimir al máximo los recursos disponibles, se ha añadido un empleado más al sistema y por ende, una cola más, siendo éste el cuarto y último modelo de colas que veremos sobre la atención presencial.

En este sistema se suprime el segundo módulo de decisión en el que si las dos colas estaban con el mismo número de personas esperando se decantarían bajo un porcentaje de 50 %-50 % para ir a una cola u otra y se ha cambiado por poner otro proceso de cola que corresponde al empleado 3, que de la misma forma que en los demás modelos, se mantiene el mismo tiempo de atención, entre 3 y 5 minutos por persona atendida.

4.7.5. CENTRALITA TELEFÓNICA CON CUATRO EMPLEADOS

Se ha decidido simular también la atención desde las llamadas telefónicas para ver como afectaba que uno de los trabajadores que estaba en la centralita cambiase por atención presencial. En los dos sistemas que se van a mostrar de la centralita telefónica, únicamente se ha simulado durante el horario de la mañana, que es cuando se podría permitir el equipo que hubiese 3 empleados en atención presencial. Se ha querido ver sobre todo el efecto que ha tenido sobre la afluencia más alta de pacientes, es decir, lunes y martes por la mañana (volver a ver Sección 4.6).

En primer lugar, se muestra como funciona actualmente, es decir, con cuatro empleados en línea telefónica. Para ver el modelo, ver la Figura 10.

Este modelo funciona de manera similar al sistema de la cola única, reteniendo la llamada en un 'Hold' hasta que esta sea recuperada por uno de los empleados en el momento en el que está libre.

Se han añadido algunos módulos nuevos como el abandono del usuario del sistema sin ser atendido, en el que este esperará un máximo de 8 minutos en la cola y si no es atendido colgará la llamada simulando un abandono en el sistema. Esto se ha conseguido gracias al registro del tiempo en el que guardamos una variable TIEMPO como TNOW. En

COLAS - MINUTOS	MINIMO ESPERA	MEDIO ESPERA	MAXIMO ESPERA	TIEMPO MINIMO EN SISTEMA	TIEMPO MEDIO EN SISTEMA	TIEMPO MAXIMO EN SISTEMA
1 COLA 2 EMP - 3 MIN	0	3,05	16,63	3,03	7,48	22,45
1 COLA 2 EMP - 4,5 MIN	0	0,7	5,86	3,01	5,13	9,49
1 COLA 2 EMP - 6 MIN	0	0,36	3,98	3,16	4,75	8,54
2 COLAS 2 EMP - 3 MIN				3,01	6,75	19,48
EMPLEADO 1	0	1,75	9,12			
EMPLEADO 2	0	3,05	14,78			
2 COLAS 2 EMP - 4,5 MIN				3,01	5,92	14,38
EMPLEADO 1	0	0,93	7,37			
EMPLEADO 2	0	2,05	9,04			
2 COLAS 2 EMP - 6 MIN				3,01	5,47	10,82
EMPLEADO 1	0	0,66	4,39			
EMPLEADO 2	0	1,12	5,69			

Tabla 2: Datos de espera y tiempos en el sistema colas presenciales para dos empleados

la cola, el paciente esperará a que uno de los cuatro empleados esté libre para entrar al módulo de decisión 'A DONDE VA', en el que ahí decidirá mediante la expresión 'TNOW - (TIEMPO) <= 8' si ha pasado este tiempo (que en este caso abandona el sistema) y si no lo ha pasado, irá al segundo módulo 'RECUPERAN', también de decisión, en el que se evalúa si los empleados están atendiendo o no a alguien para que alguno de ellos recupere la llamada.

En la última rama que sale del módulo 'RECUPERAN', tenemos otro módulo de decisión en el que se evalúa si la hora actual está entre las 9 de la mañana y las 12 del mediodía, se ha conseguido mediante la expresión: (MOD(TNOW, 1440) <= 60) && (MOD(TNOW, 1440) >= 240). En el que el 60 son los minutos que pasan desde las 8 hasta las 9 y 240 los que pasan entre las 8 y las 12 (ya que es la hora en la que empieza el sistema a trabajar). Se ha hecho entre estas dos horas, ya que como se había explicado anteriormente, se hacen descansos de 30 minutos por empleado que son entre esas horas, por lo tanto, este empleado no está simulando los desayunos de todos los empleados y cuando va a cubrir el puesto que se deja libre en el mostrados cuando uno de los trabajadores se va, de esta manera podemos ahorrarnos hacer este proceso de las horas de desayuno con todos los empleados.

En caso que el sistema evalúe que no no está entre estas dos horas, el último empleado podrá recuperar la llamada, en caso contrario, volverá a una cola de espera en el que esperará a que uno de los 3 empleados estén disponibles. Vuelve a haber otro módulo de decisión que se le ha llamado 'A DONDE VA 2', ya que hace lo mismo que el primero, evalúa si ha pasado el tiempo estipulado de 8 minutos en el sistema para decidir si abandona o no. En caso que no abandone, irá a otro módulo de decisión en el que se dice que el empleado 4 no está disponible en ese momento y evaluará cual de los 3 restantes está libre para que pueda ser atendido.

4.7.6. CENTRALITA TELEFÓNICA CON TRES EMPLEADOS

En este último sistema, que se puede ver en la Figura 11, hace exactamente la misma función que el anterior sistema de centralita con cuatro empleados, pero esta vez con uno menos, que es el que se ha cambiado por un empleado más en el sistema de colas de manera presencial.

5 RESULTADOS

Teniendo todos los modelos hechos, se han ordenado los resultados en tres tablas para poder hacer una comparación.

En primer lugar nos fijaremos en las Tablas 2 y 3, en la que vemos los tiempos mínimos, máximos y medios de espera con cada una de las colas de manera presencial, y el tiempo mínimo, máximo y medio en el sistema. Se ha hecho una distinción en la que se aprecian 3 minutos, 4,5 minutos y 6 minutos, esto quiere decir que se ha hecho la simulación para un exponencial de esos tiempos en los que entra una entidad cada vez, así simulamos de más afluencia a menos, para ver como variaba el tiempo de espera. Donde 3 minutos - 1 entidad es la máxima afluencia, 4,5 minutos - 1 entidad afluencia media y 6 minutos - 1 entidad corresponde a afluencia baja, como se ha explicado en la sección 4.6.

Nos fijaremos primero en los tiempos en los que hay solamente 2 empleados (ver Tabla 2). El tiempo mínimo de espera siempre será 0 porque el primero nunca hace cola, es el primero que se atiende y no debe esperar ni un segundo (esto también pasa con los demás modelos). Hacemos una distinción en la tabla de EMPLEADO 1 y EMPLEADO 2 simulando cada una de las colas, al haber una cola para cada empleado, se ha representado de esta manera.

Si nos fijamos, en el modelo de dos colas con dos empleados, los resultados son más altos en todas las afluencias excepto si comparamos el tiempo medio de espera y el tiempo medio en el sistema en una afluencia alta (una entidad cada 3 minutos), este solo será más bajo en uno de los empleados ya que en la cola única tiene un tiempo de espera medio de 3 minutos y en el modelo de dos colas, también tiene 3 minutos de espera con uno de los empleados (el empleado 2), pero el empleado 1 baja la media siendo casi 2 minutos lo que tiene de espera para ser atendido, igualmente, el tiempo de espera sigue siendo más alto teniendo dos colas que una única cola. Vemos tiempos máximos de espera en afluencia alta de hasta 16 minutos y medio para la cola única y de hasta 15 minutos en el modelo de dos colas. En el resto, vemos que en la afluencia media, un paciente esperará como máximo menos de 6 minutos en la cola única y hasta máximos de 9 minutos en uno de los empleados si hace dos colas. Algo similar pasa en la afluencia baja, donde en cola única vemos valores de casi 4 minutos y en las dos colas podemos ver que con uno de los empleados puede llegar a esperar casi 6 minutos, es decir, lo mismo que esperaba un paciente en la cola única cuando hay afluencia media. Por lo tanto, un paciente esperará más tiempo en una cola para cada empleado cuando las afluencias son más bajas que si hay una cola única.

Por otro lado, si nos fijamos en la tabla en la que incluimos un empleado más (ver Tabla 3), veremos resultados muy similares. Podemos comprobar como los tiempos medios de espera en la cola única no llegan al minuto en ninguna de las tres afluencias, sin embargo, haciendo tres co-

COLAS - MINUTOS	MINIMO ESPERA	MEDIO ESPERA	MAXIMO ESPERA	TIEMPO MINIMO EN SISTEMA	TIEMPO MEDIO EN SISTEMA	TIEMPO MAXIMO EN SISTEMA
1 COLA 3 EMP - 3 MIN	0	0,35	5,68	3,02	4,67	9,96
1 COLA 3 EMP - 4,5 MIN	0	0,17	4	3,02	4,54	8,28
1 COLA 3 EMP - 6 MIN	0	0,04	2,83	3	4,37	7,58
3 COLAS 3 EMP - 3 MIN				3,02	7,03	18,8
EMPLEADO 1	0	2,65	15,37			
EMPLEADO 2	0	3,87	11,63			
EMPLEADO 3	0	2,96	14,88			
3 COLAS 3 EMP - 4,5 MIN				3,02	5,3	9,1
EMPLEADO 1	0	0,65	3,38			
EMPLEADO 2	0	0	0			
EMPLEADO 3	0	1,44	4,93			
3 COLAS 3 EMP - 6 MIN				3	5,22	9,37
EMPLEADO 1	0	0,84	4,46			
EMPLEADO 2	0	1,63	1,13			
EMPLEADO 3	0	1,13	4,92			

Tabla 3: Datos de espera y tiempos en el sistema colas presenciales para tres empleados

CENTRALITA	MÍNIMO ESPERA	MEDIO ESPERA	MÁXIMO ESPERA	TIEMPO MÍNIMO EN SISTEMA	TIEMPO MEDIO EN SISTEMA	TIEMPO MÁXIMO EN SISTEMA	ABANDONADOS	ATENDIDOS
3 EMPLEADOS				2,03	6,91	13,72	18	234
ESPERA 1	0,65	5,53	10,84					
ESPERA 2	0	1,05	8,69					
4 EMPLEADOS				2,04	5,72	13,41	6	253
ESPERA 1	0,11	4,63	8,73					
ESPERA 2	0	0,23	3,84					

Tabla 4: Datos de espera y tiempos en el sistema en centralita telefónica

las (una para cada empleado esta vez distinguidos por EMPLEADO 1, EMPLEADO 2 y EMPLEADO 3), llegamos a ver tiempos medios para que le atienda un empleado de hasta 3 minutos y medio. Si ahora nos fijamos en el tiempo medio en el sistema, veremos también que en la cola única no llegan a estar de media unos 4 minutos y medio, y unos máximos de casi 10 minutos en el caso de la máxima afluencia. Al revés pasa cuando vemos los tiempos medios y máximos de 3 colas y 3 empleados, en los que vemos tiempos medios de 7 y 5 minutos y unos máximos de hasta 18 minutos. Esto quiere decir que, añadiendo un empleado más, los tiempos son más altos si se hace una cola para cada empleado y no una sola cola en la que se esperará a que esté libre para ser atendido en cualquiera de las tres afluencias de entidades mostradas, llegando a la misma conclusión que con dos empleados, en la que un paciente esperará más tiempo en el modelo de una cola para cada empleado que un cola única.

Una vez vistos los resultados en los que reflejan los tiempos en las colas presenciales, veremos los resultados obtenidos si hay 3 o 4 empleados en la centralita telefónica sabiendo que tendremos un empleado menos en las horas de desayuno.

Como se puede ver en la Tabla 4, se distingue por el tiempo en el sistema cuando hay 3 empleados trabajando y cuando hay 4. Los tiempos mínimos, medios y máximos de espera refieren a la cola que se hace, distinguido por ESPERA 1 (la primera cola que hacen esperando que alguno de los trabajadores recupere esa llamada) y ESPERA 2 (la segunda cola imaginaria que hace el paciente en caso que el último trabajador no se encuentre disponible en ese momento, que como se había configurado en un primer momento, era entre las 9 de la mañana y las 12 del mediodía). Estos sistemas solo se han evaluado en una afluencia alta, es decir, cada 3 minutos 1 entidad entra en el sistema, que era lo que nos interesaba desde un principio para saber como afectaría los tiempos si hay muchos pacientes llamando y un empleado se fuera a atender presencialmente.

Si nos queremos decantar por una de las dos opciones para elegir un tipo de sistema presencial, primero se tienen que ver los resultados que tenemos en la centralita. Como se puede apreciar, en los tiempos medios de espera hay me-

nos de un minuto de diferencia (siendo en el sistema con 3 empleados donde hay más espera) y en fijarnos en el tiempo medio que pasan en el sistema vemos uno poco más de un minuto de diferencia, donde el que más tiempo pasará una entidad en el sistema será en el de 3 empleados, como en el caso anterior. Aun así, el tiempo máximo que pasará una entidad en el sistema será casi la misma, unos 13 minutos y medio.

Esta diferencia de un minuto de media, nos hace tener un total de 18 entidades abandonando el sistema por haber excedido los 8 minutos que se habían propuesto para abandonar y 234 atendidos en el sistema con 3 empleados. Por otro lado, vemos unos resultados de menos de la mitad de entidades abandonando el sistema, siendo 6 las que abandonan y 253 atendidas.

6 CONCLUSIONES

Después de haber hecho 4 modelos de sistemas de atención presencial, en los que se evalúa como varían los tiempos en función de tener un empleado más o menos y haber visto como variaría la centralita telefónica en caso de tener ese empleado de más o de menos en el mostrador y haber visto sus correspondientes resultados, podemos sacar diferentes conclusiones:

- En primer lugar y haciendo referencia a la hipótesis inicial, en la que se creía que con el sistema actual de atención presencial con 2 empleados habría menos tiempo de espera con la cola única, era cierto, ya que se ha demostrado mediante los resultados de la tabla 2 que los tiempos de espera son más bajos o muy similares en todas las afluencias siendo una cola única.
- En cualquiera de los escenarios en los que se proponen, ya sea con 2 o con 3 empleados, los tiempos de espera en el mostrador serán más bajos cuando se haga una cola única y no una cola por empleado. Por lo tanto, nos quedaremos con el modelo de cola única.
- Los resultados de tiempos en la centralita son muy similares si hay tres empleados o cuatro empleados trabajando, siendo una diferencia de algo más de un minuto de media que se asumiría si solo trabajan tres

empleados, aunque se debe recalcar que deben estar dispuestos a asumir 12 abandonos de más por vía telefónica si solo hay tres empleados, frente a 234 que sí se atenderían. Que como se ha explicado antes, en el caso de ser 4 empleados abandonan un total de 6 pacientes, y en caso de ser uno menos, serían 12 más los que abandonarían, es decir, 18 pacientes, asumiendo que una persona abandonará el sistema si espera más de 8 minutos al teléfono.

- Como se ha explicado, en referencia a tener tres o cuatro empleados en la atención presencial, hay poca diferencia en el tiempo y los resultados son más óptimos cuando hay tres empleados en este tipo de atención, por lo tanto, se opta por sacrificar un puesto de trabajo en la línea telefónica para optimizar el tiempo de espera en la atención presencial.

En resumen, con este trabajo hemos podido ver y finalmente llegar a la conclusión de que los gemelos digitales y en concreto con el Software ARENA, nos ha permitido modelar diferentes escenarios posibles ahorrando mucho tiempo que hubiéramos gastado haciendo pruebas en la vida real.

Finalmente, se decide que la atención presencial será con 3 empleados y como ya se había mencionado, con cola única, ya que encontramos resultados de menos de un minuto de tiempo de espera y máximos de 5 minutos y medio. Lo que supondría tiempos máximos en el sistema por parte de una entidad de 10 minutos. Al ser 3 empleados en la atención presencial, esto significa que la atención telefónica también se quedará únicamente con 3 empleados.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor de este Trabajo de Fin de Grado, Asier Ibeas, durante el desarrollo del proyecto. Gracias por guiarme y apoyarme en mis ideas. También me gustaría agradecer el apoyo de mi equipo de trabajo y en especial a mi coordinadora, Natalia Guiu Ramírez, por apoyar desde el primer momento mi proyecto y dejarme utilizar los datos en nombre del Centro de Atención Primaria Can Rull y Can Llong. Una vez más, gracias por vuestra colaboración, sin vosotros no hubiera sido posible.

REFERENCIAS

- [1] <https://www.iberdrola.com/innovacion/gemelos-digitales>
- [2] <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/tecnologia-innovacion/gemelos-digitales/index.cshtml>
- [3] <https://biblus.accasoftware.com/es/casos-de-uso-de-gemelos-digitales/>
- [4] <https://www.capgemini.com/es-es/investigacion/biblioteca-de-investigacion/digital-twins-in-aerospace/>
- [5] <https://nexusintegra.io/es/gemelo-digital-sector-electrico/>
- [6] <https://gmdhsoftware.com/es/digital-twin-supply-chain/>
- [7] <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/software/arena-simulation.html>
- [8] <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70447/fichero/Capitulo+5.pdf>
- [9] <https://web.sabadell.cat/divisio-territorial/districte-4>
- [10] <https://paragon.com.br/case-canal-de-panama/?lang=es>
- [11] <https://paragon.com.br/case-covid/?lang=es>
- [12] https://www.researchgate.net/publication/371289437_Modeling_and_Analysis_of_Customer_Service_in_Banking_System_Using_Arena_Software
- [13] https://opendata.sabadell.cat/ca/?option=com_content&view=article&id=14209&Itemid=364
- [14] https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_colas

A APÉNDICE

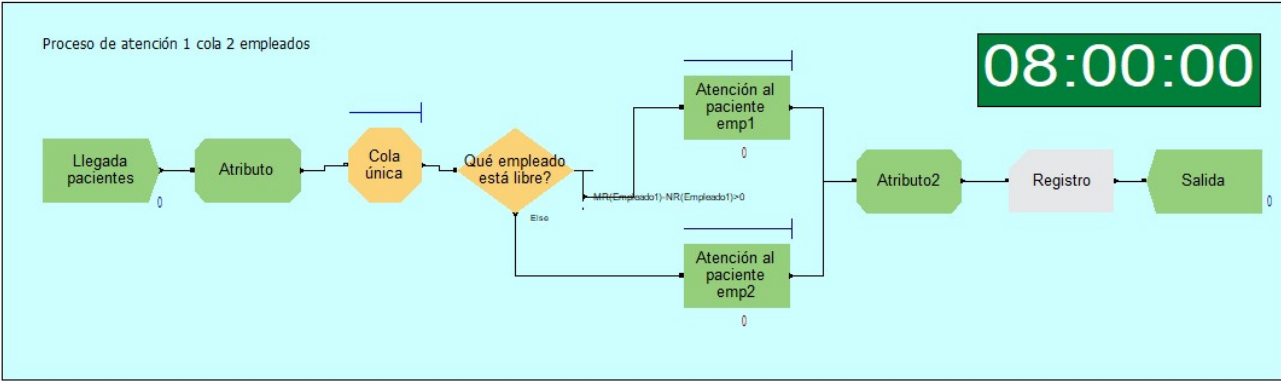


Figura 6: Diseño del sistema 1 cola 2 empleados

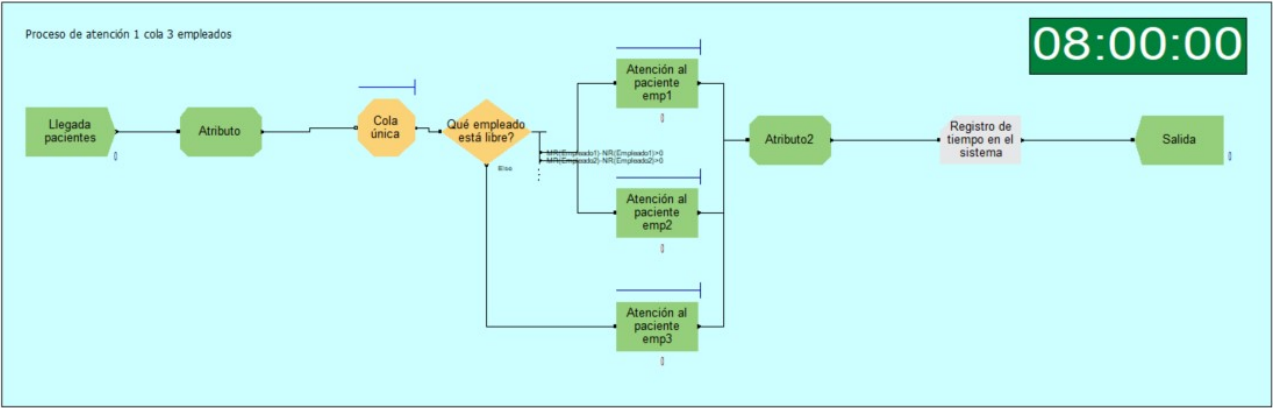


Figura 7: Diseño del sistema 1 cola 3 empleados

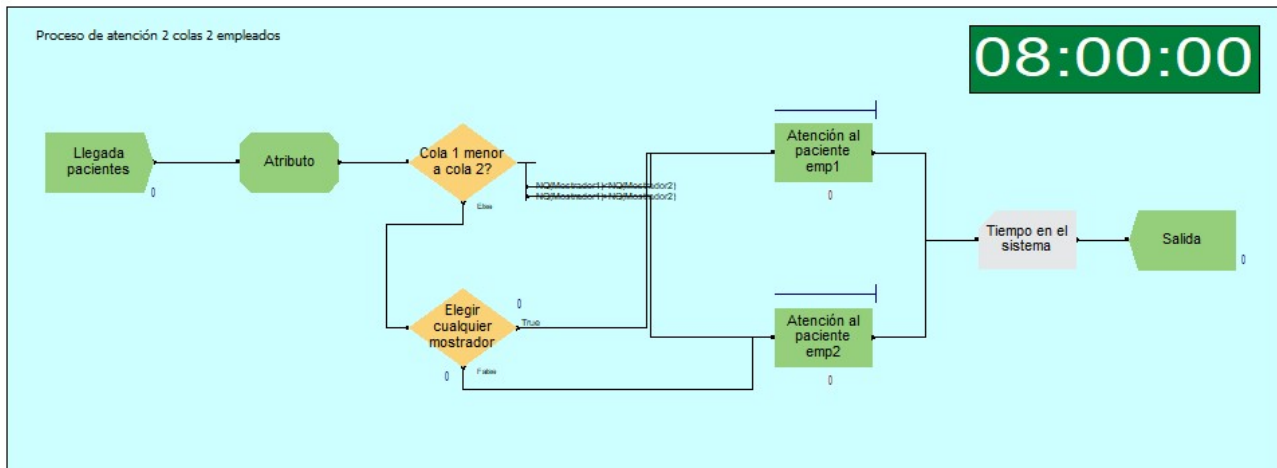


Figura 8: Diseño del sistema 2 colas 2 empleados

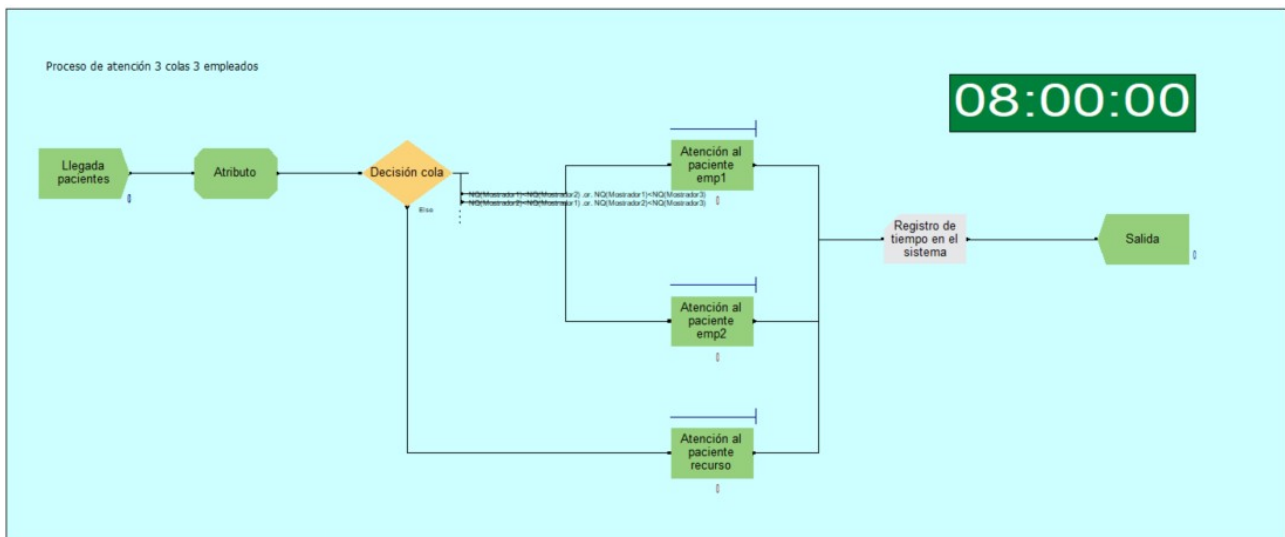


Figura 9: Diseño del sistema 3 colas 3 empleados

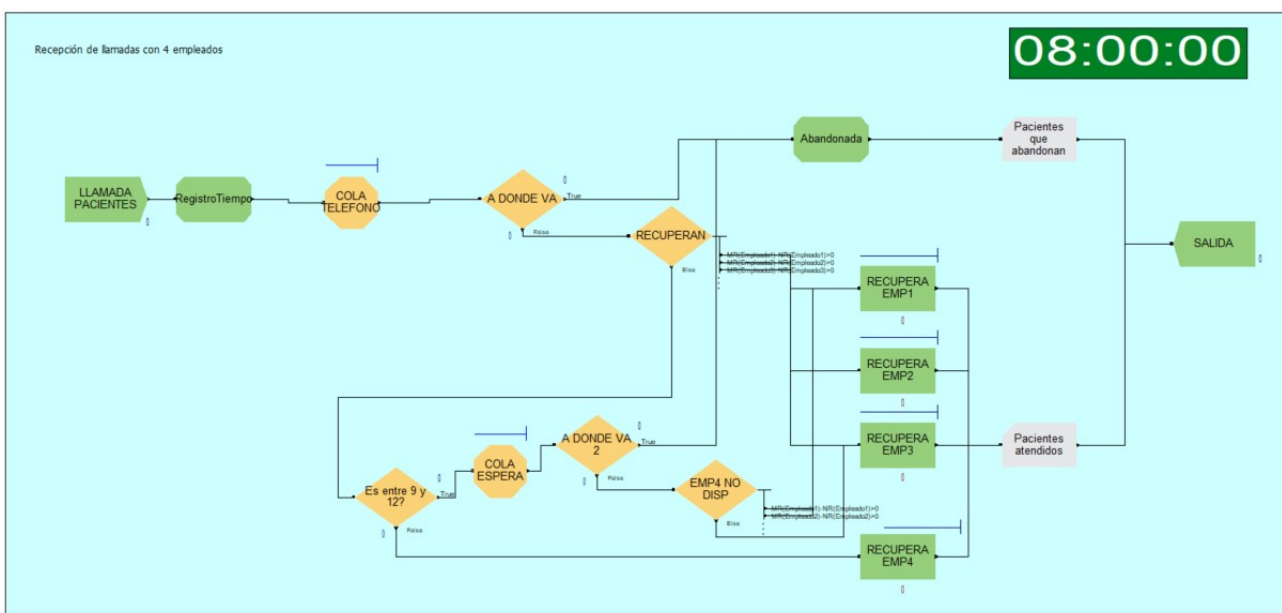


Figura 10: Diseño del sistema de centralita telefónica con 4 empleados

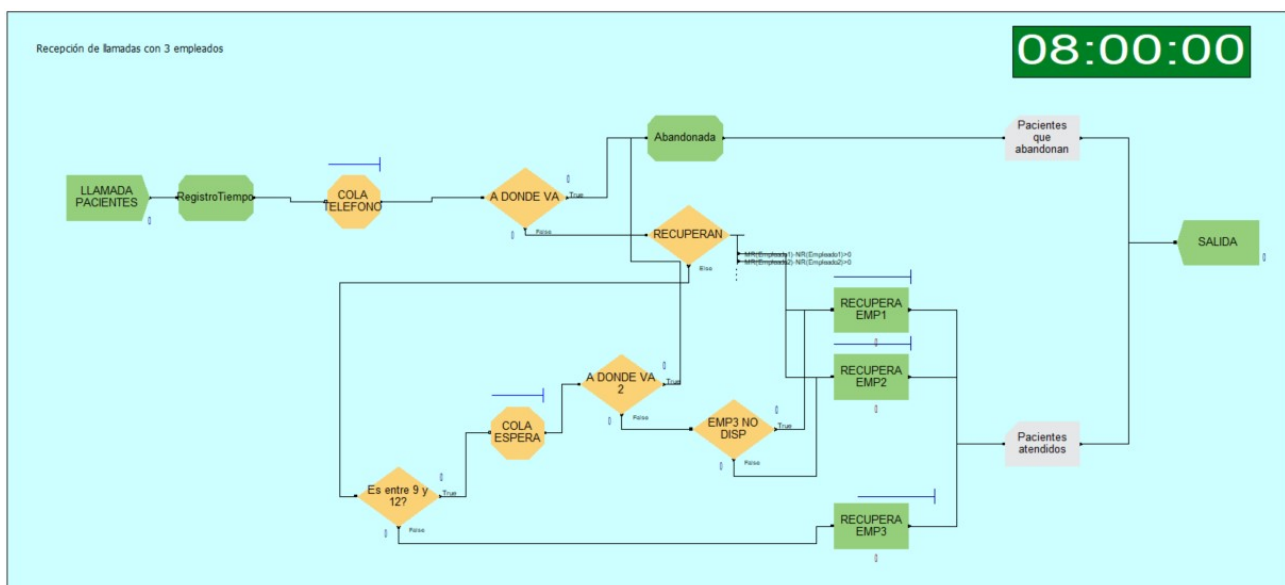


Figura 11: Diseño del sistema de centralita telefónica con 3 empleados