



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA TEORIA  
DE COLAS EN UN CENTRO MÉDICO DE  
CONSULTA EXTERNA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERIA  
(INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES)**

**P R E S E N T A :**

**ACT. MARÍA ESTHER AYALA IZAGUIRRE**

**TUTOR**

**DR. JUAN MANUEL ESTRADA MEDINA**

**2007**





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno  
Ayala  
Izaguirre  
María Esther  
55-23-83-37  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Postgrado de la Facultad de Ingeniería  
Investigación de Operaciones  
0774143-8
2. Datos del tutor  
Dr.  
Juan Manuel  
Estrada  
Medina
3. Datos del sinodal 1  
Dra.  
Idalia  
Flores  
De la Mota
4. Datos del sinodal 2  
Dra.  
Mayra  
Elizondo  
Cortes
5. Datos del sinodal 3  
Dr.  
Manuel  
Ordorica  
Collado
6. Datos del sinodal 4  
M.I.  
Rubén  
Téllez  
Sánchez
7. Datos del trabajo escrito.  
Análisis y aplicación de la teoría de colas en un centro médico de consulta  
externa  
193  
2007

A mi esposo Ismael, el compañero de toda mi vida por su comprensión y apoyo incondicional.

A mi hijo Ismael, por su invaluable ejemplo de tenacidad y empuje en la vida.

A mi hijo Juan Pablo, que gracias a él pude realizar este sueño.

A todos mis maestros con agradecimiento especial por transmitirme algo de su sabiduría.

# ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	
Descripción de la problemática	5
Hipótesis	6
Objetivos	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos	6
Preguntas de la investigación	6
Recolección de datos	7
Justificación	7
Alcance y limitaciones	7
CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	
1-1 Antecedentes	9
1.2 Situación actual del Centro	10
1.2.1 Mapa físico del lugar	10
1.2.2 Servicios y personal del Centro	13
1.3 Forma de atención de los pacientes	15
1.3.1 Laboratorio análisis clínicos	15
1.3.2 Alergias	15
1.3.3 Atención general	15
1.3.4 Llamadas telefónicas	16
CAPÍTULO 2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	
2.1 Introducción	17
2.2 Conceptos básicos de probabilidad y estadística	17
2.2.1 Variable aleatoria	17
2.2.2 Distribución de Poisson	17
2.2.3 Distribución Exponencial	18
2.2.4 El proceso de Poisson	18
2.2.5 Prueba de Bondad de Ajuste	20
2.2.5.1 La Prueba $\chi^2$	21

2.3	Teoría de colas	22
2.3.1	Definiciones generales de la teoría de colas	23
2.3.2	Objetivos de la teoría de colas	25
2.3.3	Características principales de la teoría de colas	25
2.3.3.1	Clientes	25
2.3.3.2	Llegadas	25
2.3.3.3	El proceso de colas o filas	26
2.3.3.4	Disciplina de la cola	26
2.3.3.5	Tasa de Servicio	27
2.3.3.6	Número de servidores	27
2.3.3.7	Proceso de salida	27
2.3.3.8	Costos	28
2.4	Tipos de colas	28
2.5	Algunos modelos de colas	30
2.6	Medidas de rendimiento o efectividad de las filas	31
2.6.1	Sistema M/M/1	31
2.6.2	Sistema M/M/c	34
2.7	Redes de colas	36
2.7.1	Tipos de redes de colas	37
2.7.1.1	Abiertas	37
2.7.1.2	Cerradas	38
2.7.2	Conceptos generales de las redes de colas	38
2.7.3	Red de Jackson	39
2.7.4	Medidas de rendimiento de la red de colas	40
2.7.5	Análisis por descomposición	42

### CAPITULO 3. ELEGIR, FUNDAMENTAR Y APLICAR LOS ANALISIS NECESARIOS A LA MUESTRA (Metodología)

3.1	Introducción	43
3.2	Recolección de la muestra	43
3.2.1	Diseño de la forma de extracción de los datos	43
3.2.1.1	Extracción de los datos de las llegadas de los pacientes	44
3.2.1.2	Extracción de los datos de la atención de los pacientes	55
3.3	Obtención de la muestra	56
3.3.1	Aplicación del procedimiento de selección	56
3.3.1.1	Presentación de los datos extraídos de las bases	56
3.3.1.2	Presentación de los datos del monitoreo	59
3.4	Aplicación de pruebas estadísticas para analizar los datos	68
3.4.1	Pruebas de los datos extraídos de las bases	68
3.4.2	Pruebas de los datos de monitoreo	72

3.5	Presentación de los resultados obtenidos	76
3.5.1	Resumen de los datos de las llegadas de los pacientes	76
3.5.2	Resumen de los datos de la atención de los pacientes	77

## CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS A LOS DATOS OBTENIDOS

4..1	Introducción	78
4.2	Características y elementos de las filas	79
4.2.1	Resultados obtenidos del análisis de datos	82
4.3	Análisis de las filas	84
4.3.1	Fila 1	85
4.3.2	Fila 2	90
4.3.3	Fila 3	94
4.3.3.1	Recepcionistas 2 y 3	94
4.3.3.2	Recepcionistas 4 y 5	99
4.3.4	Fila 4	103
4.3.4.1	Recepcionista 1	103
4.3.4.2	Recepcionista 6	106
4.3.5	Fila 5	108
4.4	Cálculo por recepcionista	111
4.4.1	Recepcionista 2	112
4.4.2	Recepcionista 3	113
4.4.3	Recepcionista 4	114
4.4.4	Recepcionista 5	115
4.5	Red de colas	117

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
--------------------------------	-----

## ANEXOS

Introducción	125
A.1 Pruebas de las distribuciones de las llegadas de los pacientes	126
A.2 Pruebas de las llegadas de los pacientes al laboratorio	136
A.3 Pruebas de las distribuciones de la atención en los diferentes servidores	148
A.4 Medidas de rendimiento de la red	164
A.5 Reporte para ser presentado a los directivos del centro médico	175
A.6 Tabla de la $\chi^2$	190

BIBLIOGRAFIA	193
--------------	-----





## RESUMEN

En el presente trabajo de tesis se expone el desarrollo de una investigación en un Centro Médico ubicado en la Ciudad de México. Por sus características e historia, el Centro ha ido tomando la configuración actual sin ningún estudio previo de operaciones, por lo mismo ha ido creciendo podíamos decir de manera empírica, habiendo muchos espacios para poder mejorar y optimizar los recursos tanto humanos como económicos.

En este Centro se atiende a pacientes de consulta externa en diversas especialidades, estudios de laboratorio, así como rayos X y ultrasonido. Por esta razón se forman filas de los pacientes esperando a recibir el servicio. Como una de las principales preocupaciones de los directivos es el dar una atención de calidad tanto a los pacientes como el dotar a los médicos que ejercen su profesión en este Centro, de los elementos necesarios para elevar ese nivel de atención, se analizó y estudió el comportamiento de estas filas desde que llegan los pacientes al Centro, hasta que lo abandonan, aplicando la teoría de colas, para así evaluar su comportamiento y que los directivos tengan los elementos necesarios para la toma de decisiones y puedan diseñar estrategias para su mejor funcionamiento.

## INTRODUCCIÓN

- **Descripción de la problemática**

El escenario en donde se realizó el estudio es de la rama médica como se mencionó anteriormente, en el área de la consulta externa. Las empresas de este ramo se encuentran con diferentes problemáticas relacionadas con los controles de higiene y calidad, pedidos por las Secretarías de Salud, Ecología y Protección Civil. En estas áreas el Centro cumple con todo lo estipulado por dichas Secretarías.

A partir de las crisis económicas de México, el sector salud es uno de los más afectados, por esta razón este tipo de Centros ha tenido mucha demanda por parte de la población, lo que hace necesaria una planificación adecuada para poder atender al mayor número de personas.

Por otro lado, una tendencia que se está dando en la población es que los pacientes ya no buscan atenderse con un médico que ejerce su profesión o especialidad en un consultorio aislado. Ahora las personas suelen buscar lugares para atenderse en donde haya doctores de las diferentes especialidades para así poder resolver sus problemas de salud en un solo sitio.

En cuanto a la parte operativa nunca se ha realizado un estudio para analizar los procedimientos y las actividades diarias. Se podrían realizar diversos estudios y análisis para así conducir a una mejor operación del Centro. Entre ellos se encuentran: el uso óptimo de la capacidad del Centro, así como el completo aprovechamiento de las instalaciones, también se podría examinar el equilibrio de las diferentes especialidades, estudiar la razón por la cual algunos días asisten más pacientes que otros o el porqué es diferente la afluencia de pacientes en la mañana y en la tarde. También de las bases de datos de los pacientes se podrían analizar edad y sexo de los registrados, lugar de residencia, situación económica, etc. Asimismo, rendimiento y suficiencia del personal y muchos otros aspectos más.

De todos los problemas antes enumerados que podrían ser investigados, el que se eligió para este estudio fue el análisis de las "líneas de espera" que hacen los pacientes para obtener el servicio. Esta investigación les dará a los directivos los elementos necesarios para poder tomar decisiones de los cambios pertinentes o poder confirmar la eficiencia del actual sistema.

Esta investigación fue del tipo evaluativa.

Este tipo de investigación se utiliza para determinar si un objeto, método o proceso es útil o necesita modificación (líneas de espera del Centro). Parte de un patrón o paradigma que permite hacer comparaciones (teoría de colas). Se basa en la construcción de escalas y necesita del conocimiento del terreno en que va a efectuarse la evaluación (escenario).

- **Hipótesis**

Los resultados que se obtengan del análisis de las líneas de espera ofrecerán a los directivos una base sólida para una toma de decisiones, y tendrán contacto con un estudio estructurado sobre las problemáticas de operaciones.

- **Objetivos**

- Objetivo general.

Describir adecuadamente el sistema de las líneas de espera, para que los directivos tengan los elementos necesarios para la toma de decisiones.

- Objetivos específicos

- Recopilación de la información para la investigación.
- Utilización del software necesario para la recopilación y acomodo de la información.
- Elaboración de la estrategia para la medición de los tiempos de atención.
- Estudio de la teoría de apoyo para llevar al cabo la investigación.

- **Preguntas de la investigación**

- ¿Funciona óptimamente el sistema actual de colas de este Centro Médico?
- ¿Qué patrón o característica muestran estas líneas de espera?
- ¿Cuánto tiempo permanecen los pacientes en las colas?
- ¿Es suficiente el personal para la atención?
- ¿Se puede optimizar el servicio y el costo de operación?

- **Recolección de datos**

Las fuentes de la información fueron primarios de los siguientes tipos:

- Personales

Recopilación en la empresa de los datos necesarios: Especialidades, doctores, horarios de los doctores, cantidad de flujo de pacientes, etc.

- Con característica mixta

Observaciones en los diferentes horarios y días de la semana del comportamiento de las líneas de espera que realizan los pacientes.

- **Justificación**

El Centro Médico es una empresa dedicada al servicio y atención a pacientes de diferentes especialidades. El servicio de calidad es una prioridad de la empresa, por ello es importante hacer un estudio para evaluar la atención que se les está brindando a los pacientes y así poder encontrar mecanismos para brindarles una mejor atención, como si es posible, optimizar recursos económicos y humanos.

- **Alcance y limitaciones**

La investigación se llevó al cabo en un Centro Médico localizado en el Distrito Federal. Se recopiló y analizó los datos obtenidos de la llegada de los pacientes, así como de la atención de los mismos.

Para elaborar este análisis y aplicación, nos basamos en el estudio de la teoría de colas o líneas de espera.

Las características de las líneas de espera en este caso particular, son de varios servidores, con capacidad ilimitada (infinita). Están formadas de varias fases de espera. Estas características hacen que se forme una red de colas.

Para realizar este estudio, se investigó en la empresa la siguiente información:

- 1.- Cantidad de pacientes atendidos durante un año.
- 2.- Tiempo entre llegadas.
3. Tiempo de servicio
- 4.- Ocupación de las filas.
- 5.- Ruta de la red.
- 6.- Tasa de transición de un nodo a otro.

Durante cada horario hay diferentes especialidades, no asisten todos los doctores en todos los horarios, por esta circunstancia hay un flujo de atención de pacientes diferente en cada horario y en cada día de la semana.

Una limitación, es que el estudio se realizó en un Centro con características propias, por lo cual se podría considerar que será de utilidad sólo para este Centro, no obstante la metodología aplicada en el estudio puede servir de base para otras investigaciones similares, en donde estén involucradas colas o redes de colas.

Es importante señalar que los datos usados para el presente trabajo corresponden a los del año 2005. Se intentó actualizar los datos, pero al ser poco significativa la diferencia se utilizaron los datos originales del 2005.

Los pasos que se siguieron fueron los siguientes:

- 1.- Recopilación de los datos necesarios, tanto de las bases de datos como de la observación directa.
- 2.- Elaboración de un programa para llevar al cabo el punto anterior.
- 3.- Organización y presentación de los datos obtenidos.
- 3.- Análisis del comportamiento de los datos.
- 4.- Aplicación de las fórmulas de la teoría de colas a dichos datos.
5. Conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO 1

### DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

#### 1.1 Antecedentes

Por razones de confidencialidad tanto para el Centro como para los doctores y personas que laboran en este, de aquí en adelante se mencionará sólo el Centro, y a los doctores y recepcionistas se les denotará con un número.

Este Centro fue fundado originalmente en la década de 1940, por una persona amante de la educación de los jóvenes, el proyecto era dar un apoyo a la Escuela de Medicina de la U.N.A.M.. Como ésta se encontraba en el centro de la ciudad de México, este Centro empezó a operar en su cercanía. Sus principales actividades fueron experimentos en laboratorios, conferencias, impartición de clases, así como de una amplia biblioteca con libros para consulta.

Cuando se cambio la escuela de Medicina a las actuales instalaciones de la U.N.A.M., el Centro se trasladó a una colonia cercana a Ciudad Universitaria. Durante algún tiempo siguió apoyando a la Facultad de Medicina, pero la U.N.A.M. cambió sus metodologías y empezó a mandar a sus alumnos a hospitales, entonces el Centro ya no era necesario para los fines que había sido fundado. Algunos de los maestros le pidieron al dueño les prestara un salón de clases para dar consulta, eran alrededor de cinco doctores en un edificio de tres pisos, también la química solicitó un laboratorio para la elaboración de análisis clínicos.

Hace 30 años se planeó darle vida de nuevo con otro giro diferente. Pensaron en convocar a más médicos que estuvieran dispuestos a dar parte de su tiempo para atender a personas con pocos recursos económicos, cobrando simbólicamente las consultas. También se hicieron algunas remodelaciones y fueron adaptando los salones de clases y laboratorios en consultorios.

Con las crisis económicas de nuestro país cada vez fueron más pacientes de la clase media los que buscaban los servicios médicos. Actualmente son muy pocas las personas de pocos recursos que se atienden en el Centro, la mayoría de los pacientes que asisten, pertenecen a la clase media.

## 1.2 Situación actual del Centro

A continuación se presentan algunos diagramas que ilustran la distribución de los espacios físicos del Centro, y un dibujo que representa las colas que se forman.

### 1.2.1 Mapa físico del lugar

Planta baja

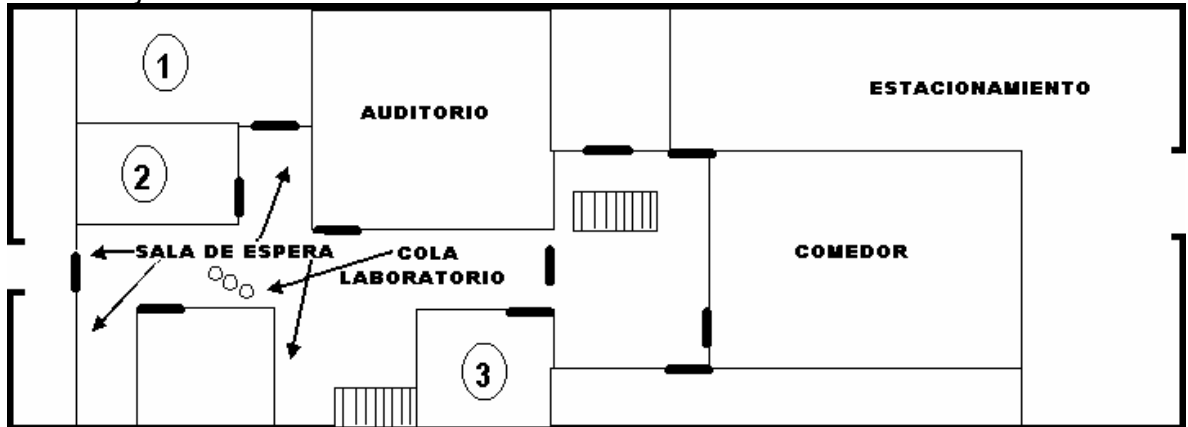


Fig 1.1 Elaboración de la autora

Total 3 consultorios.

Primer piso



Fig 1.2 Elaboración de la autora

Total 9 consultorios

Segundo piso

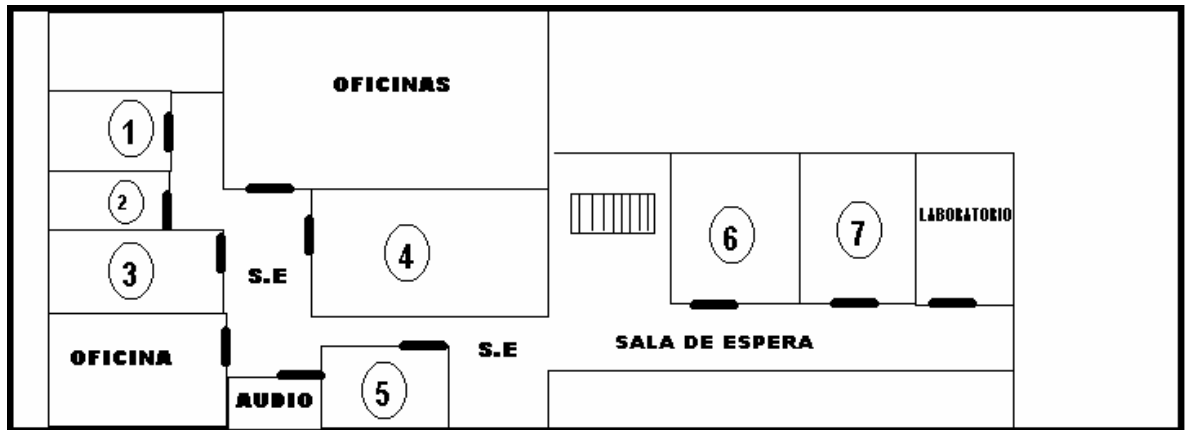


Fig 1.3 Elaboración de la autora

Total 7 consultorios y audiometría.

Tercer piso

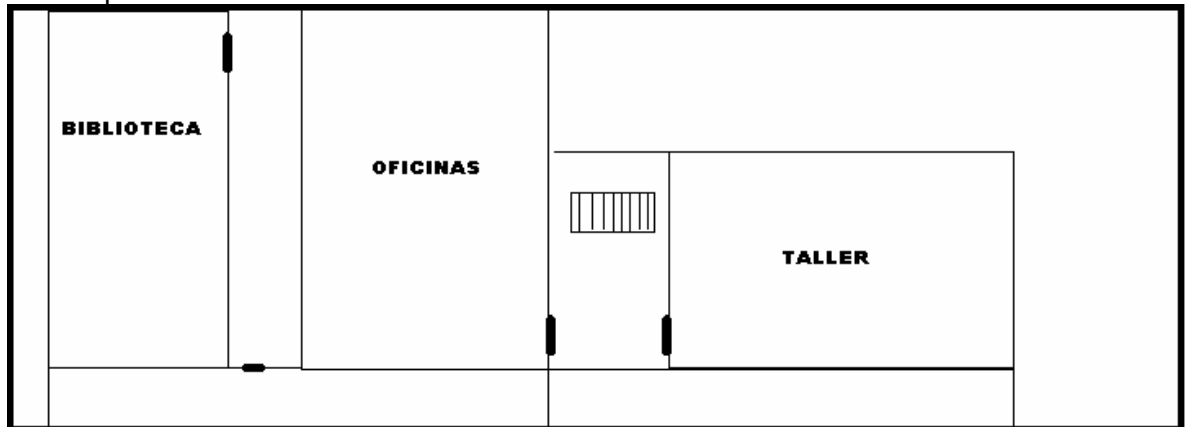
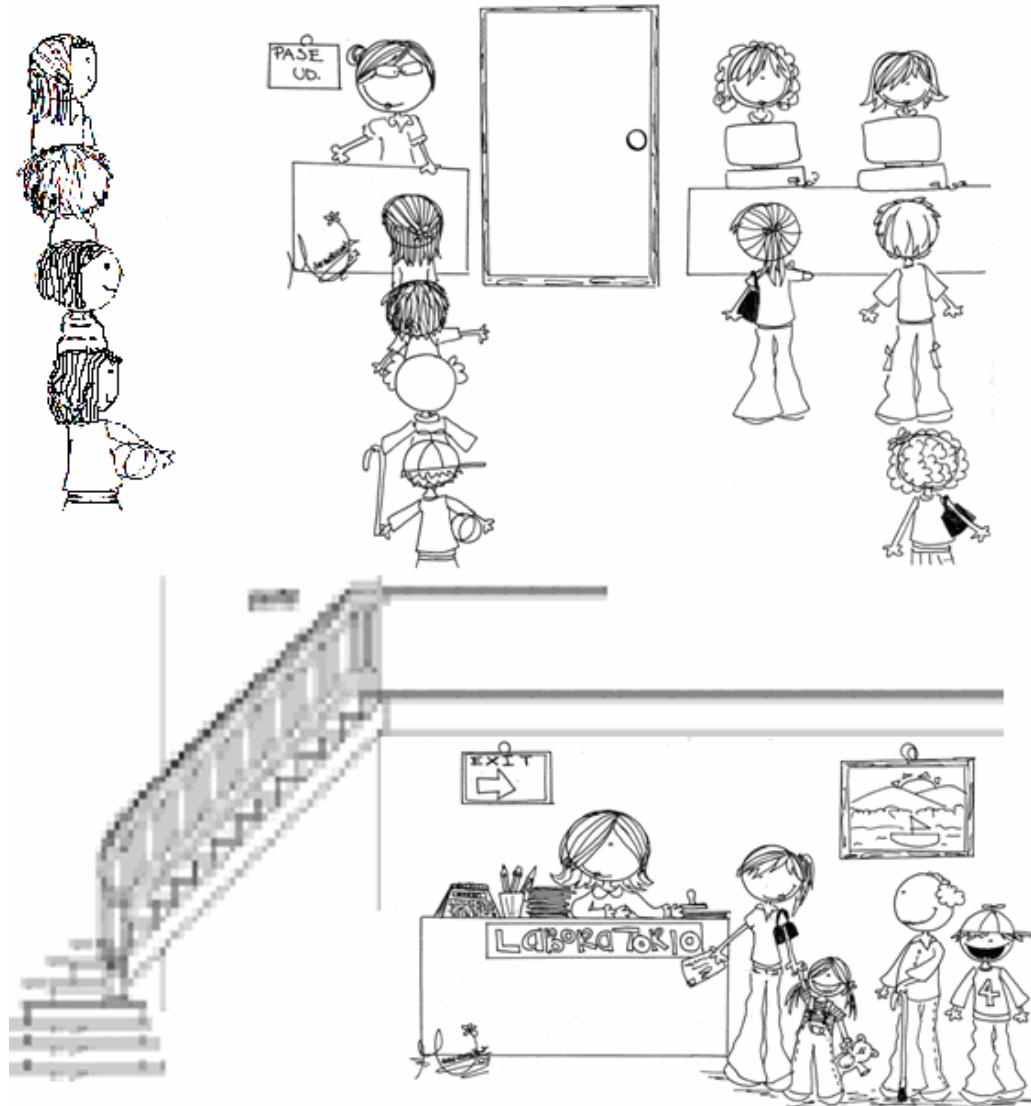


Fig 1.4 Elaboración de la autora



## Colas del Centro

### Atención Doctores



### Atención Laboratorio

Fig.1.5 Marigabrielle Meneses Ayala

## 1.2.2 Servicios y personal del Centro

Actualmente el Centro cuenta con:

- Especialidades

ESPECIALIDAD	No. DOCTORES
ALERGIAS	3
ANGIOLOGÍA	2
CARDIOLOGÍA	4
DERMATOLOGÍA	2
ENDOCRINOLOGÍA	2
GASTROENTEROLOGÍA	8
GERIATRÍA	1
GINECOLOGÍA	4
MEDICINA GENERAL	3
MEDICINA INTERNA	2
NEUMOLOGÍA	1
NEUROLOGÍA	1
NUTRIOLOGÍA	1
ODONTOLOGÍA	4
OFTALMOLOGÍA	1
ONCOLOGÍA	1
ORTOPEDIA	4
OTORRINOLARINGOLOGÍA	4
PEDIATRÍA	5
PSICOLOGÍA	3
PSIQUIATRÍA	1
REUMATOLOGÍA	1
UROLOGÍA	1

- Servicios

SERVICIOS	No TRABAJADORES
TERAPIA FÍSICA	1a. Técnica
AUDIOMETRÍAS	1 Técnico
ELECTROCARDIOGRAMAS	Los mismos cardiólogos o alguna enfermera
LABORATORIO	Una química y una bióloga
RAYOS X	Un Técnico
ULTRASONIDO	2 Doctores

- Horarios

	Mañana	Tarde
Lunes a jueves	9 a 13:30	3:30 a 8:30
Viernes	9 a 13:30	3:30 a 7:00
Sábados	9 a 13:30	

- Doctores

Los doctores asisten en diferentes horarios y días de la semana.

Doctores	59
----------	----

- Empleados

Cuenta con 30 empleados fijos y un grupo que suplen en caso de incapacidad.

El personal del Centro está dividido en dos turnos las recepcionistas de la mañana y otras para la tarde. Por esta razón el estudio de las líneas de espera se realizó separando la mañana de la tarde.

Empleados	
Enfermeras	6
Recepcionistas	13
Administración	11

- Bases de datos

Pacientes registrados

Una con 48,802
La otra con 11,731

- Consultorios

Consultorios	19
--------------	----

### 1.3 Forma de atención a los pacientes

La atención que se brinda esta separada en varias secciones, en las cuales se generan ciertas colas.

#### 1.3.1 Laboratorio de análisis clínicos

Los pacientes llegan de forma aleatoria, es decir, sin previa cita, y hacen fila conforme van llegando, se les atiende en el mismo orden en que llegan. La hora de atención es de 8:30 a.m. a 10:30 a.m.

Si algún paciente requiere el recibo con datos fiscales diferentes a los suyos, después de ser atendido, tiene que subir al primer piso para que le elaboren su recibo, por lo general son pocos los pacientes que solicitan este servicio. Los demás salen del Centro después de ser atendidos en el laboratorio.

#### 1.3.2 Alergias

Los pacientes que van a atenderse por alguna alergia, llegan directamente al segundo piso en donde no hay cola por el intervalo en el que son citados, al terminar la consulta bajan al primer piso por su recibo en donde sí hacen cola.

#### 1.3.3 Atención general

De los 59 doctores que tiene el Centro, algunos piden que se hagan las citas previamente a la consulta y otros reciben conforme van llegando los pacientes, poniendo un límite de atención diaria.

Los pacientes llegan de forma aleatoria (tanto los citados como los no citados, así como los que vienen a pedir informes) al primer piso en donde hay dos recepcionistas que los atienden, si llega un paciente y no hay nadie en la cola lo atienden de inmediato, de lo contrario se forma en la fila. Los que van a consulta con algún doctor una vez que son atendidos tienen que ir a otra fila en donde hay una recepcionista que les cobra y elabora el recibo, después se van a una sala de espera mientras son llamados por los diferentes doctores, los que van a pedir informes una vez atendidos se van a la calle.

Cuando termina la consulta, la mayoría abandona el Centro y sólo algunos regresan a la fila de la recepción para pedir otra consulta o para pedir informes.

### **1.3.4 Llamadas telefónicas**

Otra forma de atención a los pacientes es por medio del teléfono ya sea para dar informes o para realizar una cita con algún doctor.

Como podemos apreciar hay diferentes colas que se generan en este Centro:

- 1 Recepción de Laboratorio.
- 2 Atención en el laboratorio.
- 3 Recepcionistas del primer piso.
- 4 Recepcionista de la caja.
- 5 Espera para ser atendidos por los doctores.
- 6 La cola en las líneas telefónicas.

En el presente trabajo se analizaron las colas que se generan del punto uno al cinco. El estudio de las colas en las líneas telefónicas se deja para otra investigación, ya que requiere de otra dinámica para su análisis.

## CAPÍTULO 2

### CONCEPTOS FUNDAMENTALES

#### 2.1 Introducción

En este capítulo se exponen todos los aspectos teóricos, conceptos y procedimientos que fueron necesarios para llevar al cabo la investigación.

Primero se establecen los principios básicos de probabilidad y estadística, como son las distribuciones de probabilidad usadas en la investigación, así como sobre las pruebas de bondad de ajuste. Además, un breve análisis de la teoría de colas, sus diferentes características, componentes y condiciones necesarias, y también sobre las redes de colas.

#### 2.2. Conceptos básicos de probabilidad y estadística

Los conceptos de este apartado están basados en “A First course in probability”; Sheldon Rose; 1998 y en “Introduction to probability theory”; de Paul G. Hoel Houston Mifflin.

##### 2.2.1 Variable aleatoria

Es una función que refleja el resultado de un experimento, asociando un valor numérico a cada elemento del espacio muestral.

Lo que interesa de una variable aleatoria es el saber:

- ❖ En el intervalo de valores en donde está definida la función, ¿Cómo se distribuyen las probabilidades?
- ❖ Alrededor de qué valor esperamos el resultado.
- ❖ Cómo es su variabilidad.

##### 2.2.2 Distribución de Poisson

Esta distribución es muy frecuente en los problemas relacionados con la investigación operativa, sobre todo en el área de la gestión de colas. Suele describir, una variable aleatoria discreta que tiene valores enteros no-negativos.

La variable aleatoria  $x$  tiene una distribución Poisson, con parámetro  $\lambda$ , su función de densidad es:

$$P(x, \lambda) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}$$

Donde:

$P(x, \lambda)$  = probabilidad de que ocurran  $x$  éxitos, cuando el número promedio de ocurrencia de ellos es  $\lambda$

$\lambda$  = media o promedio de éxitos por unidad de tiempo, área o producto

$\lambda$  = varianza.

$e = 2.718...$

$x$  = variable que denota el número de éxitos que se desea que ocurran

En esta distribución el número de éxitos que ocurren por unidad de tiempo, área o producto es totalmente al azar y cada intervalo de tiempo es independiente de otro intervalo dado, así como cada área es independiente de otra área dada y cada producto es independiente de otro producto dado.

### 2.2.3 Distribución Exponencial

La variable aleatoria  $x$  tiene una distribución exponencial, con parámetro  $\lambda$ , si su función de densidad es:

$$F(x) = \lambda e^{-\lambda x} \text{ si } x > 0$$

Media

$$\mu = \frac{1}{\lambda}$$

Varianza

$$Var = \frac{1}{\lambda^2}$$

### 2.2.4 El proceso de Poisson

La distribución de Poisson describe las llegadas por unidad de tiempo y la distribución exponencial estudia el tiempo entre cada una de estas llegadas. Si las llegadas son de Poisson, el tiempo entre ellas es exponencial. La distribución de Poisson es discreta, mientras que la distribución exponencial es continua, porque el tiempo entre llegadas no tiene por qué ser necesariamente un número entero. Esta distribución se usa mucho para describir el tiempo entre eventos, específicamente, la variable aleatoria que representa el tiempo necesario para servir a la llegada.

A continuación presentamos un esquema de este proceso.

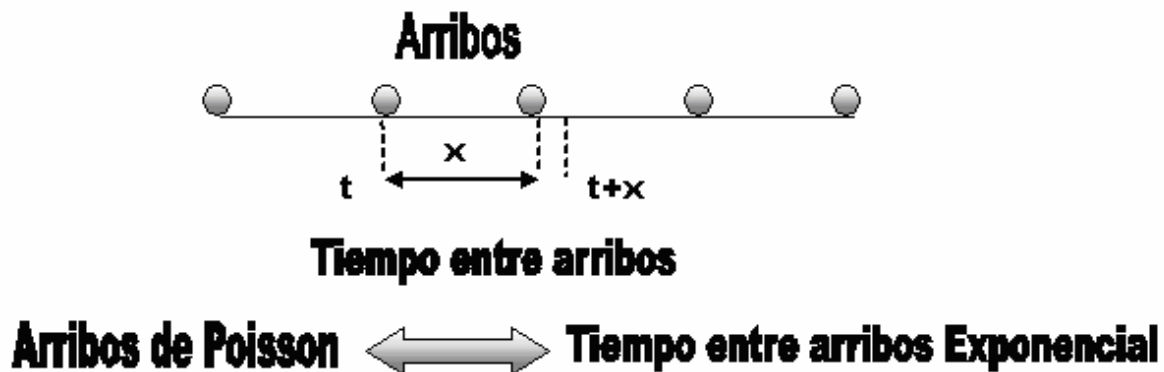


Fig. 2.1 Elaborado por la autora

Es un proceso de sucesos independientes que tiene las siguientes características:

1. El número de resultados que ocurren en un intervalo de tiempo o región específicos es independiente del número que ocurre en cualquier otro intervalo disjunto de tiempo o región del espacio disjunto.
2. La probabilidad de que un suceso ocurra en un intervalo de tiempo o en una región es proporcional a la longitud del intervalo de tiempo o al tamaño de la región.
3. La probabilidad de que más de un resultado ocurra en un intervalo de tiempo muy pequeño  $h$  es  $0$  ó en una región muy pequeña es despreciable.

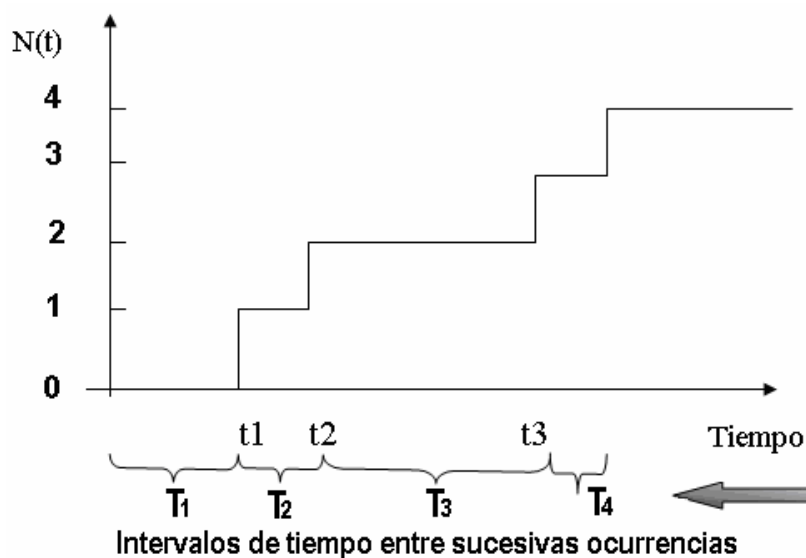


Fig.2.2 Elaboración de la autora



Las aplicaciones más importantes de la distribución exponencial son aquellas situaciones en donde se aplica el proceso de Poisson. La distribución de Poisson se utiliza para calcular la probabilidad de números específicos de “eventos” durante un período o espacio particular. En muchas aplicaciones, el período o la cantidad de espacio es la variable aleatoria. Por ejemplo, el interés es saber el tiempo  $T$  entre llegadas en una cola determinada. Una llegada representa un evento de Poisson.

La media de la distribución exponencial es el recíproco del parámetro en la distribución de Poisson.

Media exponencial

$$\mu = \frac{1}{\lambda}$$

Media Poisson

$$\mu = \lambda$$

Otra característica importante de la distribución de Poisson es que no tiene *memoria*, lo que significa que las ocurrencias en períodos de tiempo sucesivos son independientes.

### 2.2.5 Prueba de Bondad de Ajuste

Este apartado está basado principalmente en “Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y Métodos”; Canavos, G. C ;McGraw Hill, 1988.

En la mayor parte de los sistemas en los cuales se analiza la información, ésta se encuentra disponible en forma de series a través del tiempo. Esta información, tabulada en dicho formato no es de utilidad cuando se trata de identificar un patrón que muestra un cierto comportamiento probabilístico, basado en la variación de la información. Por tanto, si se desea examinar el comportamiento de la información, es necesario modificar la forma de presentación de los datos y presentarla como tablas de frecuencia, y así poder realizar una prueba de bondad de ajuste.

Las pruebas de “*bondad de ajuste*” son pruebas que permiten ver el grado de *ajuste* de las funciones de distribución de probabilidad a los datos observados, esto se logra comparando los valores teóricos y muestrales de las funciones de frecuencia relativa o de frecuencia acumulada con las frecuencias relativas o acumuladas de los datos observados.

Una prueba de bondad de ajuste involucra el análisis de una muestra aleatoria de alguna distribución desconocida ( $F(x)$ ) con objeto de probar la hipótesis nula ( $H_0$ ) de que la distribución desconocida ( $F(x)$ ) es de hecho conocida y corresponde a una

distribución específica ( $F'(x)$ ). Es decir la hipótesis nula define una distribución  $F'(x)$  (conocida).

Dada una muestra  $X_1, X_2, \dots, X_n$  de variables aleatorias idénticamente distribuidas, con una distribución  $F(x)$  (desconocida), lo que se busca es encontrar un modelo que explique los datos con una distribución conocida ( $F'(x)$ ). Por ejemplo, lo que interesa es el ver hasta qué punto es razonable suponer que los datos provienen de una cierta distribución  $F'(x)$  (conocida).

Si se desea conocer el comportamiento, como ya se mencionó es necesario modificar la forma de presentación de los datos y presentarla como tablas de frecuencia, con la finalidad de realizar cualquiera de las siguientes pruebas:

- Prueba de bondad de ajuste  $\chi^2$ .  
Se puede realizar tanto en funciones continuas como discretas, no se puede realizar para muestras menores a 30 datos.
- Prueba de Kolgomorov – Smirnov.  
Se puede realizar solo en funciones continuas puede aplicarse con muestras menores a 30 datos

En el presente trabajo se tienen tanto funciones continuas como discretas, por lo mismo se eligió realizar las pruebas a los datos con la prueba de la  $\chi^2$

### 2.2.5.1 La prueba $\chi^2$

La metodología de la prueba  $\chi^2$  es la siguiente:

1. Se colocan los  $n$  datos históricos (al menos 30) en una tabla de frecuencias de  $m$  intervalos. Se obtiene la frecuencia observada en cada intervalo  $i$ , ( $FO_i$ ). Se calculan los parámetros necesarios.
2. Se propone una distribución de probabilidad ( $H_o$ ) de acuerdo con la forma de la tabla de frecuencias obtenida en el paso 1.
3. Con la distribución propuesta, se calcula la frecuencia esperada para cada uno de los intervalos ( $FE_i$ ) mediante la integración de la distribución propuesta y su posterior multiplicación por el número total de datos.

4. Se calcula el estimador:

$$C = \sum_{i=1}^m \frac{(FO_i - FE_i)}{FE_i}$$

5. Si el estimador  $C$  es menor o igual al valor correspondiente de la  $\chi^2$  con  $m - k - 1$  grados de libertad ( $k =$  número de parámetros estimados de la distribución) y a un nivel de confiabilidad de  $1 - \alpha$ , entonces no se puede rechazar la hipótesis de que la información histórica sigue la distribución propuesta en el punto 2.

### 2.3 Teoría de colas

Los conceptos y fórmulas de este tema fueron principalmente tomados del libro "Teoría de Colas y Simulación de Eventos Discretos"; José Juan Pazos Arias, Andrés Suárez González y Rebeca P. Díaz Redondo.

La teoría de colas o "líneas de espera", tiene como objetivo el estudio matemático del fenómeno (muy común en estos tiempos) de la espera organizada que debe hacer un cliente para la obtención de un servicio que presta un servidor. Por ejemplo cobrar un cheque en una institución bancaria, obtener la licencia para conducir, inscribirse en la maestría, etc. También existen tipos de espera que no son personas en una cola, como la espera que hacen en la producción los artículos a ser procesados en una fábrica, los datos en las redes de computadoras, etc.

En muchas organizaciones, existen problemas de colas. La principal razón de este fenómeno es la limitación en los recursos disponibles, para la atención de todos los clientes que buscan ser servidos por la organización. Tener que esperar no sólo es una molestia personal. El tiempo que la población de un país pierde en hacer colas es un indicador importante tanto en la calidad de vida como en la eficiencia de su economía.

El origen de la Teoría de Colas o Líneas de Espera se remonta a los estudios realizados en 1909 por Agner Krarup Erlang (Dinamarca, 1878 - 1929), para analizar la congestión en el sistema telefónico de Copenhague.

Sus investigaciones tuvieron como resultado una nueva teoría, llamada *teoría de colas* o de *líneas de espera*. Esta teoría es ahora una herramienta poderosa para estudiar problemas de valor en los negocios y la industria, debido a que muchos de sus problemas pueden caracterizarse, como problemas bajo el siguiente esquema: Entrada – Proceso - Salida.



Fig.2.3 Elaboración de la autora

La Teoría de Colas formula un modelo matemático del comportamiento de las líneas de espera. Las líneas de espera se presentan cuando *clientes* llegan a un lugar demandando un servicio el *servidor*, el cual tiene una capacidad de atención. Si el *servidor* no está disponible inmediatamente, y el cliente decide esperar, entonces se forma en la *línea de espera*.

El siguiente diagrama ilustra los componentes esenciales de las líneas de espera.

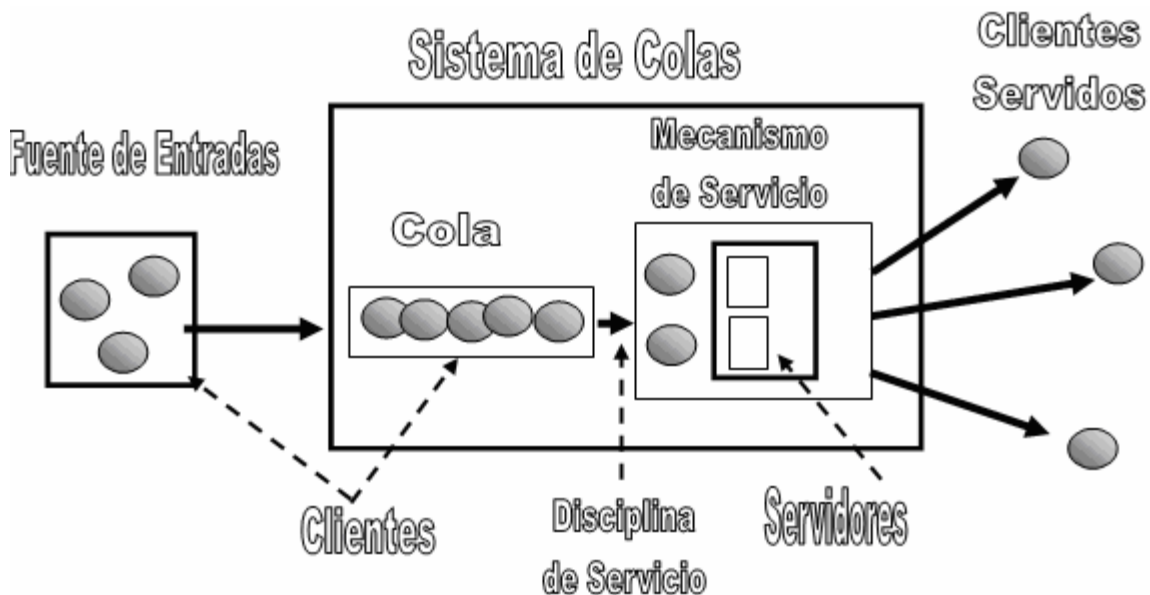


Fig.2.4 Elaboración de la autora

El problema fundamental de la teoría de colas es el determinar qué capacidad o tasa de servicio proporciona el balance correcto, entre *clientes* en el sistema y *clientes servidos*.

### 2.3.1 Definiciones generales de la teoría de colas

La teoría de colas es una colección de modelos matemáticos que describen sistemas de líneas de espera particulares. Estos modelos sirven para encontrar un buen equilibrio entre costos del sistema y tiempos promedio de la línea de espera para un sistema dado.

Asimismo, la Teoría de Colas estudia la espera en las distintas modalidades. Usa los modelos de colas para representar los tipos de sistemas de líneas de espera (sistemas que involucran colas de algún tipo) que surgen en la práctica. Las fórmulas para cada modelo indican cuál debe ser el desempeño del sistema correspondiente y señalan la cantidad promedio de espera que ocurrirá, en una gama de circunstancias.

Estos modelos de líneas de espera son muy útiles para determinar cómo operar un sistema de colas de la manera más efectiva. Proporcionar demasiada capacidad de servicios para operar el sistema implica costos excesivos; pero al no contar con suficiente capacidad de servicio la espera aumenta con todas sus desafortunadas consecuencias. Los modelos permiten encontrar un balance adecuado entre el costo de servicio y la cantidad de espera.

Con frecuencia, las empresas deben tomar decisiones respecto al caudal de servicios que deben estar preparadas para ofrecer. Sin embargo, muchas veces es imposible predecir con exactitud cuándo llegarán los clientes que demandan el servicio y/o cuánto tiempo será necesario para dar ese servicio; es por eso que esas decisiones implican dilemas que hay que resolver con información escasa. Estar preparados para ofrecer todo servicio que se nos solicite en cualquier momento puede implicar mantener recursos ociosos y costos excesivos. Pero, también, carecer de la capacidad de servicio suficiente causa colas excesivamente largas en ciertos momentos. Cuando los clientes tienen que esperar en una cola para recibir un servicio, están pagando un costo en tiempo más alto del que esperaban. Las líneas de espera largas también son costosas para la empresa ya que producen pérdida de prestigio y de clientes.

La teoría de colas en sí no resuelve directamente el problema, pero contribuye con información valiosa que se requiere para tomar decisiones. Se pueden conocer algunas de las características sobre la línea de espera, como: la probabilidad de que se formen, el tiempo de espera promedio, etc.

Elementos necesarios para aplicar los modelos de colas.

- El tamaño de la fuente de entrada y su distribución
- El tiempo entre llegadas y su distribución
- La disciplina del servicio
- El número de instalaciones de servicio
- El número de servidores (o canales de servicio) en cada instalación de servicio
- La disposición (en serie, paralelo o combinados) de los canales de servicio
- El tiempo de servicio y su distribución.

### 2.3.2 Objetivos de la teoría de colas

- Identificar el nivel óptimo de capacidad del sistema que minimiza el costo global del mismo.
- Evaluar el impacto que las posibles alternativas de modificación de la capacidad del sistema tendrían en el costo total del mismo.
- Establecer un balance equilibrado (“óptimo”) entre las consideraciones cuantitativas de costos y las cualitativas de servicio.

Un elemento importante al que se le debe prestar atención es al tiempo de permanencia en el sistema o en la cola: la *paciencia* de los clientes depende del tipo de servicio específico y eso puede hacer que un cliente *abandone* el sistema.

### 2.3.3 Características principales de la teoría de colas

#### 2.3.3.1 Clientes

Término usado en un sistema de colas para referirse a la *unidad* que está en la fila (gente, líneas telefónicas, máquinas, aviones, productos, etc)

Al tomar en cuenta la base de clientes, la principal preocupación es el tamaño de la población. Para problemas en donde el número de clientes potenciales es bastante grande (cientos de miles), el tamaño de la población se asume, para fines prácticos, como si fuera infinita. El análisis de poblaciones finitas (es decir de tamaño limitado) es más complicado que el análisis en donde la base de población se considera infinita.

#### 2.3.3.2 Llegadas

Es el número de clientes que llegan a las instalaciones de servicio.

El proceso de llegada es la forma en que los clientes llegan a solicitar un servicio. La característica más importante de este proceso es el tiempo entre llegadas, es decir, la cantidad de tiempo que transcurre entre dos llegadas sucesivas. Este lapso es importante porque entre más pequeño sea este intervalo de tiempo, con más frecuencia llegan los clientes, lo que implica un aumento en la demanda de servidores disponibles.

Existen dos clases básicas de tiempo entre llegadas:

- ❖ **Determinístico:** los clientes sucesivos llegan en un mismo intervalo de tiempo, fijo y conocido.
- ❖ **Probabilística:** el tiempo entre llegadas sucesivas es aleatorio. Los tiempos entre llegadas probabilísticas se describen mediante una distribución de probabilidad.

### 2.3.3.3 El proceso de colas o filas

Una parte del proceso de colas tiene que ver con la forma en que los clientes esperan para ser atendidos. Los clientes pueden esperar en una sola fila, o pueden elegir una de varias filas en las que deben esperar para ser atendidos.

Otra característica del proceso de colas es el número de espacios de espera en cada fila, es decir, el número de clientes que pueden esperar (o esperarán) para ser atendidos en cada línea. En algunos casos, como en un banco, ese número es bastante grande y no significa ningún problema práctico, pues para cuestiones de análisis la cantidad de espacio de espera se considera infinita. En contraste, un sistema telefónico puede mantener un número finito de llamadas, después del cual las llamadas subsecuentes no tienen acceso al sistema. Las condiciones de espacio de espera infinito y finito requieren tratamientos matemáticos diferentes.

### 2.3.3.4 Disciplina de la cola

Es el modo en el que los clientes son seleccionados para ser servidos. Las disciplinas más habituales son:

La disciplina *FIFO* (*first in first out*), también llamada *FCFS* (*first come first served*): según la cual se atiende primero al cliente que llegó primero.

La disciplina *LIFO* (*last in first out*), también conocida como *LCFS* (*last come first served*) o pila (en programación): que consiste en atender primero al cliente que llegó al último.

La *RSS* (*random selection of service*), o *SIRO* (*service in random order*), que selecciona a los clientes de manera aleatoria.

### 2.3.3.5 Tasa de Servicio

Este término se usa para designar la capacidad de servicio. El proceso de servicio define cómo son atendidos los clientes. En algunos casos, puede existir más de una estación en el sistema en el cual se proporcione el servicio requerido. Una característica del proceso de servicio es el número de clientes atendidos al mismo tiempo en una estación.

Otra característica más de un proceso de servicio es si se permite o no la prioridad, esto es ¿puede un servidor detener el proceso con el cliente que está atendiendo para dar lugar a un cliente que acaba de llegar? Cualquiera que sea el proceso de servicio, es necesario tener una idea de cuánto tiempo se requiere para llevar al cabo este servicio. Esta cantidad es importante debido a que cuanto más dure el servicio, más tendrán que esperar los clientes que llegan.

Como en el caso del proceso de llegada, este tiempo puede ser

- ❖ **Determinístico:** cada cliente requiere precisamente de la misma cantidad conocida de tiempo para ser atendido.
  
- ❖ **Probabilística:** cada cliente requiere una cantidad distinta e incierta de tiempo de servicio.

### 2.3.3.6 Número de servidores

Es la cantidad de servidores existentes en el sistema.

### 2.3.3.7 Proceso de salida

Este puede ser de los siguientes dos tipos:

- ❖ Los clientes abandonan completamente el sistema después de ser atendidos, lo que tiene como resultado un sistema de colas de un paso.
  
- ❖ Los clientes, ya que son procesados en una estación de trabajo, son trasladados a alguna otra parte para someterlos a otro tipo de proceso, lo que tiene como resultado una red de colas.



### 2.3.3.8 Costos

Un sistema tiene costos asociados que deben de considerarse.

- ❖ **Costo de Espera.** Esperar significa desperdicio de algún recurso activo que bien se puede aprovechar en otra cosa y se determina por la siguiente fórmula:

$$\text{Costo total de espera} = C_w L$$

En donde:

$C_w$  = costo de espera por hora por llegada por unidad de tiempo.

$L$  = longitud promedio de la línea.

- ❖ **Sistema de costo mínimo.** Hay que tomar en cuenta que para tasas bajas de servicio, se forman largas colas y costos de espera muy altos. Conforme aumenta el servicio disminuyen los costos de espera, pero aumenta el costo de servicio y el costo total disminuye, sin embargo, finalmente se llega a un punto de disminución en el rendimiento. Por lo tanto, el propósito es encontrar el balance adecuado para que el costo total sea el mínimo.

## 2.4 Tipos de colas

Según la configuración del sistema de colas en sus diferentes elementos, tenemos los siguientes tipos, representados con su respectivo dibujo:

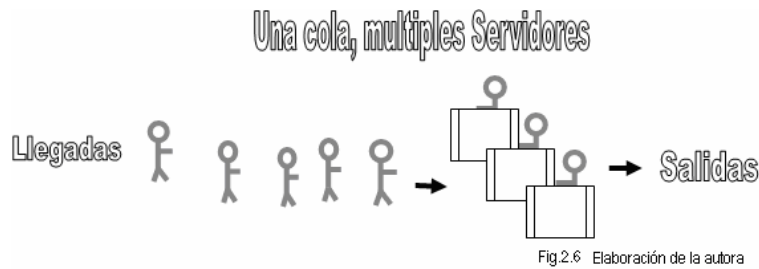
- **Una línea, un servidor**



Fig.2.5 Elaboración de la autora

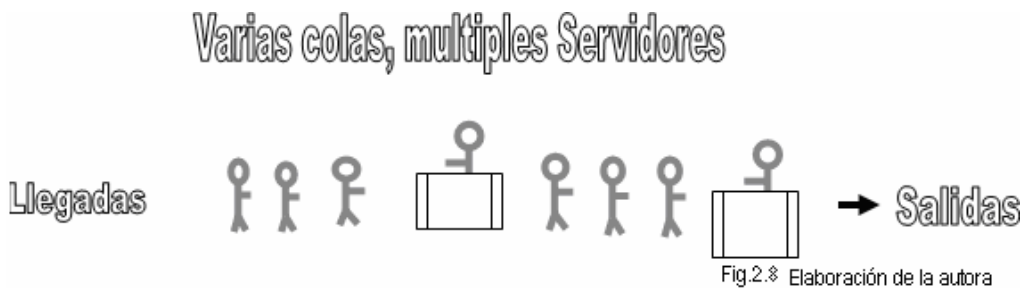
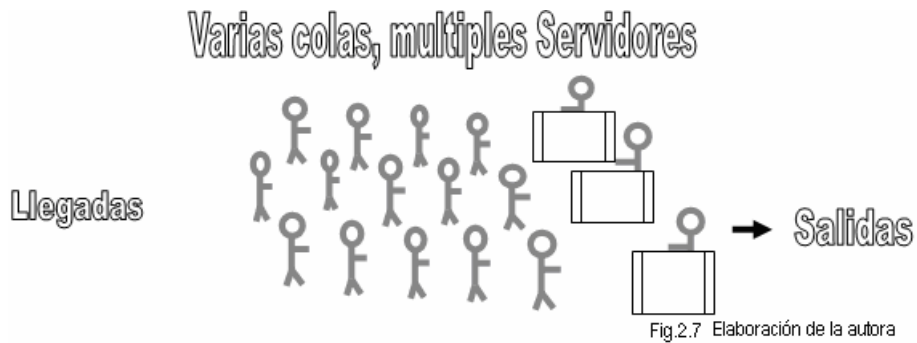
- **Una línea, múltiples servidores**

Los clientes van siendo atendidos con el primer servidor que se desocupe, se les atiende cuando les llega el turno.



- **Varias líneas y múltiples servidores**

Cada servidor tiene una línea por separado, por ejemplo en las tiendas de autoservicio. Para este tipo de servicio pueden separarse los servidores y tratarlos como sistemas independientes de un servidor y una cola. Esto sería válido sólo si hubiera muy pocos intercambios entre las colas. Cuando el intercambio es sencillo y ocurre con frecuencia, la separación no sería válida, debido a que se tiene que tomar en cuenta la tasa de intercambio entre las filas.



## 2.5 Algunos modelos de colas

La notación más común para representar los modelos de colas es la de Kendall y Lee (1953), que presentamos a continuación.

$A | B | X | Y | Z | V$

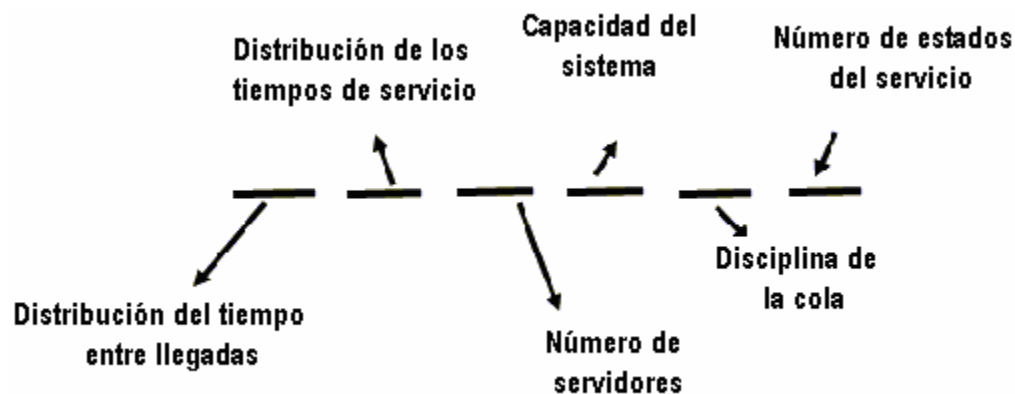


Fig.2.9 Elaboración de la autora

Los valores posibles de la distribución del tiempo entre llegadas y de los tiempos de servicio pueden ser:

- $M$  = tiempos entre llegadas exponenciales
- $D$  = tiempos entre llegadas deterministas
- $G$  = tiempos entre llegadas generales (cualquier distribución)

La capacidad del sistema (número máximo de clientes en el sistema), se puede omitir si es infinita.

La disciplina de la cola, se puede omitir si es *FIFO*.

El número de estados de servicio, se puede omitir si es 1

Los componentes de un modelo de colas pueden ser combinados de distintas maneras, esto nos representa la gran variedad de situaciones posibles.

Ejemplificamos a continuación algunos de ellos.

$M/M/c$ : llegadas de Poisson y distribución exponencial del tiempo de servicio con  $c$  servidores.

*M/D/1*: llegadas de Poisson y tiempo de servicio constante, con un servidor.

*M/G/2*: llegadas de Poisson y tiempo de servicio arbitrario con dos servidores.

*M/M/c/K*: llegadas de Poisson, distribución exponencial del tiempo de servicio,  $c$  servidores y longitud de la cola finita.

*M/M/c/K/K*: fuente de llegadas finita y distribución exponencial del tiempo de servicio.

## 2.6 Medidas de rendimiento o efectividad

Los tipos de cola del presente trabajo son de la forma *M/M/1* y *M/M/c*. Por esta razón sólo se exponen las fórmulas de dichos modelos.

### 2.6.1 Sistema M/M/1

$\lambda$	=	Tasa media de llegadas (clientes por unidad de tiempo).
$1/\lambda$	=	Tiempo medio entre llegadas.
$\mu$	=	Tasa media de servicio (clientes por unidad de tiempo).
$1/\mu$	=	Tiempo medio de servicio.
$L$	=	Cantidad de clientes esperada en el sistema.
$Lq$	=	Cantidad de clientes esperada en la cola.
$W$	=	Tiempo total de espera en el sistema
$Wq$	=	Tiempo de espera en la cola.
$P$	=	Probabilidad de que el sistema esté ocupado.
$Po$	=	Probabilidad de que el sistema esté vacío.

$$\lambda = \frac{\text{cantidad de clientes que llegan al sistema}}{\text{total de intervalos de tiempo}}$$

$$\mu = \frac{\text{cantidad de clientes totales atendidos}}{\text{total de intervalos de tiempo}}$$

$\lambda$  debe de ser menor que  $\mu$ . Si esto no ocurriera el promedio de llegadas sería superior al número promedio que se atienden y el número de unidades que están esperando se volvería infinitamente grande y se dice que el sistema se satura.

$$\lambda < \mu$$

El parámetro  $P$  se llama carga, flujo o intensidad de tráfico del sistema, mide la relación entre la cantidad de trabajos que llegan y la capacidad de procesarlos.

Probabilidad de que el sistema esté ocupado.

$$P = \frac{\lambda}{\mu}$$

Condición de no saturación.

$$P < 1$$

Probabilidad de que este vacío.

$$P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$$

Probabilidad de que haya  $n$  unidades en el sistema.

$$p_n = p^n(1-p)$$

$$P_n = (P_0) \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n = P_0 P^n$$

Donde  $n$  es cualquier entero no negativo.

Este resultado nos permite calcular las características de operación de las líneas de espera.

Número promedio de unidades que se encuentran en el sistema, ya sea esperando o siendo atendidas. Denominaremos a este número promedio  $L$ , tenemos que:

$$L = \sum_{j=0}^{\infty} j p_j = \sum_{j=0}^{\infty} j p^j (1-p) = (1-p) \sum_{j=0}^{\infty} j p^j$$

Sumando la serie obtenemos

$$\begin{aligned}
 S &= p + 2p^2 + 3p^3 + 4p^4 + \dots \\
 + -pS &= -p^2 - 2p^3 - 3p^4 + \dots \\
 \hline
 (1-p)S &= p + p^2 + p^3 + p^4 + \dots \frac{p}{1-p} \\
 \Rightarrow L &= (1-p) \frac{p}{(1-p)^2} = \frac{p}{1-p} \\
 L &= \frac{p}{1-p} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}
 \end{aligned}$$

Número promedio de unidades que esperan ser atendidas.

Se puede calcular dado que  $L$  es el número de unidades que están esperando o están siendo atendidas, y  $1/\mu$  es el número promedio de unidades que están siendo atendidas en algún momento dado entonces:

$$L = Lq + 1/\mu$$

$$Lq = L - 1/\mu$$

$$L_q = \frac{p^2}{1-p} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)}$$

Tiempo promedio o esperado que una unidad se encuentra en el sistema  $W$ . Para encontrar  $W$ , observaremos que  $L$  es el número esperado de unidades en el sistema y  $\lambda$  es el número promedio de unidades que llegan para ser atendidas por período, entonces el tiempo promedio de cualquier unidad en el sistema, está dado por:

$W$  = tiempo promedio de una unidad en el sistema

$$W = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

El tiempo esperado o promedio que una unidad tiene que esperar antes de ser atendida, está dado por:

$$W_q = \frac{Lq}{\lambda} = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$$

Teorema de Little

Sea un sistema de colas con cualquier distribución de llegadas y servicios y cualquier estructura, Sean  $L$  el número de trabajos presentes en el sistema en el estado estacionario,  $W$  es tiempo medio de respuesta en el estado estacionario y  $\lambda$  la razón de llegadas al sistema, Entonces:

$$L = \lambda W$$

$$L_q = \lambda W_q$$

$$W = W_q + 1/\mu$$

Probabilidad de que un cliente que llega pase más de  $t$  unidades de tiempo en el sistema.

$$W(t) = e^{-t/W}$$

Probabilidad de que un cliente que llega pase más de  $t$  unidades de tiempo en la cola.

$$W_q(t) = p e^{-t/W}$$

### 2.6.2 Sistema $M/M/c$

Hay una sola cola, cuya capacidad es infinita, y  $c$  servidores, la disciplina es *FIFO*

Las llegadas se producen según un proceso de Poisson de razón  $\lambda$ , donde  $\lambda$  es el número medio de llegadas por unidad de tiempo y  $1/\lambda$  es el tiempo medio entre llegadas, los tiempos entre llegadas se distribuyen exponencialmente,  $Exp(\lambda)$ .

Los tiempos de servicio también se distribuyen exponencialmente,  $Exp(\mu)$ , de tal manera que  $\mu$  es el número medio de clientes que cada servidor es capaz de atender por unidad de tiempo y  $1/\mu$  es el tiempo medio de servicio.

Si  $\lambda \geq c\mu$ , el sistema se satura

Por lo tanto la condición de no saturación es.

$$P < 1, \quad \text{donde} \quad P = \frac{\lambda}{c\mu}$$

Tasa de utilización del sistema.

$$P = \frac{\lambda}{c\mu}$$

Probabilidad de que el sistema esté vacío.

$$p_0 = \left( \frac{c^c p^c}{c!(1-p)} + \sum_{n=0}^{c-1} \frac{(cp)^n}{n!} \right)^{-1}$$

$$p_n = \begin{cases} \frac{(cp)^n}{n!} p_0, & \text{si } n=0,1,\dots,c \\ \frac{c^c p^n}{c!} p_0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Número medio de clientes en cola:

$$L_q = \frac{c^c p^{c+1} p_0}{c!(1-p)^2}$$

Tiempo total esperado en el sistema.

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$



$$L_q = \lambda W_q$$

$$L = \lambda W$$

Número medio de servidores  $S$  ocupados. En el estado estacionario, la razón de las salidas será igual a la razón de las llegadas:

$$S\mu = \lambda \Rightarrow S = \frac{\lambda}{\mu} = cp$$

Probabilidad de que un cliente tenga que esperar para recibir su servicio (fórmula de retraso de Erlang):

$$q = \frac{c^c p^c p_0}{c!(1-p)}$$

## 2.7 Redes de colas

Una red de colas es un sistema donde existen varias colas y los trabajos van fluyendo de una cola a otra.

Las redes de colas se presentan en una amplio tipo de situaciones, como pueden ser: hospitales, ordenadores, redes de telecomunicación, cadenas de montaje y sistemas de distribución.

Una red de colas no es más que una red en la que cada nodo está constituido por el sistema de una cola.

Se pueden producir transiciones de clientes que salen servidos de un nodo (que es una cola) hacia otro nodo.

## 2.7.1 Tipos de redes de colas

Existen dos tipos de redes de colas:

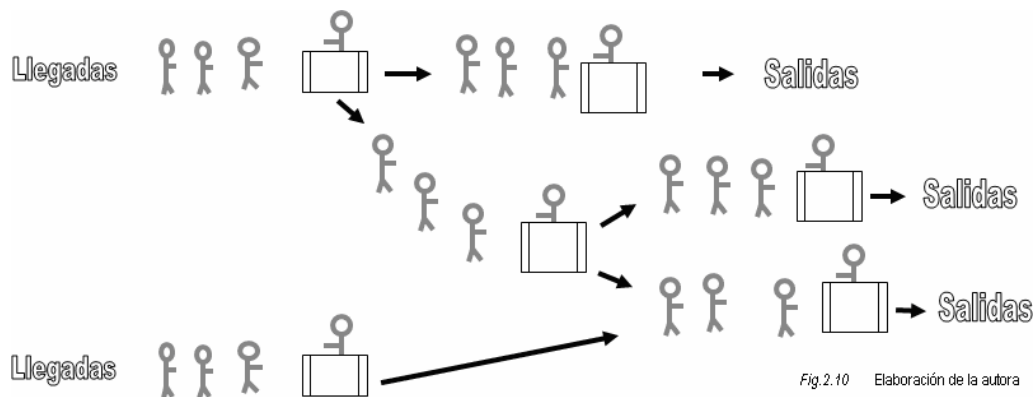
### 2.7.1.1 Abiertas

Cada trabajo entra al sistema del exterior en un momento dado, y tras pasar por una o más colas, sale del sistema.

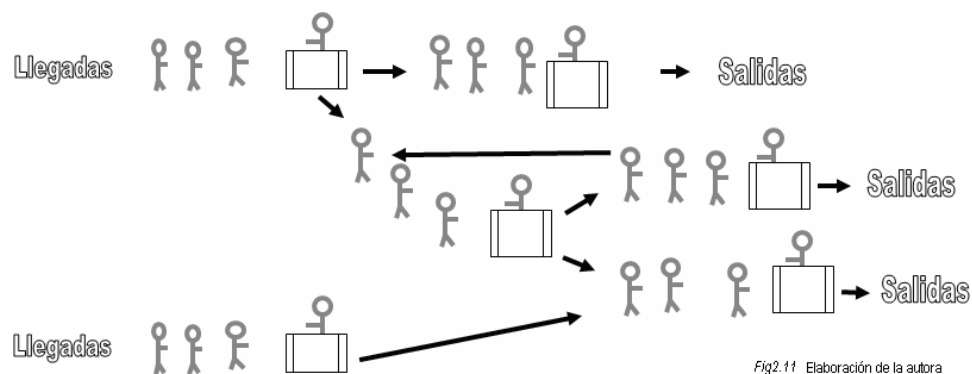
El número de clientes que se puede encontrar en un momento dado en una red abierta es ilimitado. Con el fin de especificar completamente una red abierta, se requiere caracterizar cada estación, así como el proceso de llegada de los clientes y la ruta de los clientes en la red

Tipos de redes de colas abiertas:

- Acíclicas: Un trabajo nunca puede volver a la misma cola (no existen ciclos)



- Cíclicas: Hay bucles en la red



### 2.7.1.2 Cerradas

Los trabajos ni entran ni salen del sistema, Por lo tanto permanecen circulando por el interior del sistema indefinidamente, usualmente existe un número fijo de trabajos.

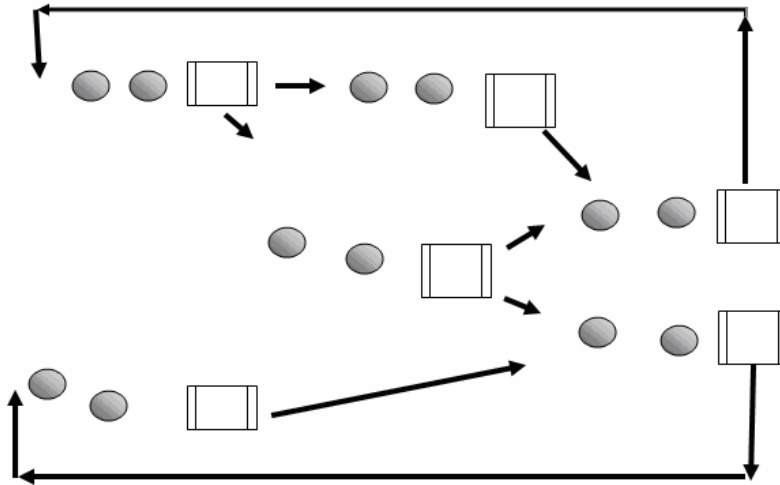


Fig.2.12 Elaboración de la autora

### 2.7.2 Conceptos generales de las redes de colas

Se denota por  $1, 2, \dots, K$ , los nodos que forman la red (es decir las etiquetas con las que identificamos cada cola) la manera más frecuente de modelizar las transiciones de clientes consiste en suponer que cuando un cliente sale servido de la cola del nodo  $i$  (siendo  $i \in \{1, 2, \dots, K\}$ ) se desplaza instantáneamente al sistema de la cola de cualquier otro nodo  $j \in \{1, 2, \dots, K\}$ , con probabilidad  $p_{ij}$ . Evidentemente, en las colas abiertas también es posible que desde algunos nodos se pueda abandonar la red. Denotando con el índice "0" el exterior de la red.

Las probabilidades de transición de clientes de unos nodos a otros se pueden expresar de forma matricial:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1j} & \dots & P_{1k} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2j} & \dots & P_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{i1} & P_{i2} & \dots & P_{ij} & \dots & P_{ik} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{k1} & P_{k2} & \dots & P_{kj} & \dots & P_{kk} \end{pmatrix}$$

Esta es la llamada matriz de transición de la red.

Normalmente denotaremos por  $\lambda_i$  la tasa de entrada desde fuera del sistema a la cola del nodo  $i \in \{1, 2, \dots, K\}$ . Asimismo,  $\mu_i$  denotará la tasa de servicio de cada uno de los servidores del subsistema del nodo  $i$ . De esta forma, bajo la hipótesis de que los tiempos entre llegadas desde fuera del sistema sean de distribución exponencial de parámetro  $\lambda_T$  (que denota la tasa de entrada al sistema,  $\lambda_T = \sum \lambda_i$ ) y denotando por  $p_{0i}$  la probabilidad de que cuando un cliente entra al sistema lo haga a través del nodo  $i$ , se tiene que la distribución del tiempo entre dos entradas consecutivas de clientes al subsistema del nodo  $i$  es también exponencial y con parámetro  $\lambda_i = \lambda_T \cdot p_{0i}$ .

Los valores de  $\lambda_i$  también pueden interpretarse como el número medio de clientes que entran al sistema, por el nodo  $i$ , por unidad de tiempo.

La red de colas del presente trabajo es una red abierta por lo tanto se expondrán sólo las fórmulas de dicha red.

### Procesos de llegada

El proceso de llegada de los clientes a la red se describirá (igual que en el caso de una cola simple) con la ayuda de un proceso de renovación, y estará caracterizado por la distribución del tiempo entre llegadas. Si la llegada de los clientes sigue un proceso de Poisson, los tiempos entre llegadas son exponenciales y están caracterizados por un único parámetro: la tasa de llegada  $\lambda$ .

Se requiere además precisar, una vez que un cliente llega a la red, en cuál fila se ubicará. Normalmente se caracteriza la ruta de entrada de una forma probabilística, sea  $p_{0i}$  la probabilidad de que un cliente que ingresa a la red vaya a la estación  $i$ . Así el proceso de llegada a la estación  $i$  será Poisson con tasa  $p_{0i}$  veces  $\lambda$ .

### 2.7.3 Red de Jackson

Una red de colas abierta se dice que es de Jackson si

- Sólo hay una clase de trabajos
- Las transiciones entre los nodos son probabilísticos, donde  $p_{ij} > 0$  es la probabilidad de ir al nodo  $j$  después de haber salido del nodo  $i$ ,
- Cada nodo  $i$  es una cola  $M|M|ci$ , independiente de las otras del sistema.
- Las llegadas externas al nodo  $i$ , siguen una distribución Poisson de media  $\gamma_i$

- El tiempo de servicio es independiente en cada nodo y se distribuye según una exponencial de parámetro  $\mu_i$ .

### 2.7.4 Medidas de rendimiento de la red de colas

Probabilidad de abandonar el sistema  $p_{i0}$ , es la probabilidad de abandonar el sistema después de haber salido del nodo  $i$ .

$$p_{i0} = 1 - \sum_{j=1}^k p_{ij}$$

Dado que el flujo total de entrada a un nodo debe ser igual al flujo total de salida del nodo, tendremos que:

$$\lambda_i = \gamma_i + \sum_{j=1}^k \lambda_j r_{ji}, \quad \forall i \in \{1, \dots, k\}$$

Tales que  $\lambda_i < \mu_i$

Las  $K$  ecuaciones anteriores forman un sistema lineal con solución única, que resolveremos para hallar las tasas de llegada a cada nodo  $\lambda_i$

Para que ninguna de las colas del sistema se sature, es preciso que se cumpla la siguiente condición:

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, k\}, \quad p_i < 1, \quad \text{donde} \quad p_i = \frac{\lambda_i}{c_i \mu_i}$$

Se trata de la condición de no saturación del modelo  $M|M|c$ , aplicada a cada uno de los nodos por separado.

Si tenemos una red de Jackson abierta que cumple la condición de no saturación, entonces en el estado estacionario, la distribución del número de clientes en cada nodo es la que sigue:

$$p(n) = \prod_{i=1}^k p_i(n_i), \quad \forall n_1, \dots, n_k \geq 0$$

En donde  $p_i(n_i)$  es la probabilidad de que haya  $n_i$  clientes en el nodo  $i$ , calculada según las ecuaciones del modelo  $M|M|c$

Las medidas de rendimiento para cada nodo se calculan según las ecuaciones del modelo  $M|M|c$ , además se tendrán las siguientes medidas:

Tasa global de salidas del sistema, que es el número medio de trabajos que salen del sistema por unidad de tiempo, coincide con el número de trabajos que entran en el sistema.

$$\lambda_{red} = \sum_{i=1}^k \gamma_i$$

Número medio de trabajos en el sistema, es la suma de los números medios de trabajos en cada uno de los nodos.

$$L_{red} = \sum_{i=1}^k L_i$$

Tiempo medio en el sistema, es el tiempo medio que pasa una tarea desde que entra en la red hasta que sale de ella.

$$W_{red} = \frac{L_{red}}{\lambda_{red}}$$

Razón de visitas al nodo  $i$ ,  $V_i$ , es el número medio de veces que un trabajo visita el nodo  $i$  desde que entra en la red hasta que sale.

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, k\}, \quad V_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_{red}}$$

El rendimiento de la red de colas se estudia por medio de los parámetros habituales de la teoría de colas.

$$L = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

$$W = W_1 + W_2 + \dots + W_n$$

$$L_q = L_{q1} + L_{q2} + \dots + L_{qn}$$

$$W_q = W_{q1} + W_{q2} + \dots + W_{qn}$$

### 2.7.5 Análisis por descomposición

Si un sistema de redes de colas se puede descomponer, cada uno de los nodos (colas) puede ser analizado de forma independiente, y posteriormente se puede hacer el análisis de todo el conjunto.

Condiciones requeridas para la descomposición

Condiciones que deben cumplir los sistemas de redes de colas, ya sean abiertas o cerradas, para poder efectuar un análisis por descomposición.

1. La cola  $i$  (nodo  $i$ ) tiene un número de servidores de característica idénticas entre sí y los tiempos de servicio de cada servidor tienen distribución exponencial de probabilidades con capacidad individual de servicio  $\mu_i$ .
2. La capacidad de la cola en cada sistema de espera tiene capacidad ilimitada (infinita).
3. Los clientes que han sido servidos en el nodo  $i$  se reparten entre los nodo  $j \in E(i)$ , emergentes de  $i$ , con probabilidad  $p_{ij} > 0$  que se mantienen constantes a lo largo de toda la evolución del sistema.
4. Los tiempos o demora asociada entre la salida de un sistema de servicio  $i$ , y la entrada al sistema de servicio  $j \in E(i)$  es cero.

En el caso de redes abiertas, si todas las llegadas externas están distribuidas según una Poisson y verifican las condiciones anteriores las llamaremos redes de Jackson y sobre ellas se puede aplicar el resultado del teorema que lleva el nombre del mismo autor (Teorema de Jackson 1957).

## **CAPÍTULO 3**

### **ELEGIR, FUNDAMENTAR Y APLICAR LOS ANÁLISIS NECESARIOS A LA MUESTRA (Metodología)**

#### **3.1 Introducción**

Una vez establecidos los antecedentes del lugar físico así como, las características principales del lugar en donde se llevó al cabo la investigación y vistos los conceptos básicos teóricos, en este capítulo se presenta el proceso de recopilación de los datos necesarios, así como los procedimientos estadísticos que se les aplicó a éstos para elaborar su valoración.

Como se señaló en el capítulo 2 sobre la teoría de colas, se necesita saber la tasa de llegada de los pacientes, así como la tasa de atención de los mismos. Para lograr este propósito se necesita hacer un análisis estadístico de los datos para obtener su distribución de probabilidad. Esto último lo requerimos para poder clasificar el modelo de colas de cada una de las estaciones de trabajo.

Se tienen dos vías de datos:

1. De las bases de datos de la empresa (llegada de los pacientes).
2. De la observación directa del comportamiento de las líneas de espera (atención de los pacientes).

Cada una de estas vías requiere de un procedimiento diferente que será explicado en este capítulo.

Todas las tablas de este capítulo fueron elaboradas en Excel y las imágenes de los programas utilizados fueron capturadas directamente de la pantalla.

#### **3.2 Recolección de la muestra**

##### **3.2.1 Diseño de la forma de extracción de los datos**

##### **Llegadas de los pacientes**

En cuanto a los datos de las llegadas de los pacientes se extrajeron de la base de datos en donde se registró el pago del servicio.



Cuando un paciente llega a la consulta se le elabora un recibo para el pago de los honorarios médicos o del servicio que se le va a prestar, estos datos quedan registrados en una base de datos de Microsoft Access.

Estos datos son muy confiables sobre el número de personas que fueron atendidas y se quedaron, por lo mismo es la forma en que se extrajeron los datos de las llegadas de los pacientes.

### **Atención de los pacientes**

La forma y el tiempo en que son atendidos los pacientes no queda registrado en ningún lado, por lo mismo estos datos se obtuvieron de observación directa y medición mediante un cronómetro del tiempo en que tardan las recepcionistas en atenderlos.

#### **3.2.1.1 Extracción de los datos de las llegadas de los pacientes**

### **Programas necesarios para la extracción de los datos y sus metodologías**

#### **Microsoft Access**

Programa que sirve para elaborar bases de datos, crea un archivo que contiene las estructuras de los datos y de las tablas, así como las consultas, formularios, informes y otros objetos que constituyen la base de datos.

Los datos se extraen de una base de datos Access, luego se procesa la información en la trilogía de programas de la empresa Cognos (Impromptu, Transformer y Power Play).

Cada una de las tablas tiene los campos que son los encabezados de las columnas, los renglones son los registros (datos que ingresan las recepcionistas).

La base de datos contiene un total de 35,709 registros, que esto quiere decir el número de pacientes a los que se les elaboro un recibo en el año de 2005.

#### **TABLAS DE LA BASE**

NUMERO DE TABLAS	52
TABLAS NECESARIAS	4

A continuación se presentan las cuatro tablas necesarias para el presente estudio.

<b>TABLAS</b>
PROFESIONAL
ESPECIALIDAD
SERVICIO
CARGO

Después se analizan los campos necesarios de cada una de las tablas seleccionadas, en el siguiente cuadro se presentan con "SI" los campos utilizados.

CAMPOS NECESARIOS DE CADA UNA DE LAS TABLAS

DYNDPROFES		DYNCESPECI		DYNCSERVIC		TOTAL	
PNCODPRO	SI	PNCODESPECI	SI	PNCODSER	SI	PNFOLIO	NO
DSAPEPATERN	SI	DSDSCESPECI	SI	PSNOMSER	SI	FNCODPRO	SI
DSAPEMATERN	SI			DNINTERVAL	NO	FSCODPACIEN	NO
DSNOMBRES	SI			DNCOSTO	NO	PDFECHA	SI
DSRFC	NO					FNCODSER	SI
DSCEDPROF	NO					FNCODCONVE	NO
DSSSA	NO					DSOBSERVA	NO
FNCODESPECI	NO					DNIMPORTE	NO
FNCODSUBESP	NO					DBIVA	NO
FNCODCONCEP	NO					DBIVADT	NO
DSOBSERVA	NO					DBRET	NO
DSINTERVALO	NO					DNIMPIVA	NO
						DNIMPISR	NO
						DNIMPRETIVA	NO
						DNTOTAL	NO

En resumen los campos necesarios son:

### CAMPOS NECESARIOS DE CADA UNA DE LAS TABLAS

DYNDPROFES		DYNCESEPECI		DYNCSERVIC		TOTAL	
PNCODPRO	SI	PNCODESPECI	SI	PNCODSER	SI	FNCODPRO	SI
DSAPEPATERN	SI	DSDSCESPECI	SI	PSNOMSER	SI	PDFECHA	SI
DSAPEMATERN	SI					FNCODSER	SI
DSNOMBRES	SI					DNIMPORTE	SI

Una vez que se tienen las tablas y los campos necesarios se elaboran los formularios que requiere el programa Impromptu.

### Impromptu

Es un programa para negocios, en el que se pueden elaborar búsquedas interactivas y crear herramientas que nos permitan hacer reportes compatibles con Microsoft Windows.

Los reportes creados con impromptu se pueden realizar usando los datos de las bases personales, sin necesidad de saber el lenguaje SQL.

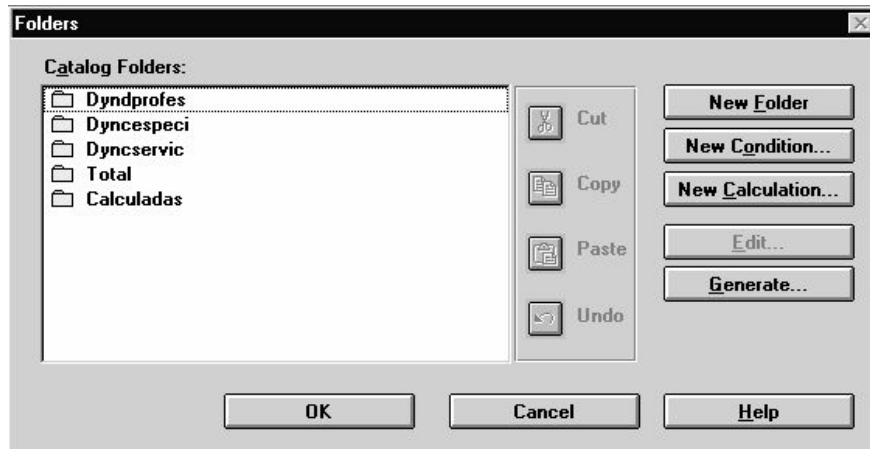
Es un camino rápido y sencillo para crear atractivos reportes de cualquier base de datos.

Algunas de las bases de datos que se pueden usar con Impromptu son las siguientes:

dBASE	MS SQL Server	Paradox
HotFile	Net-Gateway	SQLBase
Informix	ODBC gateway	Sybase SQL Server
Ingres	OmniSQL Server	Sybase System 10
InterBase	Oracle 6	
MDI Database Gateway	Oracle 7	

Una vez seleccionados las tablas y los campos de la base de datos, se crea un catálogo que contiene la información necesaria para extraer los datos requeridos. El catalogo no almacena los datos pero le avisa al programa cuándo los tome para usarlos. Contiene sólo las partes que seleccionemos de la base.

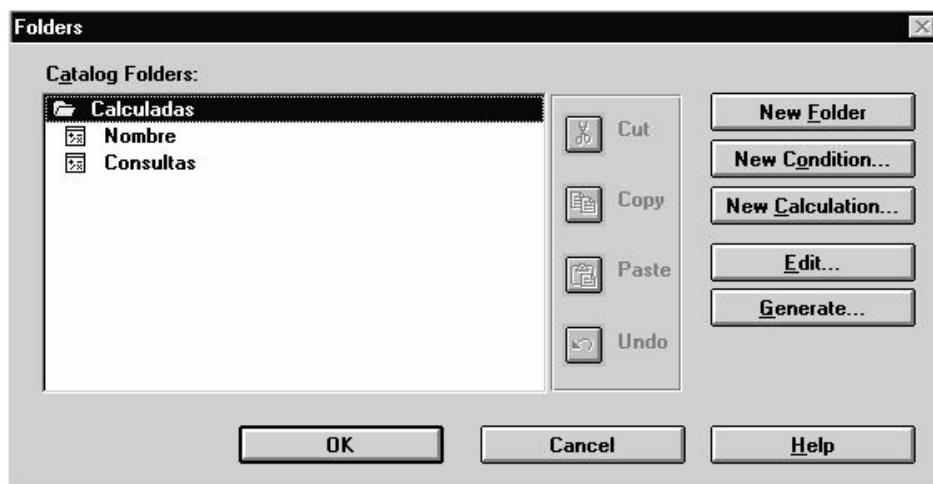
## Ejemplo del contenido de un catálogo



Los cuatro primeros folders mostrados en la imagen de arriba son de las tablas que se seleccionaron para trabajar con ellas, el folder de Calculadas contiene las operaciones que se elaboraron para poder extraer los datos a ser usados.

Dentro de los folders se encuentran los campos de la misma tabla, como se puede ver en la siguiente imagen dentro de Dyncespeci se encuentran los campos que se seleccionaron como necesarios, que son Pncodespeci y Dsdscespeci. Estos campos serán los que más tarde se utilizarán para elaborar las fórmulas.





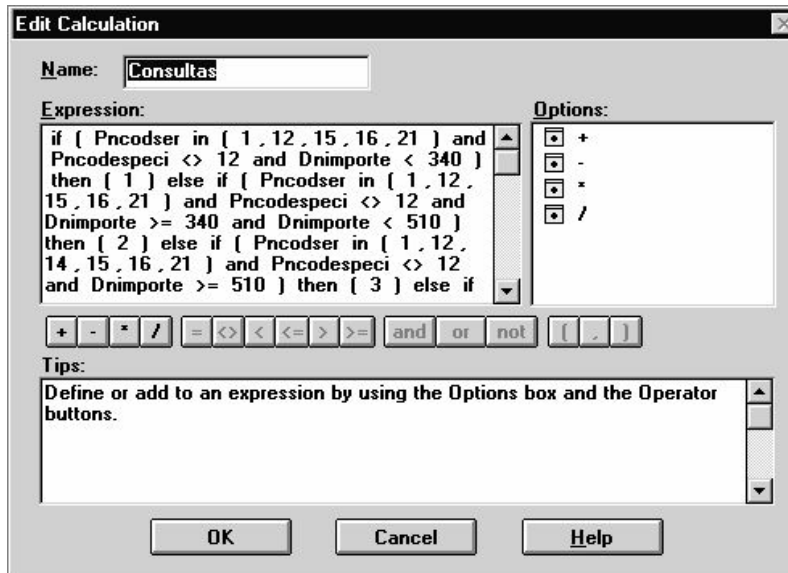
Las calculadas como se expresó arriba contienen los datos de interés para el reporte final, que en este caso es el nombre de los doctores y el número de consultas elaboradas por cada uno de ellos. Las calculadas contienen las fórmulas que se diseñaron con el programa para poder extraer los datos de la base.

Lo que se quiere saber es:

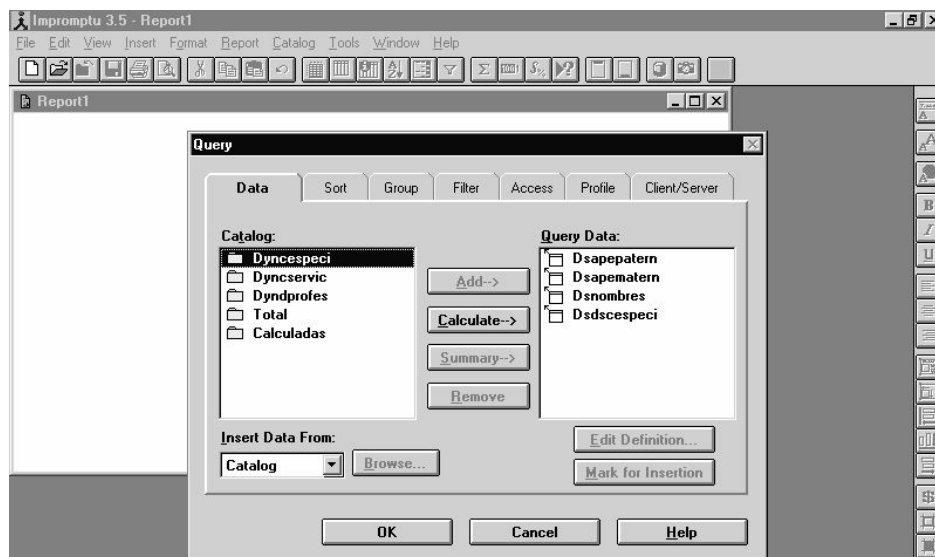
- Total de pacientes atendidos durante el año.
- Pacientes por día.
- Pacientes mañana y tarde.
- Pacientes atendidos en laboratorio.

Para poder saber esto se elaboran las funciones que resuelven el problema.

En la tabla servicio hay un campo que se llama *Pncodser*, en sus registros tiene enumeradas todas las clases de servicios que presta el Centro. Se elige el registro que se necesita y se establece la condición o condiciones que se quiere que cumpla. En este caso como se quiere saber el total de consultas por especialidad de un año, se elaboran las condicionales necesarias.



Una vez que se tienen todas las fórmulas se elabora un reporte con los datos resultantes.



Pdfecha	Dsapeatern + Dsnombres	Ddscespeci	Psnomser	Dnimporte	Consultas
03/01/2005 00:00	1	GINECOLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	2	ORTOPEDIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	2	ORTOPEDIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	2	ORTOPEDIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	2	ORTOPEDIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	1	GINECOLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	1	GINECOLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	1	GINECOLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	1	GINECOLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	1	GINECOLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	1	GINECOLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	3	ORTOPEDIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	4	GINECOLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	5	GASTROENTEROLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	5	GASTROENTEROLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	5	GASTROENTEROLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	6	GASTROENTEROLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	6	OTORRINOLARINGOLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	6	OTORRINOLARINGOLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	6	OTORRINOLARINGOLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00
03/01/2005 00:00	6	OTORRINOLARINGOLOGIA	ALERGIAS	200.00	1.00
03/01/2005 00:00	6	OTORRINOLARINGOLOGIA	ALERGIAS	580.00	3.00
03/01/2005 00:00	6	OTORRINOLARINGOLOGIA	ALERGIAS	360.00	2.00

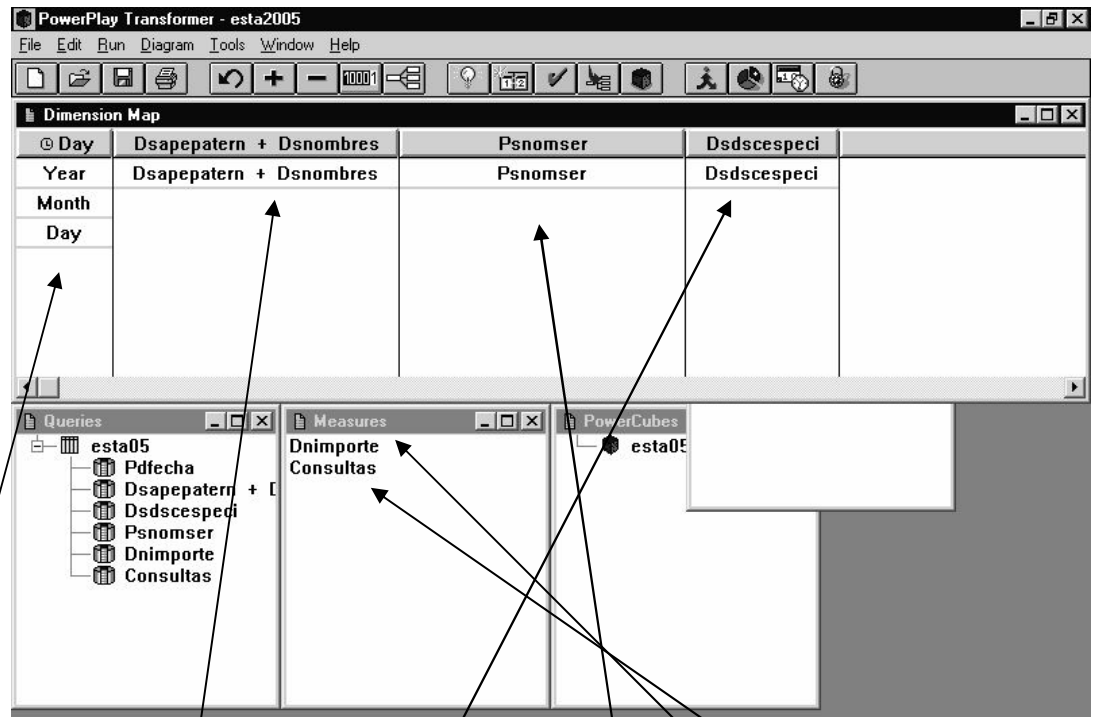
Este reporte nos presenta los resultados de forma unitaria, al ser cientos de miles sería largo y elaborado el sumarlos manualmente. Para este trabajo se utilizan los otros dos programas del grupo. Con este reporte ya se tienen los elementos necesarios para poder elaborar un modelo (llamado cubo, por la forma en que el programa maneja la información que asemeja a un cubo y las combinaciones de sus aristas, cada arista a la vez puede tener diversa información), que es la finalidad de estos cálculos.

## Transformer

Este es el segundo de los tres programas

Transformer es un programa para crear modelos (cubos) que posteriormente podrán ser vistos en el Power Play. El modelo contiene definiciones, dimensiones, y medidas de las tablas de la base de datos como objetos para formar los cubos. Se definen las dimensiones basadas en las columnas de las tablas. Una vez construido el modelo se puede producir uno o varios cubos, basados en los contenidos del modelo.

Recopilados los datos y elaboradas las fórmulas necesarias, en este programa se crea un cubo con la información que se quiere exponer en los reportes finales.



Impromptu 3.5 - [ESTA2005.IMR]

Pdfecha	Dsapeatern + Dsnombres	Dsdscspeci	Psnomser	Dnimporte	Consultas
03/01/2005 00:00	1	GINECOLOGIA	CONSULTA NORMAL	160.00	1.00

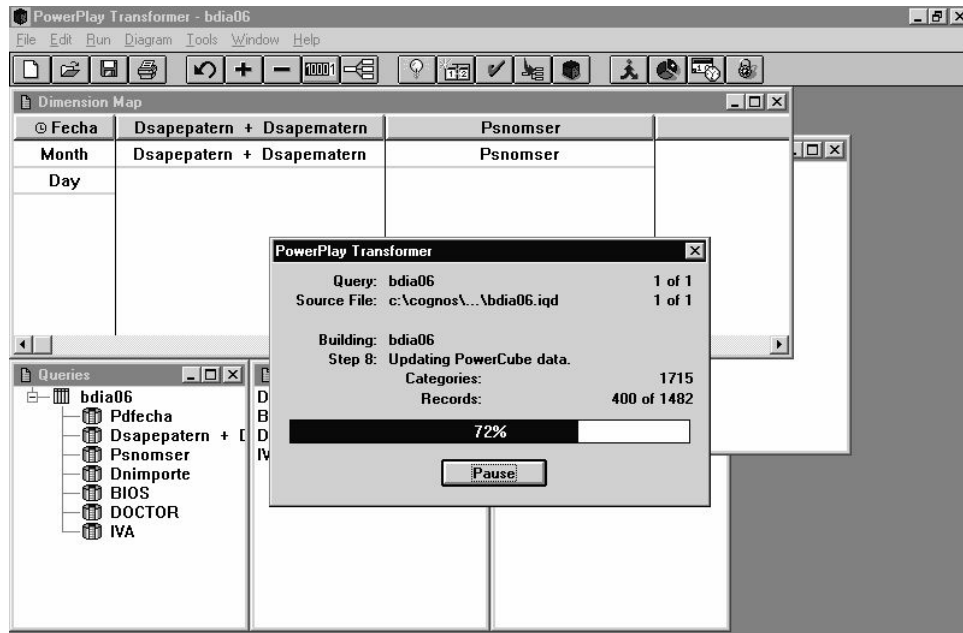
Los encabezados del reporte del programa Improntu se pueden elegir como aristas del cubo, como se muestra en los diagramas anteriores.

En el caso de esta investigación sólo se necesitan usar 5 aristas del cubo

- En la primera todo lo relacionado con el tiempo.
- En la segunda los nombres de los doctores.
- En la tercera los servicios.
- En la cuarta las especialidades; y
- En la quinta las medidas que se necesitan, que en este caso son consultas.



Una vez elaborado el cubo, se cargan los datos de la base.



El proceso es muy rápido y lo que se pensó que se tardó en elaborar los formularios aquí se compensa, ya que este cubo sirve para todas las ocasiones que se quiera extraer datos de él y crear diferentes combinaciones.

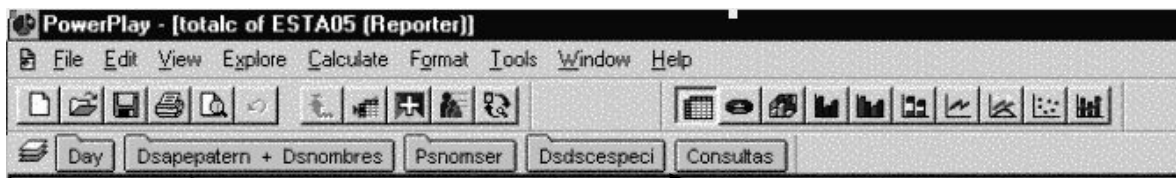
Midiendo con cronómetro el tiempo que tarda en acomodar la información este programa es de 1.41 segundos. En este tiempo ordenó 1,715 categorías.

## Power Play

Es el tercero del grupo, en este programa se elaboran los reportes finales. Tiene la gran ventaja de que la información sólo puede ser consultada, más no cambiada y por lo mismo la base de datos queda intacta. Se pueden compartir los reportes con otros usuarios vía red sin el riesgo de que se modifiquen los datos de la base.

Una vez cargados los datos en el cubo, se pueden elaborar todos los reportes que se desee, a continuación se muestran unos diagramas que ejemplifican esto.

DOCTORES	2005	2005/Jan	2005/Feb	2005/Mar	2005/Apr	2005/May	2005/Jun
1	126	10	14	5	9	21	
2	36	0	0	0	0	0	
3	447	45	50	32	44	34	
4	272	19	17	16	30	23	
5	403	32	37	28	31	31	
6	285	24	18	12	41	35	
7	681	44	54	44	74	53	
8	925	69	78	90	82	69	1
9	439	43	42	42	46	35	
10	381	41	28	42	33	20	
11	110	6	6	10	2	11	
12	532	27	34	41	52	48	
13	729	55	74	60	76	60	
14	294	42	10	13	29	28	
15	519	65	67	63	45	36	
16	433	35	34	29	47	35	
17	138	4	13	8	11	7	



En las pestañas están las aristas del cubo con los datos que se escogieron.

Cada arista del cubo a la vez tiene varios apartados. A modo de ejemplo como se muestra en el siguiente dibujo, la arista Psnomser tiene enlistados todos los servicios contenidos en la tabla.

**PowerPlay - [PPlay1 of ESTA05 (Reporter)]**

File Edit View Explore Calculate Format Tools Window Help

2005 Dsapepatern + Dsnombres Psnomser Dsdscsespeci Consultas

	2005		5/Feb	20
1	126	CONSULTA NORMAL		
2	36	ALERGIAS		
3	447	RAYOS X		
4	272	LAB NORMAL	14	
5	403	CARDIO/ELECTRO	0	
6	285	CARDIOLOGIA	50	
7	681	BIOS	17	
8	925	GERIATRIA	37	
9	439	M. INTERNA	18	
10	381	PSICOLOGIA	54	
11	110	ULTRASONIDO	78	
		CIRUGIA	42	
		PSIQUIATRIA	28	
		ELECTROS		
		...		
			6	6

Se pueden ir señalando los datos específicos que se quieran consultar, también colocar en columnas o renglones la información que se desee.

**PowerPlay - [PPlay1 of ESTA05 (Reporter)]**

File Edit View Explore Calculate Format Tools Window Help

2005 Dsapepatern + Dsnombres **CARDIOLOGIA** Dsdscsespeci

	2005	2005/...	2005/Feb
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	182	15	13

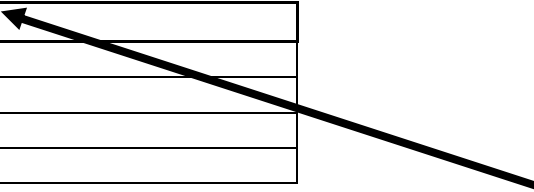
Por ejemplo se puede apreciar en el dibujo anterior, cuántas consultas hubo de Cardiología. En los renglones sólo se muestran los datos de los cardiólogos, y así se puede ir consultando la información que sea conveniente.

### 3.2.1.2 Extracción de los datos de la atención de los pacientes

#### Elaboración de formatos para el monitoreo del tiempo de atención

Para realizar el monitoreo con un cronómetro, se elaboró un simple formato en Excel para que fuera fácil el vaciado de los datos.

RECEPCIONISTA No.	
No.	TIEMPO
1	
2	
3	
4	
...	
99	
100	



#### Monitoreo de las colas

Se midieron los tiempos en los diferentes horarios y con las diferentes recepcionistas para poder elaborar las tablas de los tiempos que tardan en atender a los pacientes.

Primero se rellenaron unos formatos de prueba para poder coordinar el cronómetro con el tiempo de atención. Se vio que era más exacto y práctico el medir a una recepcionista a la vez y darle seguimiento, en lugar de medir a los pacientes conforme iban llegando.

### 3.3 Obtención de la muestra

#### 3.3.1 Aplicación del procedimiento de selección

##### 3.3.1.1 Presentación de los datos extraídos de las bases

De la utilización de los programas enunciados arriba y con ayuda de Excel los datos obtenidos de las llegadas de los pacientes se presentan a continuación.

#### LUNES

No.	Consultas	Laboratorio	No.	Consultas	Laboratorio	No.	Consultas	Laboratorio
1	84	13	17	141	22	33	125	9
2	112	5	18	136	12	34	117	10
3	111	16	19	137	14	35	127	12
4	103	11	20	151	13	36	133	8
5	100	16	21	131	9	37	140	16
6	123	22	22	149	12	38	120	13
7	117	22	23	146	15	39	155	12
8	103	22	24	165	16	40	136	12
9	138	14	25	140	13	41	137	7
10	145	11	26	126	11	42	144	9
11	131	12	27	120	14	43	121	9
12	123	19	28	128	20	44	150	15
13	163	21	29	104	11	45	153	6
14	157	14	30	132	15	46	134	12
15	147	14	31	99	16	47	131	6
16	159	7	32	125	11	48	167	12

#### MARTES

No.	Consultas	Laboratorio	No.	Consultas	Laboratorio	No.	Consultas	Laboratorio
1	122	16	17	154	14	33	124	12
2	126	15	18	154	15	34	136	22
3	131	13	19	141	10	35	150	8
4	140	15	20	152	10	36	153	12
5	125	9	21	141	7	37	157	16
6	137	12	22	170	13	38	166	13
7	132	13	23	153	5	39	151	11
8	141	8	24	132	14	40	133	11
9	148	21	25	146	15	41	154	9
10	164	18	26	152	14	42	161	10
11	159	14	27	144	12	43	135	9
12	162	19	28	134	12	44	146	11
13	114	11	29	154	11	45	148	10
14	143	15	30	129	9	46	140	13
15	147	20	31	162	13	47	156	12
16	145	5	32	130	7			

### MIÉRCOLES

No.	Consultas	Laboratorio
1	103	15
2	154	19
3	143	10
4	143	9
5	172	16
6	139	16
7	138	12
8	124	10
9	138	17
10	170	16
11	161	15
12	126	12
13	154	17
14	142	10
15	148	16
16	142	11

No.	Consultas	Laboratorio
17	111	7
18	147	15
19	135	11
20	137	14
21	132	9
22	159	13
23	126	20
24	113	12
25	113	12
26	116	16
27	138	16
28	109	16
29	80	12
30	114	11
31	125	10
32	141	11

No.	Consultas	Laboratorio
33	107	10
34	136	8
35	109	6
36	133	7
37	127	10
38	108	14
39	144	6
40	124	12
41	133	7
42	149	10
43	139	11
44	111	9
45	124	5
46	160	7
47	119	15
48	146	6

### JUEVES

No.	Consultas	Laboratorio
1	109	16
2	178	15
3	140	10
4	152	8
5	163	10
6	163	14
7	148	15
8	180	11
9	153	13
10	164	17
11	168	12
12	142	11
13	149	10
14	132	8
15	163	14
16	141	17

No.	Consultas	Laboratorio
17	128	3
18	169	8
19	134	9
20	163	19
21	127	13
22	145	16
23	138	19
24	114	10
25	140	17
26	159	12
27	153	12
28	107	14
29	166	12
30	137	10
31	133	10
32	122	10

No.	Consultas	Laboratorio
33	147	13
34	150	16
35	146	9
36	136	9
37	153	14
38	147	8
39	143	5
40	136	10
41	168	14
42	131	5
43	125	12
44	139	10
45	146	12
46	157	10
47	155	6

### VIERNES

No.	Consultas	Laboratorio
1	123	9
2	122	13
3	116	6
4	113	13
5	144	17
6	106	6
7	138	16
8	114	14
9	130	11
10	137	13
11	127	5
12	154	17
13	123	8
14	131	11
15	134	12
16	126	17

No.	Consultas	Laboratorio
17	115	14
18	131	22
19	129	11
20	141	12
21	138	17
22	115	7
23	101	7
24	98	18
25	115	12
26	103	7
27	113	21
28	130	17
29	117	9
30	128	15
31	108	11
32	141	13

No.	Consultas	Laboratorio
33	119	11
34	110	10
35	112	12
36	135	12
37	124	20
38	118	11
39	123	9
40	123	12
41	128	7
42	97	9
43	118	10
44	108	14
45	146	16
46	135	14
47	124	8
48	86	0

### SÁBADO

No.	Consultas	Laboratorio
1	83	19
2	129	20
3	108	19
4	128	24
5	141	36
6	123	27
7	131	27
8	129	24
9	111	23
10	84	14
11	119	24
12	117	22
13	126	23
14	111	10
15	90	12
16	81	26

No.	Consultas	Laboratorio
17	132	21
18	94	13
19	104	17
20	105	19
21	126	26
22	91	12
23	98	16
24	106	16
25	105	14
26	102	16
27	87	11
28	86	21
29	95	23
30	103	32
31	111	21
32	108	19

No.	Consultas	Laboratorio
33	114	21
34	124	16
35	63	14
36	120	12
37	110	17
38	116	23
39	110	27
40	105	14
41	122	23
42	134	19
43	90	16
44	110	14
45	92	0
46	121	0

### 3.3.1.2 Presentación de los datos del monitoreo

Los datos obtenidos del monitoreo que corresponden al tiempo del servicio fueron los siguientes:

#### RECEPCIONISTA No. 1

No.	TIEMPO
1	1.55E-02
2	2.07E-02
3	3.93E-02
4	0.05189786
5	6.49E-02
6	7.31E-02
7	7.69E-02
8	0.09480408
9	0.11933208
10	0.13432694
11	0.137081
12	0.14877557
13	0.16457542
14	0.18230251
15	0.22711065
16	0.23146947
17	0.33626298
18	3.43E-01
19	0.35010728
20	0.38114707
21	0.38262317
22	0.38455448
23	0.39514773
24	0.43172595
25	0.45752917

No.	TIEMPO
26	0.48064991
27	0.4929256
28	0.49509983
29	0.51610419
30	0.53313257
31	0.56581785
32	0.57826206
33	0.59764115
34	0.60395229
35	0.62326077
36	0.65817573
37	0.67228811
38	0.72231018
39	0.77471916
40	0.77637356
41	0.78185795
42	0.78649709
43	0.88630079
44	0.92702523
45	0.93512448
46	0.96562428
47	1.03215439
48	1.04586443
49	1.06147742
50	1.14429761

No.	TIEMPO
51	1.18592247
52	1.25846272
53	1.27007866
54	1.28509431
55	1.30310239
56	1.38048919
57	1.50423869
58	1.52016199
59	1.56616118
60	1.58997179
61	1.63093625
62	1.67421361
63	1.67940956
64	1.78320103
65	1.84333959
66	1.85572926
67	1.89394991
68	1.90278858
69	2.00679181
70	2.02601385
71	2.03147079
72	2.11114072
73	2.12675358
74	2.13552073
75	2.45804821

No.	TIEMPO
76	2.51388596
77	2.5555415
78	2.59963466
79	2.63346481
80	2.73248333
81	2.73488301
82	2.85928867
83	2.89043684
84	2.9077478
85	2.98141262
86	3.1668793
87	3.65440974
88	3.81213968
89	3.93603365
90	3.95065
91	4.2855034
92	4.5009747
93	4.65460637
94	5.15446826
95	5.26809185
96	5.52275509
97	6.26961761
98	8.76983484
99	9.04870393
100	9.73587654



## RECEPCIONISTA No. 2

No.	TIEMPO
1	3.33E+00
2	3.38E+00
3	4.03E+00
4	5.08333333
5	5.37E+00
6	5.57E+00
7	6.82E+00
8	6.83333333
9	0.82792015
10	0.5383455
11	4.16666667
12	1.2738577
13	0.74386377
14	2.39639827
15	0.74386377
16	3.92881519
17	2.47514718
18	2.72E+00
19	1.85164035
20	0.80981265
21	1.99538718
22	0.39083859
23	0.42692624
24	0.56762656
25	0.31713623

No.	TIEMPO
26	0.1973684
27	1.2738577
28	2.00169108
29	0.83537475
30	2.15913438
31	0.82792015
32	0.5383455
33	0.54453655
34	0.72165734
35	2.39639827
36	0.74386377
37	3.92881519
38	2.47514718
39	2.71897026
40	0.82954281
41	1.85164035
42	0.80981265
43	1.99538718
44	0.39083859
45	0.42692624
46	1.09763441
47	3.33333333
48	3.38333333
49	4.03333333
50	5.08333333

No.	TIEMPO
51	5.36666667
52	5.56666667
53	6.81666667
54	6.83333333
55	0.82792015
56	0.5383455
57	4.16666667
58	1.2738577
59	0.74386377
60	2.39639827
61	0.74386377
62	3.92881519
63	2.47514718
64	2.71897026
65	1.85164035
66	0.80981265
67	1.99538718
68	0.39083859
69	0.42692624
70	0.37746574
71	0.31838204
72	5.34843633
73	4.65030912
74	1.75119774
75	5.44474496

No.	TIEMPO
76	0.96648438
77	0.97547348
78	1.35
79	0.18333333
80	0.25
81	1.36666667
82	0.2
83	0.05
84	0.66666667
85	0.21666667
86	0.53333333
87	0.21666667
88	1.6
89	0.98333333
90	1.46666667
91	1.61666667
92	1.16666667
93	1.21666667
94	0.88333333
95	0.2
96	0.00066667
97	0
98	0.2
99	0.71666667
100	0.95

### RECEPCIONISTA No. 3

No.	TIEMPO
1	1.17E-01
2	2.17E-01
3	2.50E-01
4	0.35
5	4.17E-01
6	4.33E-01
7	4.50E-01
8	0.5
9	0.73333333
10	0.8
11	0.81666667
12	0.95
13	1.23333333
14	1.4
15	1.45
16	1.91666667
17	2.31666667
18	3.33E+00
19	3.38333333
20	4.03333333
21	5.08333333
22	5.36666667
23	5.56666667
24	6.81666667
25	6.83333333

No.	TIEMPO
26	0.82792015
27	0.5383455
28	4.16666667
29	1.2738577
30	0.74386377
31	2.39639827
32	0.74386377
33	3.92881519
34	2.47514718
35	2.71897026
36	1.85164035
37	0.80981265
38	1.99538718
39	0.39083859
40	0.42692624
41	1.35
42	0.18333333
43	0.25
44	1.36666667
45	0.2
46	0.05
47	0.66666667
48	0.21666667
49	0.53333333
50	0.21666667

No.	TIEMPO
51	1.6
52	0.98333333
53	1.46666667
54	1.61666667
55	1.16666667
56	1.21666667
57	0.88333333
58	0.2
59	0.00066667
60	0
61	0.2
62	0.71666667
63	0.95
64	1.11666667
65	0.0005
66	0.3
67	0.2
68	0.63333333
69	0.85
70	0.61666667
71	0.93333333
72	0.001
73	0.51666667
74	1.23333333
75	0.7

No.	TIEMPO
76	0.51666667
77	0.2
78	1.45
79	0.00083333
80	0.95
81	1.4
82	0.73333333
83	0.31666667
84	0.08333333
85	0.48333333
86	0.31666667
87	1.06666667
88	0.00083333
89	0.53333333
90	0.16666667
91	1.35
92	0.3
93	0.18333333
94	0.25
95	0.25
96	0.93333333
97	0.6
98	0.35
99	0.81666667
100	0.16666667

## RECEPCIONISTA No. 4

No.	TIEMPO
1	1.27E+00
2	2.00E+00
3	8.35E-01
4	2.15913438
5	8.28E-01
6	5.38E-01
7	5.45E-01
8	0.72165734
9	2.39639827
10	0.74386377
11	3.92881519
12	2.47514718
13	2.71897026
14	0.82954281
15	1.85164035
16	5.59563292
17	0.75709151
18	6.35E-01
19	1.85089055
20	0.5508668
21	2.68872955
22	4.54664223
23	5.75197629
24	6.17589611
25	0.63479441

No.	TIEMPO
26	0.41601104
27	1.95301597
28	0.57907234
29	0.29916275
30	2.47867389
31	2.60421879
32	5.34843633
33	4.65030912
34	1.75119774
35	5.44474496
36	3.4067577
37	2.56512046
38	1.39021299
39	0.36194449
40	0.10507918
41	0.97170039
42	0.10687652
43	0.98146956
44	0.38231337
45	0.95951296
46	0.40948061
47	0.38507339
48	0.16944331
49	0.47631419
50	0.28956034

No.	TIEMPO
51	0.93042261
52	1.2738577
53	2.00169108
54	0.83537475
55	2.15913438
56	0.82792015
57	0.5383455
58	0.54453655
59	0.72165734
60	2.39639827
61	0.74386377
62	3.92881519
63	2.47514718
64	2.71897026
65	0.82954281
66	1.85164035
67	5.59563292
68	4.03333333
69	5.08333333
70	5.36666667
71	5.56666667
72	6.81666667
73	6.83333333
74	0.82792015
75	0.5383455

No.	TIEMPO
76	4.16666667
77	1.2738577
78	0.74386377
79	2.39639827
80	0.74386377
81	3.92881519
82	2.47514718
83	2.71897026
84	1.85164035
85	0.80981265
86	1.99538718
87	0.39083859
88	0.42692624
89	1.35
90	0.18333333
91	3.4067577
92	2.56512046
93	1.39021299
94	0.36194449
95	0.10507918
96	0.97170039
97	0.10687652
98	3.4067577
99	2.56512046
100	1.39021299

## RECEPCIONISTA No. 5

No.	TIEMPO
1	7.28E-01
2	5.65E+00
3	9.77E-01
4	2.40104
5	7.40E-01
6	4.09E+00
7	1.70E+00
8	0.834561
9	6.40246
10	0.895607
11	0.291974
12	1.83997
13	2.07936
14	0.984884
15	2.59829
16	1.03695
17	5.10217
18	7.54E-01
19	0.321421
20	0.103207
21	0.336554
22	0.748013
23	0.957007
24	2.19922
25	0.771472

No.	TIEMPO
26	0.257706
27	0.330477
28	0.492541
29	0.61773
30	4.81813
31	1.87508
32	0.00398
33	0.186085
34	0.607176
35	0.611673
36	0.993882
37	3.24782
38	0.2159
39	2.3913
40	8.37869
41	1.84426
42	3.34997
43	1.59976
44	1.42118
45	2.28336
46	7.19748
47	1.90636
48	1.46749
49	0.592529
50	1.4038

No.	TIEMPO
51	1.30429
52	1.34966
53	3.63848
54	0.579835
55	1.48887
56	0.756457
57	0.847838
58	1.41655
59	1.89131
60	2.61825
61	0.352713
62	3.79493
63	0.893031
64	0.1058
65	0.592036
66	2.0681
67	0.78376
68	1.03859
69	0.477671
70	3.57874
71	2.32693
72	0.214136
73	0.216406
74	0.145383
75	0.240206

No.	TIEMPO
76	0.792005
77	0.7900835
78	0.0239
79	2.5290047
80	0.54600203
81	5.08651
82	0.0278
83	0.36310086
84	3.70007
85	8.1210018
86	5.71602
87	2.931044
88	1.16298
89	0.3660843
90	0.7140264
91	0.60005
92	2.013
93	1.17089
94	3.25019
95	3.240066
96	1.24904
97	1.6111
98	0.3160908
99	2.43009
100	0.0309

## RECEPCIONISTA No. 6

No.	TIEMPO
1	4.11E-03
2	2.47E-02
3	2.87E-02
4	0.0320095
5	1.07E-01
6	1.09E-01
7	1.50E-01
8	0.192466
9	0.221478
10	0.223303
11	0.223825
12	0.248441
13	0.266541
14	0.301984
15	0.327773
16	0.332441
17	0.341808
18	3.48E-01
19	0.364806
20	0.375638
21	0.37942
22	0.494048
23	0.509429
24	0.56493
25	0.599715

No.	TIEMPO
26	0.612334
27	0.612845
28	0.627994
29	0.629931
30	0.632644
31	0.638909
32	0.739
33	0.75334
34	0.765669
35	0.773659
36	0.779722
37	0.782393
38	0.797922
39	0.810632
40	0.82009
41	0.825722
42	0.863175
43	0.876907
44	0.923649
45	0.926313
46	0.989818
47	1.01049
48	1.01865
49	1.02796
50	1.0725

No.	TIEMPO
51	1.0742
52	1.20285
53	1.21724
54	1.29186
55	1.349
56	1.39594
57	1.45193
58	1.46511
59	1.46991
60	1.51781
61	1.53991
62	1.6546
63	1.66634
64	1.75956
65	1.90305
66	1.90749
67	1.93937
68	1.95616
69	1.97172
70	2.08202
71	2.13901
72	2.15065
73	2.27462
74	2.36165
75	2.40671

No.	TIEMPO
76	2.47328
77	2.48336
78	2.52
79	2.6162
80	2.68737
81	2.70802
82	3.03
83	3.35694
84	3.35917
85	3.36162
86	3.46483
87	3.70144
88	3.76323
89	3.92054
90	3.92505
91	4.23421
92	4.98333
93	5.26091
94	5.2771
95	5.84648
96	5.912
97	6.62198
98	7.44425
99	8.40686
100	8.67

## RECEPCIONISTA LABORATORIO

No.	TIEMPO
1	1.47E+00
2	4.62E+00
3	1.63E+00
4	2.53666
5	1.47E+00
6	3.62E+00
7	2.09E+00
8	1.53412
9	5.09758
10	1.57319
11	1.18686
12	2.17758
13	2.33079
14	1.63033
15	2.6629
16	1.66365
17	4.26539
18	1.48E+00
19	1.20571
20	1.06605
21	1.21539
22	1.47873
23	1.61248
24	2.4075
25	1.49374

No.	TIEMPO
26	1.16493
27	1.21151
28	1.31523
29	1.39535
30	4.08361
31	2.20005
32	1.00255
33	1.11909
34	1.38859
35	1.39147
36	1.63608
37	3.0786
38	1.13818
39	2.53043
40	6.36236
41	2.18032
42	3.14398
43	2.02384
44	1.90956
45	2.46135
46	5.60639
47	2.22007
48	1.9392
49	1.37922
50	1.89843

No.	TIEMPO
51	1.83474
52	1.86378
53	3.32863
54	1.37109
55	1.95288
56	1.48413
57	1.54262
58	1.90659
59	2.21044
60	2.67568
61	1.22574
62	3.42876
63	1.57154
64	1.06771
65	1.3789
66	2.32358
67	1.50161
68	1.6647
69	1.30571
70	3.29039
71	2.48924
72	1.13705
73	1.1385
74	1.09305
75	1.15373

No.	TIEMPO
76	1.50746
77	1.51094
78	1.01528
79	2.61886
80	1.34957
81	4.25537
82	1.01777
83	1.23244
84	3.42597
85	6.20203
86	4.65825
87	2.87612
88	1.7443
89	1.23478
90	1.45713
91	1.38979
92	2.28832
93	1.75321
94	3.08012
95	3.07722
96	1.79939
97	2.03111
98	1.20282
99	2.55974
100	1.01981

## ATENCIÓN LABORATORIO

No.	TIEMPO
1	1.02E+00
2	1.10E+00
3	1.17E+00
4	1.2202033
5	1.23E+00
6	1.30E+00
7	1.40E+00
8	1.402353
9	1.403256
10	1.46024348
11	1.470246
12	1.4824575
13	1.522534
14	1.530255
15	1.62027
16	1.677833
17	1.7998325
18	1.84E+00
19	1.8503083
20	1.91034854
21	1.93032169
22	1.9824513
23	2.043456
24	2.213668
25	2.25753

No.	TIEMPO
26	2.328667
27	2.383487
28	2.39845
29	2.425079
30	2.44867
31	2.49415
32	2.58043
33	2.591437
34	2.594317
35	2.847653
36	2.85475
37	2.86754
38	2.88048
39	2.926748
40	2.95347
41	2.959169
42	3.045076
43	3.081333
44	3.135217
45	3.175293
46	3.38533
47	3.63605
48	3.69615
49	3.7262
50	3.75625

No.	TIEMPO
51	3.836832
52	3.896486
53	3.918517
54	4.170695
55	4.186975
56	4.47745
57	4.617683
58	4.67667
59	4.71785
60	4.787967
61	5.05085
62	5.13855
63	5.145687
64	5.158583
65	5.178617
66	5.37895
67	5.380897
68	5.519183
69	5.6393
70	5.658416
71	5.7965
72	5.837167
73	5.879783
74	5.8898
75	5.9963

No.	TIEMPO
76	6.48108
77	7.31216
78	7.351227
79	7.759112
80	7.951325
81	8.361393
82	9.5816
83	9.751625
84	10.25171
85	10.2581
86	10.37182
87	11.01184
88	11.73196
89	11.75196
90	11.79166
91	13.37228
92	13.39232
93	13.98233
94	14.02386
95	14.04234
96	14.59243
97	15.55259
98	17.64294
99	20.64344
100	5.1085

## ATENCIÓN MÉDICOS

No.	TIEMPO
1	1.30E+01
2	1.33E+01
3	1.33E+01
4	13.3537
5	1.42E+01
6	1.42E+01
7	1.42E+01
8	14.6615
9	15.1267
10	15.4473
11	15.4674
12	15.4732
13	15.7452
14	15.9452
15	16.3368
16	16.6218
17	16.6734
18	1.68E+01
19	16.8463
20	17.031
21	17.1507
22	17.1925
23	17.2145
24	18.4591
25	18.629

No.	TIEMPO
26	19.2423
27	19.6267
28	19.7661
29	19.7718
30	19.9392
31	19.9606
32	19.9905
33	20.0598
34	20.0456
35	21.163
36	21.3242
37	21.3333
38	21.4604
39	21.5487
40	21.6157
41	21.6452
42	21.8168
43	21.9573
44	22.0618
45	22.124
46	22.5378
47	22.6896
48	23.2061
49	23.2355
50	23.9372

No.	TIEMPO
51	23.9412
52	24.1657
53	24.2558
54	24.3587
55	24.8509
56	24.8696
57	25.1245
58	25.1478
59	26.2912
60	26.4502
61	27.2747
62	27.9061
63	27.9154
64	28.4247
65	29.0434
66	29.1891
67	29.2421
68	29.7713
69	30.0156
70	30.1265
71	31.2829
72	31.4126
73	32.4426
74	34.0282
75	34.0772

No.	TIEMPO
76	34.4295
77	34.615
78	34.787
79	36.0057
80	36.6354
81	36.7641
82	38.134
83	39.0956
84	39.5935
85	40.3291
86	40.4404
87	40.8525
88	41.9083
89	42.6947
90	42.9229
91	46.5022
92	50.0933
93	50.1179
94	50.145
95	51.2854
96	53.8998
97	54.5827
98	56.3208
99	56.3707
100	59.7868



### 3.4 Aplicación de pruebas estadísticas para analizar los datos

#### 3.4.1.1 Pruebas de los datos extraídos de las bases

##### Determinación de la distribución de probabilidad de la muestra

Hay varias formas para poder determinar el tipo de distribución que siguen los datos, entre ellas se encuentran:

- ❖ La analítica con las pruebas de bondad de ajuste que usan las frecuencias de la muestra. En el presente trabajo se aplicó la prueba  $\chi^2$ , la razón de esta decisión es que esta prueba sirve tanto para datos continuos como discretos.
- ❖ Por medio de software de simulación o estadístico, que en este caso usamos el Stat Fit de Promodel.

Con la prueba de bondad de ajuste de la  $\chi^2$  se determinó si los datos obtenidos se comportan de acuerdo a una distribución de probabilidad conocida y a modo rápido de comprobación se elaboró la prueba con el programa Stat Fit de Promodel (programa para la elaboración de modelos).

Mediante el programa Promodel ensayamos, para observar la distribución, este análisis previo nos sirvió de base para conjeturar que la distribución de estos datos es una Poisson, por lo tanto las hipótesis son:

$H_0$ : la distribución es Poisson.

$H_a$ : la distribución no es Poisson.

Recordando el procedimiento de la prueba de la  $\chi^2$ : se comparan las frecuencias observadas  $O_i$  (extraídas de las bases de datos), con las frecuencias esperadas  $E_i$  (teóricas).

Las observaciones son obtenidas mediante muestreo aleatorio a partir de una población particionada en categorías.

Se va a decidir si las frecuencias observadas están o no en concordancia con las frecuencias esperadas (es decir, si el número de resultados observados en cada clase corresponde aproximadamente al número esperado). Para comprobarlo, se hará uso de un contraste de hipótesis usando la distribución  $\chi^2$ :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Las esperadas se calculan con una Poisson que es la distribución que en la hipótesis ( $H_0$ ) se supuso siguen los datos.

$$P(X = x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

Se elabora esta prueba con los datos de todos los días de la semana para observar la distribución de cada uno de ellos.

Como el procedimiento es el mismo para todos los días de la semana, de martes a sábado y de lunes a sábado de laboratorio se presentan en el anexo del presente trabajo, esto con la finalidad de no fatigar al lector y el lector que así lo considere pueda consultar en el anexo la totalidad de los cálculos. Solamente se presentarán los resultados de dichos días en forma de resumen.

## Lunes

El primer paso consiste en ordenar los datos de menor a mayor, después agrupar los datos en intervalos, anotar las frecuencias de ocurrencia en cada intervalo, sacar el punto medio del intervalo, calcular la  $\chi^2$  y por último comparar el valor resultante de este cálculo con la tabla de la  $\chi^2$  con los grados de libertad asociados y si el resultado obtenido es menor al de la tabla se acepta la hipótesis.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio	Datos								
1	(83,104.50)	5	93.75	83	84	86	93	104				
2	(104.5,107.5)	6	106	105	105	106	107	107	107			
3	(107.5,113)	5	110.25	108	108	109	110	112				
4	(113,116.50)	5	114.75	114	115	115	116	116				
5	(116.5,121)	5	118.75	117	119	119	120	120				
6	(121,126)	8	123.5	122	123	124	124	124	125	125	125	
7	(126,136)	5	131	128	129	130	135	135				
8	(136,155)	9	145.5	137	137	142	143	143	143	145	147	155

<b>n =</b>	<b>8</b>
<b>media =</b>	<b>119.708</b>

$$P(X=x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

<i>x</i>	<i>O<sub>i</sub></i>	<i>frec</i>	<i>E<sub>i</sub></i>	<i>O<sub>i</sub>-E<sub>i</sub></i>	<i>(O<sub>i</sub>-E<sub>i</sub>)<sup>2</sup></i>	<i>(O<sub>i</sub>-E<sub>i</sub>)<sup>2</sup> / E<sub>i</sub></i>
93.75	0.05	0.000418	0.05919	-0.0092	8.44E-05	0.0014267
106	0.06	0.000501	0.01711	0.0429	0.00184	0.1075243
110.25	0.05	0.000418	0.08387	-0.0339	0.001147	0.0136806
114.75	0.05	0.000418	1.17669	-1.1267	1.269433	1.0788159
118.75	0.05	0.000418	1.31201	-1.262	1.592663	1.2139132
123.5	0.08	0.000668	0.37605	-0.2961	0.087647	0.2330716
131	0.05	0.000418	0.02078	0.0292	0.000854	0.0410844
145.5	0.09	0.000752	0.0297	0.0603	0.003636	0.1224335

2.8119502
-----------

Este valor se compara con el valor en la tabla de la  $\chi^2$  con  $8-1-1 = 6$  grados de libertad.

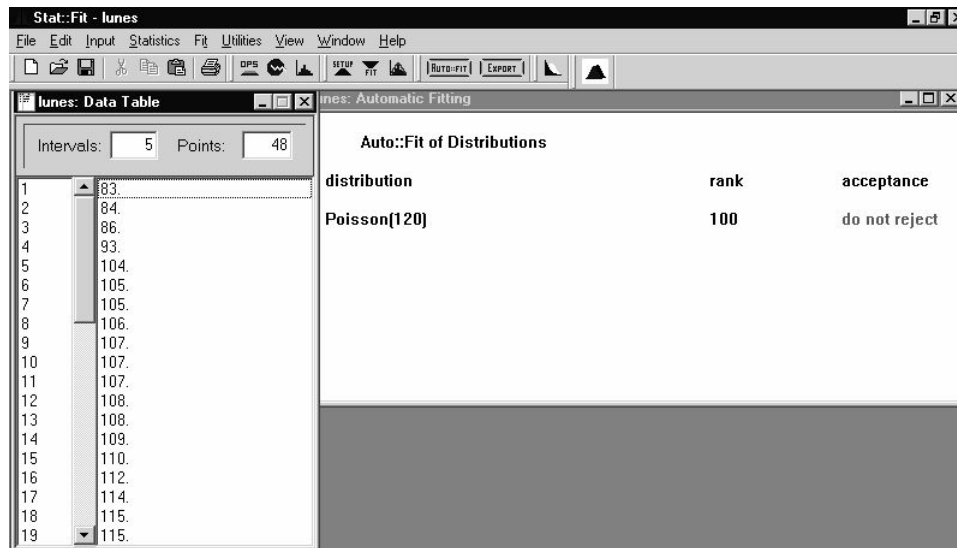
<b>NC</b>					<b>90%</b>	<b>95%</b>	<b>97,5%</b>	<b>99%</b>	<b>99,5%</b>	<b>99,9%</b>
<b>1-<math>\alpha</math></b>	<b>0,995</b>	<b>0,975</b>	<b>0,900</b>	<b>0,500</b>	<b>0,100</b>	<b>0,050</b>	<b>0,025</b>	<b>0,010</b>	<b>0,005</b>	<b>0,001</b>
<b>v</b>										
<b>6</b>	0,676	1,237	2,204	5,348	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548	22,458

Como  $2.81 < 12.592$ , se acepta la prueba con 95 % de confianza.

Al ser  $n = 8$  y un parámetro usado en los cálculos los grados de libertad son 6, usando la tabla de la  $\chi^2$  buscamos en la fila del 6 y en la columna del .05 el valor que tiene, lo comparamos con el obtenido con los cálculos si este valor es menor que el de la tabla se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), nos da con un 95% de confianza de que estos datos se distribuyen como una Poisson:

Con Stat Fit de Promodel

A modo de comprobación se ingresaron los datos obtenidos de las bases de datos al programa Stat Fit. El cual es un módulo de análisis estadístico de Promodel, en el que se pueden ingresar los datos obtenidos tanto de la base de datos como de la observación y analizarlos para determinar el tipo de distribución que siguen estos datos, así como proporcionar los parámetros estadísticos de dichos datos. Obteniéndose el mismo resultado que con los cálculos realizados analíticamente.



<b>Puntos</b>	48
<b>Intervalos</b>	5
<b>Media</b>	120
<b>Distribución</b>	Poisson

Resumen de los datos necesarios de martes a sábado.

<b>Día</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Distribución</b>
Martes	47	131.9149	Poisson
Miércoles	48	127.3958	Poisson
Jueves	47	134.2766	Poisson
Viernes	48	110.2292	Poisson
Sábado	46	89.82609	Poisson

Resumen de los datos del laboratorio

<b>Día</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Distribución</b>
Lunes	48	13.14583	Poisson
Martes	47	12.42553	Poisson
Miércoles	48	11.85417	Poisson
Jueves	47	11.65957	Poisson
Viernes	47	12.25532	Poisson
Sábado	44	19.61364	Poisson

### 3.4.2 Pruebas de los datos de monitoreo

Al igual que en la forma de llegada de los pacientes se elaboraron las pruebas para analizar cómo se distribuyen los datos del tiempo de atención de los pacientes.

Como pensamos que la distribución de estos datos es una Exponencial, lo probamos con el programa de Promodel por lo tanto se establece como hipótesis:

*H<sub>0</sub>*: Los datos se distribuyen como una exponencial

*H<sub>a</sub>*: No se distribuyen como una exponencial.

Se va a decidir si las frecuencias observadas están o no en concordancia con las frecuencias esperadas (es decir, si el número de resultados observados en cada clase corresponde aproximadamente al número esperado). Para comprobarlo, haremos uso de un contraste de hipótesis usando la distribución  $\chi^2$ :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

En estos casos las observadas  $O_i$  (los datos obtenidos por medición con cronómetro), con las frecuencias esperadas  $E_i$  (teóricas).

Las esperadas se calculan con una exponencial que es la distribución asumida en la hipótesis  $H_0$  para estos datos.

$$F(x) = 1 - e^{-x/\lambda} \quad \text{si } x \geq 0$$

Al ser la exponencial una función continua, la única forma de elaborar la prueba es mediante intervalos.

Los pasos que se siguen son los mismos para todas las personas que prestan una atención a los pacientes (repcionistas, laboratorio y doctores) y serán los siguientes:

- Se ordenan los datos.
- Se separan en intervalos agrupándolos.
- Se anota la frecuencia de ocurrencia en cada intervalo.
- Se obtiene la media de cada intervalo
- Se aplica la prueba de la  $\chi^2$ , usando la función de la exponencial.

Al igual que en el caso de las llegadas de los pacientes se elabora el mismo procedimiento para todas las recepcionistas, en este capítulo sólo se incluye completo el análisis de la

repcionista 1, el análisis de los demás se incluyen en el anexo al final del presente trabajo.

### Recepcionista 1

No	Intervalo	Fr	Punto medio
1	(0.1, 1.2)	51	0.65

#### Datos

1.55E-02	0.134	0.35011	0.495	0.67229	0.966	2.07E-02	0.13708	0.381	0.516
0.72231	1.032	3.93E-02	0.149	0.38262	0.533	0.77472	1.04586	0.052	0.165
0.38455	0.566	0.77637	1.061	6.49E-02	0.182	0.39515	0.57826	0.782	1.144
7.31E-02	0.227	0.43173	0.598	0.7865	1.186	7.69E-02	0.23147	0.458	0.604
0.8863	0.095	0.33626	0.481	0.62326	0.927	0.11933	3.43E-01	0.493	0.658
0.93512									

No	Intervalo	Fr	Punto medio
2	(1.2, 2.2)	23	1.70

#### Datos

1.25846	1.38	1.58997	1.783	1.90279	2.111	1.27008	1.50424	1.631	1.843
2.00679	2.13	1.29E+00	1.52	1.67421	1.856	2.03E+00	2.13552	1.303	1.566
1.67941	1.89	2.03147							

No	Intervalo	Fr	Punto medio
3	(2.2, 3.7)	13	2.95

#### Datos

2.45805	2.63	2.89044	3.654	2.51389	2.732	2.90775	2.55554	2.735	2.981
2.59964	2.86	3.16688							

No	Intervalo	Fr	Punto medio	Datos					
4	(3.7,4.7)	6	4.20	3.812	3.936	3.951	4.286	4.501	4.655
5	(4.7,5.6)	3	5.15	5.154	5.268	5.523			
6	(5.6,6.3)	1	5	6.27					
7	(6.3,8.8)	1	7.55	8.77					
8	(8.8,9.8)	2	9.3	9.049	9.736				

Una vez que se tienen los datos necesarios se aplica la prueba de la  $\chi^2$

$H_0$ : Los datos se distribuyen como una exponencial

$H_a$ : No se distribuyen como una exponencial.

Media	1.76
n =	8

$$1 - e^{-x/\lambda}$$

$x$	$O_i$	$frec$	$E_i$	$O_i - E_i$	$(O_i - E_i)^2$	$(O_i - E_i)^2 / E_i$
0.65	0.51	0.289773	0.308795	0.201205	0.040484	0.13110216
1.7	0.23	0.130682	0.619363	-0.38936	0.151604	0.24477333
2.95	0.13	0.073864	0.812905	-0.6829	0.466359	0.5736942
4.2	0.06	0.034091	0.908037	-0.84804	0.719166	0.79200111
5.15	0.03	0.017045	0.946396	-0.9164	0.839782	0.88734723
5.95	0.01	0.005682	0.965976	-0.95598	0.91389	0.94607927
7.55	0.01	0.005682	0.986292	-0.97629	0.953146	0.96639335
9.3	0.03	0.017045	0.994928	-0.96493	0.931087	0.93583295

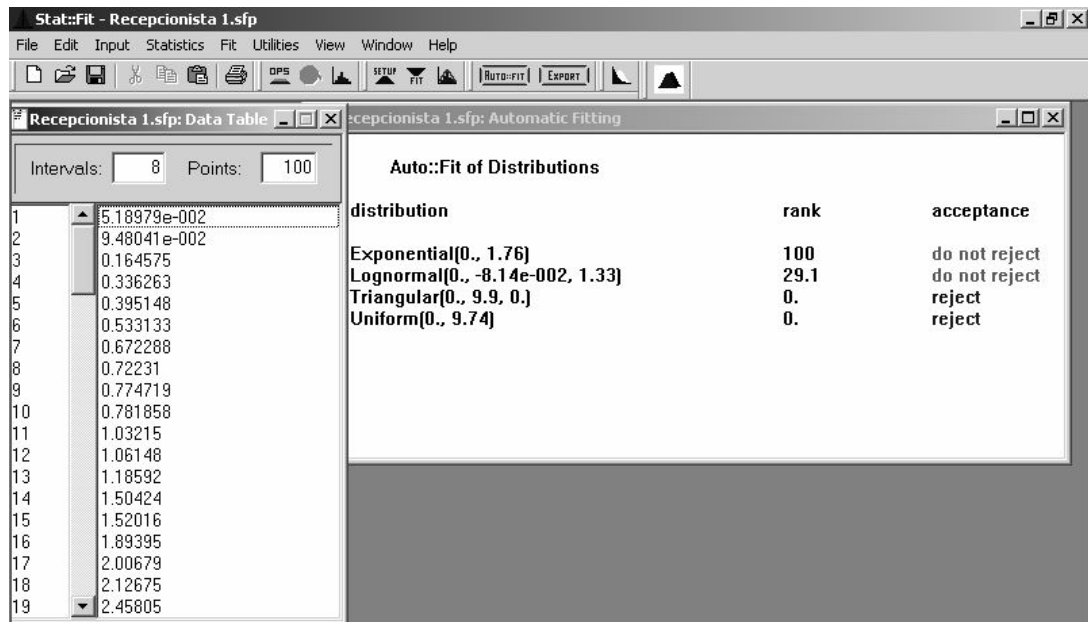
5.47722359

con 6 grados de libertad  
Con 95° de intervalo de confianza.

Se compara este resultado con la tabla de la  $\chi^2$  en la fila del 6 y en la columna del .05 si el valor de la tabla es mayor que el obtenido se acepta la hipótesis  $H_0$  de que estos datos se

distribuyen como una exponencial. Como  $12.59 > 5.4$ , se acepta  $H_0$  por lo tanto los datos se distribuyen como una exponencial.

### Con Stat fit



<b>Puntos</b>	100
<b>Intervalos</b>	8
<b>Media</b>	1.76
<b>Distribución</b>	Exponencial

El análisis completo de los demás servidores se incluye en el anexo del presente trabajo, en este momento sólo se citan los resultados obtenidos.

Persona	N	Media	Distribución
Recep 2	6	1.97	Exponencial
Recep 3	9	1.17	Exponencial
Recep 4	6	1.99	Exponencial
Recep 5	6	1.74	Exponencial
Recep 6	7	1.8	Exponencial
Recep Lab	7	1.12	Exponencial
Atención Lab	7	4.23	Exponencial
Atención Medicos	6	14.3	Exponencial



### 3.5 Presentación de los resultados obtenidos

#### 3.5.1 Resumen de los datos de las llegadas de los pacientes

Como se pudo observar y comprobar en el análisis de los datos, las distribuciones de las llegadas de los pacientes se comportan en todos los casos con una distribución Poisson.

#### Llegadas Pacientes

Día	Tamaño de la muestra	Media	Distribución
LUNES	48	119.7083	Poisson
MARTES	47	131.9149	Poisson
MIÉRCOLES	48	127.3958	Poisson
JUEVES	47	134.2766	Poisson
VIERNES	48	109.2292	Poisson
SABADO	46	89.82609	Poisson

#### Llegada Laboratorio

Día	Tamaño de la muestra	Media	Distribución
LUNES	48	13.14583	Poisson
MARTES	47	12.42553	Poisson
MIÉRCOLES	48	11.85417	Poisson
JUEVES	47	11.65957	Poisson
VIERNES	47	12.25532	Poisson
SÁBADO	44	19.61364	Poisson

### 3.5.2 Resumen de los datos de la atención de los pacientes

De los datos observados de la forma de servicio de los pacientes.

Recepcionista	Tamaño de la muestra	Media	Distribución
1	100	1.76	Exponencial
2	100	1.97	Exponencial
3	100	1.17	Exponencial
4	100	1.99	Exponencial
5	100	1.7414	Exponencial
6	100	1.8	Exponencial

LABORATORIO	Tamaño de la muestra	Media	Distribución
RECEPCIONISTA	100	1.12	Exponencial
QUIMICA	100	4.23	Exponencial

ATENCION	Tamaño de la muestra	Media	Distribución
MEDICOS	100	2.8102	Exponencial

Los datos obtenidos anteriormente, fueron los que sirvieron de base para aplicar los conceptos y herramientas de la teoría de colas.

## CAPÍTULO 4

### APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS A LOS DATOS OBTENIDOS

#### 4.1 Introducción

En el presente capítulo, se presentan los resultados de los diferentes estudios de rendimiento aplicados a las colas del Centro en estudio. De los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se recopiló la información necesaria para poder elaborar un análisis del estado de las líneas de espera.

Se analizó a las diferentes filas por separado para luego hacer el análisis de toda la red, esto último debido a que la red presenta las condiciones que deben cumplir los sistemas de redes de colas, ya sean abiertas o cerradas, para efectuar un análisis por descomposición. Es decir, se puede estudiar el rendimiento de cada fila (nodo) por separado, para posteriormente calcular el rendimiento de toda la red.

El estudio de cada uno de los médicos se deja para otro estudio posterior, a ellos se les consideró como un solo nodo de la red. La razón de esta decisión es que son 59 médicos que asisten con diferentes horarios y días de la semana, y la red se haría muy extensa aumentando este número de nodos, además el rendimiento de las filas de los doctores no son relevantes para analizar la efectividad de las recepcionistas y la situación de las colas atendidas por ellas. Para poder concluir la red se tomó un promedio del número de médicos que asisten a dar consulta cada día, así como un promedio del tiempo de consulta.

En total son cinco filas, 3 de ellas de la forma  $M/M/1$  y 2 de la forma  $M/M/c$ , en los cálculos de las medidas de rendimiento de las colas sólo se especificarán las fórmulas en el primer caso de análisis, esto con el fin de no cansar al lector.

## 4.2 Características y elementos de las filas

En el Centro en estudio como se menciona, existen varias colas, localizadas como se muestra en el siguiente dibujo.

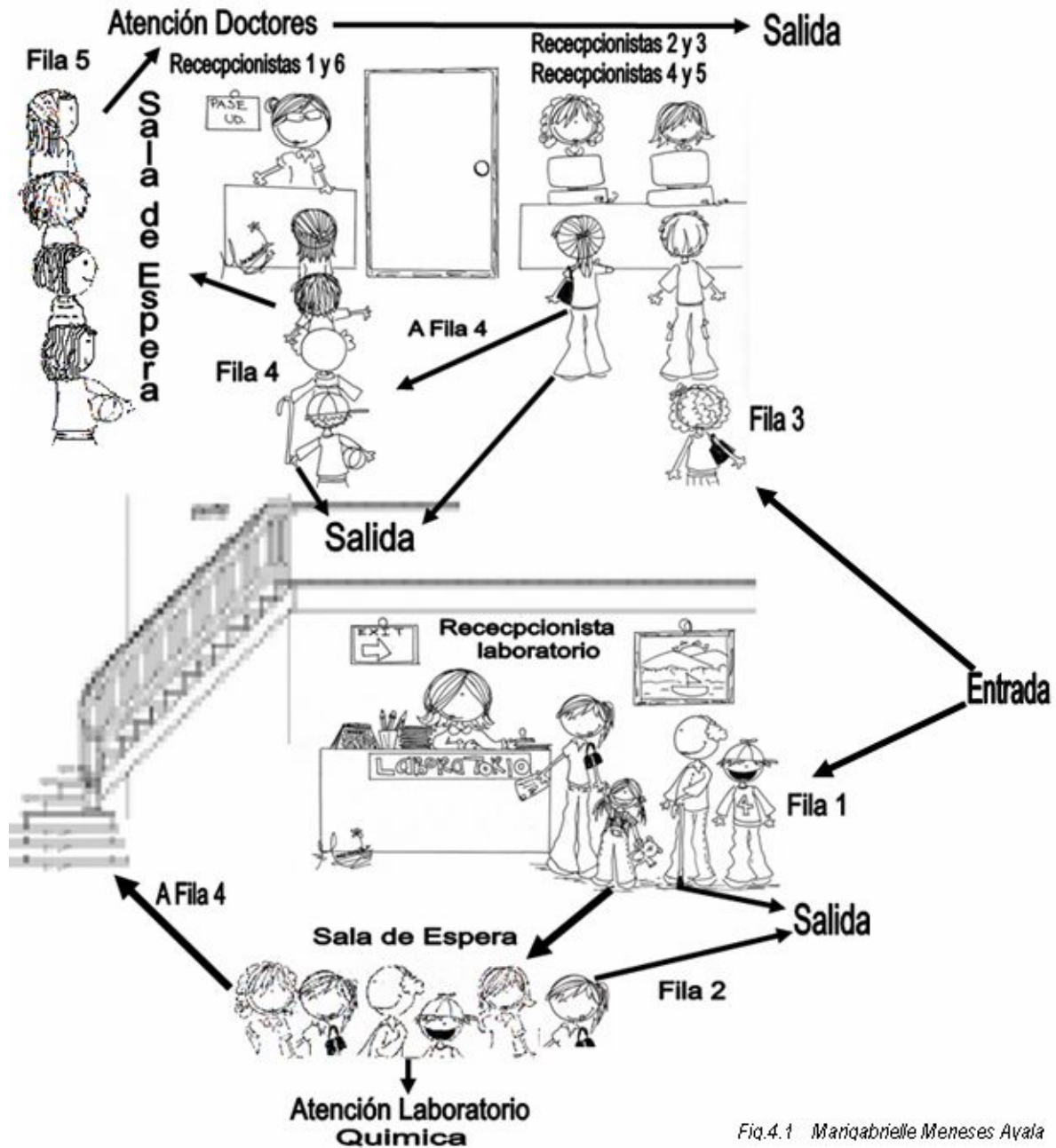
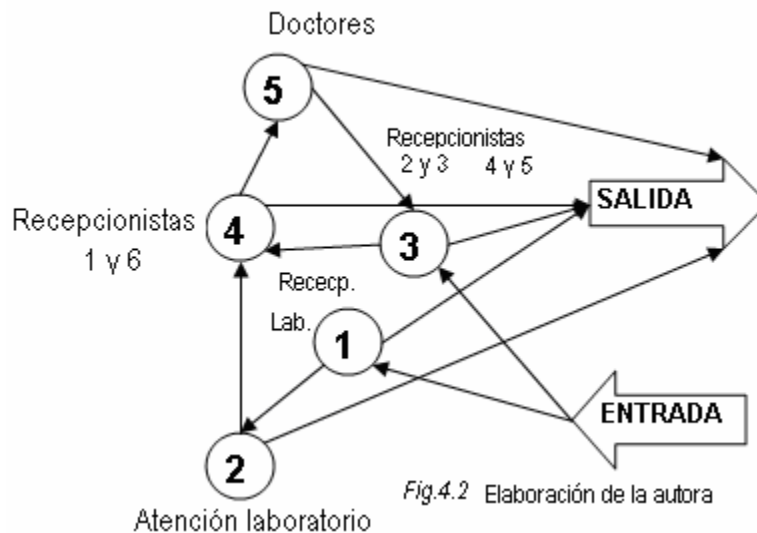


Fig.4.1 Mariagabrielle Meneses Ayala

Estas colas forman una red de colas cuyo diagrama es el siguiente.



**Los elementos necesarios para aplicar la teoría de colas, como se mencionó en el Capítulo 3, son:**

- El tamaño de la fuente de entrada y su distribución  
La fuente se consideró infinita  
Las entradas se distribuyen como una Poisson.
- El tiempo entre llegadas y su distribución  
Al ser Poisson la distribución de las llegadas, por el proceso de Poisson la distribución del tiempo entre llegadas es exponencial.
- La disciplina del servicio  
La disciplina del servicio es *FIFO*, primero en llegar primero en ser atendido.
- El número de instalaciones de servicio  
Son cinco.
- El número de servidores (o canales de servicio) en cada instalación de servicio  
En la instalación tres, dos servidores.  
En la instalación cinco varían de acuerdo a los médicos.  
En las otras tres son de un servidor
- La disposición (en serie, paralelo o combinados) de los canales de servicio  
En la instalación tres: dos servidores colocados en serie.

- El tiempo de servicio y su distribución.  
Tiempo de servicio aleatorio con distribución exponencial.
- El proceso de salida.  
Los clientes abandonan completamente el sistema después de ser atendidos, lo que tiene como resultado un sistema de colas de un paso.  
Los clientes, ya que son atendidos en una estación de trabajo, son trasladados a alguna otra parte para atenderlos en otro tipo de proceso, lo que tiene como resultado una red de colas.

Todas las filas del presente estudio son de la forma:

***M/M/c*: llegadas de Poisson y distribución exponencial del tiempo de servicio**

Probablemente ésta sea la cola más simple para analizar. Se presume que las llegadas se producen aleatoriamente desde una población infinita (un proceso de entradas de Poisson), no hay límite en la capacidad de la sala de espera y los tiempos de servicio se distribuyen exponencialmente.

La Fila 1 es *M/M/1*

La Fila 2 es *M/M/1*

La Fila 3 es *M/M/2*

La Fila 4 es *M/M/1*

La Fila 5 es *M/M/c*

Medidas de rendimiento:

- Número medio de clientes en el sistema,  $L$ .
- Tiempo medio de espera de los clientes,  $W$ .
- Número medio de clientes en la cola,  $Lq$ .
- Tiempo medio de espera en la cola de los clientes,  $Wq$ .

#### 4.2.1 Resultados obtenidos del análisis de datos

El número de pacientes que llegaron al Centro durante el 2005 en los respectivos días fueron los siguientes.

<b>DÍA</b>	<b>POR HORA</b>	<b>+ Los que se van</b>
LUNES	14.96354	16.96354167
MARTES	16.48936	18.4893617
MIÉRCOLES	15.90625	17.90625
JUEVES	16.78457	18.78457447
VIERNES	14.69722	16.69722222
SÁBADO	22.45652	24.45652174

El número de personas que llegaron al laboratorio en los respectivos días fueron los siguientes.

<b>DÍA</b>	<b>POR HORA</b>	<b>+ Los que se van</b>
LUNES	6.57291667	9.572916667
MARTES	6.21276596	9.212765957
MIÉRCOLES	5.92708333	8.927083333
JUEVES	5.82978723	8.829787234
VIERNES	6.12765957	9.127659574
SÁBADO	9.80681818	12.80681818

Distribuciones de las llegadas de los pacientes.

<b>Día</b>	<b>Distribución</b>
LUNES	Poisson
MARTES	Poisson
MIÉRCOLES	Poisson
JUEVES	Poisson
VIERNES	Poisson
SÁBADO	Poisson

Distribución del tiempo de servicio, obtenidos de la observación directa.

<b>Recepcionista</b>	<b>Distribución</b>
1	Exponencial
2	Exponencial
3	Exponencial
4	Exponencial
5	Exponencial
6	Exponencial

Distribución de la atención en el laboratorio.

<b>Laboratorio</b>	<b>Distribución</b>
RECEPCIONISTA	Exponencial
QUIMICA	Exponencial

Distribución de los pacientes que llegan al laboratorio.

<b>Día</b>	<b>Distribución</b>
LUNES	Poisson
MARTES	Poisson
MIERCOLES	Poisson
JUEVES	Poisson
VIERNES	Poisson
SABADO	Poisson

Y por último la distribución de la atención de los médicos.

<b>ATENCIÓN</b>	<b>Distribución</b>
MEDICOS	Exponencial



En la siguiente tabla se muestra el número de pacientes atendidos por hora por cada una de las recepcionistas.

<b>Personal</b>	<b>Pacientes por hora</b>
Recep 1	30.92783505
Recep 2	30.45685279
Recep 3	51.28205128
Recep 4	30.15075377
Recep 5	34.45503618
Recep 6	33.33333333

Pacientes atendidos por hora del personal de laboratorio.

	<b>Pacientes por hora</b>
Recepcionista	53.571429
Química	14.184397

En el caso de los pacientes atendidos por los doctores se obtuvo la media del tiempo de atención por hora de los diferentes doctores que asisten.

	<b>Pacientes por hora</b>
<b>DOCTORES</b>	2.8102

### 4.3 Análisis de las filas

De las cinco filas involucradas en el sistema se tienen tres filas del tipo  $M/M/1$  (Fila 1, Fila 2 y Fila 4) sólo se especificarán las formulas para el primer caso.

La Fila 3 es de la forma  $M/M/2$  (con las recepcionistas 2 y 3 y las recepcionistas 4 y 5). La fila 5 es de la forma  $M/M/c$ , con la  $c$  variable según el día, sólo se especificarán las formulas para el primer caso.

En todos los casos la capacidad de las colas es infinita y la disciplina es *FIFO* (primero en llegar, primero en ser atendido).

En todas las colas las llegadas se producen según un proceso de Poisson de razón  $\lambda$ , donde  $\lambda$  es el número medio de llegadas por unidad de tiempo que en este caso la unidad de tiempo es la hora y  $1/\lambda$  es el tiempo medio entre llegadas. Los tiempos entre llegadas se distribuyen exponencialmente  $Exp(\lambda)$ .

Los tiempos entre servicios también se distribuyen exponencialmente,  $Exp(\mu)$ , de tal manera que  $\mu$  es el número medio de clientes que el servidor es capaz de atender por unidad de tiempo y  $1/\mu$  es el tiempo medio de servicio.

### 4.3.1 Fila 1

Se trata de la fila en la recepción del laboratorio que es de la siguiente forma.

**M/M/1: llegadas de Poisson y distribución exponencial del tiempo de servicio**



Fig.4.2 Mariagabrielle Meneses Ayala

Se calcula la  $\lambda$  (número de llegadas por hora) y la  $\mu$  (número de servicios por hora).

DÍA	POR HORA	+ Los que se van
LUNES	6.57291667	9.572916667
MARTES	6.21276596	9.212765957
MIÉRCOLES	5.92708333	8.927083333
JUEVES	5.82978723	8.829787234
VIERNES	6.12765957	9.127659574
SÁBADO	9.80681818	12.80681818

Recepcionista	Media	Por hora
1	1.12	53.57143

Se analiza si el sistema se satura con la condición de no saturación.

$$\rho < 1, \text{ donde } \rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$P$	$P < 1$
LUNES	9.57291667	53.5714286	0.178694444	SI
MARTES	9.21276596	53.5714286	0.171971631	SI
MIÉRCOLES	8.92708333	53.5714286	0.166638889	SI
JUEVES	8.82978723	53.5714286	0.164822695	SI
VIERNES	9.12765957	53.5714286	0.170382979	SI
SÁBADO	12.8068182	53.5714286	0.239060606	SI

Al no saturarse el sistema, puede operar en condiciones de estado estable.

Probabilidad de que el sistema esté ocupado.

$$P = \frac{\lambda}{\mu}$$

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$P$	%
LUNES	9.572916667	53.57	0.178694444	17.869
MARTES	9.212765957	53.57	0.171971631	17.197
MIÉRCOLES	8.927083333	53.57	0.166638889	16.664
JUEVES	8.829787234	53.57	0.164822695	16.482
VIERNES	9.127659574	53.57	0.170382979	17.038
SÁBADO	12.80681818	53.57	0.239060606	23.906

Se puede apreciar en la tabla anterior que la tasa de utilización de la fila es muy bajo, el sábado que es el día que se atiende al mayor número de personas tiene un 23.9 % de utilización. Los demás días sólo se usa entre 16.48 y 17.86 % de la capacidad del sistema.

Probabilidad de que el sistema esté vacío.

$$P_0 = 1 - P$$

DÍA	<i>1 - P</i>	%
LUNES	0.821306	82.13
MARTES	0.828028	82.80
MIÉRCOLES	0.833361	83.34
JUEVES	0.835177	83.52
VIERNES	0.829617	82.96
SÁBADO	0.760939	76.09

En la tabla anterior se observa que la probabilidad de que el sistema esté vacío es muy alta todos los días de la semana.

Tiempo medio de respuesta.

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

DÍA	$\lambda$	$\mu$	<i>W Hrs</i>	<i>W Min</i>
LUNES	9.5729	53.57143	0.022728	1.363682
MARTES	9.2128	53.57143	0.022544	1.352611
MIÉRCOLES	8.9271	53.57143	0.022399	1.343955
JUEVES	8.8298	53.57143	0.022351	1.341033
VIERNES	9.1277	53.57143	0.0225	1.350021
SÁBADO	12.807	53.57143	0.024531	1.471865

La fila está poco utilizada se puede apreciar en el resultado del tiempo medio de respuesta que en ningún día de la semana pasa de 1.47 minutos.

Tiempo esperado o promedio de esperar antes de ser atendido.

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$$

<b>DÍA</b>	$\lambda$	$Lq$	$Wq$
LUNES	9,572917	0,038879	0,004061
MARTES	9,212766	0,035716	0,003877
MIÉRCOLES	8,927083	0,033321	0,003733
JUEVES	8,829787	0,032528	0,003684
VIERNES	9,12766	0,034992	0,003834
SÁBADO	12,80682	0,075105	0,005864

Número medio de clientes en el sistema.

$$L = \frac{p}{1-p}$$

<b>DÍA</b>	$P$	$1-P$	$L$
LUNES	0.178694	0.821306	0.217574
MARTES	0.171972	0.828028	0.207688
MIÉRCOLES	0.166639	0.833361	0.19996
JUEVES	0.164823	0.835177	0.197351
VIERNES	0.170383	0.829617	0.205375
SÁBADO	0.239061	0.760939	0.314165

El número medio de clientes en el sistema no llega en ningún día de la semana a 1

Número medio de clientes en la cola.

$$L_q = \frac{P^2}{1-P}$$

DÍA	<i>P</i>	<i>1-P</i>	<i>Lq</i>
LUNES	0.178694	0.821306	0.038879
MARTES	0.171972	0.828028	0.035716
MIÉRCOLES	0.166639	0.833361	0.033321
JUEVES	0.164823	0.835177	0.032528
VIERNES	0.170383	0.829617	0.034992
SÁBADO	0.239061	0.760939	0.075105

El número medio de clientes en la cola es muy pequeño.

Aplicando el teorema de Little.

$$L = \lambda W$$

DÍA	$\lambda$	<i>W</i>	<i>L</i>
LUNES	9.57291667	0.02272804	0.217573646
MARTES	9.21276596	0.02254351	0.207688091
MIÉRCOLES	8.92708333	0.02239925	0.199960001
JUEVES	8.82978723	0.02235054	0.197350543
VIERNES	9.12765957	0.02250034	0.205375462
SÁBADO	12.8068182	0.02453108	0.314165107

$$L_q = \lambda W_q$$

DÍA	$\lambda$	<i>Wq</i>	<i>Lq</i>
LUNES	9.572917	0.004061	0.038879
MARTES	9.212766	0.003877	0.035716
MIÉRCOLES	8.927083	0.003733	0.033321
JUEVES	8.829787	0.003684	0.032528
VIERNES	9.12766	0.003834	0.034992
SÁBADO	12.80682	0.005864	0.075105

Tiempo medio de espera en la cola.

$$W_q = W - \frac{1}{\mu}$$

DÍA	$\mu$	$W$	$W_q$ Hrs	$W_q$ Min
LUNES	53.5714286	0.02272804	0.004061375	0.2437
MARTES	53.5714286	0.02254351	0.003876844	0.2326
MIÉRCOLES	53.5714286	0.02239925	0.003732587	0.224
JUEVES	53.5714286	0.02235054	0.003683877	0.221
VIERNES	53.5714286	0.02250034	0.003833675	0.23
SÁBADO	53.5714286	0.02453108	0.005864415	0.3519

El tiempo medio de espera en la cola el sábado que es el día que más se espera, es de 21 segundos.

#### 4.3.2 Fila 2

Esta fila es la de atención en el laboratorio de análisis clínicos, en este caso no se incluyen las fórmulas sólo los resultados al ser las mismas y el mismo sistema que el caso anterior.

**M/M/1: Llegadas de Poisson y distribución exponencial del tiempo de servicio**



Fig.4.3 *Mangabrielle Meneses Ayala*

DÍA	POR HORA
LUNES	6.572916667
MARTES	6.212765957
MIÉRCOLES	5.927083333
JUEVES	5.829787234
VIERNES	6.127659574
SÁBADO	9.806818182

Atención Lab.	Media	Por hora
Química	4.23	14.1844

Se calcula si el sistema se satura con la condición de no saturación.

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$P$	$P < 1$
LUNES	6.572916667	14.18439716	0.46339	SI
MARTES	6.212765957	14.18439716	0.438	SI
MIÉRCOLES	5.927083333	14.18439716	0.41786	SI
JUEVES	5.829787234	14.18439716	0.411	SI
VIERNES	6.127659574	14.18439716	0.432	SI
SÁBADO	9.806818182	14.18439716	0.69138	SI

No se satura el sistema, puede operar en condiciones estables.

Tasa de utilización del sistema  $P$

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$P$	%
LUNES	6.57292	14.1844	0.46339	46.33906
MARTES	6.21277	14.1844	0.438	43.8
MIÉRCOLES	5.92708	14.1844	0.41786	41.78594
JUEVES	5.82979	14.1844	0.411	41.1
VIERNES	6.12766	14.1844	0.432	43.2
SÁBADO	9.80682	14.1844	0.69138	69.13807



Probabilidad de que el sistema esté vacío  $P_0$

<b>DÍA</b>	<b><math>1-P</math></b>	<b>%</b>
LUNES	0.536609	53.66
MARTES	0.562	56.20
MIÉRCOLES	0.582141	58.21
JUEVES	0.589	58.90
VIERNES	0.568	56.80
SÁBADO	0.308619	30.86

Tiempo medio de respuesta  $W$

<b>DÍA</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>\mu</math></b>	<b><math>W</math> Hrs</b>	<b><math>W</math> Min</b>
LUNES	6.572917	14.1844	0.13138	7.882829
MARTES	6.212766	14.1844	0.125445	7.52669
MIÉRCOLES	5.927083	14.1844	0.121105	7.266286
JUEVES	5.829787	14.1844	0.119694	7.181664
VIERNES	6.12766	14.1844	0.12412	7.447183
SÁBADO	9.806818	14.1844	0.228437	13.70621

Tiempo medio de espera en la cola  $Wq$

<b>DÍA</b>	<b><math>\mu</math></b>	<b><math>W</math></b>	<b><math>Wq</math> Hrs</b>	<b><math>Wq</math> Min</b>
LUNES	14.184397	0.131380485	0.06088	3.652829
MARTES	14.184397	0.12544484	0.05494	3.29669
MIÉRCOLES	14.184397	0.121104759	0.0506	3.036286
JUEVES	14.184397	0.119694397	0.04919	2.951664
VIERNES	14.184397	0.124119718	0.05362	3.217183
SÁBADO	14.184397	0.228436769	0.15794	9.476206

Número medio de clientes en el sistema  $L$

<b>DÍA</b>	$\lambda$	$W$	$L$
LUNES	6.5729167	0.131380485	0.86355
MARTES	6.212766	0.12544484	0.77936
MIÉRCOLES	5.9270833	0.121104759	0.7178
JUEVES	5.8297872	0.119694397	0.69779
VIERNES	6.1276596	0.124119718	0.76056
SÁBADO	9.8068182	0.228436769	2.24024

Número medio de clientes en la cola  $Lq$

<b>DÍA</b>	$\lambda$	$Wq$	$Lq$
LUNES	6.572917	0.06088	0.400162
MARTES	6.212766	0.054945	0.341359
MIÉRCOLES	5.927083	0.050605	0.299939
JUEVES	5.829787	0.049194	0.286793
VIERNES	6.12766	0.05362	0.328563
SÁBADO	9.806818	0.157937	1.548857

### 4.3.3 Fila 3

Esta fila es del tipo:

***M/M/2***: llegadas de Poisson y distribución exponencial del tiempo de servicio

Hay una sola cola con capacidad infinita, y dos servidores en paralelo. La disciplina es *FIFO* (primero en llegar, primero en ser atendido).

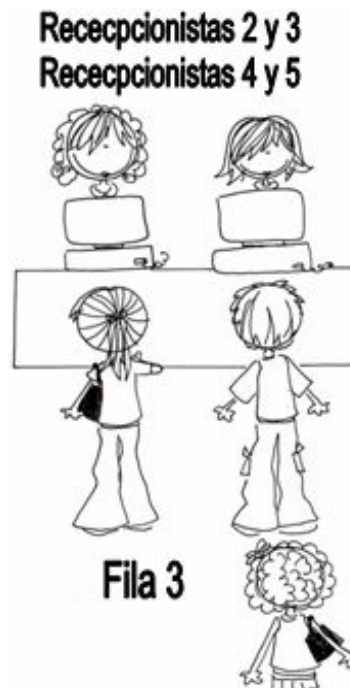


Fig.4.4 Marigabrielle Meneses Ayala

#### 4.3.3.1 Recepcionista 2 y 3

En este caso se incluyen las fórmulas para explicar los resultados, con las recepcionistas 4 y 5 son las mismas fórmulas por lo mismo no se incluyen.

Estas recepcionistas están en el mismo servidor en serie se consideraron juntas, ambas laboran en el turno de la mañana.

La  $\mu$  se calcula como el promedio de las dos recepcionistas que atienden al mismo tiempo.

<i>Recepcionista</i>	$\mu_i$	$\mu$
2	30.456853	40.86945204
3	51.282051	40.86945204

DÍA	POR HORA	+ Los que se van + Los que regresan de 5
LUNES	14.96354167	21.45260418
MARTES	16.4893617	23.43627056
MIÉRCOLES	15.90625	22.678125
JUEVES	16.78457447	23.81994682
VIERNES	14.69722222	21.10638888
SÁBADO	22.45652174	31.19347828

Condición de no saturación.

$$P < 1, \text{ donde } P = \frac{\lambda}{c\mu}$$

DÍA	$\lambda$	$c\mu$	$P$	$P < 1$
LUNES	21.45260418	81.7389041	0.262453	SI
MARTES	23.43627056	81.7389041	0.286721	SI
MIÉRCOLES	22.678125	81.7389041	0.277446	SI
JUEVES	23.81994682	81.7389041	0.291415	SI
VIERNES	21.10638888	81.7389041	0.258217	SI
SÁBADO	31.19347828	81.7389041	0.381623	SI

El sistema puede operar en condiciones de estado estable.

Tasa de utilización.

$$P = \frac{\lambda}{c\mu}$$

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$c$	$P$	%
LUNES	21.45260418	40.869452	2	0.262453	26.24528
MARTES	23.43627056	40.869452	2	0.286721	28.67211
MIÉRCOLES	22.678125	40.869452	2	0.277446	27.74459
JUEVES	23.81994682	40.869452	2	0.291415	29.14151
VIERNES	21.10638888	40.869452	2	0.258217	25.82172
SÁBADO	31.19347828	40.869452	2	0.381623	38.16234

Probabilidad de que el sistema esté vacío.

$$p_0 = \left( \frac{c^c p^c}{c!(1-p)} + \sum_{n=0}^{c-1} \frac{(cp)^n}{n!} \right)^{-1}$$

DÍA	$c$	$P$	$P_0$	$P_0$
LUNES	2	0.2624528	0.584217645	58.42%
MARTES	2	0.28672113	0.554338357	55.43%
MIÉRCOLES	2	0.27744591	0.565624014	56.56%
JUEVES	2	0.29141505	0.548688781	54.87%
VIERNES	2	0.25821717	0.589550707	58.96%
SÁBADO	2	0.3816234	0.447572474	44.76%

Número medio de clientes en cola.

$$L_q = \frac{c^c p^{c+1} p_0}{c!(1-p)^2}$$

<b>DÍA</b>	<b>c</b>	<b>P</b>	<b>Po</b>	<b>Lq</b>
LUNES	2	0.2624528	0.58421764	0.038831
MARTES	2	0.28672113	0.55433836	0.051365
MIÉRCOLES	2	0.27744591	0.56562401	0.046276
JUEVES	2	0.29141505	0.54868878	0.054089
VIERNES	2	0.25821717	0.58955071	0.036894
SÁBADO	2	0.3816234	0.44757247	0.130104

Número esperado en el sistema.

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

<b>DÍA</b>	<b>λ</b>	<b>μ</b>	<b>Lq</b>	<b>L</b>
LUNES	21.45260418	40.869452	0.03883101	0.563737
MARTES	23.43627056	40.869452	0.05136476	0.624807
MIÉRCOLES	22.678125	40.869452	0.04627561	0.601167
JUEVES	23.81994682	40.869452	0.0540889	0.636919
VIERNES	21.10638888	40.869452	0.03689377	0.553328
SÁBADO	31.19347828	40.869452	0.13010448	0.893351

Tiempo esperado en la cola.

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

<b>DÍA</b>	$\lambda$	$L_q$	$W_q$ hrs	$W_q$ min
LUNES	21.45260418	0.038831	0.00181	0.108605
MARTES	23.43627056	0.051365	0.002192	0.131501
MIÉRCOLES	22.678125	0.046276	0.002041	0.122432
JUEVES	23.81994682	0.054089	0.002271	0.136244
VIERNES	21.10638888	0.036894	0.001748	0.104879
SÁBADO	31.19347828	0.130104	0.004171	0.250253

Tiempo total esperado en el sistema.

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

<b>DÍA</b>	$\mu$	$W_q$	$W$	$W$ min
LUNES	40.86945204	0.00181008	0.02627824	1.576694
MARTES	40.86945204	0.00219168	0.02665983	1.59959
MIÉRCOLES	40.86945204	0.00204054	0.02650869	1.590522
JUEVES	40.86945204	0.00227074	0.02673889	1.604334
VIERNES	40.86945204	0.00174799	0.02621614	1.572969
SÁBADO	40.86945204	0.00417089	0.02863904	1.718342

Probabilidad de que el cliente espere.

$$q = \frac{c^c p^c p_0}{c!(1-p)}$$

DÍA	Prob cliente espere
LUNES	0.1091
MARTES	0.1278
MIÉRCOLES	0.1205
JUEVES	0.1315
VIERNES	0.106
SÁBADO	0.2108

#### 4.3.3.2 Recepcionista 4 y 5

Estas recepcionistas están en el mismo servidor en serie, se consideraron juntas, ambas laboran en el turno de la tarde.

Es una cola del tipo Cola  $M | M | c$ , con  $c = 2$ . Los dos servidores están en paralelo.

Hay una sola cola, cuya capacidad es infinita, y  $c$  servidores, La disciplina será *FIFO* (primero en llegar, primero en ser atendido).

La  $\mu$  se calcula como el promedio de las dos recepcionistas que atienden al mismo tiempo.

Recepcionista	$\mu_i$	$\mu$
4	30.15075	32.30289
5	34.45504	32.30289



DÍA	POR HORA	+ Los que se van + Los que regresan de 5
LUNES	14.963542	21.45260418
MARTES	16.489362	23.43627056
MIÉRCOLES	15.90625	22.678125
JUEVES	16.784574	23.81994682
VIERNES	14.697222	21.10638888
SÁBADO	22.456522	31.19347828

Condición de no saturación.

DÍA	$\lambda$	$c\mu$	$P$	$P < 1$
LUNES	21.45260418	64.6057899	0.332054	SI
MARTES	23.43627056	64.6057899	0.362758	SI
MIÉRCOLES	22.678125	64.6057899	0.351023	SI
JUEVES	23.81994682	64.6057899	0.368697	SI
VIERNES	21.10638888	64.6057899	0.326695	SI
SÁBADO	31.19347828	64.6057899	0.482828	SI

El sistema puede operar en condiciones de estado estable.

Tasa de utilización  $P$

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$c$	$P$	%
LUNES	21.45260418	32.302895	2	0.332054	33.20538948
MARTES	23.43627056	32.302895	2	0.362758	36.27580528
MIÉRCOLES	22.678125	32.302895	2	0.351023	35.10231052
JUEVES	23.81994682	32.302895	2	0.368697	36.86967815
VIERNES	21.10638888	32.302895	2	0.326695	32.66950052
SÁBADO	31.19347828	32.302895	2	0.482828	48.28279061

Probabilidad de que el sistema este vacío  $P_o$

<b>DÍA</b>	<b><math>c</math></b>	<b><math>P</math></b>	<b><math>P_o</math></b>	<b><math>P_o \%</math></b>
LUNES	2	0.33205389	0.501441	50.14%
MARTES	2	0.36275805	0.467612	46.76%
MIÉRCOLES	2	0.35102311	0.48036	48.04%
JUEVES	2	0.36869678	0.461244	46.12%
VIERNES	2	0.32669501	0.507505	50.75%
SÁBADO	2	0.48282791	0.348774	34.88%

Número medio de clientes en cola  $Lq$

<b>DÍA</b>	<b><math>c</math></b>	<b><math>P</math></b>	<b><math>P_o</math></b>	<b><math>Lq</math></b>
LUNES	2	0.33205389	0.501441	0.082299
MARTES	2	0.36275805	0.467612	0.109941
MIÉRCOLES	2	0.35102311	0.48036	0.098661
JUEVES	2	0.36869678	0.461244	0.116009
VIERNES	2	0.32669501	0.507505	0.078068
SÁBADO	2	0.48282791	0.348774	0.293549

Número esperado de clientes en el sistema  $L$

<b>DÍA</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>\mu</math></b>	<b><math>Lq</math></b>	<b><math>L</math></b>
LUNES	21.452604	32.302895	0.082299	0.746406
MARTES	23.436271	32.302895	0.109941	0.835457
MIÉRCOLES	22.678125	32.302895	0.098661	0.800707
JUEVES	23.819947	32.302895	0.116009	0.853403
VIERNES	21.106389	32.302895	0.078068	0.731458
SÁBADO	31.193478	32.302895	0.293549	1.259205

Tiempo esperado en la cola  $Wq$

DÍA	$\lambda$	$Lq$	$Wq$ hrs	$Wq$ min
LUNES	21.45260418	0.08229861	0.003836	0.230178
MARTES	23.43627056	0.10994059	0.004691	0.281463
MIÉRCOLES	22.678125	0.09866091	0.00435	0.261029
JUEVES	23.81994682	0.11600929	0.00487	0.292215
VIERNES	21.10638888	0.07806827	0.003699	0.221928
SÁBADO	31.19347828	0.29354944	0.009411	0.564636

Tiempo total esperado en el sistema  $W$

DÍA	$\mu$	$Wq$	$W$	$W$ min.
LUNES	32.302895	0.0038363	0.034793	2.087597
MARTES	32.302895	0.00469104	0.035648	2.138881
MIÉRCOLES	32.302895	0.00435049	0.035307	2.118448
JUEVES	32.302895	0.00487026	0.035827	2.149634
VIERNES	32.302895	0.0036988	0.034656	2.079347
SÁBADO	32.302895	0.0094106	0.040368	2.422055

Probabilidad de que el cliente espere  $q$ .

DÍA	Prob cliente espere
LUNES	0.1655
MARTES	0.1931
MIÉRCOLES	0.1824
JUEVES	0.1986
VIERNES	0.1609
SÁBADO	0.3144

### 4.3.4 Fila 4

Hay una sola cola, cuya capacidad es infinita, y un solo servidor. La disciplina es *FIFO*. En este servidor operan las recepcionistas 1 y 6.

**M/M/1: llegadas de Poisson y distribución exponencial del tiempo de servicio**

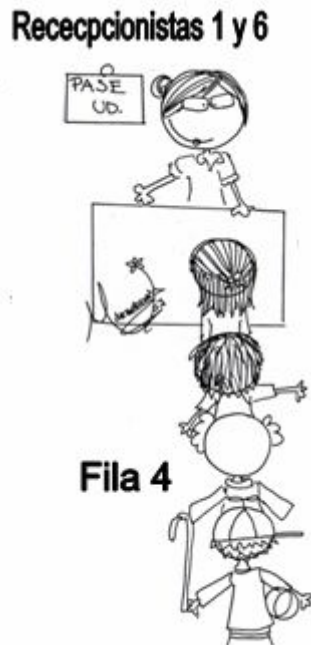


Fig.4. 5 Marigabriele Meneses Ayala

#### 4.3.4.1 Recepcionista 1

La recepcionista 1 opera en el turno de la mañana, se encuentra ubicada en el nodo 4.

Se calcula la  $\lambda$  (número de llegadas por tiempo) y la  $\mu$  (número de servicios por tiempo).

DÍA	POR HORA	+ Los del nodo 2
LUNES	14.963542	15.96354167
MARTES	16.489362	18.4893617
MIÉRCOLES	15.90625	15.90625
JUEVES	16.784574	17.78457447
VIERNES	14.697222	15.69722222
SÁBADO	22.456522	24.45652174

	Media	Por hora
1	1.76	34.09091

Se calcula si el sistema se satura con la condición de no saturación.

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$P$	$P < 1$
LUNES	15.9635	34.091	0.4682639	SI
MARTES	18.4894	34.091	0.5423546	SI
MIÉRCOLES	15.9063	34.091	0.4665833	SI
JUEVES	16.7846	34.091	0.4923475	SI
VIERNES	14.6972	34.091	0.4311185	SI
SÁBADO	24.4565	34.091	0.7173913	SI

Al no saturarse el sistema puede operar en condiciones de estado estable.

Tasa de utilización del sistema  $P$

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$P$	%
LUNES	15.963542	34.0909	0.46826389	46.8263889
MARTES	18.489362	34.0909	0.54235461	54.235461
MIÉRCOLES	15.90625	34.0909	0.46658333	46.6583333
JUEVES	16.784574	34.0909	0.49234752	49.2347518
VIERNES	14.697222	34.0909	0.43111852	43.1118519
SÁBADO	24.456522	34.0909	0.7173913	71.7391304

Probabilidad de que el sistema esté vacío  $P_0$ .

DÍA	$1 - P$	%
LUNES	0.531736111	53.17
MARTES	0.45764539	45.76
MIÉRCOLES	0.533416667	53.34
JUEVES	0.507652482	50.77
VIERNES	0.568881481	56.89
SÁBADO	0.282608696	28.26

Número medio de clientes en la cola  $Lq$

<b>DÍA</b>	<b><math>P</math></b>	<b><math>1-P</math></b>	<b><math>Lq</math></b>
LUNES	0.468264	0.531736	0.412368
MARTES	0.542355	0.457645	0.642743
MIÉRCOLES	0.466583	0.533417	0.408124
JUEVES	0.492348	0.507652	0.477504
VIERNES	0.431119	0.568881	0.326717
SÁBADO	0.717391	0.282609	1.82107

Número medio de clientes en el sistema  $L$

<b>DÍA</b>	<b><math>P</math></b>	<b><math>1-P</math></b>	<b><math>L</math></b>
LUNES	0.46826389	0.5317361	0.880632101
MARTES	0.54235461	0.4576454	1.185097942
MIÉRCOLES	0.46658333	0.5334167	0.874707077
JUEVES	0.49234752	0.5076525	0.969851493
VIERNES	0.43111852	0.5688815	0.757835388
SÁBADO	0.7173913	0.2826087	2.538461538

Tiempo medio de respuesta  $W$

<b>DÍA</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>\mu</math></b>	<b><math>W</math> Hrs.</b>	<b><math>W</math> Min</b>
LUNES	15.9635417	34.0909091	0.0551652	3.309912498
MARTES	18.4893617	34.0909091	0.0640962	3.845772378
MIÉRCOLES	15.90625	34.0909091	0.0549914	3.299484456
JUEVES	16.7845745	34.0909091	0.0577823	3.466938627
VIERNES	14.6972222	34.0909091	0.0515632	3.093790284
SÁBADO	24.4565217	34.0909091	0.1037949	6.227692308

Tiempo medio de espera en la cola  $Wq$

DÍA	$\mu$	$W$	$Wq$ Hrs.	$Wq$ Min
LUNES	34.0909	0.055165208	0.0258319	1.54991
MARTES	34.0909	0.064096206	0.0347629	2.08577
MIÉRCOLES	34.0909	0.054991408	0.0256581	1.53948
JUEVES	34.0909	0.05778231	0.028449	1.70694
VIERNES	34.0909	0.051563171	0.0222298	1.33379
SÁBADO	34.0909	0.103794872	0.0744615	4.46769

#### 4.3.4.2 Recepcionista 6

Labora en el turno de la tarde y se encuentra ubicada en el nodo 4, el sábado no se da atención por las tardes por lo tanto esta recepcionista no trabaja los sábados en la tarde.

Se calcula la  $\lambda$  (número de llegadas por tiempo) y la  $\mu$  (número de servicios por tiempo).

DÍA	POR HORA
LUNES	14.9635417
MARTES	16.4893617
MIÉRCOLES	15.90625
JUEVES	16.7845745
VIERNES	14.6972222

Recep	Media	Por hora
6	1.8	33.3333333

Se calcula si el sistema se satura con la condición de no saturación.

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$p$	$p < 1$
LUNES	14.9635	33.333	0.4489063	SI
MARTES	16.4894	33.333	0.4946809	SI
MIÉRCOLES	15.9063	33.333	0.4771875	SI
JUEVES	16.7846	33.333	0.5035372	SI
VIERNES	14.6972	33.333	0.4409167	SI

Tasa de utilización del sistema  $P$

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$P$	%
LUNES	14.963542	33.3333	0.44890625	44.890625
MARTES	16.489362	33.3333	0.49468085	49.4680851
MIÉRCOLES	15.90625	33.3333	0.4771875	47.71875
JUEVES	16.784574	33.3333	0.50353723	50.3537234
VIERNES	14.697222	33.3333	0.44091667	44.0916667

Probabilidad de que el sistema esté vacío  $P_0$ .

DÍA	$1-P$	%
LUNES	0.551094	55.11
MARTES	0.505319	50.53
MIÉRCOLES	0.522813	52.28
JUEVES	0.496463	49.65
VIERNES	0.559083	55.91

Número medio de clientes en la cola  $Lq$

DÍA	$P$	$1-P$	$Lq$
LUNES	0.448906	0.551094	0.365667
MARTES	0.494681	0.505319	0.484267
MIÉRCOLES	0.477188	0.522813	0.435544
JUEVES	0.503537	0.496463	0.510713
VIERNES	0.440917	0.559083	0.347725

Número medio de clientes en el sistema  $L$

DÍA	$P$	$1-P$	$L$
LUNES	0.44890625	0.55109375	0.814573
MARTES	0.49468085	0.50531915	0.978947
MIÉRCOLES	0.4771875	0.5228125	0.912732
JUEVES	0.50353723	0.49646277	1.01425
VIERNES	0.44091667	0.55908333	0.788642



Tiempo medio de respuesta  $W$

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$W$ Hrs	$W$ Min
LUNES	14.9635417	33.3333333	0.0544372	3.266232
MARTES	16.4893617	33.3333333	0.05936842	3.562105
MIÉRCOLES	15.90625	33.3333333	0.05738195	3.442917
JUEVES	16.7845745	33.3333333	0.06042749	3.62565
VIERNES	14.6972222	33.3333333	0.05365926	3.219556

Tiempo medio de espera en la cola  $Wq$

DÍA	$\mu$	$W$	$Wq$ Hrs.	$Wq$ Min
LUNES	33.3333	0.0544372	0.0244372	1.46623
MARTES	33.3333	0.0593684	0.0293684	1.76211
MIÉRCOLES	33.3333	0.0573819	0.0273819	1.64292
JUEVES	33.3333	0.0604275	0.0304275	1.82565
VIERNES	33.3333	0.0536593	0.0236593	1.41956

#### 4.3.5 Fila 5

En la fila 5 están los pacientes que están esperando ser atendidos por los doctores.

Por ser diferente el número de doctores en cada día, así como de diferentes especialidades, y tiempos de servicio. Se obtuvo un promedio del tiempo de atención, así como del número de servidores ya que la inquietud principal del presente trabajo es el ver la utilización y eficiencia de las diferentes recepcionistas.

#### **M/M/c: llegadas de Poisson y distribución exponencial del tiempo de servicio**



Fig 4.6 Manigabriel Menees Ayala

DÍA	$\lambda$
LUNES	14.96354
MARTES	16.48936
MIÉRCOLES	15.90625
JUEVES	16.78457
VIERNES	14.69722
SÁBADO	22.45652

	$\mu$
DOCTORES	2.8102

Servidores

DÍA	$c$
LUNES	10
MARTES	11
MIÉRCOLES	10
JUEVES	10
VIERNES	11
SÁBADO	17

Se calculó un promedio del número de doctores que asisten cada día de la semana durante el año en estudio, se puede dejar para un trabajo posterior el hacer un análisis más detallado de los doctores. En el presente trabajo se usaron sólo para darle salida al flujo de la red completa y presentar el panorama general del Centro.

Condición de no saturación.

DÍA	$\lambda$	$c\mu$	$p$	$p < 1$
LUNES	14.96354	28.102	0.5325	SI
MARTES	16.48936	30.9122	0.5334	SI
MIÉRCOLES	15.90625	30.9122	0.566	SI
JUEVES	16.78457	28.102	0.5973	SI
VIERNES	14.69722	30.9122	0.4755	SI
SÁBADO	22.45652	47.7734	0.4701	SI

El sistema puede operar en condiciones de estado estable.

Tasa de utilización  $P$

<b>DÍA</b>	$\lambda$	$\mu$	$c$	$P$	%
LUNES	14.96354	2.8102	10	0.5325	53.25
MARTES	16.48936	2.8102	11	0.5334	53.34
MIÉRCOLES	15.90625	2.8102	10	0.566	56.6
JUEVES	16.78457	2.8102	10	0.5973	59.73
VIERNES	14.69722	2.8102	11	0.4755	47.55
SÁBADO	22.45652	2.8102	17	0.4701	47.01

Probabilidad de que el sistema este vacío  $P_o$

<b>DÍA</b>	$c$	$P_o$	$P_o$
LUNES	10	0.0048	0.48%
MARTES	11	0.0028	0.28%
MIÉRCOLES	11	0.0034	0.34%
JUEVES	10	0.0025	0.25%
VIERNES	11	0.0053	0.53%
SÁBADO	17	0.003	0.30%

Número esperado de clientes en el sistema  $L$ , y número medio de clientes en cola  $Lq$

<b>DÍA</b>	$\lambda$	$\mu$	$Lq$	$L$
LUNES	14.96354	2.8102	0.0595	5.3842
MARTES	16.48936	2.8102	0.049	5.9167
MIÉRCOLES	15.90625	2.8102	0.0962	5.7563
JUEVES	16.78457	2.8102	0.1466	6.1193
VIERNES	14.69722	2.8102	0.0185	5.2485
SÁBADO	22.45652	2.8102	0.0035	7.9946

Tiempo esperado en la cola  $Wq$

DÍA	$\lambda$	$Lq$	$Wq$ hrs.	$Wq$ min
LUNES	14.96354	0.0595	0.004	0.2384
MARTES	16.48936	0.049	0.003	0.1784
MIÉRCOLES	15.90625	0.0962	0.006	0.3627
JUEVES	16.78457	0.1466	0.0087	0.5241
VIERNES	14.69722	0.0185	0.0013	0.0756
SÁBADO	22.45652	0.0035	0.0002	0.0094

Tiempo total esperado en el sistema  $W$

DÍA	$\mu$	$Wq$	$W$	$W$ min.
LUNES	2.8102	0.004	0.3598	21.5892
MARTES	2.8102	0.003	0.3588	21.5292
MIÉRCOLES	2.8102	0.006	0.3619	21.7135
JUEVES	2.8102	0.0087	0.3646	21.8749
VIERNES	2.8102	0.0013	0.3571	21.4264
SÁBADO	2.8102	0.0002	0.356	21.3602

Probabilidad de que el cliente espere  $q$ .

DÍA	Prob cliente espere
LUNES	0.0522
MARTES	0.0429
MIÉRCOLES	0.0737
JUEVES	0.0989
VIERNES	0.0204
SÁBADO	0.004

#### 4.4 Cálculo por recepcionista

Al resultar un nivel muy bajo de utilización y rendimiento del sistema se calculó individualmente a las cuatro recepcionistas que están en el servidor en serie, que son

la 2, 3, 4 y 5. Esto con la finalidad de que los directivos cuenten con más información para la toma de decisiones.

#### 4.4.1 Recepcionista 2

DÍA	POR HORA	+ Los que se van + Los que regresan de 6
LUNES	14.96354167	21.45260418
MARTES	16.4893617	23.43627056
MIÉRCOLES	15.90625	22.678125
JUEVES	16.78457447	23.81994682
VIERNES	14.69722222	21.10638888
SÁBADO	22.45652174	31.19347828

	Media	Por hora
2	1.97	30.45685

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$P$	$P < 1$
LUNES	21.452604	30.45685	0.7043605	SI
MARTES	23.436271	30.45685	0.7694909	SI
MIÉRCOLES	22.678125	30.45685	0.7445984	SI
JUEVES	23.819947	30.45685	0.7820883	SI
VIERNES	21.106389	30.45685	0.6929931	SI
SÁBADO	31.193478	30.45685	1.0241859	No

El sistema puede operar en condiciones de estado estable, excepto el sábado que no cumple con la condición de no saturación.

Tasa de utilización.

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$P$	%
LUNES	21.452604	30.45685	0.7043605	70.43605
MARTES	23.436271	30.45685	0.7694909	76.94909
MIÉRCOLES	22.678125	30.45685	0.7445984	74.45984
JUEVES	23.819947	30.45685	0.7820883	78.20883
VIERNES	21.106389	30.45685	0.6929931	69.29931
SÁBADO	31.193478	30.45685	1.0241859	102.4186

Se puede apreciar cómo el sábado el sistema está por arriba del 100% de utilización, los demás días está usado en una cantidad razonable.

DÍA	$Lq$	$L$	$Wq$ hrs	$Wq$ min	$W$ hrs	$W$ min
LUNES	1.6781375	2.38249798	0.0782254	4.693521	0.1110587	6.663521
MARTES	2.5687323	3.33822321	0.109605	6.5763	0.1424383	8.5462997
MIÉRCOLES	2.1708044	2.91540283	0.0957224	5.743344	0.1285557	7.7133436
JUEVES	2.8069255	3.58901375	0.1178393	7.070357	0.1506726	9.0403571
VIERNES	1.5642627	2.2572558	0.0741132	4.446794	0.1069466	6.4167939
SÁBADO	-43.370641	-42.3464553	-1.3903753	-83.42252	-1.357542	-81.45252

Como el sábado se satura el sistema, resultan valores absurdos ya que las fórmulas son para sistemas no saturados. Los demás días es poco el tiempo que tienen que esperar los pacientes.

#### 4.4.2 Recepcionista 3

DÍA	POR HORA	+ Los que se van + Los que regresan de 6
LUNES	14.963542	21.45260418
MARTES	16.489362	23.43627056
MIÉRCOLES	15.90625	22.678125
JUEVES	16.784574	23.81994682
VIERNES	14.697222	21.10638888
SÁBADO	22.456522	31.19347828

	Media	Por hora
3	1.17	51.28205

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$P$	$P < 1$
LUNES	21.452604	51.2820513	0.4183258	SI
MARTES	23.436271	51.2820513	0.4570073	SI
MIÉRCOLES	22.678125	51.2820513	0.4422234	SI
JUEVES	23.819947	51.2820513	0.464489	SI
VIERNES	21.106389	51.2820513	0.4115746	SI
SÁBADO	31.193478	51.2820513	0.6082728	SI

El sistema puede operar en condiciones de estado estable todos los días ya que no se satura, con este hecho se puede apreciar que la recepcionista 3 puede sola con el trabajo de toda la semana.

Tasa de utilización.

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$P$	%
LUNES	21.452604	51.28205	0.4183258	41.83258
MARTES	23.436271	51.28205	0.4570073	45.70073
MIÉRCOLES	22.678125	51.28205	0.4422234	44.22234
JUEVES	23.819947	51.28205	0.464489	46.4489
VIERNES	21.106389	51.28205	0.4115746	41.15746
SÁBADO	31.193478	51.28205	0.6082728	60.82728

DÍA	$Lq$	$L$	$Wq \text{ hrs}$	$Wq \text{ min}$	$W \text{ hrs}$	$W \text{ min}$
LUNES	0.3008496	0.71917539	0.0140239	0.841435	0.0335239	2.011435
MARTES	0.384638	0.8416453	0.0164121	0.984725	0.0359121	2.154725
MIÉRCOLES	0.3506092	0.79283259	0.0154602	0.927614	0.0349602	2.097614
JUEVES	0.4028862	0.86737514	0.0169138	1.014829	0.0364138	2.184829
VIERNES	0.2878761	0.69945072	0.0136393	0.818357	0.0331393	1.988357
SÁBADO	0.9445243	1.55279712	0.0302795	1.816773	0.0497795	2.986773

#### 4.4.3 Recepcionista 4

DÍA	POR HORA	+ Los que se van + Los que regresan de 6
LUNES	14.96354	21.45260418
MARTES	16.48936	23.43627056
MIÉRCOLES	15.90625	22.678125
JUEVES	16.78457	23.81994682
VIERNES	14.69722	21.10638888
SÁBADO	22.45652	31.19347828

	Media	Por hora
4	1.99	30.15075

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$P$	$P < 1$
LUNES	21.4526042	30.15075	0.711511	SI
MARTES	23.4362706	30.15075	0.777303	SI
MIÉRCOLES	22.678125	30.15075	0.752158	SI
JUEVES	23.8199468	30.15075	0.790028	SI
VIERNES	21.1063889	30.15075	0.700029	SI
SÁBADO	31.1934783	30.15075	1.034584	NO

Por lo tanto el sistema puede operar en condiciones de estado estable menos el sábado que se satura.

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$P$	%
LUNES	21.4526	30.150754	0.71151	71.15114
MARTES	23.43627	30.150754	0.7773	77.7303
MIÉRCOLES	22.67813	30.150754	0.75216	75.21578
JUEVES	23.81995	30.150754	0.79003	79.00282
VIERNES	21.10639	30.150754	0.70003	70.00286

DÍA	$Lq$	$L$	$Wq \text{ hrs}$	$Wq \text{ min}$	$W \text{ hrs}$	$W \text{ min}$
LUNES	1.75482977	2.466341	0.0818	4.9080189	0.11497	6.898019
MARTES	2.71310274	3.490406	0.115765	6.9459074	0.14893	8.935907
MIÉRCOLES	2.28266778	3.034826	0.100655	6.0393029	0.13382	8.029303
JUEVES	2.97251689	3.762545	0.124791	7.4874648	0.15796	9.477465
VIERNES	1.63362218	2.333651	0.077399	4.643965	0.11057	6.633965

#### 4.4.4 Recepcionista 5

DÍA	POR HORA	+ Los que se van + Los que regresan de 6
LUNES	14.9635417	21.45260418
MARTES	16.4893617	23.43627056
MIÉRCOLES	15.90625	22.678125
JUEVES	16.7845745	23.81994682
VIERNES	14.6972222	21.10638888
SÁBADO	22.4565217	31.19347828

	Media	Por hora
5	1.7414	34.45504



DÍA	$\lambda$	$\mu$	$P$	$P < 1$
LUNES	21.4526042	34.45503618	0.6226261	SI
MARTES	23.4362706	34.45503618	0.6801987	SI
MIÉRCOLES	22.678125	34.45503618	0.6581948	SI
JUEVES	23.8199468	34.45503618	0.6913343	SI
VIERNES	21.1063889	34.45503618	0.6125778	SI
SÁBADO	31.1934783	34.45503618	0.9053387	SI

El sistema puede operar en estado estable todos los días.

DÍA	$\lambda$	$\mu$	$P$	%
LUNES	21.452604	34.4550362	0.62263	62.26261
MARTES	23.436271	34.4550362	0.6802	68.01987
MIÉRCOLES	22.678125	34.4550362	0.65819	65.81948
JUEVES	23.819947	34.4550362	0.69133	69.13343
VIERNES	21.106389	34.4550362	0.61258	61.25778
SÁBADO	31.193478	34.4550362	0.90534	90.53387

DÍA	$Lq$	$L$	$Wq \text{ hrs}$	$Wq \text{ min}$	$W \text{ hrs}$	$W \text{ min}$
LUNES	1.02726558	1.649891664	0.0478854	2.87312134	0.07691	4.614521
MARTES	1.44674287	2.126941562	0.0617309	3.70385604	0.09075	5.445256
MIÉRCOLES	1.26744809	1.925642867	0.0558886	3.35331449	0.08491	5.094714
JUEVES	1.54841625	2.23975051	0.065005	3.90030154	0.09403	5.641702
VIERNES	0.96858537	1.581163126	0.0458906	2.75343747	0.07491	4.494837
SÁBADO	8.65864244	9.563981155	0.2775786	16.6547168	0.3066	18.39612

Tiempo total en el sistema 18.39 minutos el sábado. Personas esperando en la fila 8 y en total en el sistema 9.

## 4.5 Red de colas

Diagrama de la red de colas que se forma en el Centro en estudio.

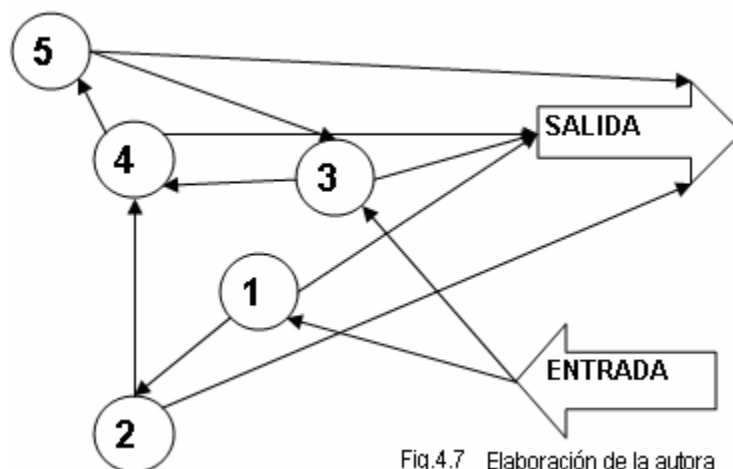


Fig.4.7 Elaboración de la autora

Los datos totales para la red son los siguientes:

	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO
ATENDIDOS	119.71	131.9149	127.25	134.277	110.2292	89.82609
NO ATENDIDOS	2	2	2	2	2	2
LAB ATENDIDOS	13.146	12.42553	11.85416667	11.6596	12.25532	19.61364
LAB NO ATENDIDOS	3	3	3	3	3	3

**TOTAL** 137.85 149.3404 144.1041667 150.936 127.4845 114.4397

PROPORCION LAB	11.545	10.19261	10.16683302	9.58542	11.78158	19.42089
PORCENTAJE LAB	0.1154	0.101926	0.10166833	0.09585	0.117816	0.194209
PROPORCION ATENDIDOS	88.455	89.80739	89.83316698	90.4146	88.21842	80.57911
PORCENTAJE ATENDIDOS	0.8846	0.898074	0.89833167	0.90415	0.882184	0.805791

PROPORCION NO ATENDIDOS	1.4508	1.339222	1.387884921	1.32506	1.568818	1.747645
PORCENTAJE NO ATENDIDOS	0.0145	0.013392	0.013878849	0.01325	0.015688	0.017476
PROPORCION NO ATENDIDOS LAB	2.1762	2.008833	2.081827382	1.9876	2.353228	2.621467
PORCENTAJE NO ATENDIDOS LAB	0.0218	0.020088	0.020818274	0.01988	0.023532	0.026215

Valor de las  $P_{ij}$  de los diferentes días.

Probabilidad de ir al nodo  $j$  después de haber salido del nodo  $i$ , Por otro lado,  $P_{i0}$  es la probabilidad de abandonar del sistema después de haber salido del nodo  $i$ .

$$P_{i0} = 1 - \sum_{j=1}^k P_{ij}$$

La tasa de llegadas externas al nodo  $i$  se notará  $\gamma_i$

El flujo total de entrada a un nodo debe ser igual al flujo total de salida del nodo, tendremos que:

$$\lambda_i = \gamma_i + \sum_{j=1}^k \lambda_j r_{ji}, \quad \forall i \in \{1, \dots, k\}$$

Las  $K$  ecuaciones anteriores forman un sistema lineal con solución única, que se resuelven para hallar las tasas de llegada a cada nodo  $\lambda_i$ .

(i,j)	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
(0,1)	0.36	0.33	0.33	0.32	0.35	0.34
(1,2)	0.69	0.67	0.66	0.66	0.67	0.77
(1,0)	0.31	0.33	0.34	0.34	0.33	0.23
(2,4)	0.15	0.32	0.00	0.17	0.16	0.20
(2,0)	0.85	0.68	1.00	0.83	0.84	0.80
(0,3)	0.64	0.67	0.67	0.68	0.65	0.66
(3,4)	0.88	0.89	0.89	0.89	0.88	0.92
(3,0)	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12	0.08
(4,0)	0.06	0.11	0.00	0.06	0.06	0.08
(4,5)	0.94	0.89	1.00	0.94	0.94	0.92
(5,0)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
(5,3)	3.00	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

Ejemplo las  $P_{ij}$  de los lunes

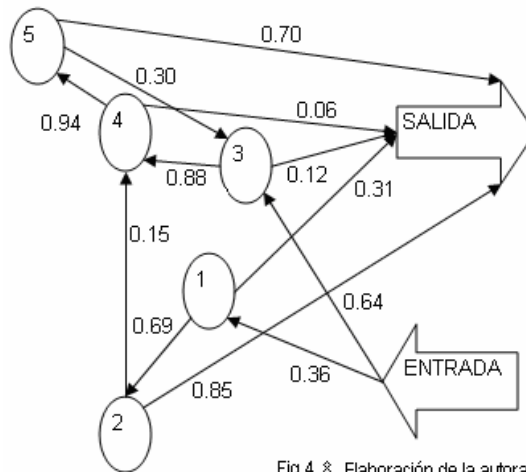


Fig.4. \* Elaboración de la autora

Cada nodo  $i$  es una cola  $M|M|c_i$  y las medidas de rendimiento para cada nodo se calculan según las ecuaciones del modelo  $M|M|c$ , por cumplir con las condiciones de descomposición y al ser una red de Jackson.

En la siguiente tabla se presentan el promedio de pacientes en cada nodo durante cada hora.

(i,j)	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
(0,1)	9.57	9.21	8.93	8.83	9.13	12.81
(1,2)	6.57	6.21	5.93	5.83	6.13	9.81
(1,0)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
(2,4)	1.00	2.00	0.00	1.00	1.00	2.00
(2,0)	5.57	4.21	5.93	4.83	5.13	7.81
(0,3)	16.96	18.49	17.91	18.78	16.70	24.46
(3,4)	14.96	16.49	15.91	16.78	14.70	22.46
(3,0)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
(4,0)	1.00	2.00	0.00	1.00	1.00	2.00
(4,5)	14.96	16.49	15.91	16.78	14.70	22.46
(5,0)	10.47	11.54	11.13	11.75	10.29	15.72
(5,3)	4.49	4.95	4.77	5.04	4.41	6.74

Tasa global de salidas del sistema

$$\lambda_{red} = \sum_{i=1}^K \gamma_i$$

	<b>ENTRAN</b>	<b>NODO 1</b>	<b>NODO 2</b>	<b>NODO 3</b>
<b>LUNES</b>	26.53646	9.572917	6.572917	21.4526
<b>MARTES</b>	27.70213	9.212766	6.212766	23.4363
<b>MIÉRCOLES</b>	26.83333	8.927083	5.927083	22.6781
<b>JUEVES</b>	27.61436	8.829787	5.829787	23.8199
<b>VIERNES</b>	25.82488	9.12766	6.12766	21.1064
<b>SÁBADO</b>	37.26334	12.80682	9.806818	31.1935

	<b>NODO 4</b>	<b>NODO 5</b>	<b>SALEN</b>
<b>LUNES</b>	15.96354	14.96354	26.5365
<b>MARTES</b>	18.49007	16.48999	27.7021
<b>MIÉRCOLES</b>	15.90625	15.90625	26.8333
<b>JUEVES</b>	17.78457	16.78457	27.6144
<b>VIERNES</b>	15.69722	14.69722	25.8249
<b>SÁBADO</b>	24.45652	22.45652	37.2633

Se puede apreciar como el número de clientes que entra al sistema es el mismo que sale de él.

Las medidas de rendimiento de la red se presentan en el anexo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El resultado más relevante de la investigación es que los sistemas de colas del Centro no operan en su forma óptima, debido a que están todos los días “excepto el sábado” vacías, lo que ocasiona que haya tiempo ocioso del personal. Es decir el sistema está *subutilizado*.

Las causas del bajo rendimiento del sistema pueden ser: que haya un exceso de personal o falta de clientes. Para lo segundo se recomienda hacer otro tipo de estudios, que aborden el rendimiento de todo el Centro, la ocupación de todos los consultorios así como, otro tipo de acciones que se podrían tomar como por ejemplo políticas de mercadotecnia.

Se debe considerar que los pacientes tienen que esperar para ser atendidos por los doctores un promedio de 20 Minutos, hecho por el cual en las colas de las recepcionistas se tiene este tiempo para realizar la atención.

Como se mencionó anteriormente al advertir el bajo rendimiento del sistema se elaboró el análisis de cada una de las recepcionistas que están en la Fila 3 (nodo 3) en el servidor en paralelo.

Un elemento importante para tomarse en cuenta es la efectividad de la recepcionista 3, que como se puede observar en la siguiente tabla su rendimiento es muy superior al de las demás recepcionistas.

<b>Personal</b>	<b>PERSONAS POR HORA</b>
Recep 1	30.92783505
Recep 2	30.45685279
Recep 3	<b>51.28205128</b>
Recep 4	30.15075377
Recep 5	34.45503618

La recepcionista 3 podría realizar sola el trabajo todos los días, presentando el sábado una tasa de utilización del 60.82%, el tiempo total esperado en el sistema (*W*) 2.98 *min* y el tiempo esperado en la cola 1.81 *min*.

La recepcionista 5, también podría sola con el trabajo todos los días, aunque el sábado presenta una tasa alta de utilización que es del 90.53 %, el tiempo total en el sistema es de 18.39 minutos y en este caso se corre el riesgo de que los pacientes no estén listos para cuando los llame el doctor. Todos los demás días la tasa de utilización está entre 60% y 70 %.

Es importante resaltar, antes de tomar una decisión, que se tendría que valorar qué otro tipo de actividades realizan las recepcionistas, recordemos que también está pendiente el análisis de las líneas telefónicas.

De los resultados obtenidos del rendimiento de las filas vamos a tomar de muestra el sábado que es el día que tuvo mayores índices en todos los rubros.

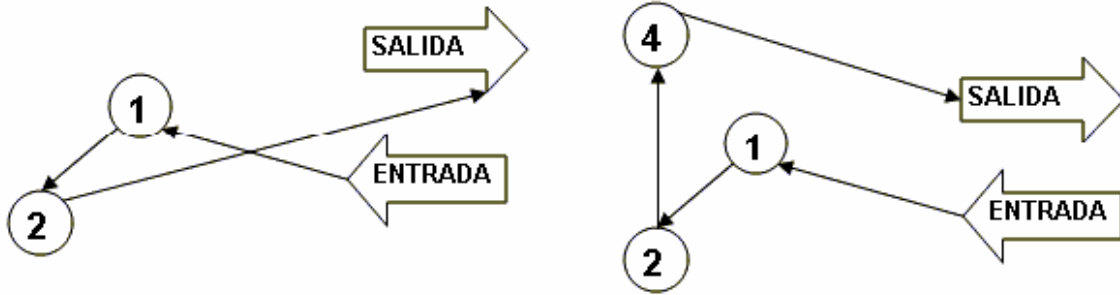
<b>Fila</b>	<b><i>P</i></b>	<b><i>L</i></b>	<b><i>Lq</i></b>	<b><i>W min</i></b>	<b><i>Wq min</i></b>
Fila 1	23.9	0.31	0.075	1.47	0.35
Fila 2	69.13	2.24	1.54	13.7	9.47
Fila 3 recep 2y 3	38.16	0.89	0.13	1.71	0.25
Fila 3 recep 4y 5	48.28	1.2	0.29	2.4	0.56
Fila 4	71.73%	2.5	1.82	6.22	4.46
Fila 5	47.01%	7.99	0.0035	21.36	0.0094

El proceso que elabora la recepcionista de la Fila 4 requiere mayor tiempo que el proceso de las demás filas, el sábado tiene en el sistema 2.5 clientes, y la tasa de utilización del sistema es de 71.73 %. El tiempo medio de respuesta el sábado es de 6.22 minutos. El tiempo medio de espera en la cola es de 4.46

Resultados de la red.

Al igual que con las recepcionistas se presentan los datos del sábado que es el día que está más ocupado el sistema.

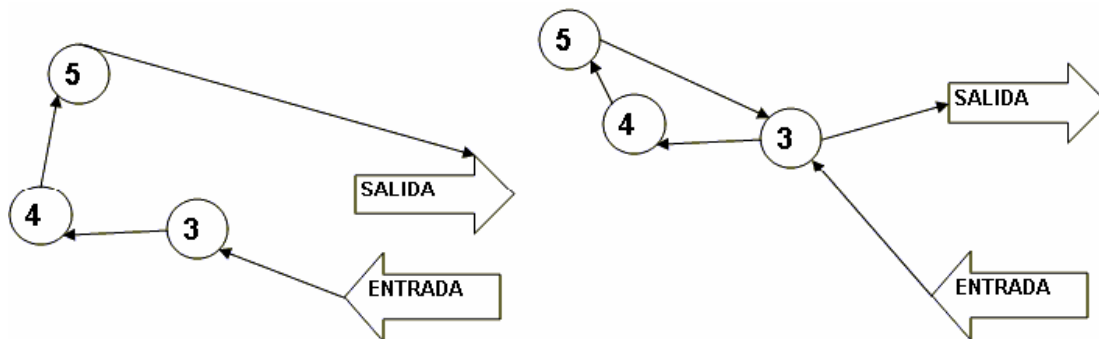
Personas que van al laboratorio.



Ruta	$L$	$Lq$	$W \text{ min}$	$Wq \text{ min}$
Nodo 1,2,4	5.09	3.1	24.44	17.5
Nodo 1,2	2.55	0.11	15.17	9.82

Se puede observar en la tabla anterior que en todos los rubros los tiempos son bajos, el tiempo máximo que esperan los pacientes es de 24.44 minutos.

Personas que van a consulta con alguno de los doctores.



Ruta	$L$	$Lq$	$W \text{ min}$	$Wq \text{ min}$
Nodo 3,4,5 recep 2,3	12.66	31.22	32.35	7.59
Nodo 3,4,5 recep 4,5	13.03	3.28	33.05	7.9
Nodo 3,4,5,3 recep 2,3	13.56	3.25	34.06	7.84
Nodo 3,4,5,3 recep 4,5	14.29	3.57	35.47	8.47



Los pacientes que pasan a consulta con alguno de los doctores y siguen cualquiera de las rutas ya sea salir después de ser atendidas o regresar a la fila 3, no tardan más de 36 minutos en el sistema.

Todos los resultados obtenidos son en días normales sin tomar en cuenta alguna contingencia que podría ser:

- ❖ Los doctores lleguen tarde.
- ❖ No asistan los doctores
- ❖ Caída de la red de cómputo.
- ❖ Se interrumpa el servicio de luz, etc.

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación, los directivos del Centro cuentan ahora con información valiosa y un sustento científico para una toma de decisiones, para que puedan realizar los cambios que juzguen pertinentes, y así, obtener un mejor rendimiento de sus recursos.

En el anexo se presentan de forma más detallada los resultados de la investigación.

# ANEXOS

## Introducción

Los cálculos para establecer las distribuciones tanto de las llegadas como de las formas de atención de los clientes en los diferentes servidores, son exactamente igual para todos ellos, con la finalidad como se menciona en el capítulo 3 de no hacer tediosa y cansada para el lector la lectura de estos, se decidió incluir este anexo para que quién así lo decida pueda ver detalladamente el cálculo de cada una de ellas.

En el primer apartado se muestran los procesos para determinar las distribuciones de los datos de las llegadas de los pacientes del martes al sábado, el lunes ya no se incluye, ya que está establecido en el capítulo 3.

En el segundo apartado se presentan los procesos para determinar las distribuciones de los datos de las llegadas de los pacientes al laboratorio, de lunes a sábado.

En el tercer apartado se presentan las pruebas para las distribuciones de la atención en los diferentes servidores, el de la recepcionista 1 no se presenta por estar incluido en el capítulo 3.

En el cuarto apartado se presentan las medidas de rendimiento de la red, de todos los días de la semana, así como, las diferentes rutas que siguen los pacientes.

En el quinto apartado se presentan los resultados que van a ser presentados a los directivos del Centro en estudio.

Por último en el sexto apartado se incluye la tabla de la distribución de la  $\chi^2$  por ser de gran utilidad para poder hacer las comparaciones necesarias para cada uno de los resultados obtenidos y establecer el tipo de distribución que siguen.

## A.1. Pruebas de las distribuciones de las llegadas de los pacientes

### Martes

$H_0$ : La distribución es Poisson.

$H_a$ : No es Poisson.

No.	Intervalo	Frecuencia	Punto medio	Datos					
1	(103,115)	5	109	103	106	111	112	114	
2	(115,121)	5	118	116	118	118	119	120	
3	(121,125.5)	5	123.25	122	122	123	125	125	
4	(125.5,129)	5	127.25	126	127	127	127	128	
5	(129,133)	5	131	130	131	131	132	133	
6	(133,139.5)	5	136.25	134	135	138	138	139	
7	(139.5,142.5)	6	141	140	140	141	141	142	142
8	(142.5,145.5)	5	144	143	143	144	145	145	
9	(145.5,157)	6	151.25	146	148	149	151	153	157

n=	9
media =	131.915

$$P(X=x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
109	0.05	0.000379	0.004598	0.045402	0.002061	0.448284
118	0.05	0.000379	0.017143	0.032857	0.00108	0.062972
123.25	0.05	0.000379	0.089508	-0.03951	0.001561	0.017438
127.25	0.05	0.000379	0.109277	-0.05928	0.003514	0.032155
131	0.05	0.000379	0.034723	0.015277	0.000233	0.006721
136.25	0.05	0.000379	0.108832	-0.05883	0.003461	0.031803
141	0.06	0.0004548	0.024728	0.035272	0.001244	0.050311
144	0.05	0.000379	0.019413	0.030587	0.000936	0.048195
151.25	0.06	0.0004548		0.06	0.0036	
						0.69788

Con 7 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Poisson.

## Con Stat Fit de Promodel

The screenshot shows the Stat::Fit software interface. The main window is titled "Stat::Fit - martes" and contains two sub-windows:

- martes: Data Table:** This window displays a list of 19 data points. The "Intervals" field is set to 5 and the "Points" field is set to 47. The data points are: 103, 106, 111, 112, 114, 116, 118, 118, 119, 120, 122, 122, 123, 125, 125, 126, 127, 127, 127.
- martes: Automatic Fitting:** This window displays the results of an automatic fit. The title is "Auto::Fit of Distributions". The results are summarized in the following table:

distribution	rank	acceptance
Poisson(132)	100	do not reject

<b>Puntos</b>	47
<b>Intervalos</b>	5
<b>Media</b>	132
<b>Distribución</b>	Poisson

## Miércoles

$H_0$ : La distribución es Poisson.

$H_a$ : No es Poisson.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio	Datos						
1	(87,108.5)	5	97.75	87	88	104	107	108		
2	(108.5,113.5)	5	111	109	109	111	113	113		
3	(113.5,119.5)	5	116.5	114	114	114	116	119		
4	(119.5,124.5)	5	122	121	123	124	124	124		
5	(124.5,131.5)	5	128	125	126	126	127	131		
6	(131.5,133.5)	7	132.5	132	132	132	132	133	133	133
7	(133.5,137.5)	5	135.5	134	135	136	137	137		
8	(137.5,147)	6	142.25	138	139	141	144	146	146	
9	(147,160)	5	153.5	149	154	156	159	160		

n=	9
media =	127.396

$$P(X=x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
97.75	0.05	0.000392	0.029409	0.020591	0.000424	0.0144179
111	0.05	0.000392	0.012551	0.037449	0.001402	0.1117368
116.5	0.05	0.000392	0.246989	-0.19699	0.038805	0.1571113
122	0.05	0.000392	0.032143	0.017857	0.000319	0.00992
128	0.05	0.000392	0.035189	0.014811	0.000219	0.0062344
132.5	0.07	0.000549	0.360762	-0.29076	0.084543	0.2343448
135.5	0.05	0.000392	0.310025	-0.26003	0.067613	0.2180889
142.25	0.06	0.000471	0.050166	0.009834	9.67E-05	0.0019279
153.5	0.05	0.000392		0.05	0.0025	

0.7537821
-----------

Con 7 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Poisson.

## Con Stat Fit de Promodel

The screenshot shows the Stat::Fit software interface. The main window is titled "Stat::Fit - miercoles" and contains a menu bar (File, Edit, Input, Statistics, Fit, Utilities, View, Window, Help) and a toolbar with various icons. Below the menu bar, there are two main panes:

- miercoles: Data Table:** This pane shows a list of data points. At the top, it has input fields for "Intervals:" set to 5 and "Points:" set to 48. The data points are listed in a table with row numbers 1 through 19. The values are: 80., 88., 104., 107., 108., 109., 109., 111., 113., 113., 114., 114., 114., 116., 119., 121., 123., 124., 124.
- Auto::Fit of Distributions:** This pane displays the results of an automatic fit. It shows a table with three columns: "distribution", "rank", and "acceptance". The results are:
 

distribution	rank	acceptance
Poisson(127)	100	do not reject

<b>Puntos</b>	48
<b>Intervalos</b>	5
<b>Media</b>	127
<b>Distribución</b>	Poisson

## Jueves

$H_0$ : La distribución es Poisson.

$H_a$ : No es Poisson.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio	Datos					
1	(93,113.50)	5	103.25	93	93	104	112	113	
2	(113.5,124.5)	6	119	114	119	123	123	124	124
3	(124.5,128)	6	126.25	125	125	126	126	127	127
4	(128,133.50)	5	130.75	129	129	130	131	133	
5	(133.5,138.5)	5	136	134	134	134	137	138	
6	(138.5,145)	7	141.75	139	139	139	140	141	144
7	(145,153.50)	7	149.25	147	147	147	149	149	153
8	(153.5,169)	6	161.25	154	154	156	161	163	169

n=	8
media =	134.277

$$P(X=x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
103.25	0.05	0.00037	0.002539	0.047461	0.002253	0.88712533
119	0.06	0.00045	0.014799	0.045201	0.002043	0.13805405
126.25	0.06	0.00045	0.093177	-0.03318	0.001101	0.01181327
130.75	0.05	0.00037	1.287551	-1.23755	1.531532	1.18949254
136	0.05	0.00037	0.033814	0.016186	0.000262	0.00774832
141.75	0.07	0.00052	1.12236	-1.05236	1.107461	0.98672532
149.25	0.07	0.00052		0.07	0.0049	
161.25	0.06	0.00045		0.06	0.0036	

3.22095884

Con 6 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Poisson.

## Con Stat Fit de Promodel

The screenshot shows the Stat Fit software interface. The main window is titled "Stat::Fit - jueves" and contains a menu bar (File, Edit, Input, Statistics, Fit, Utilities, View, Window, Help) and a toolbar with various icons. A "jueves: Data Table" window is open, displaying a list of 19 data points. The "Intervals" field is set to 5 and the "Points" field is set to 47. The "jueves: Automatic Fitting" window shows the results of an automatic fit, identifying a Poisson distribution with a mean of 134. The fit is ranked 100 and the acceptance is "do not reject".

Intervals	Points
5	47

Rank	Acceptance
100	do not reject

<b>Puntos</b>	47
<b>Intervalos</b>	5
<b>Media</b>	134
<b>Distribución</b>	Poisson



## Viernes

$H_0$ : La distribución es Poisson.

$H_a$ : No es Poisson.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio	Datos							
1	(80,95)	6	87.5	80	86	88	92	94	94		
2	(95,100.50)	7	97.75	96	97	100	100	100	100	100	
3	(100.5,108.5)	8	104.5	101	103	104	107	108	108	108	108
4	(108.5,113.5)	7	111	109	109	109	110	111	113	113	
5	(113.5,118.5)	5	116	114	114	115	116	118			
6	(118.5,121.5)	5	120	119	120	121	121	121			
7	(121.5,125)	5	123.25	122	122	122	123	124			
8	(125,137)	5	131	127	128	129	130	137			

n=	8
media =	110.229

$$P(X=x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
87.5	0.06	0.00054	0.032004	0.027996	0.000784	0.0244895
97.75	0.07	0.00064	0.601761	-0.53176	0.28277	0.4699037
104.5	0.08	0.00073	0.342983	-0.26298	0.06916	0.2016425
111	0.07	0.00064	0.037736	0.032264	0.001041	0.0275857
116	0.05	0.00045	0.031907	0.018093	0.000327	0.0102603
120	0.05	0.00045	0.023893	0.026107	0.000682	0.0285262
123.25	0.05	0.00045	0.057106	-0.00711	5.05E-05	0.0008843
131	0.05	0.00045	0.005508	0.044492	0.00198	0.3594269

1.1227192
-----------

Con 6 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Poisson.

## Con Stat Fit de Promodel

The screenshot shows the Stat:Fit software interface. The main window is titled "Stat:Fit - viernes" and contains a menu bar (File, Edit, Input, Statistics, Fit, Utilities, View, Window, Help) and a toolbar with icons for file operations and analysis. Two sub-windows are open:

- viernes: Data Table:** This window displays a list of 19 data points. The "Intervals" field is set to 5 and "Points" is set to 48. The data points are: 80., 86., 88., 92., 94., 94., 96., 97., 100., 100., 100., 100., 100., 101., 103., 104., 107., 108., 108.
- viernes: Automatic Fitting:** This window shows the results of an automatic fit. The title is "Auto::Fit of Distributions". The results are summarized in the following table:

distribution	rank	acceptance
Poisson(110)	100	do not reject

<b>Puntos</b>	48
<b>Intervalos</b>	5
<b>Media</b>	110
<b>Distribución</b>	Poisson

## Sábado

$H_0$ : La distribución es Poisson.

$H_a$ : No es Poisson.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio	Datos							
1	(63,70)	5	66.5	63	64	65	67	69			
2	(70,78)	5	74	71	73	74	75	76			
3	(78,85)	5	81.5	79	80	80	82	84			
4	(85,88.5)	6	86.75	86	87	88	88	88	88		
5	(88.5,92)	5	90.25	89	89	90	91	91			
6	(92,97)	6	94.5	93	93	95	95	96	96		
7	(97,104.50)	6	100.75	103	104	104	104	104	104		
8	(104.5,120)	8	112.25	105	105	105	106	107	107	109	120

n=	8
media =	89.8261

$$P(X=x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
66.5	0.05	0.000557	0.01427	0.03573	0.001277	0.0894653
74	0.05	0.000557	0.010502	0.039498	0.00156	0.1485586
81.5	0.05	0.000557	0.267988	-0.21799	0.047519	0.1773169
86.75	0.06	0.000668	1.15449	-1.09449	1.197907	1.0376078
90.25	0.05	0.000557	0.12932	-0.07932	0.006292	0.0486515
94.5	0.06	0.000668	0.354148	-0.29415	0.086523	0.2443132
100.75	0.06	0.000668	0.667302	-0.6073	0.368816	0.5526969
112.25	0.08	0.000891	0.009183	0.070817	0.005015	0.546105

2.8447152

Con 6 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Poisson.

## Con Stat Fit de Promodel

The screenshot shows the Stat:Fit software interface. The main window is titled "sabado: Automatic Fitting". On the left, there is a "sabado: Data Table" window with the following data:

Interval	Points
1	63
2	64
3	65
4	67
5	69
6	71
7	73
8	74
9	75
10	76
11	79
12	80
13	80
14	82
15	84
16	86
17	87
18	88
19	88

The "Auto::Fit of Distributions" window shows the following results:

distribution	rank	acceptance
Poisson(89.8)	100	reject

<b>Puntos</b>	46
<b>Intervalos</b>	5
<b>Media</b>	89.8
<b>Distribución</b>	Poisson

## A.2. Pruebas de las llegadas de los pacientes al laboratorio

Lunes

$H_0$ : La distribución es Poisson.

$H_a$ : No es Poisson.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio	Datos									
1	(5,7.5)	5	6.25	5	6	6	7	7					
2	(7.5,9.5)	5	8.5	8	9	9	9	9					
3	(9.5,11.5)	6	10.5	10	11	11	11	11	11				
4	(11.5,13.5)	12	12.5	12	12	12	12	12	12	12	12	13	
				13	13	13							
5	(13.5,15.5)	8	14.5	14	14	14	14	14	15	15	15		
6	(15.5,17)	5	16.25	16	16	16	16	16					
7	(17,22)	7	19.5	19	20	21	22	22	22	22			

n =	7
media =	13.145833

$$P(X=x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
6.25	0.05	0.003803	0.026664	0.023336	0.00054	0.0204226
8.5	0.05	0.003803	0.156681	-0.106681	0.01138	0.0726368
10.5	0.06	0.004564	0.30085	-0.24085	0.05801	0.1928157
12.5	0.12	0.009128	0.393869	-0.273869	0.075	0.1904293
14.5	0.08	0.006086	0.373987	-0.293987	0.08643	0.2310999
16.25	0.05	0.003803	0.141424	-0.091424	0.00836	0.0591017
19.5	0.07	0.005325	0.105223	-0.035223	0.00124	0.0117908

0.7782967
-----------

Con 5 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Poisson.

## Con Stat fit

The screenshot shows the StatFit software interface. The main window is titled "LABORATORIO LUNES: Automatic Fitting". On the left, there is a data input window titled "LABORATORIO LUNES: Dat..." with "Intervals: 5" and "Points: 48". The data input window shows a list of 19 points with values ranging from 5 to 12. The main window displays the results of the automatic fitting process, titled "Auto::Fit of Distributions". The results are as follows:

distribution	rank	acceptance
Poisson(13.1)	100	do not reject

<b>Puntos</b>	48
<b>Intervalos</b>	5
<b>Media</b>	13.1
<b>Distribución</b>	Poisson

## Martes

$H_0$ : La distribución es Poisson.

$H_a$ : No es Poisson.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio	Datos									
1	(5,8.5)	6	6.75	5	5	7	7	8	8				
2	(8.5,10.5)	8	9.5	9	9	9	9	10	10	10	10		
3	(10.5,12.5)	11	11.5	11	11	11	11	11	12	12	12	12	
				12	12								
4	(12.5,14.5)	10	13.5	13	13	13	13	13	13	14	14	14	
				14									
5	(14.5,22)	12	18.25	15	15	15	15	15	16	16	18	19	
				20	21	22							

n=	5
media =	12.4255

$$P(X=x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
6.75	0.06	0.004829	0.13582	-0.075817	0.00575	0.0423232
9.5	0.08	0.006438	0.27535	-0.195353	0.03816	0.1385957
11.5	0.11	0.008853	0.38648	-0.27648	0.07644	0.197788
13.5	0.1	0.008048	0.3825	-0.282501	0.07981	0.2086443
18.25	0.12	0.009658	0.05869	0.06131	0.00376	0.0640455

0.6513966

Con 3 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Poisson.

## Con Stat fit

The screenshot shows the StatFit software interface. The main window is titled 'LABORATORIO MARTES: Automatic Fitting'. On the left, there is a list of data points with 'Intervals' set to 5 and 'Points' set to 47. The data points are: 5, 5, 7, 7, 8, 8, 9, 9, 9, 9, 10, 10, 10, 10, 10, 11, 11, 11, 11, 11. On the right, the 'Auto:Fit of Distributions' window displays the following table:

distribution	rank	acceptance
Poisson(12.4)	100	do not reject

<b>Puntos</b>	47
<b>Intervalos</b>	5
<b>Media</b>	12.4
<b>Distribución</b>	Poisson



### Miércoles

$H_0$ : La distribución es Poisson.

$H_a$ : No es Poisson.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio	Datos								
1	(5,7.5)	8	6.25	5	6	6	6	7	7	7	7	
2	(7.5,10.5)	11	9	8	9	9	9	10	10	10	10	10
				10	10							
3	(10.5,12.5)	11	11.5	11	11	11	11	11	12	12	12	12
				12	12							
4	(12.5,15.5)	7	14	13	14	14	15	15	15	15		
5	(15.5,20)	11	17.75	16	16	16	16	16	16	16	17	17
				19	20							

n=	5
media =	11.85417

$$P(X=x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
6.75	0.06	0.00506	0.17502	-0.115	0.01323	0.07559267
9.5	0.08	0.00675	0.31175	-0.2318	0.05371	0.17228337
11.5	0.11	0.00928	0.39826	-0.2883	0.08309	0.20863814
13.5	0.1	0.00844	0.35874	-0.2587	0.06695	0.18661504
18.25	0.12	0.01012	0.04402	0.076	0.00577	0.13117269

0.7743019
-----------

Con 3 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Poisson.

## Con Stat fit

The screenshot shows the StatFit software interface. On the left, a data list window titled 'LABORATORIO MIERCOLES...' contains 19 rows of data. The 'Intervals' field is set to 5 and 'Points' to 48. The data values are: 5, 6, 6, 6, 7, 7, 7, 7, 8, 9, 9, 9, 9, 10, 10, 10, 10, 10, 10. On the right, the 'Auto::Fit of Distributions' window displays the following results:

distribution	rank	acceptance
Poisson(11.9)	100	do not reject

<b>Puntos</b>	48
<b>Intervalos</b>	5
<b>Media</b>	11.9
<b>Distribución</b>	Poisson

## Jueves

$H_0$ : La distribución es Poisson.

$H_a$ : No es Poisson.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio	Datos								
1	(3,8.5)	8	5.75	3	5	5	6	8	8	8	8	
2	(8.5,10.5)	13	9.5	9	9	9	10	10	10	10	10	10
				10	10	10	10					
3	(10.5,12.5)	8	11.5	11	11	12	12	12	12	12	12	
4	(12.5,14.5)	8	13.5	13	13	13	14	14	14	14	14	
5	(14.5,19)	10	16.75	15	15	16	16	16	17	17	17	19
				19								

n=	5
media =	11.6596

$$P(X=x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
6.75	0.06	0.005146	0.1901	-0.1301	0.0169379	0.0890787
9.5	0.08	0.006861	0.3236	-0.2436	0.0593501	0.1833952
11.5	0.11	0.009434	0.4	-0.29	0.0840714	0.2102044
13.5	0.1	0.008577	0.3485	-0.2485	0.06177	0.1772272
18.25	0.12	0.010292	0.0395	0.08047	0.0064754	0.1638084

0.8237138

Con 3 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Poisson.

## Con Stat fit

The screenshot shows the StatFit software interface. The main window is titled "LABORATORIO jueves: Automatic Fitting". On the left, a data window titled "LABORATORIO jueves: Data..." shows a list of 19 data points. The first five points are 3, 5, 5, 6, and 8, and the remaining 14 points are 8, 9, 9, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, and 10. The "Intervals" field is set to 5 and "Points" is set to 47. The main window displays the results of an automatic fit:

distribution	rank	acceptance
Poisson(11.7)	100	do not reject

<b>Puntos</b>	47
<b>Intervalos</b>	5
<b>Media</b>	11.7
<b>Distribución</b>	Poisson

## Viernes

$H_0$ : La distribución es Poisson.

$H_a$ : No es Poisson.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio	Datos								
1	(5,7.5)	7	6.25	5	6	6	7	7	7	7		
2	(7.5,9.5)	6	8.5	8	8	9	9	9	9			
3	(9.5,11.5)	8	10.5	10	10	11	11	11	11	11	11	
4	(11.5,13.5)	10	12.5	12	12	12	12	12	12	13	13	13
				13								
5	(13.5,16.5)	7	15	14	14	14	14	15	16	16		
6	(16.5,22)	9	19.25	17	17	17	17	17	18	20	21	22

n=	6
media =	12.2553

$$P(X=x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
6.25	0.07	0.0057118	0.04191	0.028094	0.00079	0.0188339
8.5	0.06	0.0048958	0.21029	-0.150291	0.02259	0.1074104
10.5	0.08	0.0065278	0.35094	-0.270936	0.07341	0.209173
12.5	0.1	0.0081597	0.3993	-0.299304	0.08958	0.2243473
15	0.07	0.0057118	0.0769	-0.006905	4.8E-05	0.0006199
19.25	0.09	0.0073438	0.03489	0.055107	0.00304	0.0870319

0.6474165
-----------

Con 4 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Poisson.

## Con Stat fit

The screenshot shows the StatFit software interface. The main window is titled 'LABORATORIO VIERNES: Automatic Fitting'. On the left, there is a list of data points from 1 to 19. The 'Intervals' field is set to 5 and 'Points' is set to 47. The main display area shows the results of an 'Auto::Fit of Distributions' analysis:

distribution	rank	acceptance
Poisson[12.3]	100	do not reject

<b>Puntos</b>	47
<b>Intervalos</b>	5
<b>Media</b>	12.3
<b>Distribución</b>	Poisson

## Sábado

$H_0$ : La distribución es Poisson.

$H_a$ : No es Poisson.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio	Datos							
1	(10,12.5)	5	11.25	10	11	12	12	12			
2	(12.5,15)	6	13.75	13	14	14	14	14	14		
3	(15,18)	7	16.5	16	16	16	16	16	17	17	
4	(18,20.5)	6	19.25	19	19	19	19	19	20		
5	(20.5,22.5)	5	21.5	21	21	21	21	22			
6	(22.5,25)	8	23.75	23	23	23	23	23	24	24	24
7	(25,36)	7	30.5	26	26	27	27	27	32	36	

n=	7
media =	19.61364

$$P(X=x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
11.25	0.05	0.0025492	0.026426	0.023574	0.000556	0.0210302
13.75	0.06	0.0030591	0.288602	-0.228602	0.052259	0.1810762
16.5	0.07	0.0035689	0.307961	-0.237961	0.056625	0.1838718
19.25	0.06	0.0030591	0.189913	-0.129913	0.016877	0.0888692
21.5	0.05	0.0025492	0.366068	-0.316068	0.099899	0.2728972
23.75	0.08	0.0040788	0.585689	-0.505689	0.255721	0.436616
30.5	0.07	0.0035689	0.030288	0.039712	0.001577	0.0520689

1.2364295

Con 5 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Poisson.

## Con Stat fit

The screenshot shows the StatFit software interface. The main window is titled "Stat::Fit - Laboratorio Sábado.sfp". The menu bar includes File, Edit, Input, Statistics, Fit, Utilities, View, Window, and Help. The toolbar contains various icons for file operations and statistical functions. The left pane, titled "Laboratorio Sábado.sfp: Data ...", shows a list of 19 data points with "Intervals: 5" and "Points: 44". The right pane, titled "Laboratorio Sábado.sfp: Automatic Fitting", displays the results of an automatic fit:

distribution	rank	acc
Poisson[19.6]	100	do n

<b>Puntos</b>	44
<b>Intervalos</b>	5
<b>Media</b>	19.6
<b>Distribución</b>	Poisson



### A.3. Pruebas de las distribuciones de la atención en los diferentes servidores

#### Recepcionista 2

$H_0$ : Los datos se distribuyen como una exponencial

$H_a$ : No se distribuyen como una exponencial.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio
1	(0,0006,1)	47	0.5003
2	(1,2)	18	1.50
3	(2,3)	11	2.5
4	(3,4)	7	3.5
5	(4,5)	5	4.5
6	(5,6)	8	5.5
7	(6,7)	4	6.5

Media	1.97
n =	7

$$1 - e^{-x/\lambda}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
0.5003	0.47	0.238579	0.224277	0.245723	0.06038	0.26922075
1.5	0.18	0.091371	0.532998	-0.353	0.124607	0.23378605
2.5	0.11	0.055838	0.718897	-0.6089	0.370756	0.51572873
3.5	0.07	0.035533	0.830796	-0.7608	0.57881	0.69669388
4.5	0.05	0.025381	0.898151	-0.84815	0.71936	0.8009345
5.5	0.08	0.040609	0.938694	-0.85869	0.737355	0.78551202
6.5	0.04	0.020305	0.963098	-0.9231	0.85211	0.88475941

4.18663534
------------

Con 5 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Exponencial.

## Con Stat fit

The screenshot shows the Statistica software interface. On the left, the 'recep2: Data Table' window displays a list of 19 data points. On the right, the 'recep2: Automatic Fitting' window shows the results of an 'Auto::Fit of Distributions' analysis.

distribution	rank	acceptance
Exponential(0., 1.97)	100	do not reject
Lognormal(0., 0.152, 1.29)	51.5	do not reject
Triangular(-1., 7.43, 0.432)	5.09e-002	reject
Uniform(0., 6.83)	0.	reject

<b>Puntos</b>	100
<b>Intervalos</b>	6
<b>Media</b>	1.97
<b>Distribución</b>	Exponencial

### Recepcionista 3

$H_0$ : Los datos se distribuyen como una exponencial

$H_a$ : No se distribuyen como una exponencial.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio
1	(0.0004,0.75)	53	0.3752
2	(0.75,0.99)	13	0.87
3	(0.99,1.3)	8	1.145
4	(1.3,1.5)	7	1.4
5	(1.5,2)	5	1.75
6	(2,3)	4	2.5
7	(3,4)	3	3.5
8	(4,5)	2	4.5
9	(5,7)	5	6

Media	1.17
n =	9

$$1 - e^{-x/\lambda}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
0.3752	0.53	0.452991	0.274347	0.255653	0.065358	0.23823197
0.87	0.13	0.1111111	0.524596	-0.3946	0.155706	0.29681101
1.145	0.08	0.068376	0.624175	-0.54418	0.296127	0.47442883
1.4	0.07	0.059829	0.697774	-0.62777	0.394101	0.56479663
1.75	0.05	0.042735	0.775914	-0.72591	0.526952	0.67913626
2.5	0.04	0.034188	0.881962	-0.84196	0.708901	0.80377655
3.5	0.03	0.025641	0.949786	-0.91979	0.846006	0.89073316
4.5	0.02	0.017094	0.978638	-0.95864	0.918987	0.93904699
6	0.05	0.042735	0.994073	-0.94407	0.891273	0.89658772

5.78354912
------------

Con 7 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Exponencial.

### Con Stat fit

The screenshot shows the StatFit software interface. On the left, the 'recep3: Data Table' window displays 10 data points (intervals) ranging from 0.116667 to 3.383333. On the right, the 'recep3: Automatic Fitting' window shows the results of an 'Auto::Fit of Distributions'. The results table is as follows:

distribution	rank	acceptance
Exponential(0., 1.17)	100	do not reject
Lognormal(0., -0.646, 1.81)	0.	reject
Triangular(-1., 7.04, 0.206)	0.	reject
Uniform(0., 6.83)	0.	reject

<b>Puntos</b>	100
<b>Intervalos</b>	9
<b>Media</b>	1.17
<b>Distribución</b>	Exponencial

## Recepcionista 4

$H_0$ : Los datos se distribuyen como una exponencial

$H_a$ : No se distribuyen como una exponencial.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio
1	(0,1)	46	0.55
2	(1,2)	14	1.50
3	(2,3)	19	2.5
4	(3,4)	6	3.5
5	(4,6)	12	5
6	(6,7)	3	6.5

Media	1.99
n =	6

$$1 - e^{-x/\lambda}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
0.55	0.46	0.231156	0.241477	0.218523	0.047752	0.19775143
1.5	0.14	0.070352	0.52941	-0.38941	0.15164	0.28643269
2.5	0.19	0.095477	0.715289	-0.52529	0.275929	0.38575831
3.5	0.06	0.030151	0.827748	-0.76775	0.589436	0.71209667
5	0.12	0.060302	0.91894	-0.79894	0.638305	0.69461
6.5	0.03	0.015075	0.961854	-0.93185	0.868352	0.90278959

3.17943869
------------

Con 4 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Exponencial.

## Con Stat fit

The screenshot shows the StatFit software interface. On the left, the 'recep4: Data Table' window displays a list of 19 data points. At the top of this window, 'Intervals' is set to 6 and 'Points' is set to 100. On the right, the 'recep4: Automatic Fitting' window shows the results of an 'Auto::Fit of Distributions'.

distribution	rank	acceptance
Exponential(0., 1.99)	100	do not reject
Lognormal(0., 0.242, 1.03)	42.	do not reject
Triangular(0., 7.17, 0.215)	0.	reject
Uniform(0., 6.83)	0.	reject

<b>Puntos</b>	100
<b>Intervalos</b>	6
<b>Media</b>	1.99
<b>Distribución</b>	Exponencial

## Recepcionista 5

$H_0$ : Los datos se distribuyen como una exponencial

$H_a$ : No se distribuyen como una exponencial.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio
1	(0.0002,0.8)	41	0.4001
2	(0.8,1)	8	0.90
3	(1,2)	20	1.5
4	(2,3)	13	2.5
5	(3,4)	8	3.5
6	(4,9)	10	6.5

Media	1.7414
n =	6

$$1 - e^{-x/\lambda}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
0.4001	0.41	0.235443	0.205274	0.204726	0.041913	0.20417997
0.9	0.08	0.04594	0.403589	-0.32359	0.10471	0.25944688
1.5	0.2	0.11485	0.57742	-0.37742	0.142446	0.24669344
2.5	0.13	0.074653	0.762034	-0.63203	0.399467	0.52421127
3.5	0.08	0.04594	0.865995	-0.78599	0.617788	0.7133852
6.5	0.1	0.057425	0.97607	-0.87607	0.767499	0.78631532

2.73423208
------------

Con 4 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Exponencial.

## Con Stat fit

The screenshot shows the StatFit software interface. The main window is titled "recep5.sfp: Automatic Fitting". On the left, there is a "recep5.sfp: Data Table" with a list of 14 data points and settings for "Intervals: 7" and "Points: 100". The main area displays the "Auto::Fit of Distributions" results:

distribution	rank	acceptance
Exponential[0., 1.74]	100	do not reject
Lognormal[0., -3.18e-002, 1.3]	13.2	do not reject
Triangular[0., 8.56, 0.]	0.	reject
Uniform[0., 8.38]	0.	reject

<b>Puntos</b>	100
<b>Intervalos</b>	7
<b>Media</b>	1.74
<b>Distribución</b>	Exponencial



## Recepcionista 6

$H_0$ : Los datos se distribuyen como una exponencial

$H_a$ : No se distribuyen como una exponencial.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio
1	(0.0041,0.378)	20	0.19105
2	(0.378,0.821)	20	0.5995
3	(0.821,1.52)	20	1.1705
4	(1.52,2.1)	10	1.81
5	(2.1,2.69)	10	2.395
6	(2.69,3.93)	10	3.31
7	(3.93,8.67)	10	6.3

Media	1.8
n =	7

$$1 - e^{-x/l}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
0.19105	0.2	0.1111111	0.1007	0.0993	0.00986	0.09791869
0.5995	0.2	0.1111111	0.28327	-0.08327	0.006934	0.02447785
1.1705	0.2	0.1111111	0.478099	-0.2781	0.077339	0.16176386
1.81	0.1	0.0555556	0.634159	-0.53416	0.285325	0.44992759
2.395	0.1	0.0555556	0.73567	-0.63567	0.404076	0.54926269
3.31	0.1	0.0555556	0.841006	-0.74101	0.54909	0.65289653
6.3	0.1	0.0555556	0.969803	-0.8698	0.756557	0.78011399

2.7163612
-----------

Con 5 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Exponencial.

## Con Stat fit

The screenshot shows the StatFit software interface. The main window is titled "recep6: Data Table" and displays a list of 19 data points. The "Intervals" field is set to 7 and "Points" is set to 100. The "recep6: Automatic Fitting" window shows the results of an "Auto::Fit of Distributions".

distribution	rank	acceptance
Exponential(0., 1.8)	100	do not reject
Lognormal(0., 2.53e-003, 1.3)	13.4	do not reject
Triangular(0., 8.86, 0.)	0.	reject
Uniform(0., 8.67)	0.	reject

<b>Puntos</b>	100
<b>Intervalos</b>	7
<b>Media</b>	1.8
<b>Distribución</b>	Exponencial

## Recepcionista Laboratorio

$H_0$ : Los datos se distribuyen como una exponencial

$H_a$ : No se distribuyen como una exponencial.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio
1	(1,1.5)	38	1.25
2	(1.5,1.7)	13	1.60
3	(1.7,2)	10	1.85
4	(2,3)	21	2.5
5	(3,4)	9	3.5
6	(4,5)	5	4.5
7	(5,7)	4	6

Media	1.12
n =	7

$$1 - e^{-x/\lambda}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
1.25	0.38	0.339286	0.672436	-0.29244	0.085519	0.12717754
1.6	0.13	0.116071	0.760349	-0.63035	0.39734	0.5225756
1.85	0.1	0.089286	0.808293	-0.70829	0.501679	0.62066449
2.5	0.21	0.1875	0.892702	-0.6827	0.466082	0.52210234
3.5	0.09	0.080357	0.956063	-0.86606	0.750065	0.78453531
4.5	0.05	0.044643	0.982009	-0.93201	0.86864	0.88455433
6	0.04	0.035714	0.995286	-0.95529	0.912571	0.91689322

4.37850282
------------

Con 5 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Exponencial.

## Con Stat fit

**Recep Lab: Data Table**

Intervals: 7 Points: 100

Ins	Value
1	1.00255
2	1.01528
3	1.01777
4	1.01981
5	1.06605
6	1.06771
7	1.09305
8	1.11909
9	1.13705
10	1.13818
11	1.1385
12	1.15373
13	1.16493
14	1.18686
15	1.20282
16	1.20571
17	1.21151
18	1.21539
19	1.22574

**Auto::Fit of Distributions**

distribution	rank	acceptance
Exponential(1., 1.12)	100	do not reject
Lognormal(1., -0.477, 1.3)	13.4	do not reject
Triangular(1., 6.48, 1.)	0.	reject
Uniform(1., 6.36)	0.	reject

<b>Puntos</b>	100
<b>Intervalos</b>	7
<b>Media</b>	1.12
<b>Distribución</b>	Exponencial

## Atención Laboratorio

$H_0$ : Los datos se distribuyen como una exponencial

$H_a$ : No se distribuyen como una exponencial.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio
1	(1,1.5)	12	1.25
2	(1.5,2)	10	1.75
3	(2,3)	19	2.5
4	(3,4)	12	3.5
5	(4,5)	7	4.5
6	(5,6)	16	5.5
7	(6,21)	24	13.5

Media	4.23
n =	7

$$1 - e^{-x/\lambda}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
1.25	0.12	0.028369	0.255847	-0.13585	0.018454	0.07213044
1.75	0.1	0.023641	0.338808	-0.23881	0.057029	0.16832359
2.5	0.19	0.044917	0.446236	-0.25624	0.065657	0.14713484
3.5	0.12	0.028369	0.562826	-0.44283	0.196095	0.34841083
4.5	0.07	0.016548	0.654869	-0.58487	0.342071	0.52235092
5.5	0.16	0.037825	0.727533	-0.56753	0.322093	0.44272005
13.5	0.24	0.056738	0.958889	-0.71889	0.516802	0.5389589

2.24002956
------------

Con 5 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Exponencial.

## Con Stat fit

The screenshot shows the Stat::Fit software interface. The main window is titled 'Arenación Lab: Automatic Fitting'. On the left, there is a 'Data Table' window showing a list of data points. The 'Intervals' field is set to 7 and 'Points' is set to 100. The data points range from 1.01682 to 1.85031. The main window displays the 'Auto::Fit of Distributions' results:

distribution	rank	acceptance
Exponential(1., 4.23)	100	do not reject
Lognormal(1., 0.874, 1.24)	55.4	do not reject
Triangular(1., 21., 1.)	0.	reject
Uniform(1., 20.6)	0.	reject

<b>Puntos</b>	100
<b>Intervalos</b>	7
<b>Media</b>	4.23
<b>Distribución</b>	Exponencial

## Atención Doctores

$H_0$ : Los datos se distribuyen como una exponencial

$H_a$ : No se distribuyen como una exponencial.

No.	Intervalo	Fr	Punto medio
1	(13,20.1)	34	16.55
2	(20.1,28.5)	30	24.30
3	(28.5,36.1)	15	32.3
4	(36.1,43)	11	39.55
5	(43,52)	5	47.5
6	(52,59.8)	5	55.9

Media	14.3
n =	6

$$1 - e^{-x/\lambda}$$

x	oi	frec	ei	oi-ei	(oi-ei) <sup>2</sup>	(oi-ei) <sup>2</sup> / ei
16.55	0.34	0.023776	0.68568	-0.34568	0.119494	0.17427151
24.3	0.3	0.020979	0.817189	-0.51719	0.267484	0.32732236
32.3	0.15	0.01049	0.895518	-0.74552	0.555797	0.6206432
39.55	0.11	0.007692	0.93707	-0.82707	0.684045	0.72998271
47.5	0.05	0.003497	0.963908	-0.91391	0.835227	0.8665014
55.9	0.05	0.003497	0.979941	-0.92994	0.864791	0.88249245

3.60121364
------------

Con 4 grados de libertad, se compara el valor del resultado con la tabla de la  $\chi^2$ , y como este valor es inferior al de la tabla, se acepta la hipótesis ( $H_0$ ), los datos se distribuyen como una Exponencial.

## Con Stat fit

The screenshot shows the Stat::Fit software interface. The main window is titled "Atención Doctores.sfp" and contains a menu bar (File, Edit, Input, Statistics, Fit, Utilities, View, Window, Help) and a toolbar with icons for file operations and fitting. Below the toolbar, there are two panes. The left pane, titled "Atención Doctores.sfp: Data T...", displays a list of 19 data points. The right pane, titled "Atención Doctores.sfp: Automatic Fitting", shows the results of an "Auto::Fit of Distributions".

**Atención Doctores.sfp: Data T...**

Intervals:  Points:

1	13.0455
2	13.2728
3	13.3172
4	13.3537
5	14.1795
6	14.1856
7	14.2091
8	14.6615
9	15.1267
10	15.4473
11	15.4674
12	15.4732
13	15.7452
14	15.9452
15	16.3368
16	16.6218
17	16.6734
18	16.7769
19	16.8463

**Atención Doctores.sfp: Automatic Fitting**

**Auto::Fit of Distributions**

distribution	rank	acceptance
Exponential[13., 14.3]	100	do not reject
Lognormal[13., 2.21, 1.18]	9.53	reject
Triangular[13., 61.8, 13.]	1.77	reject
Uniform[13., 59.8]	0.	reject

<b>Puntos</b>	100
<b>Intervalos</b>	6
<b>Media</b>	14.3
<b>Distribución</b>	Exponencial



#### A.4. Medidas de rendimiento de la red

Para que ninguna de las colas del sistema se sature, es preciso que se cumpla la siguiente condición:

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, k\}, \quad p_i < 1, \quad \text{donde} \quad p_i = \frac{\lambda_i}{c_i \mu_i}$$

Se trata de la condición de no saturación del modelo  $M|M|c$ , aplicada a cada uno de los nodos por separado.

En el capítulo 4 apartado 2 se mostró como ninguna de las colas del Centro se satura, por lo mismo basados en dicho resultado, se puede concluir que la red no se satura.

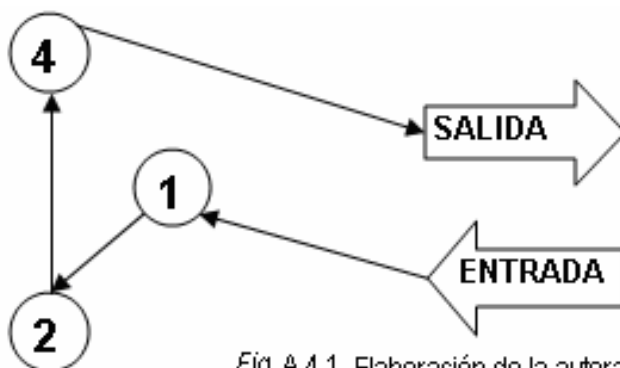


Fig. A.4.1 Elaboración de la autora

Personas que van a laboratorio recorriendo el nodo 1, 2 y 4, luego salen al exterior. En este caso en el nodo 4 atienden las recepcionistas 1 y 6, la recepcionista 6 trabaja en el turno de la tarde, en este horario no hay atención de laboratorio. Por esta razón los datos del nodo 4 corresponden a la recepcionista 1.

Número medio de trabajos en el sistema.

$$L_{red} = \sum_{i=1}^k L_i$$

	<b>Nodo 1</b>	<b>Nodo 2</b>	<b>Nodo 4</b>	
<b>DÍA</b>	<b>L</b>	<b>L</b>	<b>L</b>	<b>Lred</b>
LUNES	0.217574	0.863553	0.880632	1.961759
MARTES	0.207688	0.779359	1.185098	2.172145
MIÉRCOLES	0.19996	0.717798	0.874707	1.792465
JUEVES	0.197351	0.697793	0.969851	1.864995
VIERNES	0.205375	0.760563	0.757835	1.723774
SÁBADO	0.314165	2.240238	2.538462	5.092865

Número medio de trabajos en la cola.

$$L_{qred} = \sum_{i=1}^k L_{qi}$$

	<b>Nodo 1</b>	<b>Nodo 2</b>	<b>Nodo 4</b>	
<b>DÍA</b>	<b>Lq</b>	<b>Lq</b>	<b>Lq</b>	<b>Lqred</b>
LUNES	0.038879	0.017159	0.550621	0.606659
MARTES	0.035716	0.015214	0.888643	0.939573
MIÉRCOLES	0.033321	0.013764	0.544591	0.591676
JUEVES	0.032528	0.013288	0.644053	0.689869
VIERNES	0.034992	0.014773	0.430315	0.480081
SÁBADO	0.075105	0.04102	2.98846	3.104585

Tiempo medio en el sistema.

$$W_{red} = \frac{L_{red}}{\lambda_{red}}$$

	<b>Nodo 1</b>	<b>Nodo 2</b>	<b>Nodo 4</b>	
<b>DÍA</b>	<b><i>W Min.</i></b>	<b><i>W Min</i></b>	<b><i>W Min</i></b>	<b><i>Wred</i></b>
LUNES	1.363682	7.882829	4.009544	13.25606
MARTES	1.352611	7.52669	4.823743	13.70304
MIÉRCOLES	1.343955	7.266286	3.994252	12.60449
JUEVES	1.341033	7.181664	4.242303	12.765
VIERNES	1.350021	7.447183	3.696718	12.49392
SÁBADO	1.471865	13.70621	9.271688	24.44976

Tiempo medio en la cola.

$$W_{qred} = \sum_{i=1}^k W_{qi}$$

	<b>Nodo 1</b>	<b>Nodo 2</b>	<b>Nodo 4</b>	
<b>DÍA</b>	<b><i>Wq Min</i></b>	<b><i>Wq Min</i></b>	<b><i>Wq Min</i></b>	<b><i>Wqred</i></b>
LUNES	0.243682	3.652829	2.06954	5.966052
MARTES	0.232611	3.29669	2.88374	6.413041
MIÉRCOLES	0.223955	3.036286	2.05425	5.314491
JUEVES	0.221033	2.951664	2.3023	5.474996
VIERNES	0.230021	3.217183	1.75672	5.203924
SÁBADO	0.351865	9.476206	7.33169	17.15976

Personas que van al Nodo 1 y 2, luego al exterior.

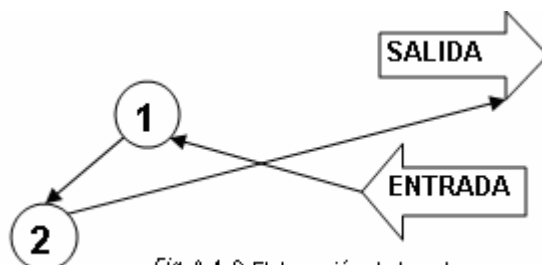


Fig. A.4. 2 Elaboración de la autora

	Nodo 1		Nodo 2	
DÍA	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>Lred</i>	
LUNES	0.217574	0.863553	1.081127	
MARTES	0.207688	0.779359	0.987048	
MIÉRCOLES	0.19996	0.717798	0.917758	
JUEVES	0.197351	0.697793	0.895143	
VIERNES	0.205375	0.760563	0.965939	
SÁBADO	0.314165	2.240238	2.554403	

	Nodo 1		Nodo 2	
DÍA	<i>Lq</i>	<i>Lq</i>	<i>Lqred</i>	
LUNES	0.038879	0.017159	0.056038	
MARTES	0.035716	0.015214	0.05093	
MIÉRCOLES	0.033321	0.013764	0.047085	
JUEVES	0.032528	0.013288	0.045816	
VIERNES	0.034992	0.014773	0.049766	
SÁBADO	0.075105	0.04102	0.116125	

	Nodo 1		Nodo 2	
DÍA	<i>W Min</i>	<i>W Min</i>	<i>Wred</i>	
LUNES	1.363682	7.882829	9.246512	
MARTES	1.352611	7.52669	8.879301	
MIÉRCOLES	1.343955	7.266286	8.610241	
JUEVES	1.341033	7.181664	8.522696	
VIERNES	1.350021	7.447183	8.797204	
SÁBADO	1.471865	13.70621	15.17807	

	Nodo 1	Nodo 2	
DÍA	<i>Wq Min</i>	<i>Wq Min</i>	<i>Wqred</i>
LUNES	0.243682	3.652829	3.896512
MARTES	0.232611	3.29669	3.529301
MIÉRCOLES	0.223955	3.036286	3.260241
JUEVES	0.221033	2.951664	3.172696
VIERNES	0.230021	3.217183	3.447204
SÁBADO	0.351865	9.476206	9.828071

Personas que pasan a consulta con alguno de los doctores y al terminar ésta salen al exterior, como se había mencionado en el nodo 3 atienden las recepcionistas 2 y 3 por la mañana y las 4 y 5 por la tarde.

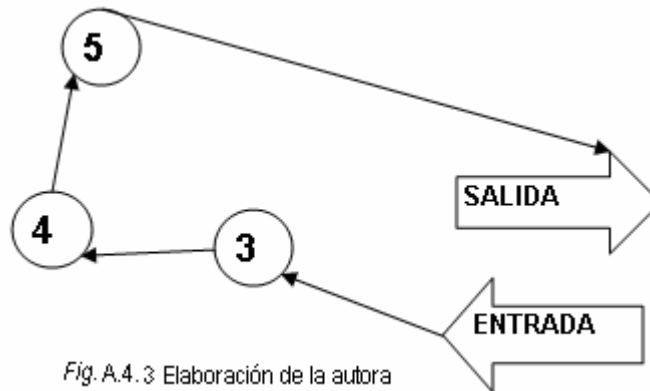


Fig. A.4. 3 Elaboración de la autora

Recepcionistas 2, 3 y 1

	Recep 2 y 3 Nodo 3	Recep 1 Nodo 4	Nodo 5	
DÍA	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>Lred</i>
LUNES	0.563737	1.066776	5.3842	7.014712
MARTES	0.624807	1.486466	5.9167	8.027973
MIÉRCOLES	0.601167	1.058893	5.7563	7.41636
JUEVES	0.636919	1.186754	6.1193	7.942973
VIERNES	0.553328	0.905525	5.2485	6.707353
SÁBADO	0.893351	3.779221	7.9946	12.66717

Recep 2 y 3    Recep 1  
**Nodo 3      Nodo 4      Nodo 5**

<b>DÍA</b>	<b><i>Lq</i></b>	<b><i>Lq</i></b>	<b><i>Lq</i></b>	<b><i>Lqred</i></b>
LUNES	0.038831	0.550621	0.0595	0.648952
MARTES	0.051365	0.888643	0.049	0.989008
MIÉRCOLES	0.046276	0.544591	0.0962	0.687067
JUEVES	0.054089	0.644053	0.1466	0.844742
VIERNES	0.036894	0.430315	0.0185	0.485709
SÁBADO	0.130104	2.98846	0.0035	3.122064

Recep 2 y 3    Recep 1  
**Nodo 3      Nodo 4      Nodo 5**

<b>DÍA</b>	<b><i>W</i></b>	<b><i>W</i></b>	<b><i>W</i></b>	<b><i>W red</i></b>
LUNES	1.576694	4.009544	21.5892	27.17544
MARTES	1.59959	4.823743	21.5292	27.95253
MIÉRCOLES	1.590522	3.994252	21.7135	27.29827
JUEVES	1.604334	4.242303	21.8749	27.72154
VIERNES	1.572969	3.696718	21.4264	26.69609
SÁBADO	1.718342	9.271688	21.3602	32.35023

Recep 2 y 3    Recep 1  
**Nodo 3      Nodo 4      Nodo 5**

<b>DÍA</b>	<b><i>Wq</i></b>	<b><i>Wq</i></b>	<b><i>Wq</i></b>	<b><i>Wqred</i></b>
LUNES	0.108605	2.06954	0.2384	2.416545
MARTES	0.131501	2.88374	0.1784	3.193641
MIÉRCOLES	0.122432	2.05425	0.3627	2.539382
JUEVES	0.136244	2.3023	0.5241	2.962644
VIERNES	0.104879	1.75672	0.0756	1.937199
SÁBADO	0.250253	7.33169	0.0094	7.591343

Con las recepcionistas 4, 5 y 6

<b>DÍA</b>	<b>Recep 4 y 5</b>		<b>Recep 6</b>	
	<b>Nodo 3</b>	<b>Nodo 4</b>	<b>Nodo 5</b>	<b>Lred</b>
LUNES	0.746406	0.814573	5.3842	6.94518
MARTES	0.835457	0.978947	5.9167	7.731104
MIÉRCOLES	0.800707	0.912732	5.7563	7.469739
JUEVES	0.853403	1.01425	6.1193	7.986953
VIERNES	0.731458	0.788642	5.2485	6.7686

<b>DÍA</b>	<b>Recep 4 y 5</b>		<b>Recep 6</b>	
	<b>Nodo 3</b>	<b>Nodo 4</b>	<b>Nodo 5</b>	<b>Lqred</b>
LUNES	0.082299	0.365667	0.0595	0.507466
MARTES	0.109941	0.484267	0.049	0.643207
MIÉRCOLES	0.098661	0.435544	0.0962	0.630405
JUEVES	0.116009	0.510713	0.1466	0.773322
VIERNES	0.078068	0.347725	0.0185	0.444294

<b>DÍA</b>	<b>Recep 4 y 5</b>		<b>Recep 6</b>	
	<b>Nodo 3</b>	<b>Nodo 4</b>	<b>Nodo 5</b>	<b>Wred</b>
LUNES	2.087597	3.266232	21.5892	26.94303
MARTES	2.138881	3.562105	21.5292	27.23019
MIÉRCOLES	2.118448	3.442917	21.7135	27.27486
JUEVES	2.149634	3.62565	21.8749	27.65018
VIERNES	2.079347	3.219556	21.4264	26.7253

DÍA	Recep 4 y 5	Recep 6		
	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	
	$Wq$	$Wq$	$Wq$	$Wqred$
LUNES	0.230178	1.466232	0.2384	1.93481
MARTES	0.281463	1.762105	0.1784	2.221968
MIÉRCOLES	0.261029	1.642917	0.3627	2.266646
JUEVES	0.292215	1.82565	0.5241	2.641965
VIERNES	0.221928	1.419556	0.0756	1.717084

Personas que después de ser atendidas por los doctores, regresan a la fila tres para después salir a la calle.

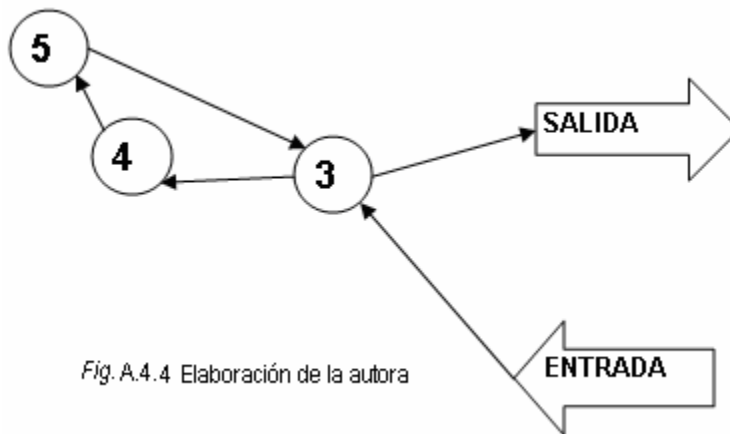


Fig. A.4.4 Elaboración de la autora

DÍA	Recep 2 y 3	Recep 1	Recep 2 y 3		
	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 3	
	$L$	$L$	$L$	$L$	$Lred$
LUNES	0.563737	1.066776	5.3842	0.563737	7.578449
MARTES	0.624807	1.486466	5.9167	0.624807	8.65278
MIÉRCOLES	0.601167	1.058893	5.7563	0.601167	8.017528
JUEVES	0.636919	1.186754	6.1193	0.636919	8.579892
VIERNES	0.553328	0.905525	5.2485	0.553328	7.260681
SÁBADO	0.893351	3.779221	7.9946	0.893351	13.56052



	Recep 2 y 3 Nodo 3	Recep 1 Nodo 4	Nodo 5	Recep 2 y 3 Nodo 3	
DÍA	<i>Lq</i>	<i>Lq</i>	<i>Lq</i>	<i>Lq</i>	<i>Lqred</i>
LUNES	0.038831	0.550621	0.0595	0.038831	0.687783
MARTES	0.051365	0.888643	0.049	0.051365	1.040373
MIÉRCOLES	0.046276	0.544591	0.0962	0.046276	0.733342
JUEVES	0.054089	0.644053	0.1466	0.054089	0.898831
VIERNES	0.036894	0.430315	0.0185	0.036894	0.522603
SÁBADO	0.130104	2.98846	0.0035	0.130104	3.252169

	Recep 2 y 3 Nodo 3	Recep 1 Nodo 4	Nodo 5	Recep 2 y 3 Nodo 3	
DÍA	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>Wred</i>
LUNES	1.576694	4.009544	21.5892	1.576694	28.75213
MARTES	1.59959	4.823743	21.5292	1.59959	29.55212
MIÉRCOLES	1.590522	3.994252	21.7135	1.590522	28.8888
JUEVES	1.604334	4.242303	21.8749	1.604334	29.32587
VIERNES	1.572969	3.696718	21.4264	1.572969	28.26906
SÁBADO	1.718342	9.271688	21.3602	1.718342	34.06857

	Recep 2 y 3 Nodo 3	Recep 1 Nodo 4	Nodo 5	Recep 2 y 3 Nodo 3	
DÍA	<i>Wq</i>	<i>Wq</i>	<i>Wq</i>	<i>Wq</i>	<i>Wqred</i>
LUNES	0.108605	2.06954	0.2384	0.108605	2.52515
MARTES	0.131501	2.88374	0.1784	0.131501	3.325141
MIÉRCOLES	0.122432	2.05425	0.3627	0.122432	2.661815
JUEVES	0.136244	2.3023	0.5241	0.136244	3.098889
VIERNES	0.104879	1.75672	0.0756	0.104879	2.042079
SÁBADO	0.250253	7.33169	0.0094	0.250253	7.841596

	Recep 4 y 5 Nodo 3	Recep 6 Nodo 4	Nodo 5	Recep 4 y 5 Nodo 3	
DÍA	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>Lred</i>
LUNES	0.746406	0.814573	5.3842	0.746406	7.691586
MARTES	0.835457	0.978947	5.9167	0.835457	8.566561
MIÉRCOLES	0.800707	0.912732	5.7563	0.800707	8.270446
JUEVES	0.853403	1.01425	6.1193	0.853403	8.840355
VIERNES	0.731458	0.788642	5.2485	0.731458	7.500059

	Recep 4 y 5 Nodo 3	Recep 6 Nodo 4	Nodo 5	Recep 4 y 5 Nodo 3	
DÍA	<i>Lq</i>	<i>Lq</i>	<i>Lq</i>	<i>Lq</i>	<i>Lqred</i>
LUNES	0.082299	0.365667	0.0595	0.082299	0.589764
MARTES	0.109941	0.484267	0.049	0.109941	0.753148
MIÉRCOLES	0.098661	0.435544	0.0962	0.098661	0.729066
JUEVES	0.116009	0.510713	0.1466	0.116009	0.889331
VIERNES	0.078068	0.347725	0.0185	0.078068	0.522362

	Recep 4 y 5 Nodo 3	Recep 6 Nodo 4	Nodo 5	Recep 4 y 5 Nodo 3	
DÍA	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>Wred</i>
LUNES	2.087597	3.266232	21.5892	2.087597	29.03063
MARTES	2.138881	3.562105	21.5292	2.138881	29.36907
MIÉRCOLES	2.118448	3.442917	21.7135	2.118448	29.39331
JUEVES	2.149634	3.62565	21.8749	2.149634	29.79982
VIERNES	2.079347	3.219556	21.4264	2.079347	28.80465

	Recep 4 y 5 Nodo 3	Recep 6 Nodo 4	Nodo 5	Recep 4 y 5 Nodo 3	
DÍA	<i>Wq</i>	<i>Wq</i>	<i>Wq</i>	<i>Wq</i>	<i>Wqred</i>
LUNES	0.230178	1.466232	0.2384	0.230178	2.164988
MARTES	0.281463	1.762105	0.1784	0.281463	2.503431
MIÉRCOLES	0.261029	1.642917	0.3627	0.261029	2.527675
JUEVES	0.292215	1.82565	0.5241	0.292215	2.934181
VIERNES	0.221928	1.419556	0.0756	0.221928	1.939012

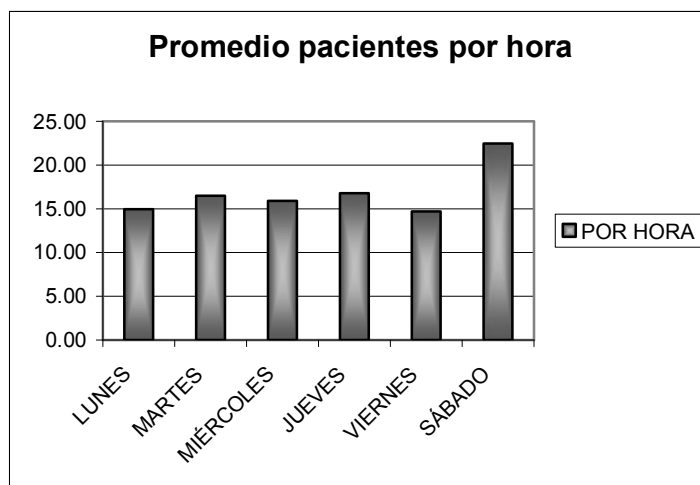
## A.5 REPORTE PARA SER PRESENTADO A LOS DIRECTIVOS DEL CENTRO MÉDICO

La investigación se realizó durante todo el año 2006 utilizando las bases de datos del 2005, el propósito era el de actualizar los datos una vez concluido el año 2006. Pero en enero de 2007 a la hora de contabilizar las consultas del 2006 nos encontramos con una diferencia mínima de tan solo .09% de crecimiento durante todo el año, por lo mismo no se consideró que los resultados serían relevantes, sin embargo es importante considerar este dato para futuras investigaciones. Es conveniente el investigar si este bajo crecimiento es debido a que el Centro ya está operando a su máxima capacidad, de no ser así se recomienda el hacer los cambios pertinentes para un uso más óptimo de las instalaciones.

Presentamos a continuación los resultados obtenidos del análisis del rendimiento de las filas que hacen los pacientes para esperar a ser atendidos.

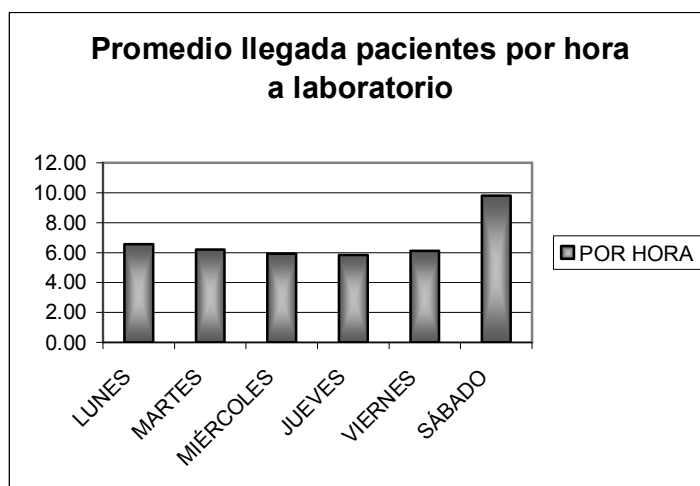
El promedio de pacientes por hora que llegaron al Centro durante el 2005 en los respectivos días fueron los siguientes.

DÍA	PACIENTES POR HORA
LUNES	14.96354
MARTES	16.48936
MIÉRCOLES	15.90625
JUEVES	16.78457
VIERNES	14.69722
SÁBADO	22.45652



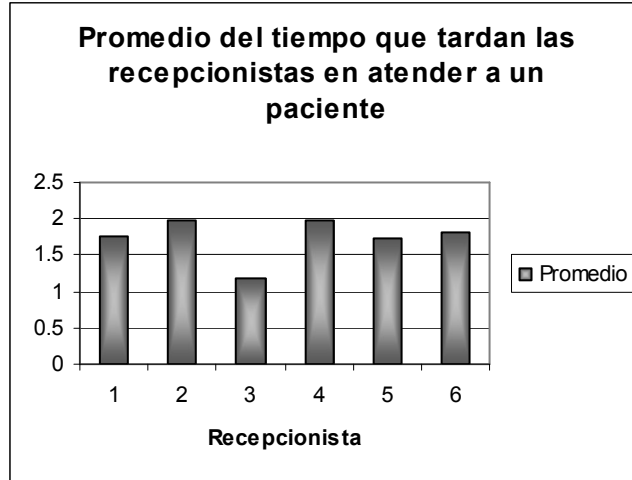
El promedio por hora de las personas que llegaron al laboratorio en los respectivos días de la semana, fueron los siguientes.

DÍA	PACIENTES POR HORA
LUNES	6.57291667
MARTES	6.21276596
MIÉRCOLES	5.92708333
JUEVES	5.82978723
VIERNES	6.12765957
SÁBADO	9.80681818



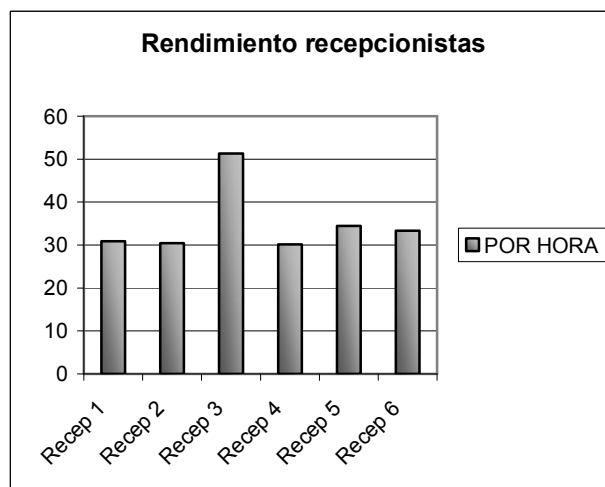
Se midió con un cronómetro el tiempo que tardan las recepcionistas en atender a un paciente, a cada recepcionista se le midieron 100 atenciones a pacientes, con el resultado de esta medición se calculó el promedio que tardan cada una en atender a un paciente.

RECEPCIONISTA	PROMEDIO DE ATENCIÓN
1	1.76
2	1.97
3	1.17
4	1.99
5	1.74
6	1.8

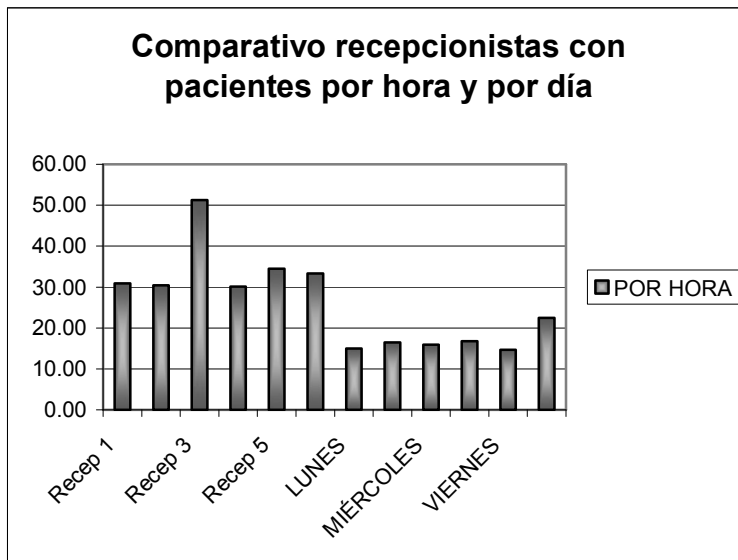


El rendimiento de las recepcionistas, es decir la capacidad de pacientes atendidos por hora, se muestra en la siguiente tabla.

PERSONAL	PACIENTES POR HORA
Recep 1	30.92
Recep 2	30.45
Recep 3	51.2
Recep 4	30.15
Recep 5	34.45
Recep 6	33.33

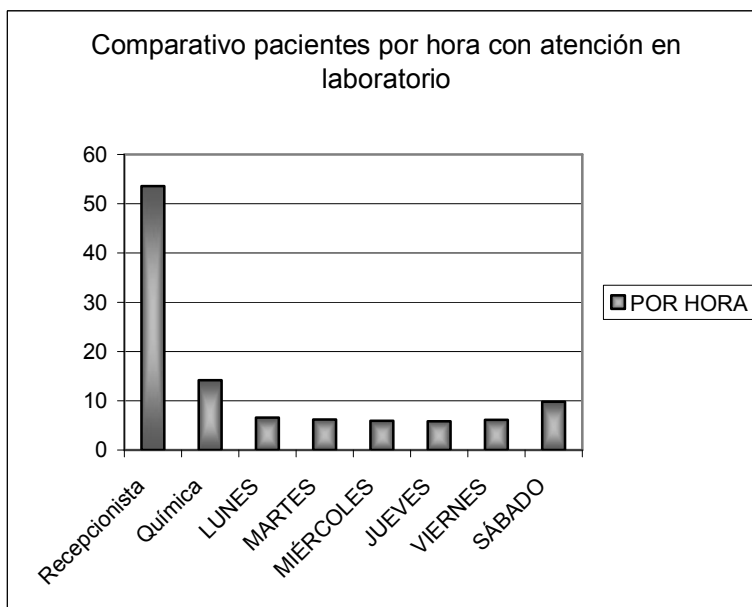


Se puede apreciar en la gráfica anterior que la recepcionista 3 con 51 pacientes por hora, tiene un rendimiento muy superior al de las demás recepcionistas que todas se encuentran un poco arriba de 30 pacientes por hora..



Pacientes atendidos por hora del personal de laboratorio.

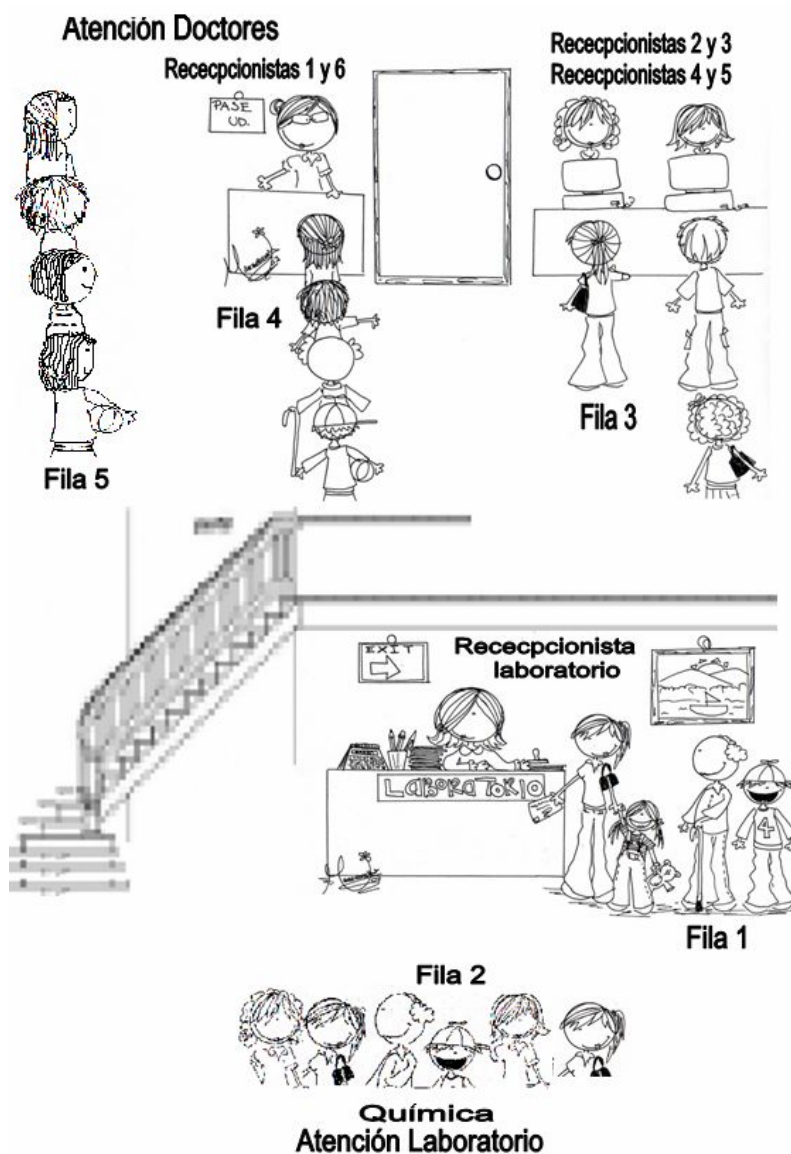
PACIENTES POR HORA	
Recepcionista	53.571429
Química	14.184397



En el caso de los pacientes atendidos por los doctores se calculó la media del tiempo de atención por hora de los diferentes doctores que asisten cada día.

PACIENTES POR HORA	
DOCTORES	2.8102

A continuación se presenta el rendimiento de cada fila por separado, con la finalidad de poder evaluar el rendimiento de cada estación de servicio, posteriormente se presentan los resultados de las diferentes rutas en donde interactúan varias filas.





Las variables que se usarán en este reporte para establecer el rendimiento de las líneas de espera serán las siguientes:

$L_q$  = Número de clientes en la cola.

$L$  = Número de clientes en el sistema, es decir los que están en la cola más los que están siendo atendidos.

$W$  = Tiempo medio de respuesta.

$W_q$  = Tiempo medio de espera en la cola.

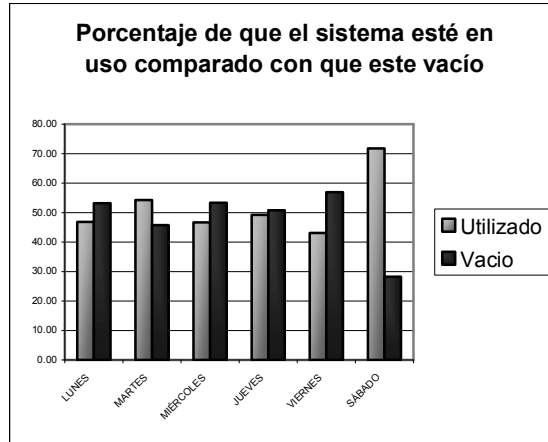
### Recepcionista 1

Media	Por hora
1.76	34.09

La recepcionista 1 tarda un promedio de 1.76 minutos en atender a un paciente, tiene la capacidad de atender a 34 pacientes por hora. Se encuentra en la fila 4 en el turno matutino.

DÍA	Utilizado	Vacío
LUNES	46.83	53.17
MARTES	54.24	45.76
MIÉRCOLES	46.66	53.34
JUEVES	49.23	50.77
VIERNES	43.11	56.89
SÁBADO	71.74	28.26

Se puede observar en la tabla anterior, por cada día, que el porcentaje de utilización de la estación de servicio es muy baja, el único día que es aceptable es el sábado.



Medidas de rendimiento de la fila 4, turno matutino.

<b>DÍA</b>	<b><math>Lq</math></b>	<b><math>L</math></b>	<b><math>W Min</math></b>	<b><math>Wq Min</math></b>
LUNES	0.412368	0.880632	3.309912	1.54991
MARTES	0.642743	1.185098	3.845772	2.08577
MIÉRCOLES	0.408124	0.874707	3.299484	1.53948
JUEVES	0.477504	0.969851	3.466939	1.70694
VIERNES	0.326717	0.757835	3.09379	1.33379
SÁBADO	1.82107	2.538462	6.227692	4.46769

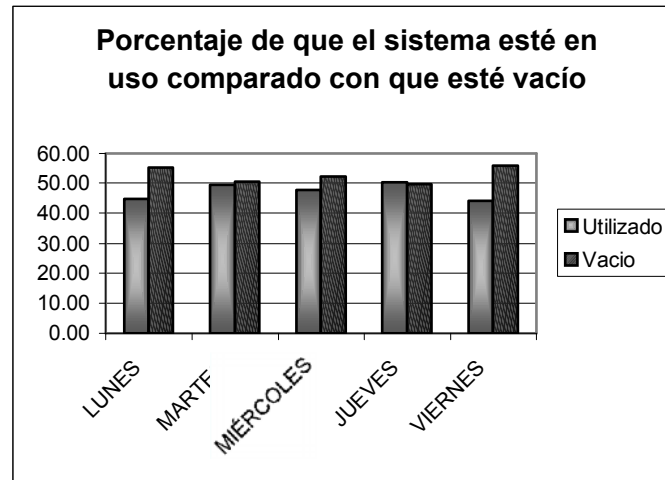
Se puede apreciar en la tabla anterior que tanto el número de personas en la fila como el tiempo de respuesta son muy bajos.

### Recepcionista 6

La recepcionista 6 tarda en promedio atender a un paciente 1.8 minutos, tiene la capacidad de atender a 33 pacientes por hora. También se encuentra en la fila 4, pero en el turno vespertino. Como los sábados no hay servicio en la tarde en este caso no se considera el sábado.

<b>Media</b>	<b>Por hora</b>
1.8	33.33

DÍA	Utilizado	Vacío
LUNES	44.89	55.11
MARTES	49.47	50.53
MIÉRCOLES	47.72	52.28
JUEVES	50.35	49.65
VIERNES	44.09	55.91



Se puede observar en la tabla y gráfica anteriores, que todos los días el porcentaje de utilización de la estación de servicio está por debajo de la probabilidad de que esté vacía, excepto el jueves que aún así, tiene una tasa muy baja de utilización.

Medidas de rendimiento de la fila 4, turno vespertino.

DÍA	$Lq$	$L$	$W Min$	$Wq Min$
LUNES	0.365667	0.814573	3.266232	1.46623
MARTES	0.484267	0.978947	3.562105	1.76211
MIÉRCOLES	0.435544	0.912732	3.442917	1.64292
JUEVES	0.510713	1.01425	3.62565	1.82565
VIERNES	0.347725	0.788642	3.219556	1.41956

Se puede apreciar en la tabla anterior que tanto el número de personas en la fila como el tiempo de respuesta son muy bajos.

## Recepcionista 2 y 3

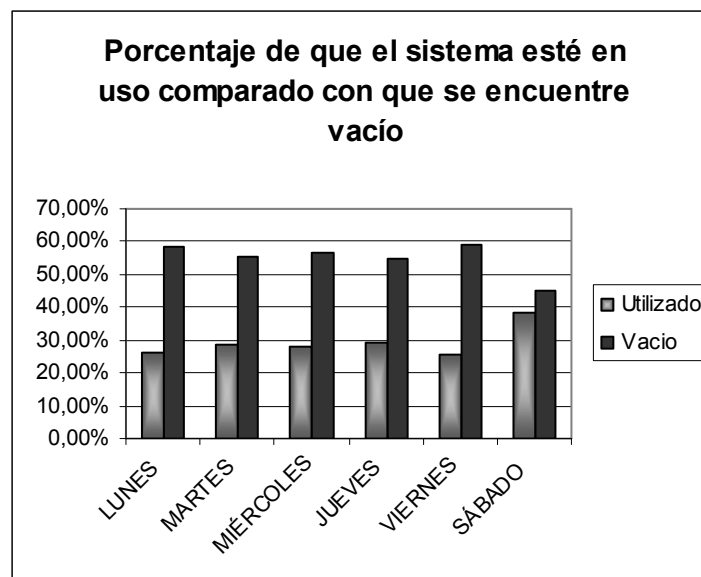
Recepcionista	Media	Por hora
2	1.97	30.46
3	1.17	51.28

La recepcionistas 2 y 3 se encuentran en la fila tres laborando juntas en el turno matutino, atienden conforme se van desocupando, los pacientes hacen una sola fila.

La recepcionista 2 tarda en promedio atender a un paciente 1.97 minutos, tiene la capacidad de atender a 30 pacientes por hora.

La recepcionista 3 tarda en atender a un paciente en promedio 1.17 minutos, tiene la capacidad de atender a 51 pacientes por hora.

DÍA	Utilizado	Vacio
LUNES	26.25%	58.42%
MARTES	28.67%	55.43%
MIÉRCOLES	27.74%	56.56%
JUEVES	29.14%	54.87%
VIERNES	25.82%	58.96%
SÁBADO	38.16%	44.76%



Se puede observar en la tabla y grafica anteriores que todos los días el porcentaje de utilización de la estación de servicio está muy por debajo de la probabilidad de que esté vacía, en este caso la efectividad de la recepcionista 3 provoca este resultado. Esta recepcionista podría sola con el trabajo todos los días.

Medidas de rendimiento de la estación de trabajo:

<b>DÍA</b>	<b><i>Lq</i></b>	<b><i>L</i></b>	<b><i>Wq min</i></b>	<b><i>W min.</i></b>
LUNES	0.038831	0.563737	0.108605	1.576694
MARTES	0.051365	0.624807	0.131501	1.59959
MIÉRCOLES	0.046276	0.601167	0.122432	1.590522
JUEVES	0.054089	0.636919	0.136244	1.604334
VIERNES	0.036894	0.553328	0.104879	1.572969
SÁBADO	0.130104	0.893351	0.250253	1.718342

Se puede apreciar en la tabla anterior que tanto el número de personas en la fila como el tiempo de respuesta son muy bajos.

### Recepcionista 4 y 5

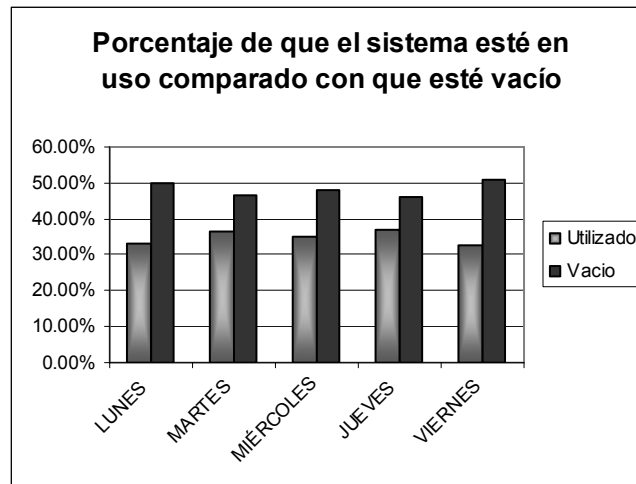
<b>Recepcionista</b>	<b>Media</b>	<b>Por hora</b>
4	1.99	30.15
5	1.74	34.46

La recepcionistas 4 y 5 se encuentran en la fila tres laborando juntas en el turno vespertino, atienden conforme se van desocupando, los pacientes hacen una sola fila.

La recepcionista 4 tarda en promedio atender a un paciente 1.99 minutos, tiene la capacidad de atender a 30 pacientes por hora.

La recepcionista 5 tarda en promedio atender a un paciente 1.74 minutos, tiene la capacidad de atender a 34 pacientes por hora.

DÍA	Utilizado	Vacío
LUNES	33.21%	50.14%
MARTES	36.28%	46.76%
MIÉRCOLES	35.10%	48.04%
JUEVES	36.87%	46.12%
VIERNES	32.67%	50.75%



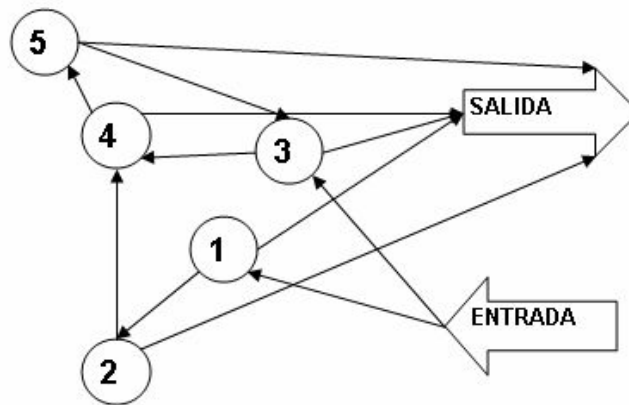
Se puede observar en la tabla y grafica anteriores que todos los días el porcentaje de utilización de la estación de servicio está muy por debajo de la probabilidad de que esté vacía.

Medidas de rendimiento de la estación de trabajo:

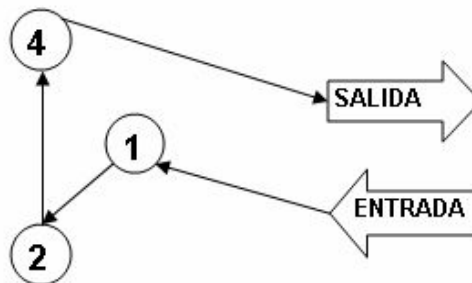
DÍA	$Lq$	$L$	$Wq \text{ min}$	$W \text{ min.}$
LUNES	0.082299	0.746406	0.230178	2.087597
MARTES	0.109941	0.835457	0.281463	2.138881
MIÉRCOLES	0.098661	0.800707	0.261029	2.118448
JUEVES	0.116009	0.853403	0.292215	2.149634
VIERNES	0.078068	0.731458	0.221928	2.079347

Se puede apreciar en la tabla anterior que tanto el número de personas en la fila como el tiempo de respuesta son muy bajos.

## Resultados de la red



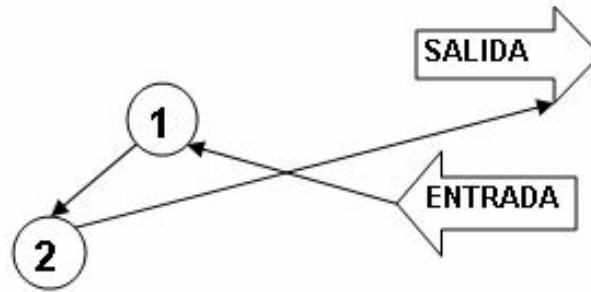
Personas que van al laboratorio (Filas 1 y 2) y luego por su recibo (Fila 4), después salen al exterior.



DÍA	$Lqred$	$Lred$	$Wqred$	$Wred$
LUNES	0.606659	1.961759	5.966052	13.25606
MARTES	0.939573	2.172145	6.413041	13.70304
MIÉRCOLES	0.591676	1.792465	5.314491	12.60449
JUEVES	0.689869	1.864995	5.474996	12.765
VIERNES	0.480081	1.723774	5.203924	12.49392
SÁBADO	3.104585	5.092865	17.15976	24.44976

El tiempo máximo que tarda un paciente que va a laboratorio desde que llega hasta que abandona el centro es de 24.44 minutos el sábado.

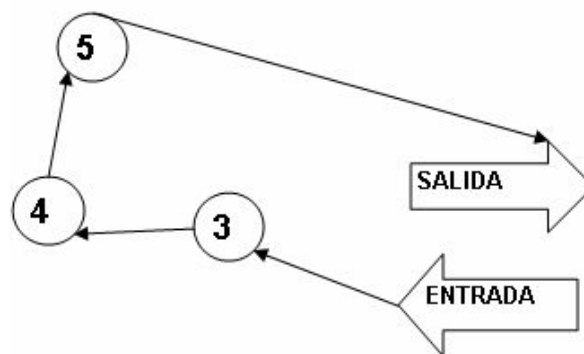
Personas que van al laboratorio (Filas 1 y 2) y después salen al exterior.



DÍA	<i>Lqred</i>	<i>Lred</i>	<i>Wqred</i>	<i>Wred</i>
LUNES	0.056038	1.081127	3.896512	9.246512
MARTES	0.05093	0.987048	3.529301	8.879301
MIÉRCOLES	0.047085	0.917758	3.260241	8.610241
JUEVES	0.045816	0.895143	3.172696	8.522696
VIERNES	0.049766	0.965939	3.447204	8.797204
SÁBADO	0.116125	2.554403	9.828071	15.17807

El tiempo máximo que tarda un paciente que va a laboratorio desde que llega hasta que abandona el centro es de 15.17 minutos el sábado.

Personas que se registran en la fila 3, pagan y se les elabora su recibo en la fila 4, luego pasan con alguno de los doctores, para al final salir al exterior.





Con las recepcionistas 2 ,3 y 1.

DÍA	<i>Lqred</i>	<i>Lred</i>	<i>Wqred</i>	<i>W red</i>
LUNES	0.648952	7.014712	2.416545	27.17544
MARTES	0.989008	8.027973	3.193641	27.95253
MIÉRCOLES	0.687067	7.41636	2.539382	27.29827
JUEVES	0.844742	7.942973	2.962644	27.72154
VIERNES	0.485709	6.707353	1.937199	26.69609
SÁBADO	3.122064	12.66717	7.591343	32.35023

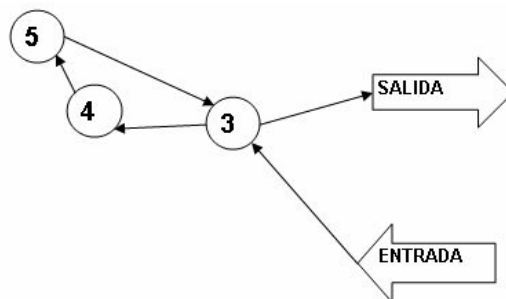
El tiempo máximo que tarda un paciente que pasa con algún doctor desde que llega hasta que abandona el centro es de 32.35 minutos el sábado.

Con las recepcionistas 4, 5 y 6

DÍA	<i>Lqred</i>	<i>Lred</i>	<i>Wqred</i>	<i>Wred</i>
LUNES	0.507466	6.94518	1.93481	26.94303
MARTES	0.643207	7.731104	2.221968	27.23019
MIÉRCOLES	0.630405	7.469739	2.266646	27.27486
JUEVES	0.773322	7.986953	2.641965	27.65018
VIERNES	0.444294	6.7686	1.717084	26.7253

El tiempo máximo que tarda un paciente que pasa con algún doctor desde que llega hasta que abandona el centro es de 27.65 minutos el jueves.

Personas que después de ser atendidas por los doctores, regresan a la fila tres para después salir a la calle.



**Con las recepcionistas 2 ,3 y 1.**

<b>DÍA</b>	<b><i>Lqred</i></b>	<b><i>Lred</i></b>	<b><i>Wqred</i></b>	<b><i>W red</i></b>
LUNES	0.687783	7.578449	2.52515	28.75213
MARTES	1.040373	8.65278	3.325141	29.55212
MIÉRCOLES	0.733342	8.017528	2.661815	28.8888
JUEVES	0.898831	8.579892	3.098889	29.32587
VIERNES	0.522603	7.260681	2.042079	28.26906
SÁBADO	3.252169	13.56052	7.841596	34.06857

El tiempo máximo que tarda un paciente que pasa con algún doctor y luego regresa a la fila 3, desde que llega hasta que abandona el centro es de 34.06 minutos el sábado.

**Con las recepcionistas 4, 5 y 6**

<b>DÍA</b>	<b><i>Lqred</i></b>	<b><i>Lred</i></b>	<b><i>Wqred</i></b>	<b><i>Wred</i></b>
LUNES	0.589764	7.691586	2.164988	29.03063
MARTES	0.753148	8.566561	2.503431	29.36907
MIÉRCOLES	0.729066	8.270446	2.527675	29.39331
JUEVES	0.889331	8.840355	2.934181	29.79982
VIERNES	0.522362	7.500059	1.939012	28.80465

El tiempo máximo que tarda un paciente que pasa con algún doctor y luego regresa a la fila 3, desde que llega hasta que abandona el centro es de 29.79 minutos el jueves.

## A.6 Tabla de la $\chi^2$

### Distribución Chi-cuadrado

Nivel de confianza =  $1 - \alpha = 1 -$  nivel de significación \* \* \*  $\nu$  = Grados de libertad

NC 1- $\alpha$	0,995	0,975	0,900	0,500	90% 0,100	95% 0,050	97,5% 0,025	99% 0,010	99,5% 0,005	99,9% 0,001	NC 1- $\alpha$
$\nu$											$\nu$
1	0,000	0,000	0,016	0,455	2,706	3,841	5,024	6,635	7,879	10,828	1
2	0,010	0,051	0,211	1,386	4,605	5,991	7,378	9,210	10,597	13,816	2
3	0,072	0,216	0,584	2,366	6,251	7,815	9,348	11,345	12,838	16,266	3
4	0,207	0,484	1,064	3,357	7,779	9,488	11,143	13,277	14,860	18,467	4
5	0,412	0,831	1,610	4,351	9,236	11,070	12,832	15,086	16,750	20,515	5
6	0,676	1,237	2,204	5,348	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548	22,458	6
7	0,989	1,690	2,833	6,346	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278	24,322	7
8	1,344	2,180	3,490	7,344	13,362	15,507	17,535	20,090	21,955	26,124	8
9	1,735	2,700	4,168	8,343	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589	27,877	9
10	2,156	3,247	4,865	9,342	15,987	18,307	20,483	23,209	25,188	29,588	10
11	2,603	3,816	5,578	10,341	17,275	19,675	21,920	24,725	26,757	31,264	11
12	3,074	4,404	6,304	11,340	18,549	21,026	23,337	26,217	28,300	32,910	12
13	3,565	5,009	7,042	12,340	19,812	22,362	24,736	27,688	29,819	34,528	13
14	4,075	5,629	7,790	13,339	21,064	23,685	26,119	29,141	31,319	36,123	14
15	4,601	6,262	8,547	14,339	22,307	24,996	27,488	30,578	32,801	37,697	15
16	5,142	6,908	9,312	15,338	23,542	26,296	28,845	32,000	34,267	39,252	16
17	5,697	7,564	10,085	16,338	24,769	27,587	30,191	33,409	35,718	40,790	17
18	6,265	8,231	10,865	17,338	25,989	28,869	31,526	34,805	37,156	42,312	18
19	6,844	8,907	11,651	18,338	27,204	30,144	32,852	36,191	38,582	43,820	19
20	7,434	9,591	12,443	19,337	28,412	31,410	34,170	37,566	39,997	45,315	20
21	8,034	10,283	13,240	20,337	29,615	32,670	35,479	38,932	41,401	46,797	21
22	8,643	10,982	14,042	21,337	30,813	33,924	36,781	40,289	42,796	48,268	22
23	9,260	11,688	14,848	22,337	32,007	35,172	38,076	41,638	44,181	49,728	23
24	9,886	12,401	15,659	23,337	33,196	36,415	39,364	42,980	45,558	51,179	24
25	10,520	13,120	16,473	24,337	34,382	37,652	40,646	44,314	46,928	52,620	25
26	11,160	13,844	17,292	25,336	35,563	38,885	41,923	45,642	48,290	54,052	26
27	11,808	14,573	18,114	26,336	36,741	40,113	43,194	46,963	49,645	55,476	27
28	12,461	15,308	18,939	27,336	37,916	41,337	44,461	48,278	50,993	56,892	28
29	13,121	16,047	19,768	28,336	39,088	42,557	45,722	49,588	52,336	58,301	29
30	13,787	16,791	20,599	29,336	40,256	43,773	46,979	50,892	53,672	59,703	30
31	14,458	17,539	21,434	30,336	41,422	44,985	48,232	52,191	55,003	61,098	31
32	15,134	18,291	22,271	31,336	42,585	46,194	49,480	53,486	56,329	62,487	32
33	15,815	19,047	23,110	32,336	43,745	47,400	50,725	54,776	57,649	63,870	33
34	16,501	19,806	23,952	33,336	44,903	48,602	51,966	56,061	58,964	65,247	34
35	17,192	20,569	24,797	34,336	46,059	49,802	53,203	57,342	60,275	66,619	35

<b>36</b>	17,887	21,336	25,643	35,336	47,212	50,998	54,437	58,619	61,582	67,985	<b>36</b>
<b>37</b>	18,586	22,106	26,492	36,335	48,363	52,192	55,668	59,892	62,884	69,346	<b>37</b>
<b>38</b>	19,289	22,878	27,343	37,335	49,513	53,384	56,896	61,162	64,182	70,703	<b>38</b>
<b>39</b>	19,996	23,654	28,196	38,335	50,660	54,572	58,120	62,428	65,476	72,055	<b>39</b>
<b>40</b>	20,707	24,433	29,051	39,335	51,805	55,758	59,342	63,691	66,766	73,402	<b>40</b>
<b>41</b>	21,421	25,215	29,907	40,335	52,949	56,942	60,561	64,950	68,053	74,745	<b>41</b>
<b>42</b>	22,138	25,999	30,765	41,335	54,090	58,124	61,777	66,206	69,336	76,084	<b>42</b>
<b>43</b>	22,859	26,785	31,625	42,335	55,230	59,304	62,990	67,459	70,616	77,419	<b>43</b>
<b>44</b>	23,584	27,575	32,487	43,335	56,369	60,481	64,202	68,710	71,893	78,750	<b>44</b>
<b>45</b>	24,311	28,366	33,350	44,335	57,505	61,656	65,410	69,957	73,166	80,077	<b>45</b>
<b>46</b>	25,042	29,160	34,215	45,335	58,641	62,830	66,617	71,201	74,437	81,400	<b>46</b>
<b>47</b>	25,775	29,956	35,081	46,335	59,774	64,001	67,821	72,443	75,704	82,720	<b>47</b>
<b>48</b>	26,511	30,755	35,949	47,335	60,907	65,171	69,023	73,683	76,969	84,037	<b>48</b>
<b>49</b>	27,249	31,555	36,818	48,335	62,038	66,339	70,222	74,919	78,231	85,351	<b>49</b>
<b>50</b>	27,991	32,357	37,689	49,335	63,167	67,505	71,420	76,154	79,490	86,661	<b>50</b>
<b>51</b>	28,735	33,162	38,560	50,335	64,295	68,669	72,616	77,386	80,747	87,968	<b>51</b>
<b>52</b>	29,481	33,968	39,433	51,335	65,422	69,832	73,810	78,616	82,001	89,272	<b>52</b>
<b>53</b>	30,230	34,776	40,308	52,335	66,548	70,993	75,002	79,843	83,253	90,573	<b>53</b>
<b>54</b>	30,981	35,586	41,183	53,335	67,673	72,153	76,192	81,069	84,502	91,872	<b>54</b>
<b>55</b>	31,735	36,398	42,060	54,335	68,796	73,311	77,380	82,292	85,749	93,168	<b>55</b>
<b>56</b>	32,490	37,212	42,937	55,335	69,918	74,468	78,567	83,513	86,994	94,460	<b>56</b>
<b>57</b>	33,248	38,027	43,816	56,335	71,040	75,624	79,752	84,733	88,237	95,751	<b>57</b>
<b>58</b>	34,008	38,844	44,696	57,335	72,160	76,778	80,936	85,950	89,477	97,039	<b>58</b>
<b>59</b>	34,770	39,662	45,577	58,335	73,279	77,931	82,117	87,166	90,715	98,324	<b>59</b>
<b>60</b>	35,534	40,482	46,459	59,335	74,397	79,082	83,298	88,379	91,952	99,607	<b>60</b>
<b>61</b>	36,300	41,303	47,342	60,335	75,514	80,232	84,476	89,591	93,186	100,888	<b>61</b>
<b>62</b>	37,068	42,126	48,226	61,335	76,630	81,381	85,654	90,802	94,419	102,166	<b>62</b>
<b>63</b>	37,838	42,950	49,111	62,335	77,745	82,529	86,830	92,010	95,649	103,442	<b>63</b>
<b>64</b>	38,610	43,776	49,996	63,335	78,860	83,675	88,004	93,217	96,878	104,716	<b>64</b>
<b>65</b>	39,383	44,603	50,883	64,335	79,973	84,821	89,177	94,422	98,105	105,988	<b>65</b>
<b>66</b>	40,158	45,431	51,770	65,335	81,085	85,965	90,349	95,626	99,331	107,258	<b>66</b>
<b>67</b>	40,935	46,261	52,659	66,335	82,197	87,108	91,519	96,828	100,550	108,526	<b>67</b>
<b>68</b>	41,713	47,092	53,548	67,334	83,308	88,250	92,689	98,028	101,780	109,791	<b>68</b>
<b>69</b>	42,494	47,924	54,438	68,334	84,418	89,391	93,856	99,228	103,000	111,055	<b>69</b>
<b>70</b>	43,275	48,758	55,329	69,334	85,527	90,531	95,023	100,430	104,210	112,317	<b>70</b>
<b>71</b>	44,058	49,592	56,221	70,334	86,635	91,670	96,189	101,620	105,430	113,577	<b>71</b>
<b>72</b>	44,843	50,428	57,113	71,334	87,743	92,808	97,353	102,820	106,650	114,835	<b>72</b>
<b>73</b>	45,629	51,265	58,006	72,334	88,850	93,945	98,516	104,010	107,860	116,092	<b>73</b>
<b>74</b>	46,417	52,103	58,900	73,334	89,956	95,081	99,678	105,200	109,070	117,346	<b>74</b>
<b>75</b>	47,206	52,942	59,795	74,334	91,061	96,217	100,840	106,390	110,290	118,599	<b>75</b>
<b>76</b>	47,997	53,782	60,690	75,334	92,166	97,351	102,000	107,580	111,500	119,850	<b>76</b>
<b>77</b>	48,788	54,623	61,586	76,334	93,270	98,484	103,160	108,770	112,700	121,100	<b>77</b>

<b>78</b>	49,582	55,466	62,483	77,334	94,373	99,617	104,320	109,960	113,910	122,348	<b>78</b>
<b>79</b>	50,376	56,309	63,380	78,334	95,476	100,750	105,470	111,140	115,120	123,594	<b>79</b>
<b>80</b>	51,172	57,153	64,278	79,334	96,578	101,880	106,630	112,330	116,320	124,839	<b>80</b>
<b>81</b>	51,969	57,998	65,176	80,334	97,680	103,010	107,780	113,510	117,520	126,082	<b>81</b>
<b>82</b>	52,767	58,845	66,076	81,334	98,780	104,140	108,940	114,690	118,730	127,324	<b>82</b>
<b>83</b>	53,567	59,692	66,976	82,334	99,880	105,270	110,090	115,880	119,930	128,565	<b>83</b>
<b>84</b>	54,368	60,540	67,876	83,334	100,980	106,390	111,240	117,060	121,130	129,804	<b>84</b>
<b>85</b>	55,170	61,389	68,777	84,334	102,080	107,520	112,390	118,240	122,320	131,041	<b>85</b>
<b>86</b>	55,973	62,239	69,679	85,334	103,180	108,650	113,540	119,410	123,520	132,277	<b>86</b>
<b>87</b>	56,777	63,089	70,581	86,334	104,280	109,770	114,690	120,590	124,720	133,512	<b>87</b>
<b>88</b>	57,582	63,941	71,484	87,334	105,370	110,900	115,840	121,770	125,910	134,745	<b>88</b>
<b>89</b>	58,389	64,793	72,387	88,334	106,470	112,020	116,990	122,940	127,110	135,978	<b>89</b>
<b>90</b>	59,196	65,647	73,291	89,334	107,560	113,150	118,140	124,120	128,300	137,208	<b>90</b>
<b>91</b>	60,005	66,501	74,196	90,334	108,660	114,270	119,280	125,290	129,490	138,438	<b>91</b>
<b>92</b>	60,815	67,356	75,101	91,334	109,760	115,390	120,430	126,460	130,680	139,666	<b>92</b>
<b>93</b>	61,625	68,211	76,006	92,334	110,850	116,510	121,570	127,630	131,870	140,893	<b>93</b>
<b>94</b>	62,437	69,068	76,912	93,334	111,940	117,630	122,720	128,800	133,060	142,119	<b>94</b>
<b>95</b>	63,250	69,925	77,818	94,334	113,040	118,750	123,860	129,970	134,250	143,344	<b>95</b>
<b>96</b>	64,063	70,783	78,725	95,334	114,130	119,870	125,000	131,140	135,430	144,567	<b>96</b>
<b>97</b>	64,878	71,642	79,633	96,334	115,220	120,990	126,140	132,310	136,620	145,789	<b>97</b>
<b>98</b>	65,694	72,501	80,541	97,334	116,320	122,110	127,280	133,480	137,800	147,010	<b>98</b>
<b>99</b>	66,510	73,361	81,449	98,334	117,410	123,230	128,420	134,640	138,990	148,230	<b>99</b>
<b>100</b>	67,328	74,222	82,358	99,334	118,500	124,340	129,560	135,810	140,170	149,449	<b>100</b>

## BIBLIOGRAFIA

- Canavos, G. C; “Probabilidad y Estadística Aplicaciones y Métodos”, McGraw Hill (1988).
- Cortes Velásquez Carlos Arturo; “Diseño de un modelo matemático basado en la teoría de colas aplicado a un proceso productivo de la industria textil para optimizar recursos: un estudio de caso, Tesis (2005).
- Cox-Smith; “Estudio matemático de las colas”, Manuales Uteha No 180/180a, (1964).
- Hillier, Lieberman; “Investigación de Operaciones”, McGraw Hill, Séptima edición (2002).
- Hoel de Paul G. Paul G., Port Sidney C., Charles J. Stone, Houghtin; “Introduction to probability theory”, Mifflin Company (1971).
- Pazos Arias José Juan, Andrés Suárez González y Rebeca P. Díaz Redondo; “Teoría de Colas y Simulación de Eventos Discretos”, Pearson (2003).
- Sheldon Rose; “A First course in probability”, (1998 ).
- Taha Hamdy A.; “Investigación de Operaciones”, Alfaomega, Quinta edición (1995).
- Winston Wayne L.; “Investigación de Operaciones” Aplicaciones y algoritmos, Thomson, Cuarta edición (2005).