



**TESIS DE GRADO
EN INGENIERIA INDUSTRIAL**

**CLINICAS:
OPTIMIZACION DE PROCESOS**

Autor: CAMPOS, Leonardo Julio

Director de Tesis: Ing. MIRANDA, Lucas

2005

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto busca mejorar los resultados operativos de una clínica, y así atender las necesidades de salud de la sociedad con un buen servicio. Para esto, es necesario emplear herramientas de simulación para modelizar el sistema. El modelo debe medir el desempeño de los procesos mediante indicadores para saber qué acciones optimizan el uso de los recursos. El modelo deberá describir el comportamiento del sistema, y así permitir identificar las acciones necesarias para mejorar los resultados operativos. El objetivo del proyecto se centra en la mejora de los tiempos de atención a los pacientes y la disminución de las colas tratando de optimizar el uso de los recursos.

La simulación es muy adecuada para analizar este tipo de problemas, ya que cuando los sistemas son muy complejos la modelización matemática se vuelve imposible. Contrariamente a esto, el avance de los softwares de simulación hace que éstos sean cada vez más simples de usar, más accesibles, y más flexibles para modelar distintos tipos de sistemas, ahorrando tiempo y recursos. La simulación permite describir y entender fácilmente el comportamiento del sistema, y evaluar diversos cambios sin que sea necesario implementarlos. Luego, en base a los resultados que arroje el modelo se efectúa un análisis de las alternativas y se obtienen conclusiones válidas acerca del sistema real. Se puede prever el impacto de los cambios y sus resultados, y seleccionar el mejor diseño. La metodología para resolver el problema es la siguiente:

1. Modelo conceptual: establecer los límites del problema, las simplificaciones necesarias, las suposiciones a efectuar, describir los procesos existentes, los flujos, las variables, los parámetros, sus relaciones y la estructura del modelo.
2. Modelo de datos: relevar los datos reales e identificar probabilidades y distribuciones estadísticas de las variables aleatorias.
3. Modelo operacional: diseñar el diagrama de flujo del sistema, teniendo en cuenta las definiciones hechas en el modelo conceptual.
4. Codificación: introducir el diagrama de flujos y el modelo de datos en un software de simulación. En este caso se empleará el Arena.
5. Verificación: verificar que el modelo tenga coherencia interna.
6. Validación: verificar que los resultados del modelo se ajusten al sistema real.
7. Experimentación: planificar e implementar cambios en el diseño y/o los recursos del modelo para obtener nuevos resultados.
8. Análisis: evaluar el impacto de los cambios en los resultados del modelo.
9. Conclusiones: seleccionar la mejor alternativa.

La clínica original funciona con 6 camas, 3 enfermeras y 3 médicos. En base a las experimentaciones efectuadas con el modelo de simulación, se recomienda invertir en una cama ya que el cuello de botella del sistema se genera en ese recurso. Al incrementar la capacidad de las camas, se optimiza la utilización de los médicos y las

CLINICAS: OPTIMIZACION DE PROCESOS

enfermeras. Por esta razón, se produce una reducción del 26% en el tiempo de permanencia de los pacientes dentro de la clínica (Tiempo Total), lo que equivale a una mejora de 11 minutos. Con respecto al Tamaño de Cola, la mejora porcentual es del 60%, lo que en valores absolutos equivale a 5.34 pacientes menos en la cola. Esta es la recomendación fundamental del proyecto, ya que se generan excelentes resultados con una inversión mínima.

Por otra parte, si en el futuro se deseara efectuar una nueva inversión para seguir mejorando los resultados operativos de la clínica, la recomendación es de agregar otra cama y una enfermera, de forma que la clínica cuente con 8 camas, 4 enfermeras y 3 médicos. La mejora con respecto a la clínica original es del 39% (17 minutos) en el Tiempo Total y del 86% (7.73 pacientes) en el Tamaño de Cola, pero en este caso la inversión es mayor, mientras que los resultados no mejoran tanto como antes.

Finalmente, de ser necesario seguir mejorando, habría que invertir en la incorporación de un médico. La clínica quedaría entonces con 8 camas, 4 enfermeras y 4 médicos. Si bien esto genera nuevamente una mejora porcentual importante, en valores absolutos las métricas no experimentan grandes mejoras: solo 3 minutos menos en el Tiempo Total y 0.70 pacientes menos en el Tamaño de Cola, con respecto a la experimentación con 8 camas, 4 enfermeras y 3 médicos. Habría que evaluar con mayor profundidad si esta inversión sería rentable. En la medida que el funcionamiento operativo de la clínica mejora, cada vez cuesta más seguir mejorando.

EXECUTIVE SUMMARY

The project looks to improve the operative results of a clinic in order to satisfy health necessities of the society with an appropriate service. To do this, it is necessary to use simulation tools to model the system. The model must measure the performance of the processes by indicators to know which actions optimize the use of the resources. The model should describe the behaviour of the system, in order to take notice of the necessary actions to improve the operative results. The objective of the project is focussed on the improvement of the attention time for the patients and the reduction of the cues trying to optimize the use of resources.

The simulation is adequate to analyze this sort of problems because when the systems are very complex, the mathematic solution becomes imposible. On the contrary, the advance of the simulation softwares becomes them more accesible, more easy to use, and more flexibles to model diferent types of systems, saving time and resources. The simulation allows to describe and easily understand the system behaviour, and evaluate diferent changes without being necessary to implement them. Later on, according to the results that the model gives, an analysis of the alternatives is made, having as a result also conclusions of the real system. The impact of the changes and their results can be foreseen, and so, a better design can be chosen. The methodology to solve the problem is the following:

1. Conceptual model: establish the limits of the problem, the necessary simplifications and suppositions, describe the existant processes, the flows, the variables, the parameters, their relations and the structure of the model.
2. Data model: obtain the real data and identify the probabilities and statistic distributions of the aleatories variables.
3. Operational model: design the flow diagram of the model, being aware of the definitions made on the conceptual model.
4. Codification: insert the flow diagram and the data model in a simulation software. In this case, the Arena has to be used.
5. Verification: check that the model has internal coherence.
10. Validation: check that the results of the model adjust to the real system.
11. Experimentation: plan and implement changes on the design and/or the resources of the model to obtain new results.
12. Analysis: evaluate the impact of the changes on the results of the model.
13. Conclusions: choose the best alternative.

The original clinic works with 6 beds, 3 nurses and 3 doctors. According to the experimentations realized with the simulation model, it is recommended to invest on a bed because the neck of the bottle of the system is generated on that resource. When the capacity of beds increase, the utilization of doctors and nurses is better. That is why a

reduction of the 26% is produced in the time of permanence of the patients in the clinic (Total Time), which is equivalent to an improvement of 11 minutes. In reference of the Cue Size, the percentual improvement is of 60%, which in absolut terms is equivalent to 5.34 patients less on the cue. This is the fundamental recommendation of the proyect because excellent results are generated with a small investement.

On the other hand, if in the future would be like to do a new investment to keep on improving the operative results of the clinic, the recommendation is to add another bed and a nurse, so that the clinic might have 8 beds, 4 nurses and 3 doctors. The improvement, in reference with the original clinic, is 39% (17 minutes) on the Total Time and 86% (7.73 patients) on the Cue Size, but in this case the investment is bigger, while the results do not improve as much as before.

Finally, if it is necessary to continue improving tasks, it would be necessary to invest in the incorporation of a doctor. Therefore, the clinic would have 8 beds, 4 nurses and 4 doctors. Even though this generates again an important percentual improvement, in absoluts values the metrics do not pass through big improvements: only 3 minutes less on the Total Time and 0.70 less patients on the Cue Size, in reference to the experimentation with 8 beds, 4 nurses and 3 doctors. A deeper evaluation would have to be done to study if this investment would be rentable. While the operative performance of the clinic improves, even more difficult is to keep on improving.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. MODELO CONCEPTUAL.....	9
a) Propósito	9
b) Objetivos	9
c) Consideraciones sobre la clínica	10
d) Proceso de atención	12
e) Variables y parámetros.....	14
3. MODELO DE DATOS	15
a) Distribuciones de entrada.....	15
b) Distribuciones de tiempos de procesos	15
c) Probabilidades de decisiones aleatorias	16
d) Probabilidades de atributos.....	16
4. MODELO OPERACIONAL.....	17
5. CODIFICACIÓN	19
6. EXPERIMENTACIÓN	21
7. ANÁLISIS	29
8. CONCLUSIÓN.....	37
9. ANEXOS	39
a) Distribuciones de entrada.....	39
b) Distribuciones de tiempos de procesos	44
c) Animaciones	58

1. INTRODUCCIÓN

La salud es una de las necesidades básicas que cualquier ser humano debería poseer. Sin embargo, en la Argentina esto no sucede, ya que mucha gente no tiene los recursos suficientes para satisfacerlas. El problema es que las necesidades de salud de la sociedad son muy amplias y difíciles de suplir, sobre todo en la Argentina, donde no siempre se dispone de recursos económicos suficientes. Por esta razón, el proyecto busca atender las necesidades de salud, de un modo económico y con buena calidad. Existen dificultades organizacionales, administrativas y sobre todo económicas.

Para superar estos obstáculos, y lograr la calidad deseada, es necesario emplear herramientas de simulación para modelizar el sistema y crear estrategias de acción acordes. El modelo de simulación debe servir para optimizar el aprovechamiento de los recursos de forma de proveer un servicio de buena calidad y medir el desempeño de los procesos mediante indicadores. Para esto, el modelo deberá describir el comportamiento del sistema, y así permitir identificar las acciones necesarias para mejorar los resultados operacionales.

La simulación es muy adecuada para analizar este tipo de problemas, ya que cuando los sistemas son muy complejos, como es el caso, la modelización matemática se vuelve imposible. Contrariamente a esto, el avance de los softwares de simulación hace que éstos sean cada vez más simples de usar, más accesibles, y más flexibles para modelar distintos tipos de sistemas; y el empleo de las computadoras ahorra tiempo y recursos. La simulación permite describir y entender fácilmente el comportamiento del sistema introduciendo el siempre presente factor probabilístico. En base a los resultados que arroje el modelo podremos efectuar el análisis correspondiente y obtener conclusiones válidas a nivel estadístico acerca del sistema real. Además la simulación es un método muy flexible, ya que permite evaluar diversos cambios en el sistema sin que sea necesario implementarlos, de forma que permite contestar preguntas del tipo “qué pasa si...?": esto es efectuar un análisis de alternativas, preveer el impacto de los cambios, sus resultados, y seleccionar el mejor diseño.

Los objetivos del proyecto serán los siguientes:

1. Disminuir tiempos de espera y tamaños de colas.
2. Optimizar la carga de trabajo de los médicos, minimizando sus tiempos de espera y capacidad ociosa.
3. Mejorar los tiempos de atención y asegurar la capacidad de atención en los picos de demanda.
4. Asegurar que se disponga de los recursos necesarios en tiempo y forma.

La metodología a utilizar para resolver el problema es la siguiente:

1. Modelo conceptual: establecer los límites del problema, las simplificaciones necesarias, las suposiciones a efectuar, describir los procesos existentes, los flujos, las variables, los parámetros, sus relaciones y la estructura del modelo.
2. Modelo de datos: relevar los datos reales e identificar probabilidades y distribuciones estadísticas.
3. Modelo operacional: diseñar el diagrama de flujos del modelo, teniendo en cuenta las definiciones hechas en el modelo conceptual.
4. Codificación: introducir el diagrama de flujos y el modelo de datos en un software de simulación. En este caso se empleará el Arena.
5. Verificación: verificar que el modelo tenga coherencia interna.
6. Validación: verificar que los resultados del modelo se ajusten al sistema real.
7. Experimentación: planificar e implementar cambios en el diseño y/o los recursos del modelo para obtener nuevos resultados.
8. Análisis: evaluar el impacto de los cambios en los resultados del modelo.
9. Conclusiones: seleccionar la mejor alternativa.

2. MODELO CONCEPTUAL

a) Propósito

El modelo de simulación debe servir para optimizar el aprovechamiento de los recursos de forma de proveer un servicio de buena calidad y medir el desempeño de los procesos mediante indicadores. Para esto, el modelo deberá describir el comportamiento del sistema, y así permitir identificar las acciones necesarias para mejorar el sistema y sus resultados operacionales.

b) Objetivos

El objetivo principal es encontrar, a través de la simulación, una descripción clara del proceso y sus variables fundamentales, para luego poder planificar estrategias que optimicen la distribución de los recursos escasos. Se busca encontrar los recursos limitantes y los cuellos de botella operativos de forma tal de alcanzar los siguientes objetivos:

1. Disminuir tiempos de espera y tamaños de colas.
2. Optimizar la carga de trabajo de los médicos, minimizando sus tiempos de espera y capacidad ociosa.
3. Mejorar los tiempos de atención y asegurar la capacidad de atención en los picos de demanda.
4. Determinar la cantidad de recepcionistas, administrativos, enfermeras, cuartos y médicos necesarios para el óptimo funcionamiento de la clínica afin de asegurar que se disponga de los recursos necesarios en tiempo y forma.

c) Consideraciones sobre la clínica

- Se deben considerar los siguientes recursos de la clínica:
 - 3 Médicos
 - 3 Enfermeras
 - 1 Administrativo
 - 1 Recepcionista
 - 6 Camas
- La clínica funciona en 2 turnos de 6 horas cada uno, es decir que trabaja 12 horas por día.
- No se consideran los insumos.
- No se consideran los equipos y su mantenimiento.
- No hay ambulancias.
- No hay internación.
- Las entidades consideradas son los pacientes.
- Los pacientes están clasificados de la siguiente manera:
 - Pacientes urgencia.
 - Pacientes por consulta con y sin turno.
 - Pacientes por chequeo general con y sin turno.
 - Pacientes por vacunación con y sin turno.

Esto significa que hay 7 entradas al modelo con distribuciones y atributos particulares.

- No se considera el ausentismo de los pacientes a sus turnos.
- Entidades independientes entre sí, tanto en la llegada de entidades similares como de personas en distintas situaciones.
- No se considerarán las llegadas de los empleados, ya que son insignificantes y no hacen a la esencia del problema.
- Se desprecian los acompañantes de los pacientes, ya que no se tendrá en cuenta la restricción de capacidad física de las instalaciones. El análisis de colas se focaliza en los tiempos de espera.
- Las distribuciones de tiempo de atención y tiempos entre llegadas de pacientes son determinadas mediante datos empíricos.
- Existe la posibilidad de que haya picos de demanda.
- Se considera que la pericia de los médicos es constante, ya que no está en el alcance del proyecto modificarla.

- El análisis de la clínica se efectuará en el tiempo de un día. El estudio diario es representativo de la actividad de la clínica.
- Todas las entradas y salidas de la clínica se efectúan por la misma puerta.

d) Proceso de atención

1. Llegada de un paciente. A la clínica asisten personas por diferentes motivos. Se define un orden de prioridad en la atención. El criterio prioriza a las urgencias, luego a los pacientes con turno, y por último a los pacientes sin turno.
2. Verificación en recepción de la obra social:
 - a. Si el paciente tiene obra social pasa a que le verifiquen la ficha.
 - b. Si hay problemas con la obra social, el paciente va a la sección administración, donde se le toman los datos y consulta con la obra social nuevamente:
 - i. Si se corrige el problema con la obra social, el paciente vuelve a recepción para que se le verifique la ficha.
 - ii. En el caso de que no posea o que no pueda utilizarse la obra social, se le pregunta al paciente si desea pagar por la consulta. El paciente tiene la posibilidad de abonar el servicio por su propia cuenta: si decide pagar, se paga, y luego vuelve a recepción para que se le verifique la ficha, mientras que si decide no pagar, se retira de la clínica.
3. La verificación de la ficha se efectúa entonces en el sector de recepción:
 - a. Si tiene ficha, pasa a la sala de espera.
 - b. Si no tiene ficha, pasa a administración para que le generen una ficha, y luego pasa a la sala de espera.
4. Llegado su turno, el paciente pasa a un cuarto donde una enfermera le realiza un preexamen.
5. Al rato llega el médico que realiza el examen y su consiguiente tratamiento médico. El médico revisa al paciente y puede dar su diagnóstico.
6. Finalizado el proceso, se realiza el check out otorgándole, de ser necesario, la fecha de un turno de seguimiento. Si el médico le asignó un nuevo turno debe pasar por recepción para pedirlo.
7. El paciente sale de la clínica.

A continuación se presenta el diagrama de flujo del proceso en la **Figura 2.1**.

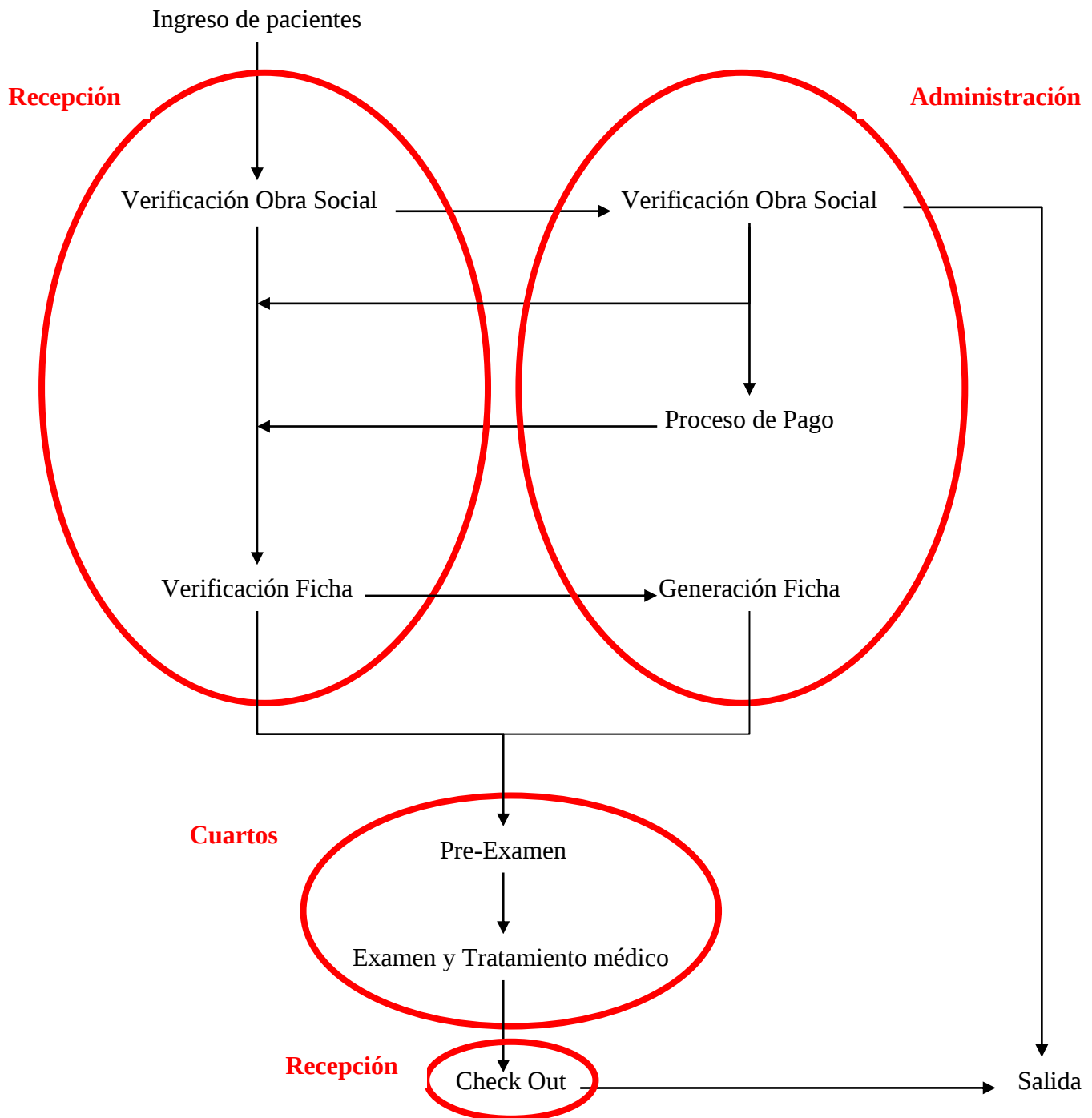


Figura 2.1. Diagrama de flujo del proceso de atención.

e) Variables y parámetros

- Las distribuciones de entrada de las entidades: se supondrá que son variables aleatorias con una distribución determinada y varían para cada tipo de paciente (Ver **3. Modelo de datos**).
- Los tiempos de los procesos: se supondrá que son variables aleatorias con una distribución determinada (Ver **3. Modelo de datos**). Los tiempos de los procesos pueden diferir para cada tipo de paciente.
- Los atributos de los pacientes: se determina la probabilidad de cada atributo para cada tipo de paciente. Las probabilidades se calculan en base a los datos empíricos (Ver **3. Modelo de datos**). Los atributos más importantes para cada tipo de paciente son si tiene turno y si tiene ficha, ya que, como vimos en el análisis del proceso de atención, según estos dos atributos deberá seguir uno u otro camino en base a las reglas de decisión establecidas.
- Las decisiones: algunas decisiones tienen que ver directamente con el proceso de atención de la clínica visto en el punto anterior, mientras que otras son aleatorias y se determinan mediante cálculo probabilístico en base a los datos empíricos para cada tipo de paciente (Ver **3. Modelo de datos**).
- Los resultados del modelo: tiempo total de los pacientes en la clínica, identificación de los cuellos de botella, tamaños de colas y utilización de los recursos (repcionista, administrativo, las 3 enfermeras, los 3 médicos y las 6 camas).
- Los parámetros son las cantidades de recepcionistas, de administrativos, de enfermeras, de médicos y de camas.

3. MODELO DE DATOS

El método de obtención de datos es el siguiente: se miden la actividades de una muestra de alrededor de doscientos pacientes que entran a la clínica y se arma una matriz indicando tiempos de espera, problema a tratar del paciente, obra social, etc. La matriz con los datos empíricos fue facilitada por la cátedra de Simulación, y se encuentra en el diskette adosado a este informe. El archivo **Datos Llegadas** tiene los datos de las llegadas de los pacientes a la clínica, mientras que el archivo **Datos Procesos** tiene los datos de los flujos en la clínica y los tiempos de los procesos.

Estos datos se utilizan en el modelo operacional para determinar las distribuciones de entrada de los pacientes, las distribuciones de los tiempos de cada proceso, las probabilidades de las decisiones aleatorias y las probabilidades de los distintos atributos de las entidades.

En cuanto a la determinación de las distribuciones de entrada y los tiempos de procesos, se utilizó el Input Analyzer del Arena para identificarlas. El Input Analyzer también permite obtener los errores correspondientes a los ajustes. Luego, con estas distribuciones se generan las muestras artificiales, que serán la información en base a la que el modelo podrá simular.

a) Distribuciones de entrada

En el caso de los pacientes sin turno es necesario analizar la estacionalidad dentro de las distribuciones. Por este motivo se estratificaron los datos en intervalos de 2 horas calculando en base a éstos los parámetros de las distribuciones correspondientes.

Con respecto a los pacientes con turno no se encuentra ningún tipo de estacionalidad, por lo que solo hay una distribución para cada tipo de paciente.

Los histogramas de los intervalos de llegadas y sus respectivas distribuciones aproximadas se pueden apreciar en el anexo **9.a) Distribuciones de entrada**.

b) Distribuciones de tiempos de procesos

Los histogramas de los tiempos de procesos y sus respectivas distribuciones aproximadas se pueden apreciar en el anexo **9.b) Distribuciones de tiempos de procesos**.

c) Probabilidades de decisiones aleatorias

Se calcularon directamente tomando los datos empíricos como base y se cargaron en el modelo. El modelo codificado en Arena se encuentra en el diskette adosado a este informe con el nombre **Clínica Original**.

d) Probabilidades de atributos

Se calcularon directamente tomando los datos empíricos como base y se cargaron en el modelo. El modelo codificado en Arena se encuentra en el diskette adosado a este informe con el nombre **Clínica Original**.

4. MODELO OPERACIONAL

El modelo operacional del sistema se puede observar en el modelo codificado en Arena que se encuentra en el diskette adosado a este informe con el nombre **Clínica Original**.

El diagrama de flujo que se observa en el archivo es el de la **Figura 2.1**, pero describe con mayor detalle todas las operaciones que se deben realizar para que el modelo funcione. Este es el paso previo a la codificación del modelo.

5. CODIFICACIÓN

Para diseñar la codificación del modelo, se debe comprender la utilidad de todo lo que se efectuó hasta el momento, y es por esto que a continuación se hace un repaso de lo hecho. Lo primero es describir el sistema tal como se hizo en la sección **2. Modelo conceptual**, donde se establecieron los flujos, los procesos, las variables, los parámetros y las simplificaciones necesarias. Una vez que el sistema se encuentra bien definido, se efectúa el relevamiento y el análisis de los datos empíricos, y se genera el modelo de datos del sistema, tal como se hizo en la sección **3. Modelo de datos**. Entonces se puede diseñar el diagrama que describe con precisión la secuencia de operaciones a realizarse. Dicho diagrama se mencionó en la sección **4. Modelo operacional**, y es el que se encuentra en el modelo codificado. La parte de la codificación se trata de introducir el modelo conceptual, el modelo operacional y el modelo de datos en un software de simulación. En este caso se empleará el Arena.

La codificación del modelo se arma mediante la utilización de los siguientes módulos:

- **Módulo Create:** permite ingresar entidades al modelo y es normalmente el inicio de todo flujo. Cuando se simula el flujo, las entidades individuales serán creadas de acuerdo a la información suministrada en las propiedades del módulo Create. Aquí se cargan las distribuciones de entrada determinadas en la sección **3.a) Distribuciones de entrada**. Cada módulo Create tiene su distribución de entrada correspondiente, es decir que cada tipo de paciente tiene su propia distribución de entrada a la clínica. También se cargan las entidades, que aquí sólo son los pacientes.
- **Módulo Process:** permite ejecutar acciones sobre las entidades que demoran un cierto tiempo, es decir que detiene transitoriamente el flujo de las entidades. Permite también usar recursos del sistema que pueden estar ocupados cuando la entidad los solicita. Aquí se cargan las distribuciones de los tiempos de los procesos determinadas en la sección **3.b) Distribuciones de tiempos de procesos**. Cada proceso tiene su distribución correspondiente. También la distribución puede variar según el tipo de paciente del que se trate. Además se cargan los recursos disponibles, que en este caso son las cantidades de recepcionistas, administrativos, enfermeras, médicos y camas.
- **Módulo Decide:** permite que las entidades se ramifiquen ya sea en forma aleatoria o siguiendo alguna condición especificada. Existen dos tipos de módulos Decide:
 1. Cuando la decisión es aleatoria: aquí se cargan las probabilidades de decisión determinadas en la sección **3.c) Probabilidades de decisiones aleatorias**. A cada módulo Decide le corresponde una probabilidad diferente.
 2. Cuando la decisión sigue reglas especificadas: aquí se cargan las reglas especificadas en la sección **2.d) Proceso de atención** para cada módulo Decide. Estas reglas resultan directamente del proceso de atención de la clínica. Cuando

una entidad llega a un módulo Decide de este tipo, cada entidad sigue un camino distinto según sus atributos y la regla de decisión correspondiente a dicho módulo.

- Módulo Assign: permite asignar atributos a las entidades, dándoles así características especiales. Aquí se cargan las probabilidades de cada atributo para cada tipo de paciente. Estas probabilidades son las determinadas en la sección **3.d) Probabilidades de atributos**.
- Módulo Dispose: a través de estos módulos las entidades salen del sistema. Dicho de otro modo, los pacientes se retiran de la clínica.

El Arena también permite realizar animaciones para visualizar mejor el recorrido de las entidades a través del sistema y la utilización de los recursos. A modo informativo, se adjunta en el anexo **9.c) Animación** dos imágenes de la animación del modelo. La **Figura 9.1** corresponde al modelo con 6 camas y la **Figura 9.2** al modelo con 7 camas.

El modelo codificado en Arena se encuentra en el diskette adosado a este informe con el nombre **Clínica Original**. En el mismo se puede ver la codificación y las animaciones funcionando.

6. EXPERIMENTACIÓN

El tamaño de las corridas es de 50 observaciones, con lo que se obtienen resultados válidos a nivel estadístico. Una observación consiste en un día de 12 horas, con lo cual una corrida simula 50 días de 12 horas. A su vez, dentro de cada día simulado se atiende a una cantidad n de pacientes: cada paciente genera una medición. Es decir que cada observación se compone de n mediciones.

Para comenzar con la experimentación, se corre el modelo original, y se encuentra que el cuello de botella del sistema son las camas. Se recuerda que el modelo original consta de 6 camas. Luego, para mejorar el funcionamiento de la clínica se agrega una cama, y se efectúa una nueva simulación, para obtener nuevos resultados, esta vez con 7 camas. Como el cuello de botella continúa siendo las camas, se agrega una más, y se corre nuevamente el modelo. Esta vez el cuello de botella son las enfermeras, así que se agrega una enfermera más, y se corre nuevamente el modelo. En este caso el cuello de botella son los médicos, así que se agrega un médico y se corre una última vez el modelo.

En la **Tabla 6.1** se sintetizan los diferentes diseños y el cuello de botella encontrado en cada una de ellos.

Corrida	Cuello de Botella
6 camas	Camas
7 camas	Camas
8 camas	Enfermeras
8 camas y 4 enfermeras	Médicos
8 camas, 4 enfermeras y 4 médicos	Camas

Tabla 6.1. Cuellos de botella.

Es muy sencillo ver cual es el cuello de botella en cada experimentación mediante la visualización de los gráficos siguientes.

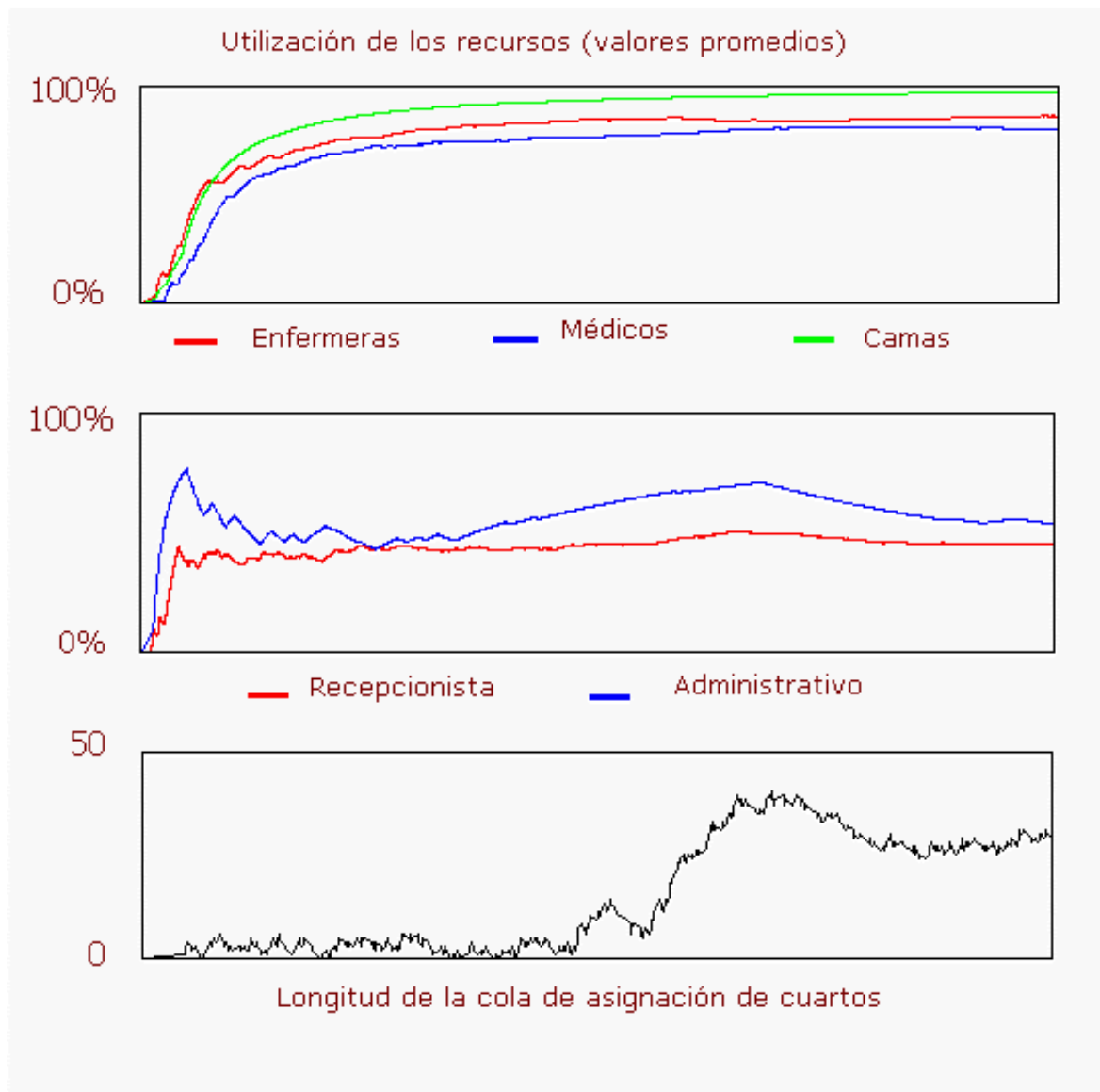


Gráfico 6.1. Utilización de recursos y tamaño de cola modelo 6 camas.

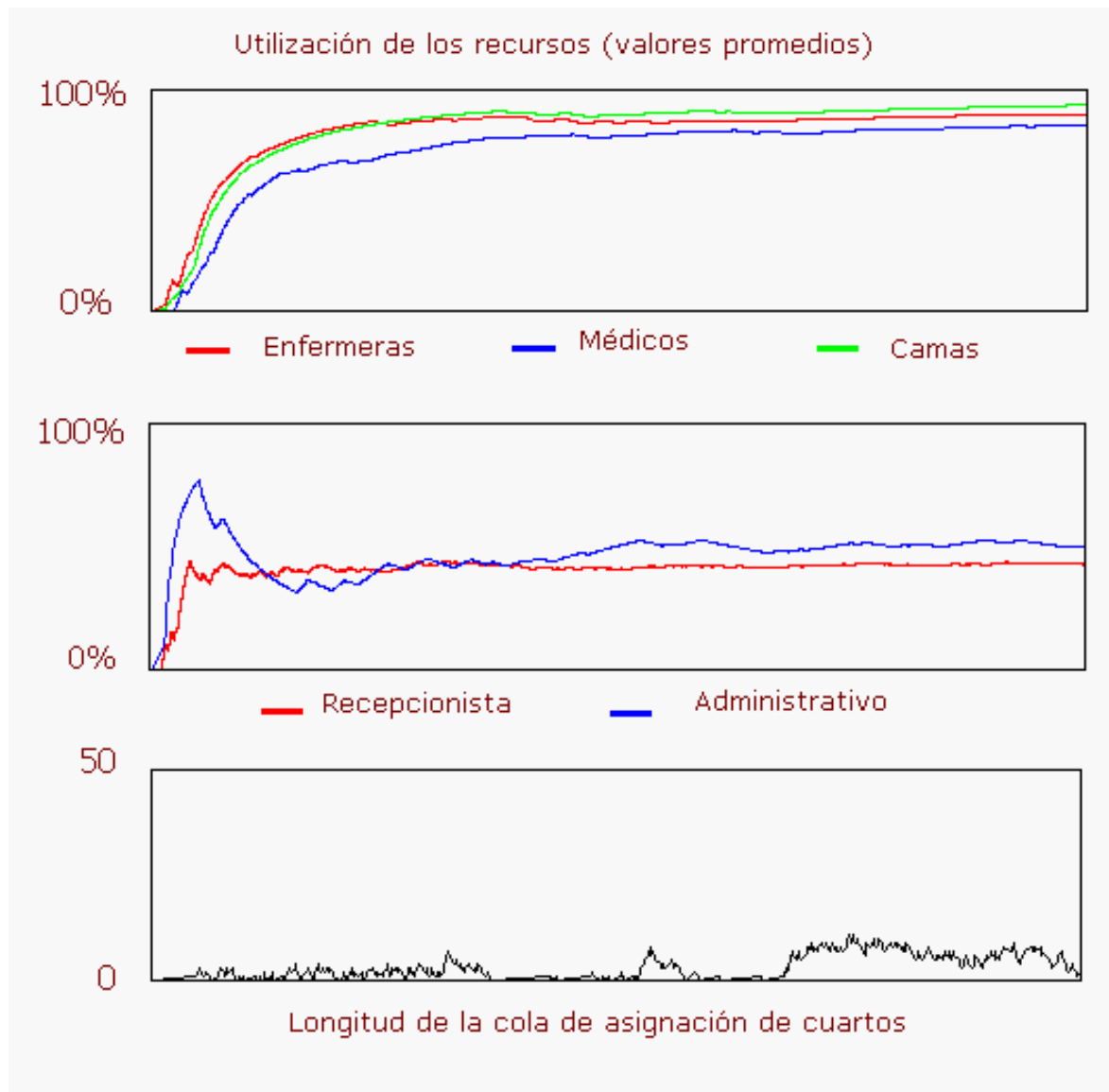


Gráfico 6.2. Utilización de recursos y tamaño de cola modelo 7 camas.

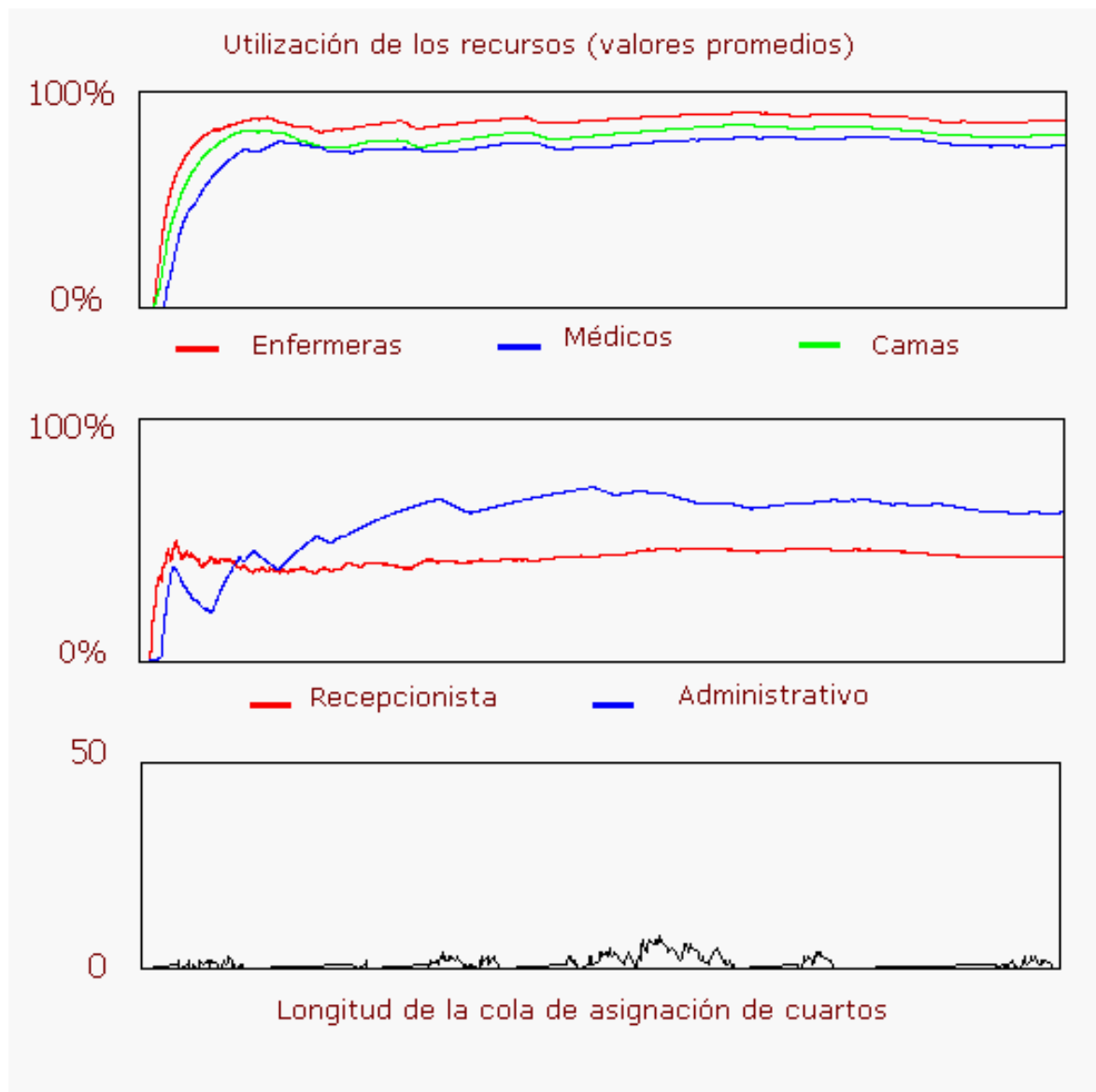


Gráfico 6.3. Utilización de recursos y tamaño de cola modelo 8 camas.

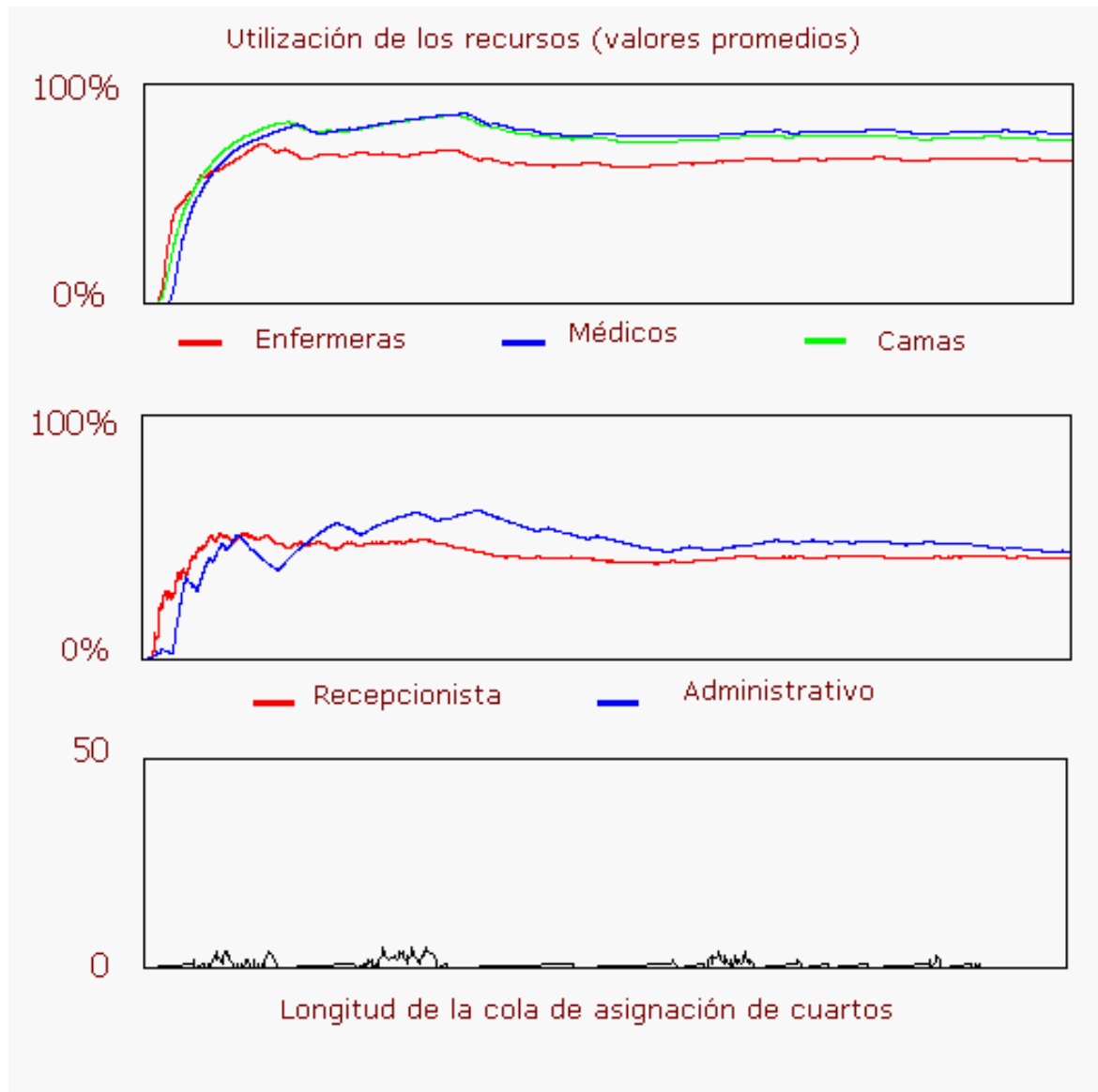


Gráfico 6.4. Utilización de recursos y tamaño de cola modelo 8 camas y 4 enfermeras.

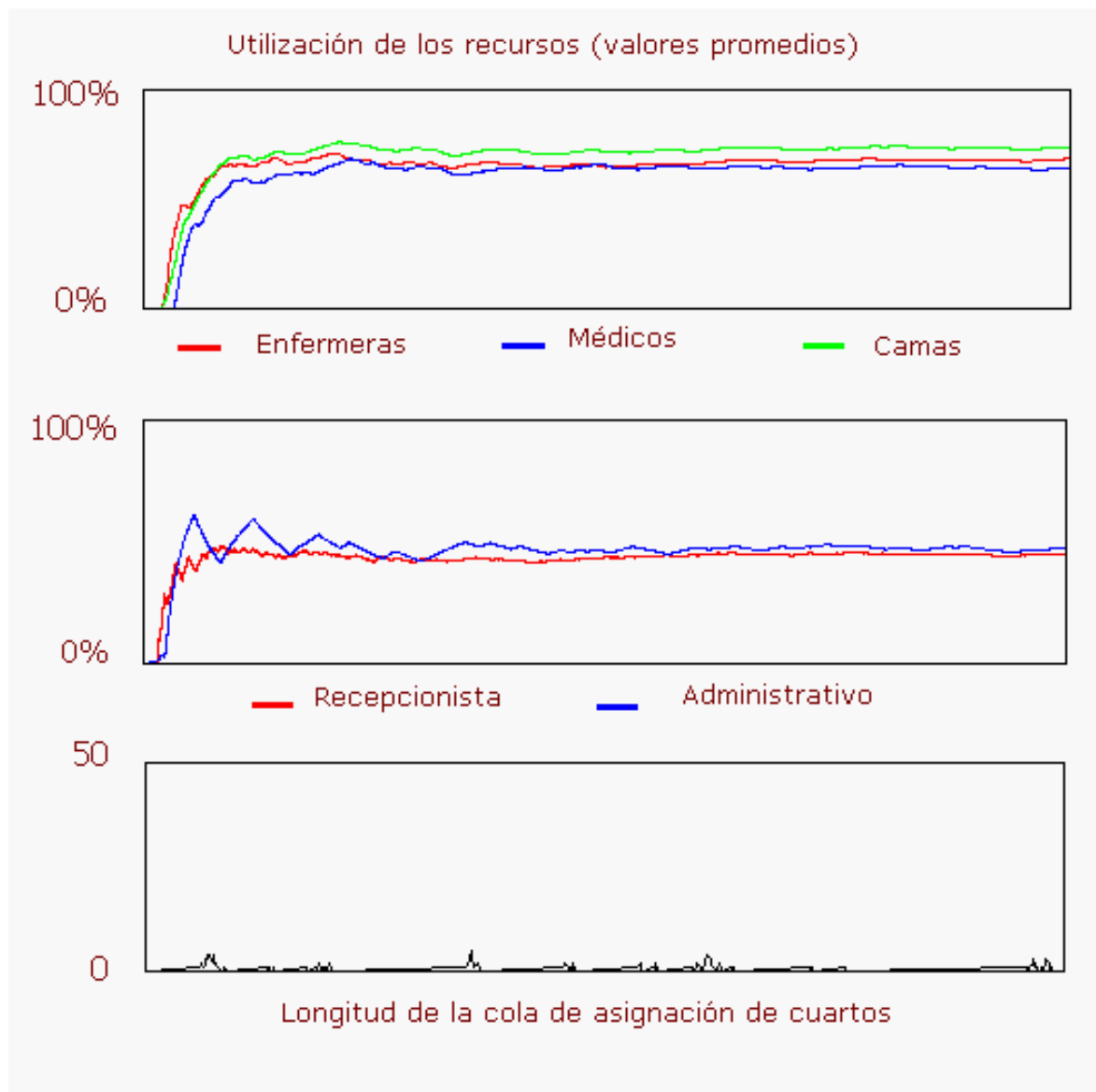


Gráfico 6.5. Utilización de recursos y tamaño de cola modelo 8 camas, 4 enfermeras y 4 médicos.

Estos gráficos muestran la utilización promedio de cada recurso a medida que transcurre el día. Es un promedio del tiempo que los recursos estuvieron ocupados y no estuvieron ocupados, calculado a cada momento del día. Es normal que empiecen en cero, ya que al comenzar el día ningún recurso está siendo utilizado, pero a medida que permanecen más tiempo ocupados la utilización va aumentando y tendiendo a un valor estable.

Se puede ver claramente el cuello de botella del sistema para cada caso. En el **Gráfico 6.1**, así como en el **Gráfico 6.2** se ve que el cuello de botella son las camas, ya que tanto las enfermeras, los médicos, el recepcionista y el administrativo tienen un porcentaje de utilización menor. En el **Gráfico 6.3**, la curva que está por encima de todas las demás es la de las enfermeras, que son el cuello de botella para el modelo con 8 camas. En el **Gráfico 6.4** son los médicos y en el **Gráfico 6.5** las camas nuevamente.

También se puede apreciar la evolución de la cola en la asignación de cuartos, pero esto se analizará mediante métricas con validez estadística en la siguiente sección. Como los cuellos de botella se encuentran en las camas, las enfermeras o los médicos, la cola de asignación de cuartos es la más comprometida, razón por la que se centra el análisis en la misma.

7. ANÁLISIS

En este apartado se hace un análisis de los resultados operativos de cada experimentación, mediante métricas con validez estadística. Dicho análisis permite seleccionar el mejor diseño optimizando el uso de recursos y minimizando las inversiones.

Los resultados operativos de cada experimentación se miden a través de 2 variables: el Tiempo Total y el Tamaño de Cola. La primera es el tiempo que cada paciente permanece en el sistema, desde que entra hasta que sale de la clínica. La segunda es el tamaño de la cola de asignación de cuartos. Cada una de estas variables se miden mediante varios indicadores o métricas. Si bien ambas variables son importantes, el Tiempo Total es la más importante, ya que más allá del Tamaño de Cola, el tiempo que cada paciente debe permanecer en la clínica es la variable fundamental que mide el servicio de la clínica.

Las métricas utilizadas y sus respectivas definiciones son las siguientes:

- Promedio Total: es la media de los promedios muestrales. Cada observación se compone de n mediciones, con lo cual se puede calcular para cada observación un promedio muestral. El Promedio Total es la media de estos promedios muestrales.
- Promedio Mínimo: es el menor de los 50 promedios muestrales.
- Promedio Máximo: es el mayor de los 50 promedios muestrales.
- Medición Mínima: es la menor de las mediciones. Para el Tiempo Total esto representa el mínimo tiempo que un paciente permaneció en la clínica. Para el Tamaño de Cola representa la menor cola dentro de los 50 días simulados.
- Medición Máxima: es la mayor de las mediciones. Para el Tiempo Total esto representa el máximo tiempo que un paciente permaneció en la clínica. Para el Tamaño de Cola representa la mayor cola dentro de los 50 días simulados.

Si bien todas estas métricas son muy importantes para el análisis, debe quedar claro que el Promedio Total es la más importante, ya que refleja el tiempo que cada paciente debe permanecer en la clínica, en promedio. Las demás métricas reflejan las variaciones que se producen en el servicio.

En la **Tabla 7.1** se presentan los resultados operativos de cada experimentación.

Indicador		6 camas	7 camas	8 camas	8 camas 4 enferm.	8 camas 4 enferm. 4 médicos
Tiempo Total (minutos)	Promedio Total	44	32	31	27	24
	Promedio Mín.	28	23	25	22	21
	Promedio Máx.	73	53	44	34	28
	Medición Mín.	6	7	7	6	7
	Medición Máx.	268	200	180	147	100
Tamaño de Cola (cantidad de pacientes)	Promedio Total	8.96	3.63	2.28	1.23	0.53
	Promedio Mín.	2.19	0.39	0.24	0.17	0.12
	Promedio Máx.	24.01	13.99	6.52	3.17	1.36
	Medición Mín.	0	0	0	0	0
	Medición Máx.	44	30	19	16	13

Tabla 7.1. Resultados de las experimentaciones.

Cabe mencionar que el análisis de las mediciones mínimas no agrega valor, ya que se mantienen constantes, tal como se ve en la **Tabla 7.1**.

La **Tabla 7.2** muestra las variaciones porcentuales entre experimentaciones consecutivas, es decir la experimentación con 7 camas con respecto a la original, la experimentación con 8 camas con respecto a la de 7, y así sucesivamente. La **Tabla 7.3** muestra las variaciones absolutas entre experimentaciones consecutivas.

Indicador		6 camas	7 camas	8 camas	8 camas 4 enferm.	8 camas 4 enferm. 4 médicos
Tiempo Total (%)	Promedio Total	-	26	4	13	12
	Promedio Mín.	-	19	-7	10	5
	Promedio Máx.	-	27	17	24	16
	Medición Máx.	-	26	10	18	32
Tamaño de Cola (%)	Promedio Total	-	60	37	46	57
	Promedio Mín.	-	82	40	29	26
	Promedio Máx.	-	42	53	51	57
	Medición Máx.	-	32	37	16	19

Tabla 7.2. Variaciones porcentuales entre experimentaciones consecutivas.

Indicador		6 camas	7 camas	8 camas	8 camas 4 enferm.	8 camas 4 enferm. 4 médicos
Tiempo Total (minutos)	Promedio Total	-	11	1	4	3
	Promedio Mín.	-	5	-2	2	1
	Promedio Máx.	-	20	9	10	5
	Medición Máx.	-	69	19	33	47
Tamaño de Cola (cantidad de pacientes)	Promedio Total	-	5.34	1.35	1.05	0.70
	Promedio Mín.	-	1.80	0.16	0.07	0.04
	Promedio Máx.	-	10.02	7.47	3.35	1.81
	Medición Máx.	-	14.00	11.00	3.00	3.00

Tabla 7.3. Variaciones absolutas entre experimentaciones consecutivas.

En cuanto al análisis de la experimentación con 7 camas, se ve en la **Tabla 7.2** que se produce una reducción del 26% en el Promedio Total, del 19% en el Promedio Mínimo, del 27% en el Promedio Máximo y del 26% en la Medición Máximo, en lo que respecta

al Tiempo Total. En la **Tabla 7.3**, se puede ver que en valores absolutos esto equivale a una mejora de 11 minutos en el Promedio Total, es decir que cada paciente permanece 11 minutos menos en el sistema por el hecho de haber agregado una cama. Equivale también a una mejora de 5 minutos en el Promedio Mínimo (el mejor de los 50 días) y de 20 minutos en el Promedio Máximo (el peor de los 50 días). Además la Medición Máxima disminuye en 69 minutos, es decir que el paciente que más tiene que esperar en los 50 días tiene que esperar 69 minutos menos que en la clínica original con 6 camas. Se puede concluir que se produce una gran mejora en el tiempo que los pacientes tienen que permanecer en el sistema.

Con respecto al Tamaño de Cola, la mejora porcentual es más pronunciada aún. Los valores que se pueden apreciar en la **Tabla 7.2** y la **Tabla 7.3** son los siguientes: 60% en el Promedio Total (una diferencia absoluta de 5.34 pacientes), 82% en el Promedio Mínimo (1.80 pacientes), 42% en el Promedio Máximo (10.02 pacientes) y 32% en la Medición Máxima (14.00 pacientes).

Si se analiza luego invertir en una nueva cama, es decir la experimentación con 8 camas, se puede deducir de la **Tabla 7.2** y la **Tabla 7.3** que, tanto la mejora porcentual como absoluta, no son tan pronunciadas como en la anterior experimentación, tanto a nivel del Tiempo Total como del Tamaño de Cola. Seguramente la razón de este estancamiento es que aunque se agregue una cama más, se genera un nuevo cuello de botella en las enfermeras que restringe la capacidad del sistema en su conjunto. Por esta razón, la cama que se agrega queda ociosa en gran parte de su capacidad y esta alternativa no genera tan buenos resultados.

Por el contrario, parece conveniente agregar una cama y una enfermera, ya que de esta forma se elimina también el nuevo cuello de botella que se generaba en las enfermeras, y de esta manera se aprovecha mejor la capacidad de la cama y la capacidad de la enfermera también. En este caso, el nuevo cuello de botella son los médicos. Se puede ver en la **Tabla 7.2** y la **Tabla 7.3** que esta experimentación genera incrementos interesantes con respecto a la de 8 camas. Se generan los siguientes incrementos: en lo que respecta al Tiempo Total, una mejora del 13% (4 minutos) en el Promedio Total; con respecto al Tamaño de Cola, la mejora porcentual es del 46% en el Promedio Total, lo que equivale a 1.05 pacientes.

En la **Tabla 7.4** y la **Tabla 7.5** se presentan las variaciones porcentuales y absolutas acumuladas (en este caso las mejoras de todas las experimentaciones se calculan con respecto a la clínica original mientras que las anteriores tablas muestran las variaciones entre experimentaciones consecutivas). En estas tablas se puede apreciar mejor cómo la experimentación con 8 camas y 4 enfermeras genera resultados muy superiores a la de solo 8 camas: 39% (17 minutos) en el Tiempo Total y 86% (7.73 pacientes) en el Tamaño de Cola contra 29% (13 minutos) y 75% (6.69 pacientes) respectivamente.

Indicador		6 camas	7 camas	8 camas	8 camas 4 enferm.	8 camas 4 enferm. 4 médicos
Tiempo Total (%)	Promedio Total	-	26	29	39	46
	Promedio Mín.	-	19	13	22	25
	Promedio Máx.	-	27	39	54	61
	Medición Máx.	-	26	33	45	63
Tamaño de Cola (%)	Promedio Total	-	60	75	86	94
	Promedio Mín.	-	82	89	92	94
	Promedio Máx.	-	42	73	87	94
	Medición Máx.	-	32	57	64	70

Tabla 7.4. Varianiones porcentuales acumuladas.

Indicador		6 camas	7 camas	8 camas	8 camas 4 enferm.	8 camas 4 enferm. 4 médicos
Tiempo Total (minutos)	Promedio Total	-	11	13	17	20
	Promedio Mín.	-	5	4	6	7
	Promedio Máx.	-	20	29	39	44
	Medición Máx.	-	69	88	121	168
Tamaño de Cola (cantidad de pacientes)	Promedio Total	-	5.34	6.69	7.73	8.43
	Promedio Mín.	-	1.80	1.95	2.02	2.06
	Promedio Máx.	-	10.02	17.49	20.84	22.65
	Medición Máx.	-	14.00	25.00	28.00	31.00

Tabla 7.5. Varianiones absolutas acumuladas.

Para terminar con el análisis de las experimentaciones, se evalúa la de 8 camas, 4 enfermeras y 4 médicos, es decir que con respecto a la anterior experimentación se agrega un médico. Los resultados se pueden apreciar en la **Tabla 7.2** y la **Tabla 7.3**. Se logra un incremento interesante a nivel porcentual, pero no tanto en valores absolutos. Esto es lógico, ya que el salto de mejora de la clínica se produjo con las anteriores mejoras, por lo que cada vez se puede mejorar menos en medidas absolutas. Con respecto a la experimentación con 8 camas y 4 enfermeras, se generan los siguientes

incrementos: en lo que respecta al Tiempo Total, una mejora del 12% (3 minutos) en el Promedio Total; con respecto al Tamaño de Cola, la mejora porcentual es del 57% en el Promedio Total, lo que equivale a solo 0.70 pacientes menos.

Por último, se puede sintetizar todo el análisis graficando la evolución del Promedio Total. Como se mencionó al inicio de esta sección, el Promedio Total es la más importante de las métricas. Se grafican los valores absolutos y su variación porcentual para Tiempo Total y el Tamaño de Cola. Los gráficos presentados son los siguientes:

- **Gráfico 7.1:** Tiempo Total y su variación porcentual entre experimentaciones consecutivas.
- **Gráfico 7.2:** Tamaño de Cola y su variación porcentual entre experimentaciones consecutivas.
- **Gráfico 7.3:** Tiempo Total y su variación porcentual acumulada (con respecto a la clínica original).
- **Gráfico 7.4:** Tamaño de Cola y su variación porcentual acumulada (con respecto a la clínica original).

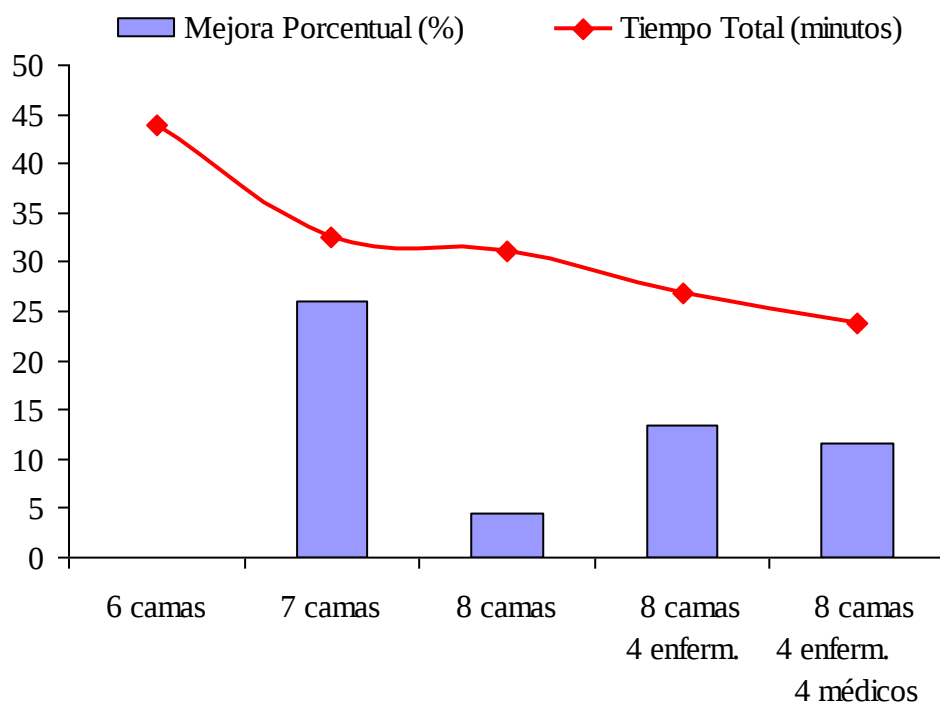


Gráfico 7.1. Tiempo Total: variación porcentual entre experimentaciones consecutivas.

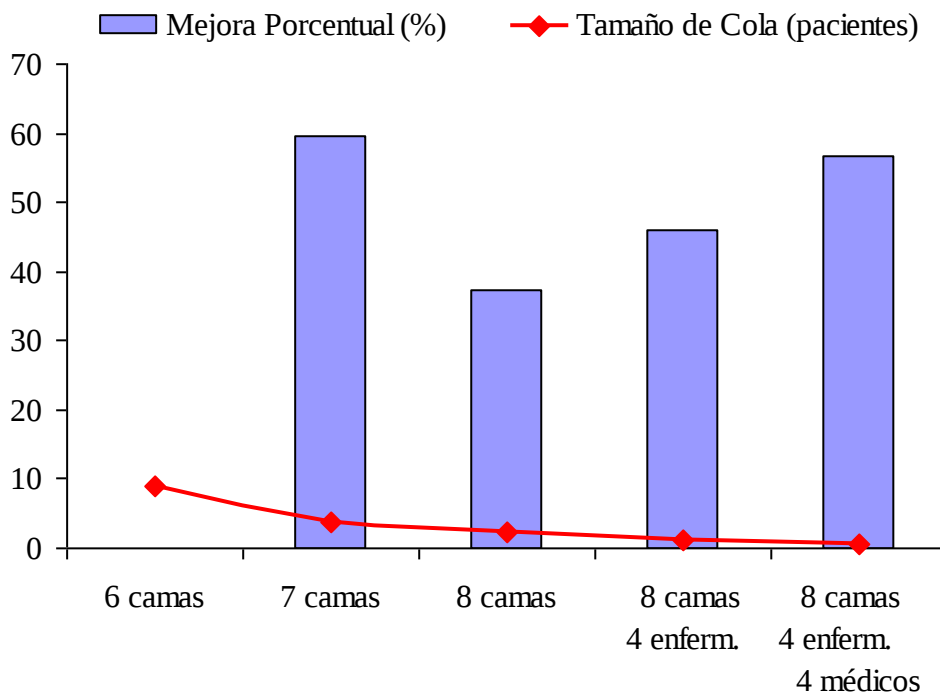


Gráfico 7.2. Tamaño de Cola: variación porcentual entre experimentaciones consecutivas.

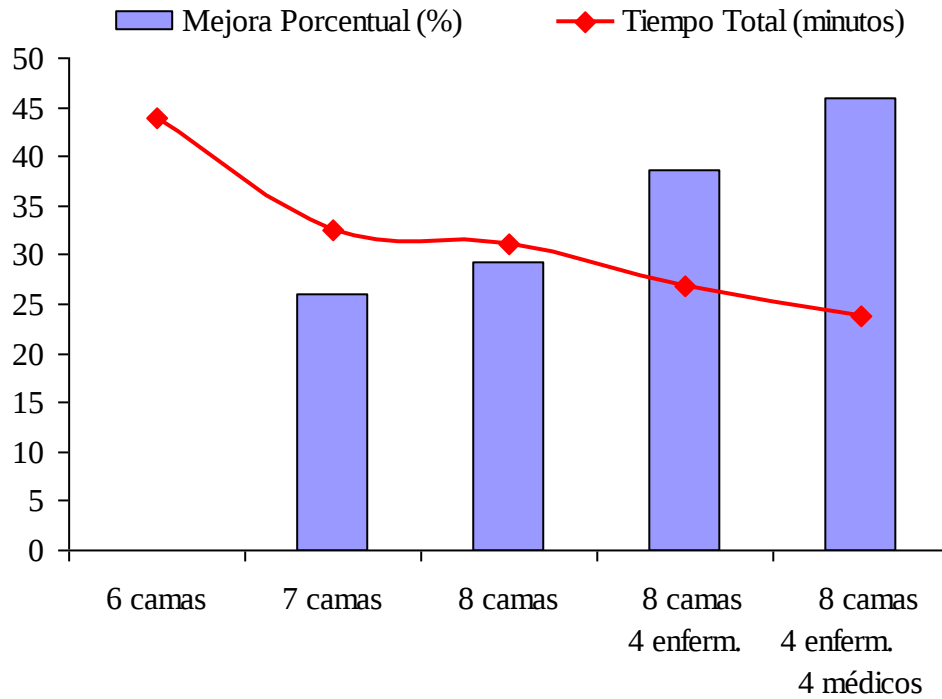


Gráfico 7.3. Tiempo Total: variación porcentual acumulada.

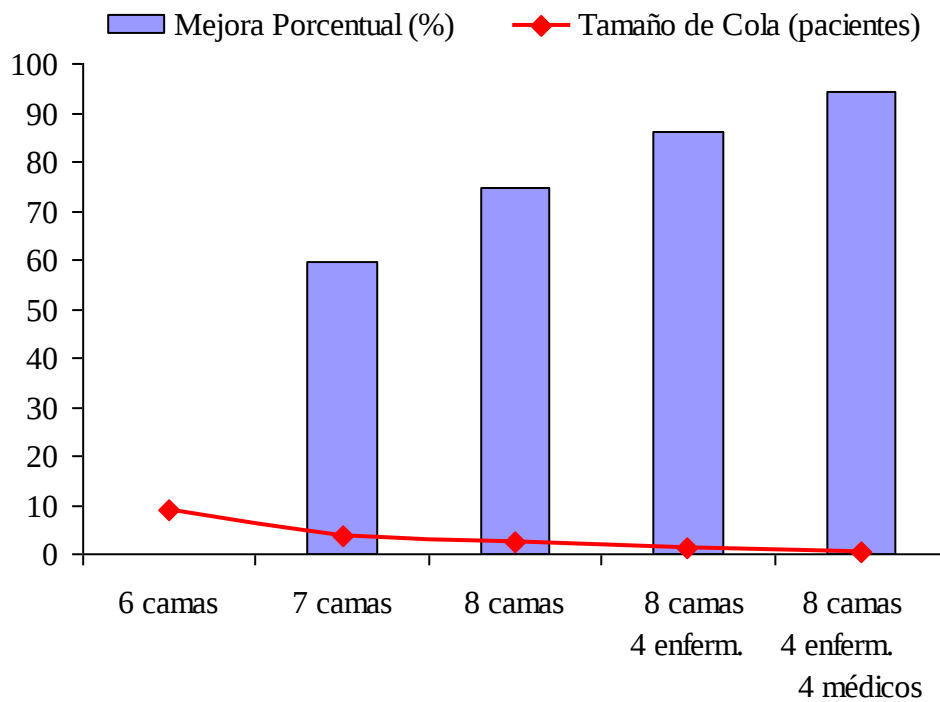


Gráfico 7.4. Tamaño de Cola: variación porcentual acumulada.

8. CONCLUSIÓN

Por el análisis de las experimentaciones, se puede decir que el hecho de agregar una cama más genera un salto de mejora en el funcionamiento de la clínica. Esto se explica porque el cuello de botella de la clínica original son las camas, con lo que, al incrementar la capacidad de las mismas, se optimiza la utilización de los médicos y las enfermeras. En lo que respecta al Tiempo Total, se produce una reducción del 26% en el Promedio Total, lo que equivale a una mejora de 11 minutos. Con respecto al Tamaño de Cola, la mejora porcentual es del 60% en el Promedio Total, lo que en valores absolutos equivale a 5.34 pacientes menos en la cola de asignación de cuartos.

La experimentación con 8 camas no genera grandes mejoras con respecto a la de 7 camas, tanto a nivel del Tiempo Total como del Tamaño de Cola. La razón de esto es que aunque se agregue una cama más, se genera un nuevo cuello de botella en las enfermeras que restringe la capacidad del sistema en su conjunto. Por esto razón, la cama que se agrega queda ociosa en gran parte de su capacidad. Esta alternativa no se recomienda.

La experimentación con 8 camas y 4 enfermeras es una buena alternativa, ya que se elimina el cuello de botella que se generaba en las enfermeras, y de esta manera se aprovecha mejor la capacidad de la cama y la capacidad de la enfermera también. Con respecto a la experimentación con 8 camas, genera los siguientes incrementos: en lo que respecta al Tiempo Total, una mejora del 13% (4 minutos) en el Promedio Total; con respecto al Tamaño de Cola, la mejora porcentual es del 46% en el Promedio Total, lo que equivale a 1.05 pacientes. Si se evalúa la mejora con respecto a la clínica original, se produce una mejora del 39% (17 minutos) en el Tiempo Total y del 86% (7.73 pacientes) en el Tamaño de Cola.

Por último, la clínica con 8 camas, 4 enfermeras y 4 médicos produce una mejora porcentual importante, pero no así en valores absolutos. Como se explicó anteriormente, este fenómeno era esperable, ya que en la medida que el funcionamiento de la clínica mejora cada vez se puede mejorar menos en medidas absolutas. Con respecto a la experimentación con 8 camas y 4 enfermeras, se generan los siguientes incrementos: en lo que respecta al Tiempo Total, una mejora del 12% (3 minutos) en el Promedio Total; con respecto al Tamaño de Cola, la mejora porcentual es del 57% en el Promedio Total, lo que equivale a solo 0.70 pacientes menos.

Por lo tanto, se recomienda la alternativa de 7 camas, que genera los mejores resultados relativos con la mínima inversión, optimizando la utilización de las enfermeras y los médicos de la clínica. Para el futuro, si se desea efectuar una nueva inversión para mejorar los resultados operativos de la clínica, la recomendación es de agregar una cama y una enfermera más. Esto representa no solo una nueva inversión, pero implica también incurrir en gastos fijos mensuales (el sueldo del personal incorporado, en este caso la nueva enfermera). Finalmente, de ser necesario seguir mejorando, habría que

invertir en la incorporación de un médico. Los resultados de cada alternativa recomendada se presentan en la **Tabla 8.1**.

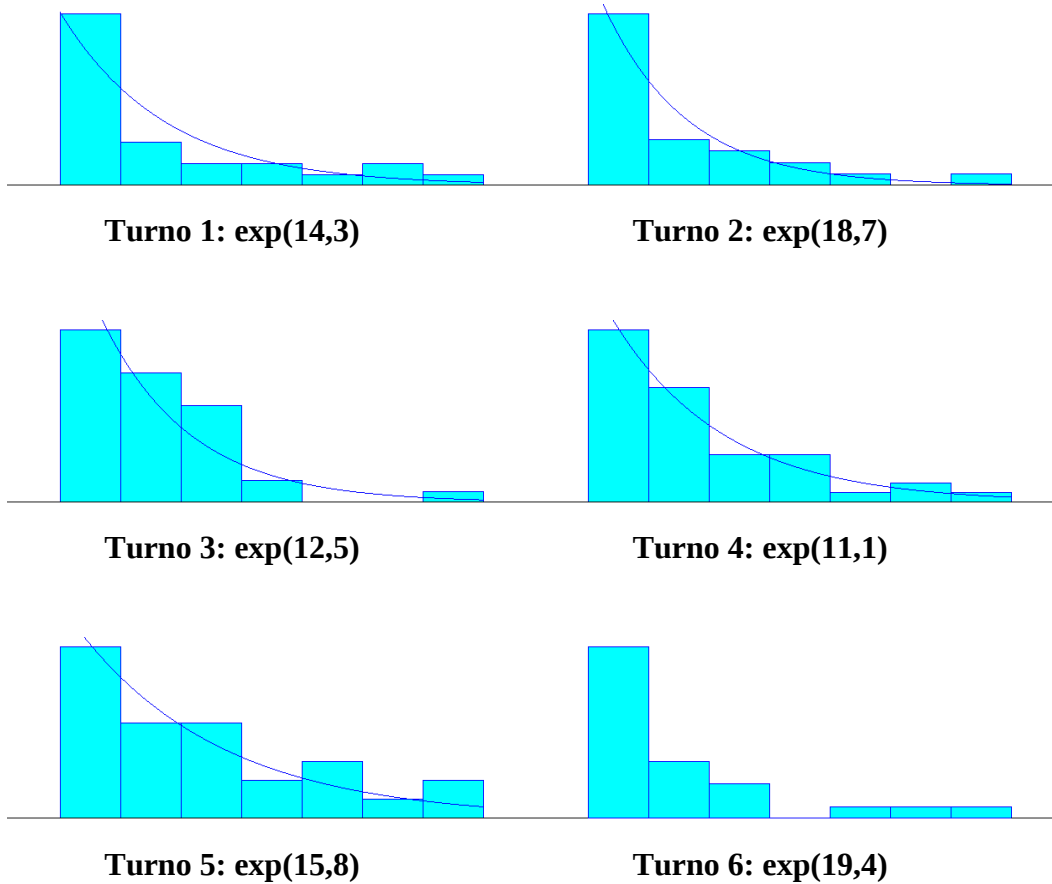
Indicador		6 camas	7 camas	8 camas 4 enferm.	8 camas 4 enferm. 4 médicos
Tiempo Total (minutos)	Promedio Total	44	32	27	24
	Promedio Mín.	28	23	22	21
	Promedio Máx.	73	53	34	28
	Medición Mín.	6	7	6	7
	Medición Máx.	268	200	147	100
Tamaño de Cola (cantidad de pacientes)	Promedio Total	8.96	3.63	1.23	0.53
	Promedio Mín.	2.19	0.39	0.17	0.12
	Promedio Máx.	24.01	13.99	3.17	1.36
	Medición Mín.	0	0	0	0
	Medición Máx.	44	30	16	13

Tabla 8.1. Resultados de alternativas recomendadas.

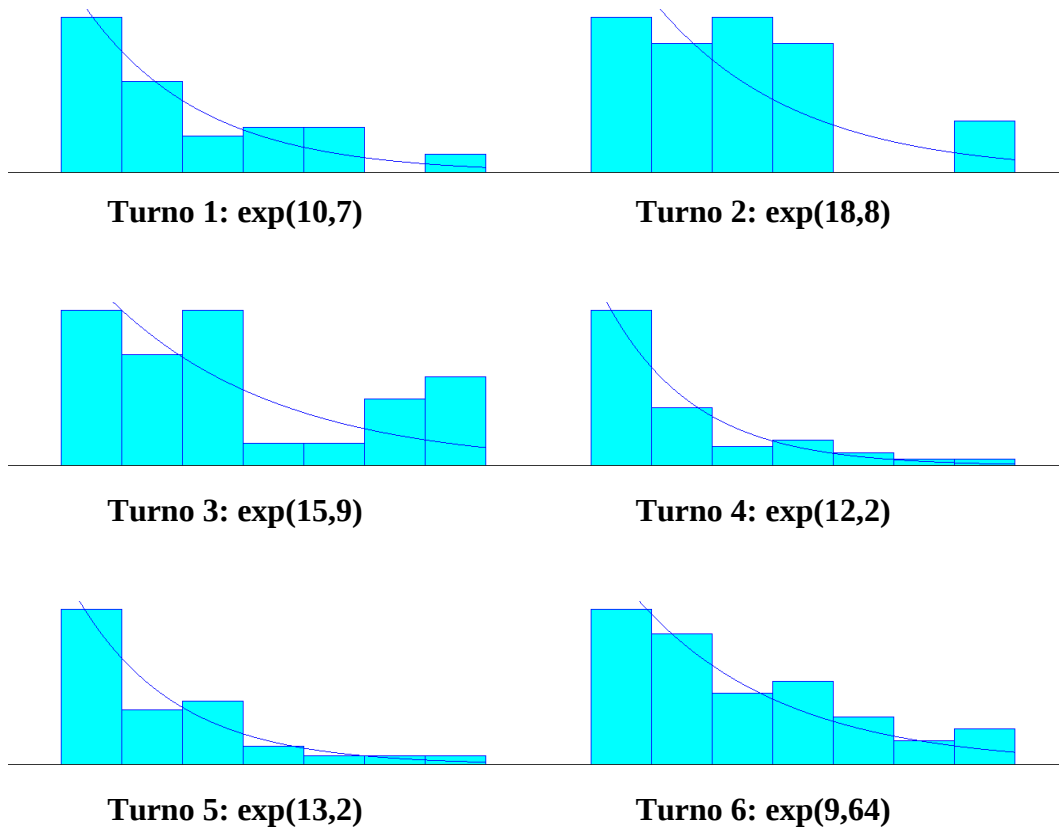
9. ANEXOS

a) Distribuciones de entrada

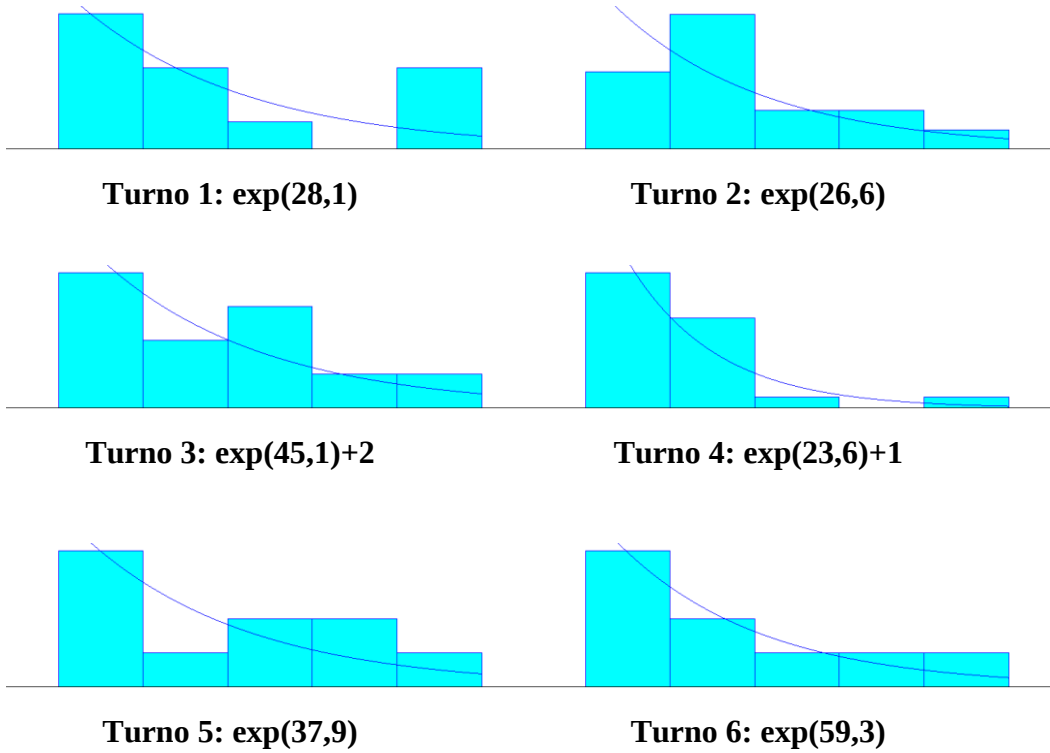
- Urgencias, turnos 1 a 6: estacionalidad cada 2 horas



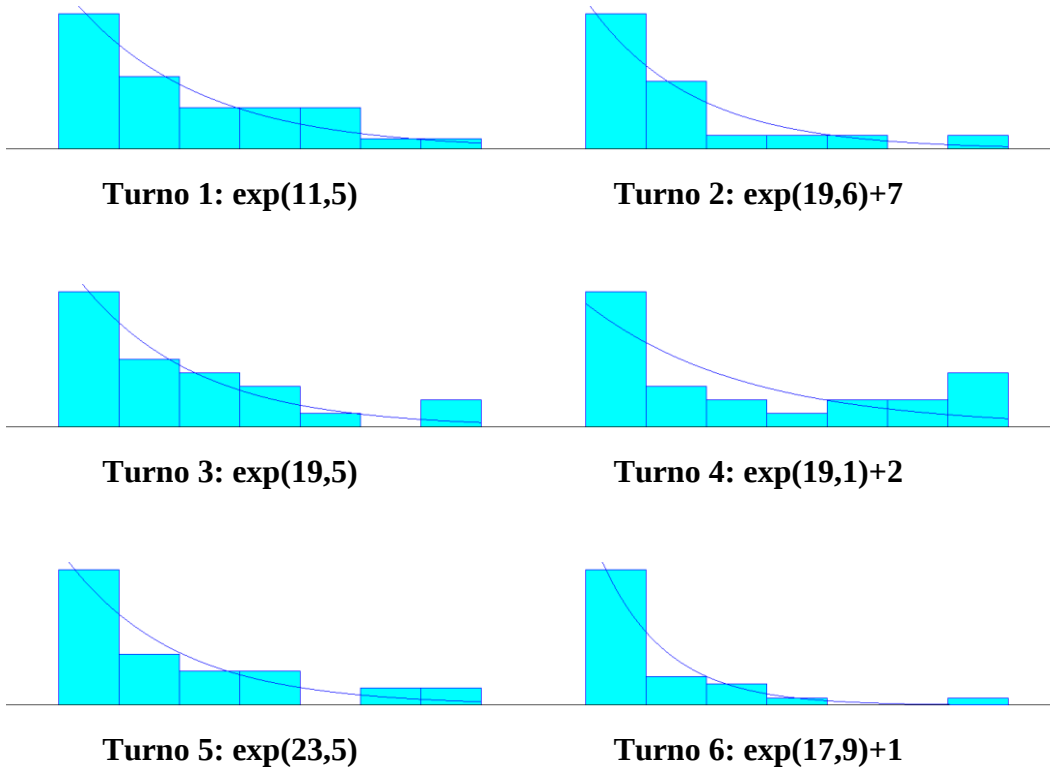
- **Vacunación sin turno, turnos 1 a 6:** estacionalidad cada 2 horas



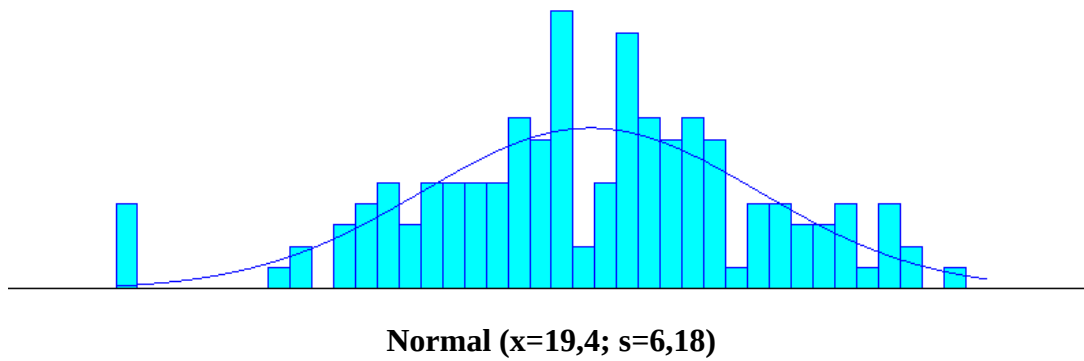
- **Chequeo General sin turno, turnos 1 a 6:** estacionalidad cada 2 horas



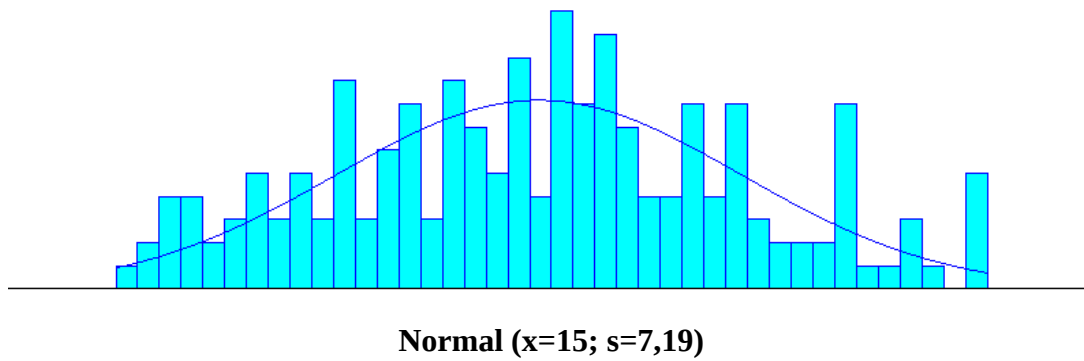
- **Consulta sin turno, turnos 1 a 6:** estacionalidad cada 2 horas



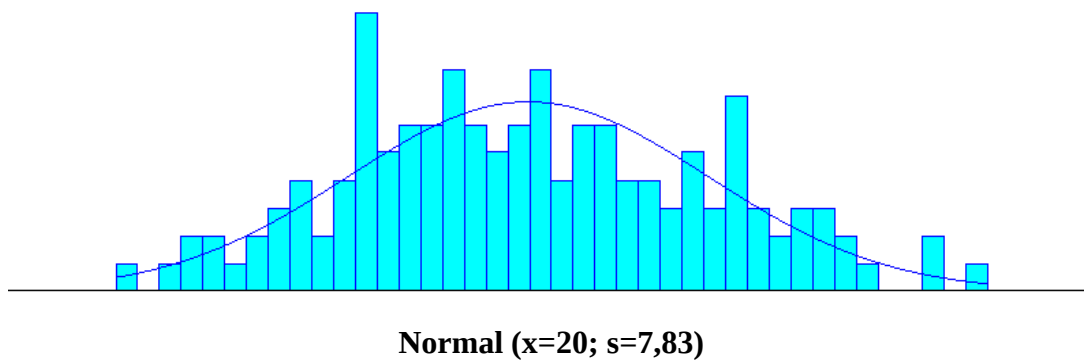
- **Vacunación con turno, todos los turnos juntos:** sin estacionalidad



- **Chequeo general con turno, todos los turnos juntos:** sin estacionalidad

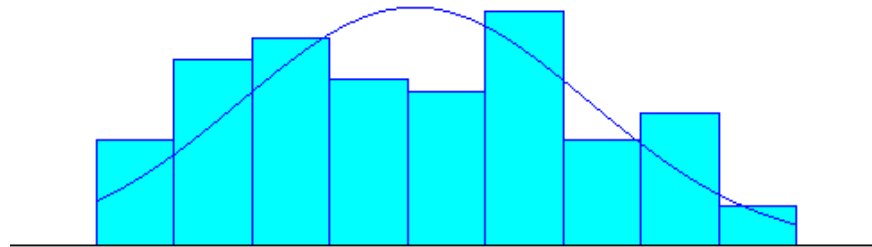


- **Consulta con turno, todos los turnos juntos:** sin estacionalidad



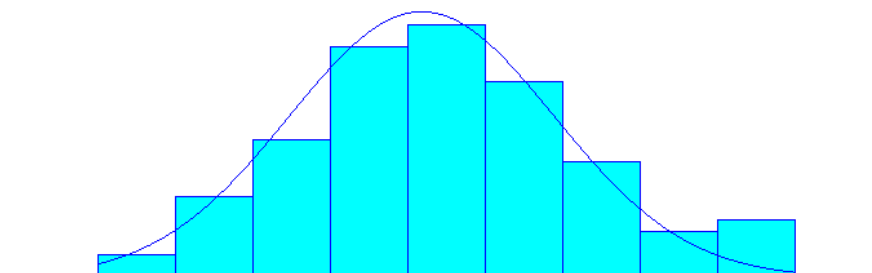
b) Distribuciones de tiempos de procesos

- **Tiene Ficha**



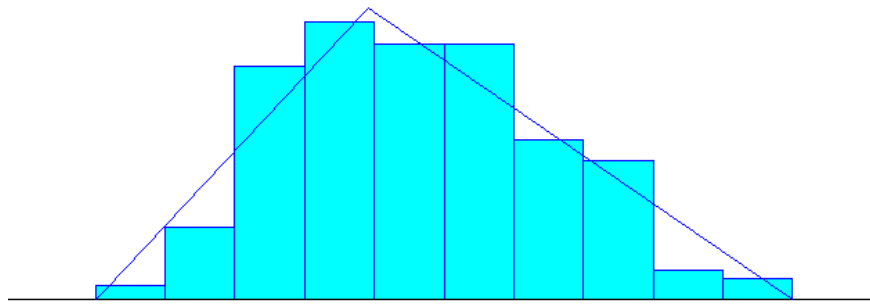
Distribution:	Normal
Expression:	$NORM(7.58, 2.23)$
Square Error:	0.012367

- **Chequeo Datos**



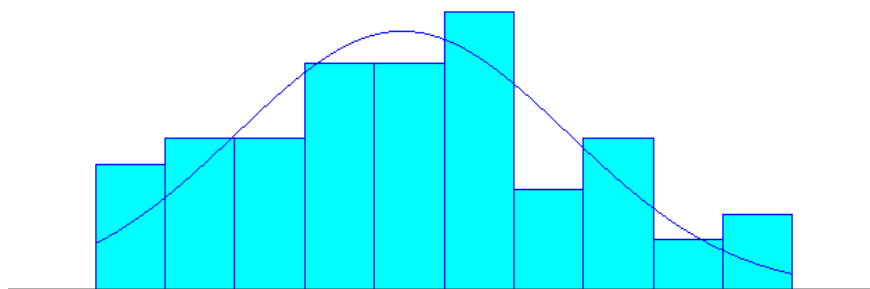
Distribution:	Normal
Expression:	$NORM(30.4, 11)$
Square Error:	0.010057

- Tiene Obra Social



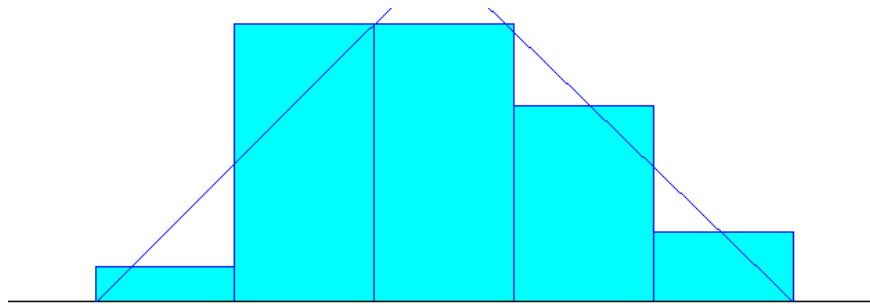
Distribution:	Triangular
Expression:	TRIA(1.5, 5.41, 11.5)
Square Error:	0.003933

- Pedido y Chequeo de Datos



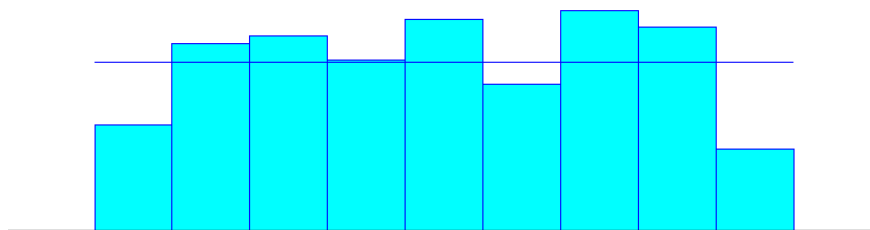
Distribution:	Normal
Expression:	NORM(60.1, 17.1)
Square Error:	0.007515

- **Generar Ficha**



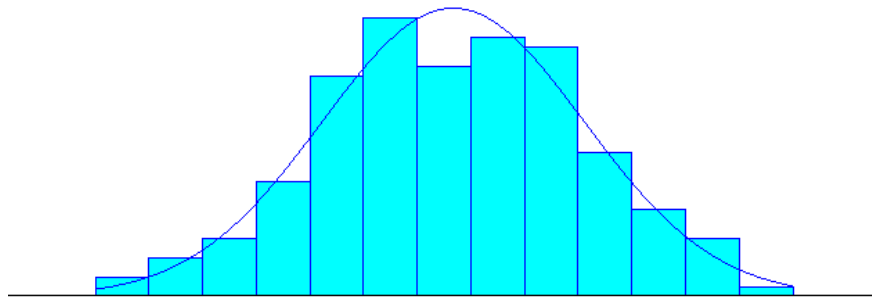
Distribution:	Triangular
Expression:	$\text{TRIA}(7.5, 9.96, 12.5)$
Square Error:	0.009430

- **Tiene Turno**



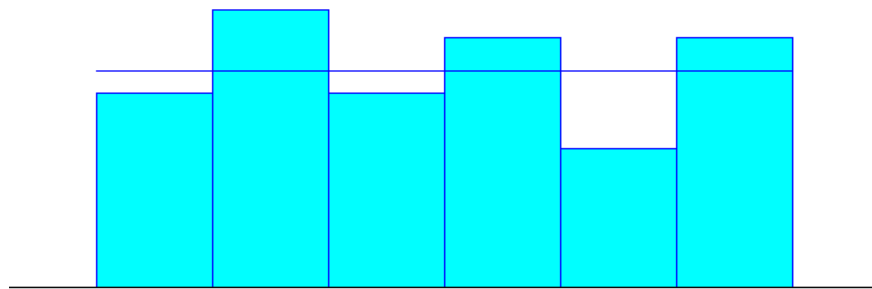
Distribution:	Uniform
Expression:	$\text{UNIF}(3.5, 12.5)$
Square Error:	0.008109

- **Datos Adicionales**



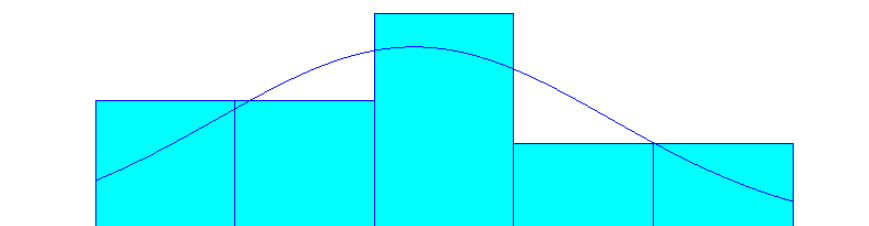
Distribution:	Normal
Expression:	$NORM(65.6, 23.6)$
Square Error:	0.001963

- **Pedido y Chequeo de Datos**



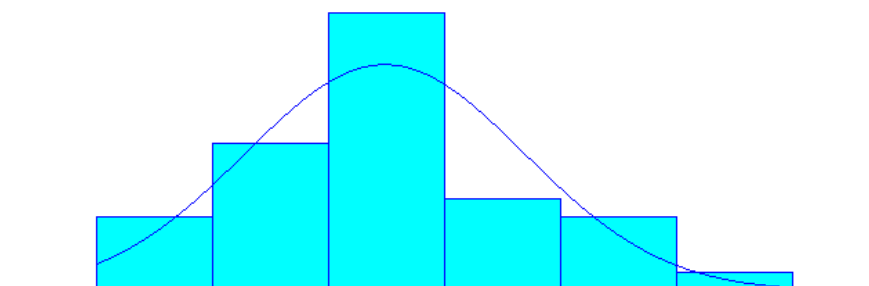
Distribution:	Uniform
Expression:	$UNIF(265, 440)$
Square Error:	0.007620

- **Chequeo de Datos con Obra Social**



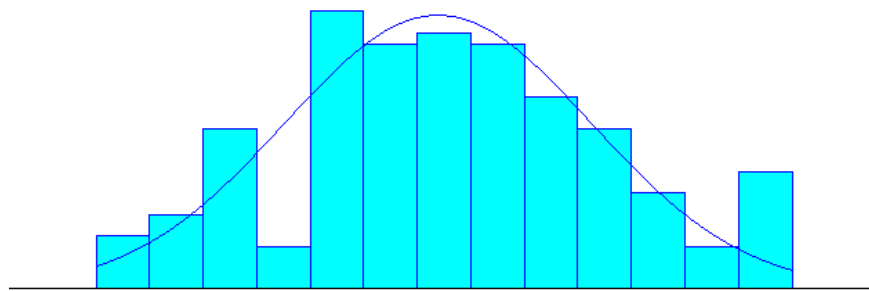
Distribution:	Normal
Expression:	$\text{NORM}(117, 27.1)$
Square Error:	0.056173

- **Pago**



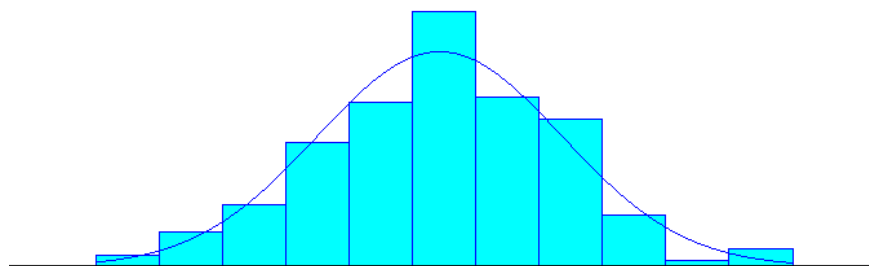
Distribution:	Normal
Expression:	$\text{NORM}(84.4, 23.5)$
Square Error:	0.017318

- **Medir Fiebre**



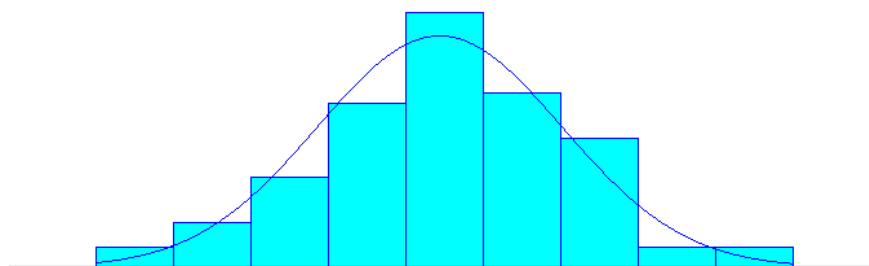
Distribution:	Normal
Expression:	$NORM(291, 38.5)$
Square Error:	0.007848

- **Medir Presión**



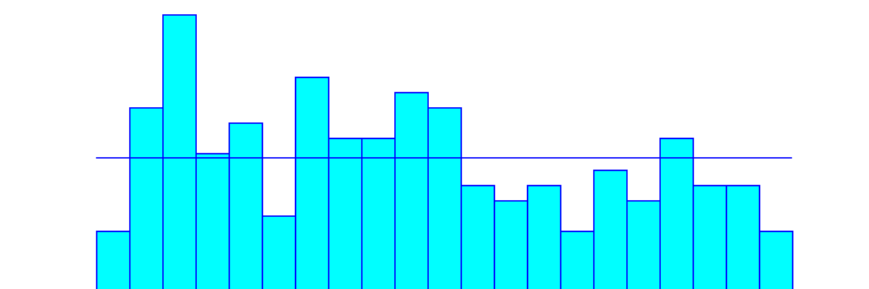
Distribution:	Normal
Expression:	$NORM(59.6, 9.66)$
Square Error:	0.003775

- **Altura y Peso**



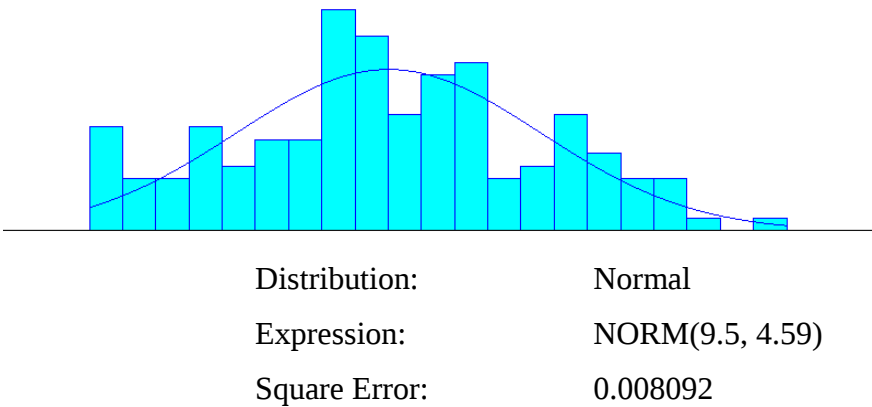
Distribution:	Normal
Expression:	$\text{NORM}(50.6, 9.18)$
Square Error:	0.004354

- **Completar Ficha**

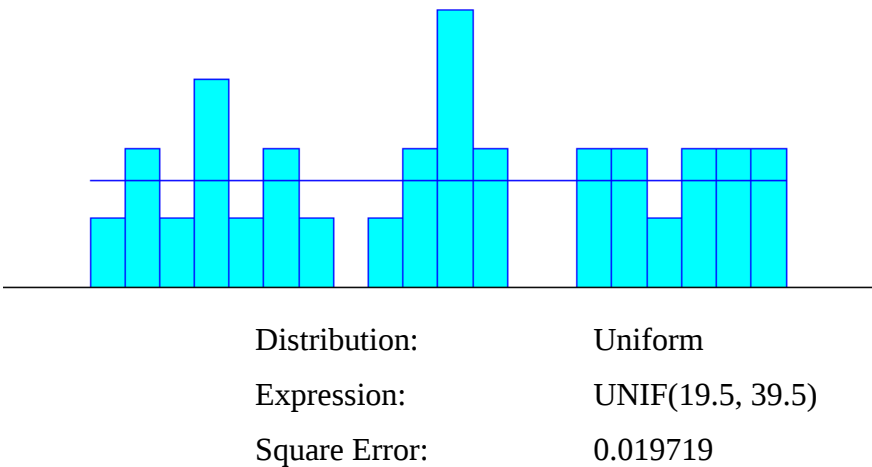


Distribution:	Uniform
Expression:	$\text{UNIF}(19.5, 40.5)$
Square Error:	0.008028

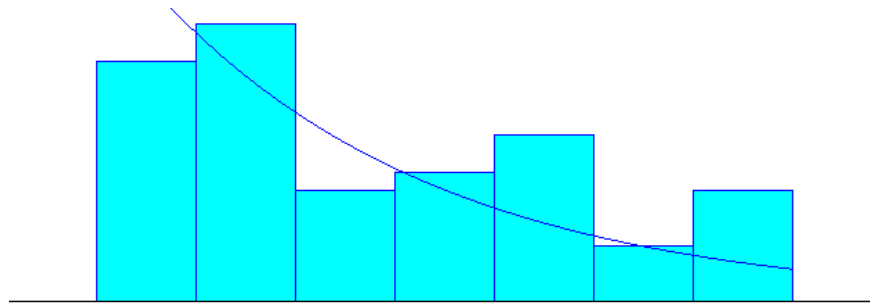
- Revisar Ficha



- Completar Datos Faltantes

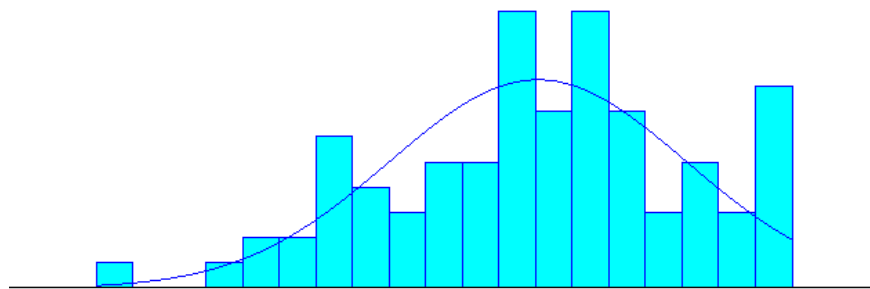


- **Charla con Paciente**



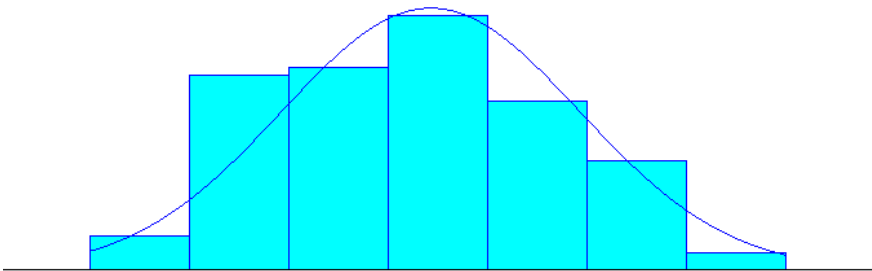
Distribution:	Exponential
Expression:	$60 + \text{EXPO}(97.9)$
Square Error:	0.020688

- **Revisar Reflejos**



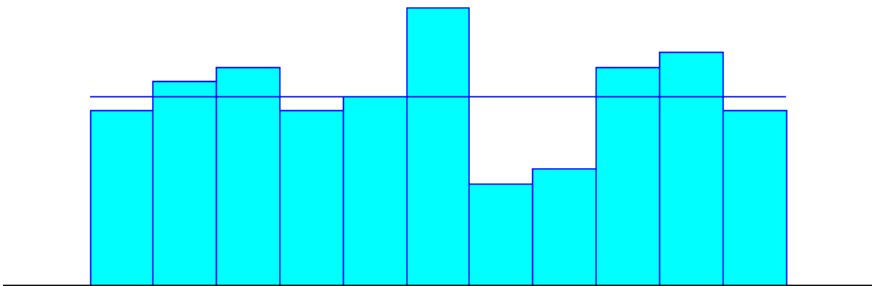
Distribution:	Normal
Expression:	$\text{NORM}(14.5, 4.06)$
Square Error:	0.012246

- **Revisar Torax**



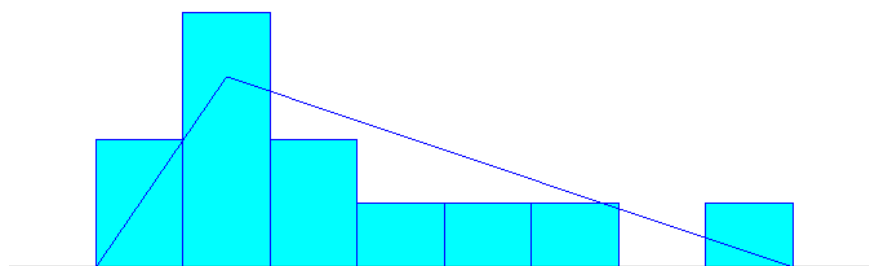
Distribution:	Normal
Expression:	NORM(79.2, 14.3)
Square Error:	0.006727

- **Otros Estudios**



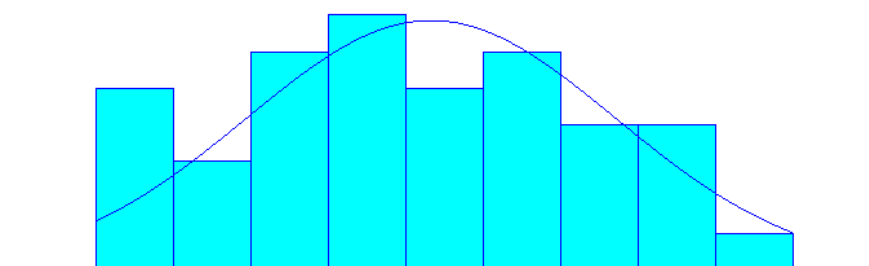
Distribution:	Uniform
Expression:	UNIF(33, 248)
Square Error:	0.005770

- **Vendar**



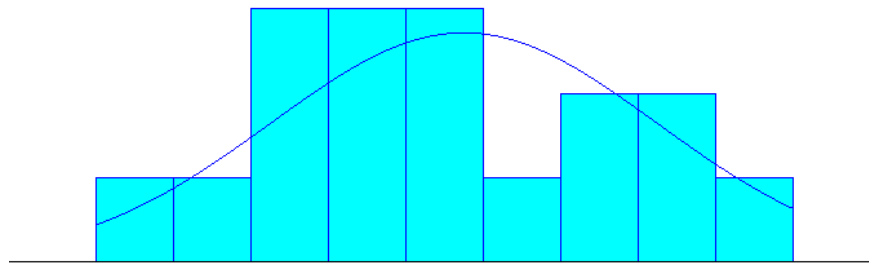
Distribution:	Triangular
Expression:	TRIA(270, 280, 500)
Square Error:	0.020853

- **Vacunar**



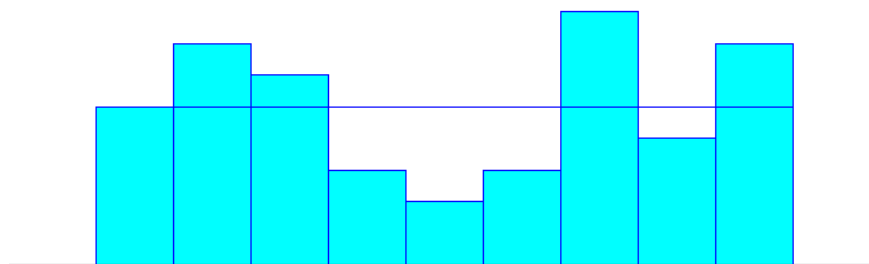
Distribution:	Normal
Expression:	NORM (88.9, 15.6)
Square Error:	0.009960

- **Derivar**



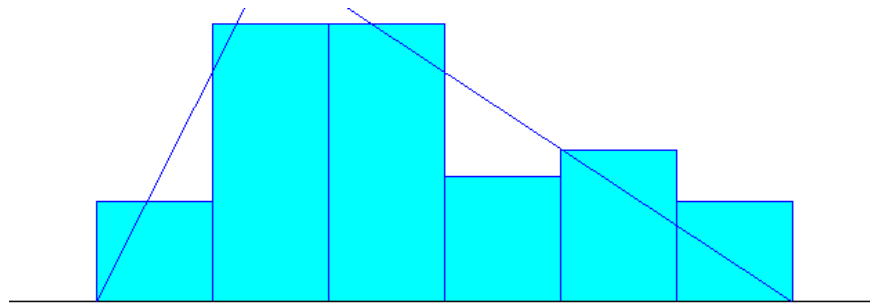
Distribution:	Normal
Expression:	NORM (58.9, 13.9)
Square Error:	0.015537

- **Receta Medicamento**



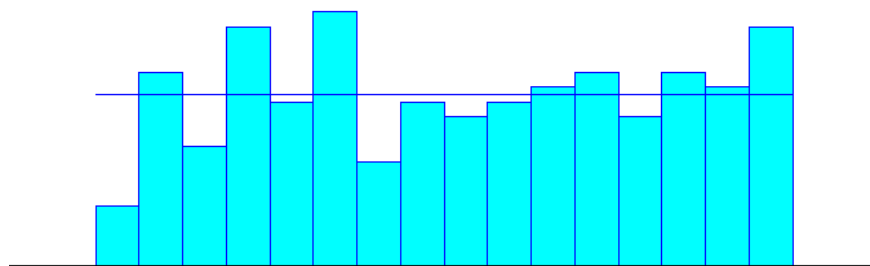
Distribution:	Uniform
Expression:	UNIF(30.5, 79.5)
Square Error:	0.024530

- **Plan de Vacunación**



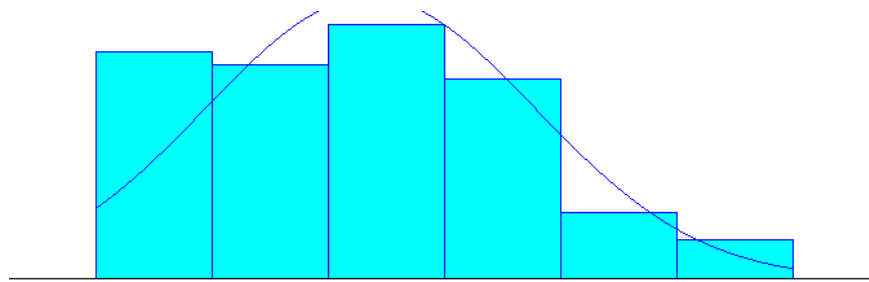
Distribution:	Triangular
Expression:	TRIA(19, 57, 171)
Square Error:	0.009952

- **Recomendación**



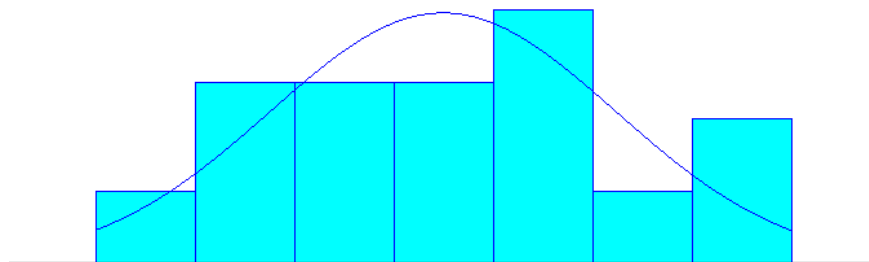
Distribution:	Uniform
Expression:	UNIF(29.5, 80.5)
Square Error:	0.004081

- **Programación de Próxima Visita**



Distribution:	Normal
Expression:	$\text{NORM}(42.9, 6.87)$
Square Error:	0.055487

- **Otras Consultas**



Distribution:	Normal
Expression:	$\text{NORM}(35.9, 7.19)$
Square Error:	0.031788

c) Animaciones

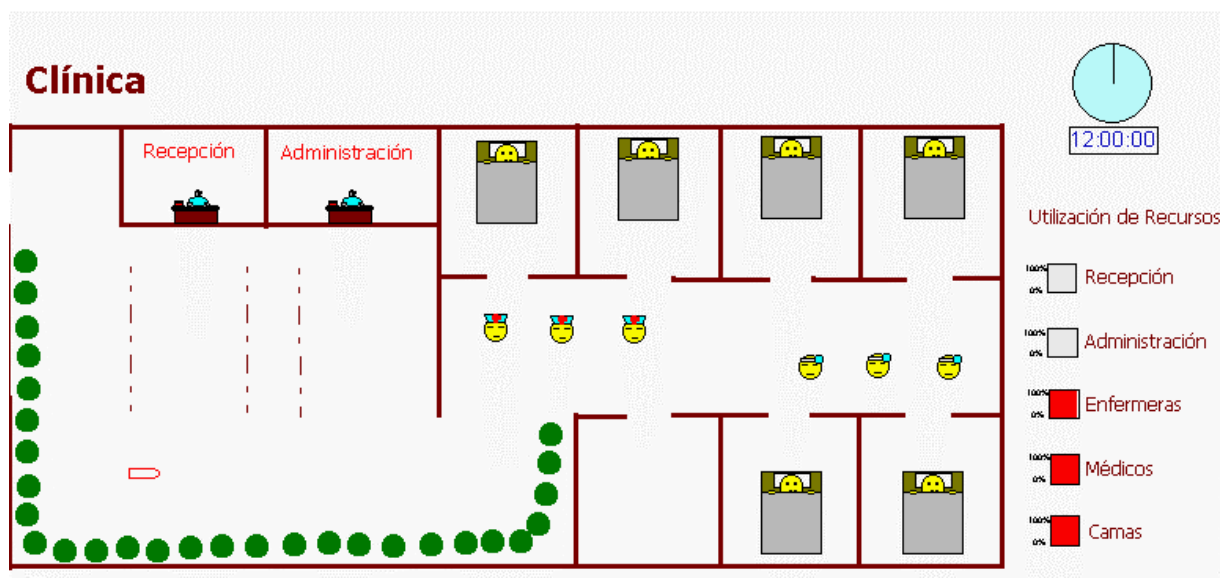


Figura 9.1. Modelo con 6 camas.

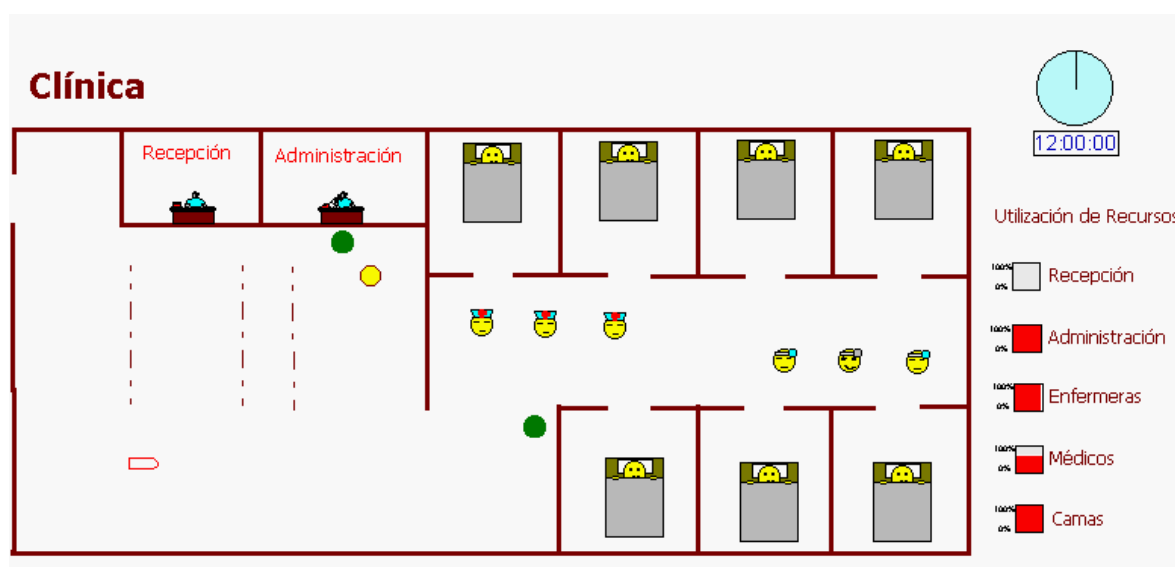


Figura 9.2. Modelo con 7 camas.