

ALDO HERNÁNDEZ
ABRAHAM LÓPEZ

AVANCE - PIA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

Abstract *Blabla*

Keywords python, dataset, exploración, análisis, pandas

1. Introducción

La teoría de colas es una rama de las matemáticas que estudia el comportamiento de líneas de espera, buscando optimizar la eficiencia en los sistemas de servicio, en ella, se analizan elementos como las tasas de llegada de usuarios, las tasas de servicio, el número de servidores, y el orden de atención, entre otros factores. Nuestro proyecto se basa en un sistema de múltiples entradas y una sola salida, donde distintos flujos de pacientes deben ser canalizados hacia un único punto de atención especializado.

Dentro del sistema de salud, una de varias situaciones a conocer es la capacidad instalada con que cuenta el sistema en su conjunto, entendiendo ésta como la posibilidad de atender las necesidades de salud de la población, a través de la organización, funcionamiento, gestión del personal, así como de la funcionalidad y disponibilidad de los recursos físicos y tecnológicos con los que debe contar un Establecimiento de Salud, calculados en función a sus características, dotación de recursos y demanda de atención.

Sin embargo, además de conocer la capacidad resolutive de cada unidad, es fundamental poder agrupar a las unidades en niveles de atención, con lo cual podemos conocer a detalle la cantidad y ubicación de las unidades en función del nivel al que pertenecen. Lo anterior permite establecer un flujo de atención organizado y armonizado para las personas cuyas atenciones requieren transitar en tres diferentes niveles.

Para establecer de forma adecuada la vinculación de los tres niveles de atención, se requiere primeramente identificar el total de unidades médicas en operación dentro del sistema de salud y clasificarlas por nivel de atención de acuerdo a sus recursos, personal y cartera de servicios. Definiendo como objetivo de trabajo la generación de una metodología para realizar la clasificación por niveles de atención, se establece el siguiente proceso de trabajo, el cual se revisó y consensuó con todas las instituciones de salud en el marco del Comité Técnico especializado del Sector Salud (CTESS), así como con las Secretarías de Salud de los Estados.

El problema que abordaremos se centra en el seguimiento de pacientes del primer nivel de atención hacia el tercer nivel dentro del sistema de salud del IMSS (Instituto Mexicano del Seguro Social), para ello, utilizaremos dos conjuntos de datos (datasets): uno correspondiente a consultas en primer nivel y otro a consultas en tercer nivel. Estos datos contienen información de atenciones médicas realizadas en septiembre de 2017. El principal enfoque de este proyecto es el estudio de los tiempos de espera basándonos en la siguiente pregunta: ¿por qué el paciente promedio tiene que esperar tantos días para recibir la atención médica que necesita?

2. Contexto

En el sistema de salud del IMSS, los pacientes deben ser atendidos inicialmente en unidades médicas de primer nivel, éstas otorgan exclusivamente atención ambulatoria, que puede ser general o especializada; en dichas unidades inicia el primer contacto

con los pacientes fungiendo como principales vehículos para realizar acciones de prevención y promoción a la salud, así como la detección temprana y seguimiento de enfermedades, son la vía de entrada al sistema de atención y, en caso necesario, son referidos a hospitales de tercer nivel, que son las que otorgan atención médica hospitalaria para la atención de padecimientos de alta especialidad y de urgencias.

Este proyecto se centrará específicamente en la Unidad Médica Familiar No. 28 (UMF 28) de Monterrey, Nuevo León, como punto de primer nivel, y en el Hospital de Especialidades No. 25 de Monterrey como punto de tercer nivel, ambos centros de atención se encuentran geográficamente cercanos, lo cual facilita el análisis de la transferencia de pacientes entre ellos.

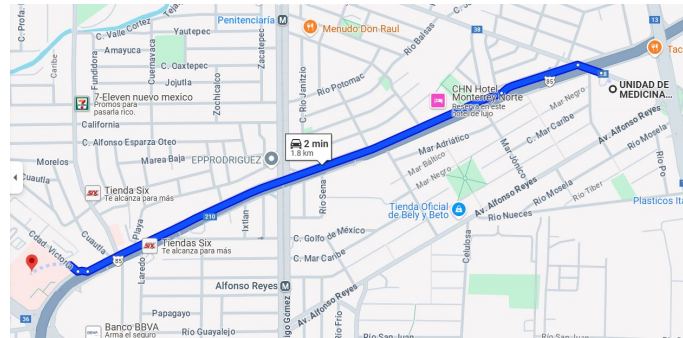


Figure 1. Distancia entre los dos centros.

Antes de proceder con el análisis, será necesario realizar un proceso de limpieza de los datasets, pues decidimos que no haremos distinciones en cuestión de edades, sexo o tipo de paciente aunque existan columnas que nos hablen sobre estas características de la persona, por lo que haremos:

- Eliminar registros con información faltante o errónea.
- Seleccionar únicamente los campos relevantes para el seguimiento de pacientes.
- Estandarizar formatos de datos (fechas, códigos de atención, unidades médicas).

El flujo de atención será modelado en tres etapas:

1. **Primera etapa (UMF 28):** Los pacientes llegan a consulta general, donde son atendidos por múltiples médicos de primer contacto. Esta situación se modela mediante un sistema de colas $M/M/s$.
2. **Segunda etapa (Proceso de referencia):** Los pacientes que requieren atención especializada son referidos a través de un proceso administrativo, modelado como un sistema de colas $M/M/1$.
3. **Tercera etapa (Hospital 25):** Los pacientes son atendidos por múltiples especialistas de tercer nivel, modelado nuevamente como un sistema de colas $M/M/s$.

Una vez que el paciente recibe la atención especializada, existen tres posibles desenlaces, el paciente se cura y no requiere más atención (salida del sistema), el

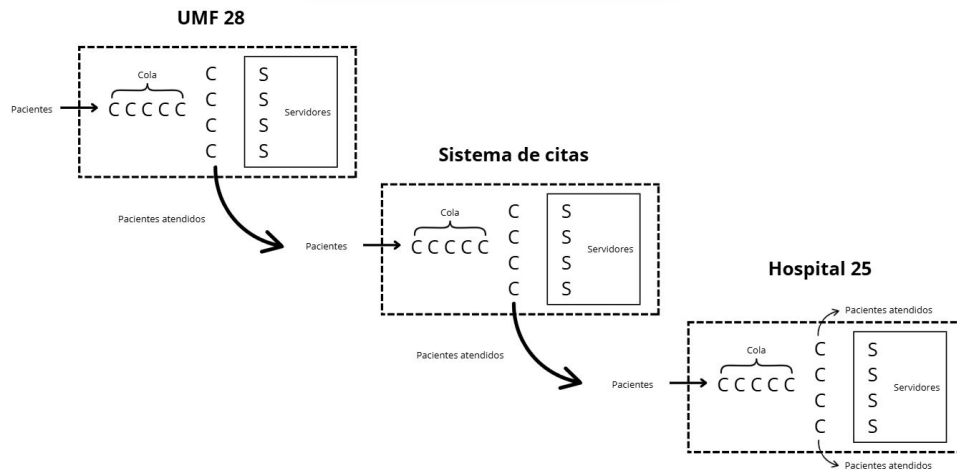


Figure 2. Modelo.

paciente requiere seguimiento y debe regresar al hospital o el paciente abandona el tratamiento por voluntad propia. Cabe aclarar que este estudio se concentrará en el caso de la salida del sistema, puesto que asumimos un caso ideal en el que el paciente busca mejorarse y además no tiene múltiples consultas ya que eso agrandaría el flujo del sistema a estudiar.

3. Información del Dataset y del problema en general

Después de realizar una limpieza básica para eliminar datos innecesarios y registros vacíos, filtramos únicamente los datos correspondientes a las unidades médicas mencionadas. Además, es importante mencionar que se asumió una distribución de probabilidad exponencial para cada una de las colas tanto para los tiempos entre llegadas como los tiempos de servicio. En las siguientes subsecciones se explicarán los procesos llevados a cabo en cada una de las colas.

El caso general a estudiar se detallará a continuación. Una persona con seguro social en el IMSS comienza a tener síntomas de alguna enfermedad, por lo que acude a la Unidad de Medicina Familiar 28 para una consulta de primer nivel. Al llegar al centro de salud, tiene que esperar en una sala mientras se libera un consultorio para que lo puedan atender y cuando finalmente lo revisa el doctor en turno, resulta que su caso requiere de un chequeo realizado por un especialista, por lo que es referenciado al Hospital de Especialidades 25. Sin embargo, el paciente tiene que sacar una cita previa para poder ser recibido en el hospital para consulta, por lo que al tramitarla la espera es de varios días. Finalmente, acude el día de su cita al centro de salud donde todavía tiene que volver a esperar en una sala para que lo pasen a un consultorio, una vez saliendo del chequeo, el paciente se cura y se le da de alta.

Cabe mencionar que estos valores son aproximados ya que no es información que suele capturarse o hacerse pública, por lo que solo podemos hacer estimaciones en base a las fuentes de información referenciadas.

3.1. Primera cola (M/M/ s_1)

Los pacientes se generan en una fuente de entrada finita lo suficientemente grande como para no preocuparnos por la población debido a que este tipo de unidades casi nunca se saturan de pacientes, entonces se tomará como una fuente ilimitada. Además, se asumirá una distribución Poisson para las llegadas de pacientes bajo el supuesto de que llegan aleatoriamente con una cierta tasa media fija, por lo que el tiempo entre llegadas sigue una distribución exponencial. Se ignorarán los casos en los que los pacientes se rehúsan a entrar al sistema (debido a que en un caso ideal su salud debería ser la prioridad) junto con la distinción de grupos entre los pacientes (por edad, enfermedad, entre otros) de tal manera que para cálculos generales se considerará el conjunto completo mientras que para las medidas de desempeño solo se tomarán en cuenta datos de pacientes del caso general del sistema de colas.

La cola se considerará infinita a pesar de tener alguna cota superior ya que tomarla en cuenta complicaría el análisis. Esta cola tendrá una disciplina FIFO, de manera que los pacientes serán atendidos a como vayan llegando a la sala de espera.

La estación de servicio contiene s_1 servidores activos la jornada completa de 12 horas cuyos tiempos de servicio siguen una distribución exponencial para todos los pacientes. Nótese que s_1 todavía no está definida, por lo que estudiaremos distintos valores para dicha variable a fin de encontrar un balance entre costos y tiempos de espera.

Finalmente, medimos los siguientes parámetros para esta cola:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\lambda} = \frac{720 \text{ minutos}}{160 \text{ pacientes}} = 4.5 \text{ minutos por paciente,} \\ \lambda = 0.22 \text{ pacientes por minuto,} \\ \frac{1}{\mu} = 15 \text{ minutos por paciente,} \\ \mu = 0.066 \text{ pacientes por minuto} \\ W_q = 18.64 \text{ minutos,} \\ W = 33.64 \text{ minutos,} \\ \lceil L \rceil = 8 \text{ pacientes,} \\ \lfloor L_q \rfloor = 4 \text{ pacientes} \end{array} \right. .$$

Para obtener esta información bastó con revisar información en internet [1] para obtener un aproximado de los pacientes diarios en promedio por unidad de medicina familiar a nivel nacional y asumir un tiempo de servicio de 15 minutos. Además, se consultó el conjunto de datos para obtener el tiempo de espera promedio en la cola mediante una media de datos agrupados según los datos que se muestran en la figura 3. Para los valores de L y L_q se optó por usar la función piso o techo según si los decimales eran despreciables o no, respectivamente, ya que tienen que ser números enteros.

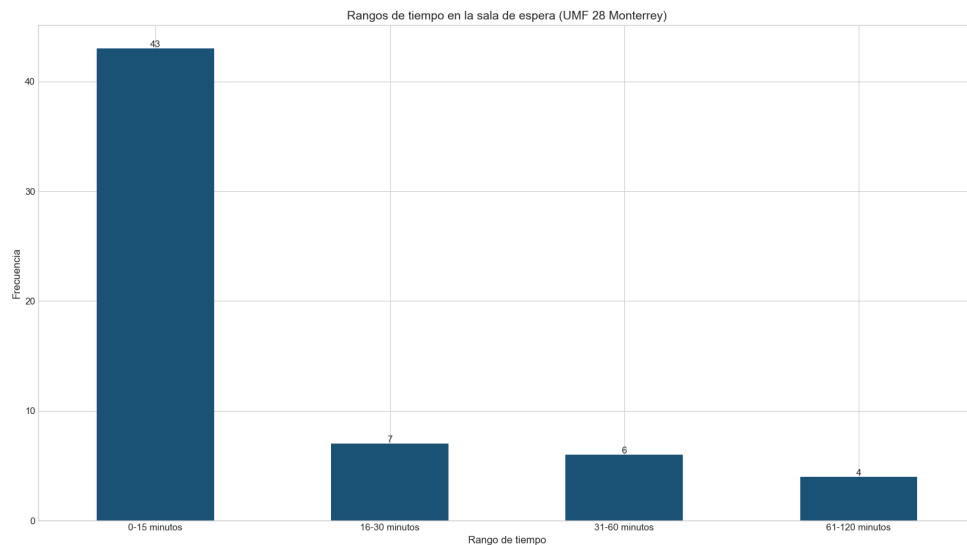


Figure 3. Gráfica de frecuencias para los tiempos de espera en la UMF 28.

3.2. Segunda cola (M/M/1)

Los pacientes se generan en una fuente de entrada finita lo suficientemente grande como para no preocuparnos por la población debido a que en el flujo del sistema estos pacientes son aquellos que al salir de su consulta en alguna unidad de primer nivel de atención requieren una cita posterior en una unidad de tercer nivel, entonces se tomará como una fuente ilimitada. Además, se asumirá una distribución Poisson para las llegadas de pacientes bajo el supuesto de que llegan aleatoriamente con una cierta tasa media fija, por lo que el tiempo entre llegadas sigue una distribución exponencial. Se ignorarán los casos en los que los pacientes se rehúsan a entrar al sistema (debido a que en un caso ideal su salud debería ser la prioridad) junto con la distinción de grupos entre los pacientes (por edad, enfermedad, entre otros).

La cola se considerará infinita a pesar de tener alguna cota superior ya que tomarla en cuenta complicaría el análisis. Esta cola tendrá una disciplina FIFO, de manera que los pacientes serán atendidos a como vayan solicitando su cita en el IMSS.

La estación de servicio contiene un único servidor activo (el "sistema") las 24 horas del día y sus tiempos de servicio siguen una distribución exponencial para todos los pacientes.

Finalmente, medimos los siguientes parámetros para esta cola:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\lambda} = \frac{1 \text{ día}}{200 \text{ pacientes}} = 0.005 \text{ días por paciente,} \\ \lambda = 200 \text{ pacientes por día,} \\ \frac{1}{\mu} = 1 \text{ día por paciente,} \\ \mu = 1 \text{ paciente por día} \\ W_q = 16.52 \text{ días,} \\ W = 17.52 \text{ días,} \\ L = 3504 \text{ pacientes,} \\ L_q = 3304 \text{ pacientes} \end{array} \right.$$

Para obtener esta información se consultó el conjunto de datos para obtener el tiempo de espera promedio en la cola mediante una media de datos agrupados según los datos que se muestran en la figura 4.

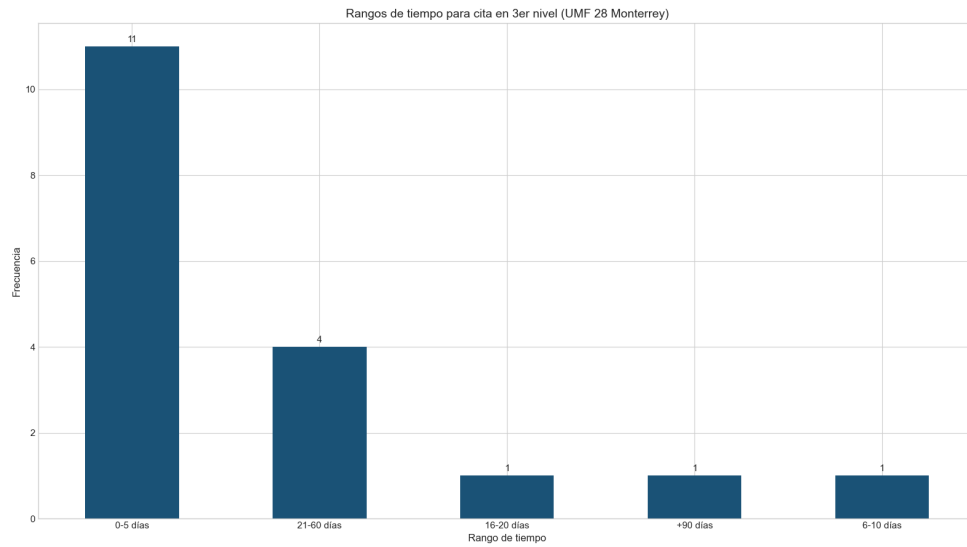


Figure 4. Gráfica de frecuencias para los tiempos de espera en el sistema de citas.

3.3. Tercera cola (M/M/s₂)

Los pacientes se generan en una fuente de entrada finita lo suficientemente grande como para no preocuparnos por la población debido a que este tipo de unidades de alta especialidad casi nunca se saturan de pacientes, entonces se tomará como una fuente ilimitada. Además, se asumirá una distribución Poisson para las llegadas de pacientes bajo el supuesto de que llegan aleatoriamente con una cierta tasa media fija dictada por el sistema de citas, por lo que el tiempo entre llegadas sigue una distribución exponencial. Se ignorarán los casos en los que los pacientes se rehúsan a entrar al sistema (debido a que en un caso ideal su salud debería ser la prioridad)

junto con la distinción de grupos entre los pacientes (por edad, enfermedad, entre otros).

La cola se considerará infinita a pesar de tener alguna cota superior ya que tomarla en cuenta complicaría el análisis. Esta cola tendrá una disciplina FIFO, de manera que los pacientes serán atendidos a como vayan llegando a la sala de espera.

La estación de servicio contiene s_2 servidores activos la jornada completa de 12 horas cuyos tiempos de servicio siguen una distribución exponencial para todos los pacientes. Nótese que s_2 todavía no está definida, por lo que estudiaremos distintos valores para dicha variable a fin de encontrar un balance entre costos y tiempos de espera.

Finalmente, medimos los siguientes parámetros para esta cola:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\lambda} = \frac{720 \text{ minutos}}{82 \text{ pacientes}} = 8.78 \text{ minutos por paciente,} \\ \lambda = 0.11 \text{ pacientes por minuto,} \\ \frac{1}{\mu} = 30 \text{ minutos por paciente,} \\ \mu = 0.033 \text{ pacientes por minuto} \\ W_q = 18.51 \text{ minutos,} \\ W = 48.51 \text{ minutos,} \\ [L] = 6 \text{ pacientes,} \\ [L_q] = 2 \text{ pacientes} \end{array} \right.$$

Para obtener esta información bastó con revisar el conjunto de datos para obtener dos cosas principalmente: el tiempo de espera promedio en la cola mediante una media de datos agrupados según los datos que se muestran en la figura 5 y una cantidad aproximada de pacientes diarios que acuden con un especialista, esta última información se obtuvo a partir de que en los registros se cuentan solo con 32 casos de consulta con especialista de los 74 totales para esta unidad y si suponemos una cantidad de 190 pacientes diarios en todo el hospital, se obtienen los 82 pacientes diarios en promedio que acuden con un especialista. Por otro lado, para los valores de L y L_q se optó por usar la función piso o techo según si los decimales eran despreciables o no, respectivamente, ya que tienen que ser números enteros.

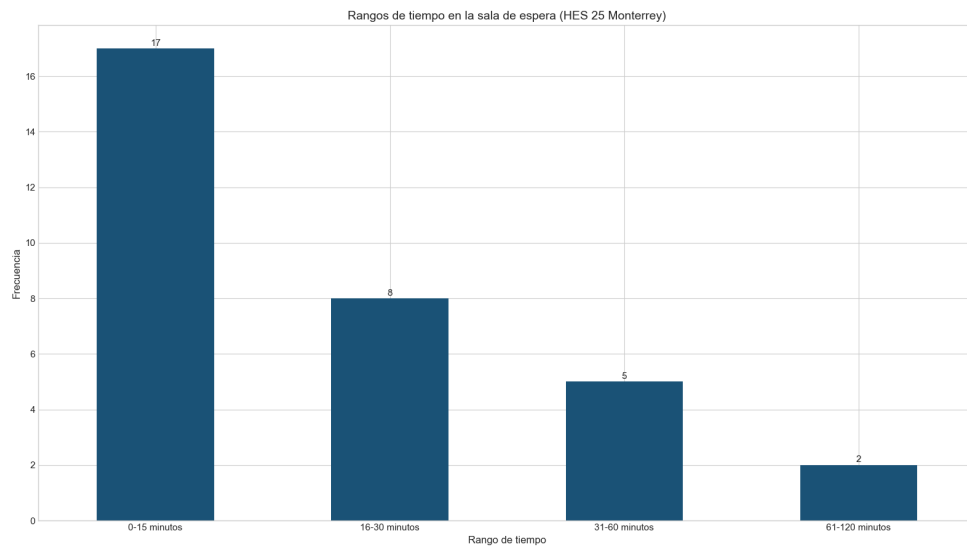


Figure 5. Gráfica de frecuencias para los tiempos de espera en el HES 25.

References

- [1] IMSS: Con 79 años de existencia, el IMSS ha demostrado su capacidad de respuesta ante desastres naturales y crisis sanitarias, 2022. URL <https://www.imss.gob.mx/prensa/archivo/202201/030>. Boletín No. 030/2022.

Affiliations

Aldo Hernández

Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, aldo.hernandezt@uanl.edu.mx

Abraham López

Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, abraham.lopezg@uanl.edu.mx

Received: ???

Revised: ???

Accepted: ???