

11.63 - Simulación

Entrega Final

Simulador sucursal bancaria

Grupo 5

Integrantes del grupo:

- Magdalena Eppens - 62450
- Sofía González del Solar - 62292
- Nicole Reiman - 62407
- Francisca Sulzberger - 61636

Fecha de entrega: 16/07/2024



1er cuatrimestre – 2024

Índice

1. Introducción.....	3
2. Modelo conceptual.....	5
2.1 Problemática y alcance del proyecto.....	5
2.2. Función objetivo.....	5
2.3. Variables.....	6
2.3.1. Variables de decision.....	6
2.3.2. Variables de referencia.....	6
2.4. Entidades, atributos y recursos.....	7
2.5. Restricciones.....	8
2.6. Eventos.....	8
2.7. Indicadores.....	9
2.8. Plan de análisis y plan de cuadros.....	9
2.9. Diagrama de procesos IDEF0.....	12
2.10. Lógicas generales.....	14
3. Modelo de datos.....	17
3.1. Información a utilizar.....	17
3.2. Variables relevantes.....	17
3.3. Llegada de clientes.....	18
3.4. Cajero automático.....	19
3.4.1 Tipo de Operación.....	19
3.4.2. Cambio de clave.....	20
3.4.3. Monto de las transacciones en cajeros automáticos.....	22
3.4.4. Descomposición del cajero automático.....	23
3.5. Servicio de caja.....	25
3.5.1 Tipo de clientes.....	25
3.5.2 Estado de resolución de la operación.....	26
3.5.3 Tiempo de demora de la consulta.....	26
3.6. Atención comercial.....	27
3.6.1 Tipo de cliente.....	27
3.6.2 Estado de resolución de las operaciones.....	28
3.6.3 Tiempo de demora para realizar las operaciones.....	28
3.7. Capacitaciones.....	29
4. Expresiones generadoras.....	31
4.1. Llegada de clientes.....	31
4.2. Tipo de servicio.....	31
4.3. Atención comercial.....	31
4.4. Cajero automático.....	33
4.5. Servicio de caja.....	34
4.6. Capacitaciones.....	35
5. ABM.....	36
5.1. Cajeros automáticos.....	36
5.2. Empleados AC y VC.....	36

6. Verificación.....	37
7. Validación.....	39
8. Experimentación.....	41
8.1. Cálculo del N.....	42
8.2. Experimentaciones.....	42
8.3. Comparaciones generales.....	43
8.4. Prueba ANOVA.....	43
9. Optimización.....	45
10. Conclusiones.....	47

1. Introducción

El tema que se desarrollará durante este trabajo es la gestión de la atención al cliente en una sucursal bancaria. La complejidad de este tema radica en la variabilidad en la llegada de clientes, en sus necesidades, y en las interacciones entre los diferentes puntos de atención disponibles. Se diseñará

un modelo conceptual y de datos que permita comprender y optimizar este proceso, con el objetivo de minimizar los tiempos de espera y maximizar la satisfacción del cliente.

El trabajo comenzará con el desarrollo del modelo conceptual, determinando la función objetivo, restricciones, variables de control, indicadores, y se elaborará un diagrama de procesos principales.

Luego, se desarrollará el modelo de datos, especificando qué información se utilizará, su origen y su tratamiento. Se recolectarán datos para al menos cinco variables relevantes, realizando un análisis descriptivo y tratamiento de datos si es necesario. Se generarán y justificarán las expresiones generadoras para cada variable.

En la siguiente fase, se desarrollará el modelo operativo en AnyLogic, definiendo las lógicas de cada elemento y la vinculación entre objetos. Se incluirán aspectos modelizados por eventos discretos y por agentes, con métricas y visualizaciones para entender la evolución del sistema simulado.

Se verificará el modelo mediante al menos tres procesos, explicitando los procedimientos y conclusiones. Luego, se validará el modelo con al menos dos procesos de validación, utilizando datos reales o generados. Posteriormente, se diseñarán tres alternativas de intervención en el modelo para resolver el problema, interviniendo el modelo de simulación y analizando los resultados.

Finalmente, se desarrollará una heurística de optimización para una de las intervenciones, explicando su lógica y analizando su impacto. Se concluirá con propuestas, justificaciones y oportunidades para mejorar los modelos.

2. Modelo conceptual

2.1 Problemática y alcance del proyecto

Las sucursales bancarias enfrentan actualmente dificultades para manejar los picos de demanda de clientes de manera eficiente. Esto resulta en tiempos de espera prolongados, deteriorando la calidad del servicio y provocando que muchos clientes abandonen la sucursal antes de ser atendidos. Además, no todos los clientes atendidos logran resolver sus consultas.

En el caso del cajero automático, una consulta se considera no resuelta cuando el cliente desea realizar una extracción de dinero y la máquina no tiene fondos disponibles. En estos casos, el cajero se recarga con depósitos de otros clientes o al inicio del día siguiente. Para los servicios de ventanilla y atención comercial, la resolución de consultas depende del nivel de experiencia del empleado, influyendo en la probabilidad de éxito.

Para abordar la problemática identificada, se ha establecido la necesidad de modelar los siguientes aspectos clave de la operación bancaria, los cuales serán profundizados a lo largo del proyecto:

- *Escritorio de recepción*: es el primer punto de contacto para los clientes al entrar en la sucursal. Se identifican las necesidades del cliente. Esto no aplica para aquellos que se dirigen al cajero automático.
- *Asignador de turnos*: asigna un número que indica el orden de llegada. No aplica para los que se dirigen al cajero automático. Además, los turnos son distintos para atención de caja versus atención comercial.
- *Cajero automático*: los clientes pueden realizar depósitos o retiros de dinero.
- *Ventanillas de Caja*: Atienden necesidades que requieren manejo de efectivo o transacciones más complejas, como depósitos grandes, cambio de divisas, y retiros especiales.
- *Atención Comercial*: Proporciona servicios de consultoría sobre productos financieros como cuentas de ahorro, inversiones, préstamos, hipotecas o ir a la caja fuerte.

2.2. Función objetivo

La función objetivo será la siguiente:

- $$\text{Nivel de Servicio} = \frac{\text{Operaciones resueltas totales}}{\text{Clientes Totales}}$$

Se buscará maximizar el nivel de servicio, teniendo en cuenta las limitaciones de espacio y presupuesto. Es importante aclarar que por cada persona que ingresa al banco se considera una sola consulta.

En primer lugar, se simulará la situación actual de una sucursal bancaria X para que sea lo más representativa posible de la realidad. Luego, se realizaron diversas experimentaciones con el fin de alcanzar el nivel de servicio deseado, buscando al mismo tiempo minimizar los costos. Esto permitirá identificar e implementar estrategias efectivas que mejoren la eficiencia operativa y la experiencia del cliente en las sucursales bancarias.

2.3. Variables

En esta sección, se definirán las diferentes variables que estarán involucradas en la simulación. Se tomarán las siguientes definiciones para los índices:

- $i = \{AC, VC, CA\}$
- $j = \{\text{horario}\}$

2.3.1. Variables de decision

Las variables de decisión hacen referencia a aquellos valores que se van variando para generar y analizar diferentes resultados. En este caso, son:

- $\text{Empleados}_i = \text{cantidad de empleados totales en el servicio } i$
- $\text{cantidaddeCapacitacionesMensuales}$

2.3.2. Variables de referencia

Las variables de referencia son los valores que se obtienen como resultado de la simulación. Son las siguientes:

- clientesAtendidos : cantidad total de clientes atendidos en el día
- $\text{operacionesResueltas}$: cantidad total de operaciones resueltas en el día
- totalAbandonos : cantidad total de clientes que abandonaron la sucursal en el día

Cada servicio en la sucursal será monitoreado a través de estas variables. Esto permitirá identificar con precisión si algún servicio en particular está contribuyendo a retrasos en la atención al cliente. Al analizar estas variables, se facilita la detección y corrección de problemas específicos.

2.4. Entidades, atributos y recursos

Las entidades de este modelo son los clientes y los empleados bancarios. Por otra parte, los recursos son las máquinas asignadoras de turnos y los cajeros automáticos.

Parámetros del cliente:

- *tipoConsulta*: variable discreta que indica para que sacó el turno
- *tipoSubconsulta*: indica la operación específica que se va a realizar
- *tipoCliente*: es o no un cliente premium (variable binaria)
 - 1: es premium
 - 0: no es premium
- *dificultadConsulta*: número del 1 al 3 (de más simple a menos)

Variables del cliente:

- *cantQuejas*:
- *atendido*:
- *resuelto*:
- *inicioEspera*:
- *indice*:
- *tolerancia*:
- *meFui*:
- *abandono*: abandono la sucursal (variable binaria)
 - 1: ha abandonado la sucursal. Ocurre cuando $\rightarrow tiempo\ espera > tolerancia\ espera$
 - 0: no ha abandonado. Ocurre mientras $\rightarrow tiempo\ espera \leq tolerancia\ espera$
- *operación Resuelta*: se resolvió la consulta (variable binaria)
 - 1: operación resuelta
 - 0: operación no resuelta

Variables empleados bancarios:

- *nivelEmpleado*:
 - 1, 2, 3: si toma alguno de estos valores, el empleado puede atender solo en ventanilla de caja.
 - 4, 5, 6: a partir del nivel 4, el empleado puede atender tanto en ventanilla de caja como en atención comercial.
- *clienteActual*:
- *tiempoOperacion*:
- *varLibre*:

2.5. Restricciones

Restricciones y ecuaciones de continuidad:

- $empleadosVentanillaCaja + empleadosAtencionComercial \leq 8$
- $cajerosAutomaticos = 4$
- $presupuestoMensual \leq 6000 \text{ usd}$
- $horaActual - horarioLlegada \leq toleranciaEspera$

Actualmente se cuenta con 1 máquina asignadora de turnos, 1 persona en el escritorio de recepción, 4 cajeros automáticos, 4 personas en ventanilla de caja y 4 personas en atención comercial.

La cantidad de cajeros automáticos no se puede aumentar debido a las limitaciones de espacio. Los cajeros automáticos pueden romperse. En estos casos se evalúa si la máquina tiene arreglo o hay que comprar una nueva. El costo de comprar un cajero automático, es de 2000 usd, el costo de arreglarlo es de 400 USD y el costo de mantención mensual es de 50 usd por cajero.

Por otra parte, la cantidad de personas trabajando en ventanilla de caja y en atención comercial se podría aumentar hasta sumar 8 entre ambos servicios y redistribuir según sea conveniente. El costo de un trabajador en ventanilla de caja es de 400 usd mensual. En cambio, el costo de un trabajador en atención comercial es de 600 usd.

La máquina asignadora de turnos tiene un costo de mantención mensual de 100 usd. La persona que trabaja en recepción gana 300 usd mensuales, trabajando un turno completo, y tampoco puede aumentarse la cantidad de personas en este sector.

2.6. Eventos

Se describirán los eventos que alteran el estado del sistema simulado. Estos eventos se clasifican en dos categorías: endógenos y exógenos.

Los eventos endógenos son:

- Finalización de una operación: Libera recursos y afecta las colas cuando un cliente termina su servicio
- Salida de un cliente del sistema
- Salida de un empleado a la capacitación
- Rotura de cajero automático
- Ingreso del empleado luego de la capacitación

Los eventos exógenos son:

- Llegada de un cliente: cada cliente que entra activa procesos como asignación de turnos y servicios.
- Cambio de día, hora.

2.7. Indicadores

En este apartado, se presentan los principales indicadores utilizados para evaluar la eficiencia y calidad del servicio en las sucursales bancarias. Estos indicadores proporcionan una visión integral del desempeño operativo y permiten identificar áreas de mejora para optimizar la experiencia del cliente.

- Nivel de servicio: mide la proporción de clientes que sus consultas fueron **resueltas** sobre el total de clientes que ingresan al banco.
- Tiempo promedio de espera: este KPI muestra el tiempo promedio que los clientes esperan antes de ser atendidos. Puede calcularse sumando los tiempos de espera de todos los clientes y dividiéndolo por el número total de clientes atendidos.
- Tasa de abandono: indica el porcentaje de clientes que abandonan la sucursal antes de ser atendidos. Se calcula dividiendo el número de clientes que abandonan entre el número total de clientes que ingresan al banco.
- Tasa de consultas resueltas: indica el porcentaje de consultas resueltas sobre el total de consultas atendidas.
- Tasa de clientes atendidos: indica el porcentaje de clientes que fueron atendidos.

2.8. Plan de análisis y plan de cuadros

Al realizar la simulación, se buscará experimentar diferentes escenarios y estudiar cuáles son las variables que dan mejores resultados respecto a la función objetivo.

El plan de análisis consistirá en examinar cómo afectan las diferentes combinaciones de variables de decisión en la función objetivo en cada escenario, con el fin de evaluar su impacto. Los objetivos principales serán mejorar el nivel de servicio, reducir el tiempo de espera de los clientes y maximizar la cantidad de clientes atendidos.

El plan de cuadros se utilizará para entender de forma gráfica cómo se espera que se comporten las variables de referencia al cambiar las variables de decisión. Se comienza representando en la *figura 2.8.A* la variable de referencia *clientesAtendidos*. Así, se observa que al aumentar la cantidad de empleados y la cantidad de capacitaciones mensuales, la cantidad de clientes atendidos también aumentará.

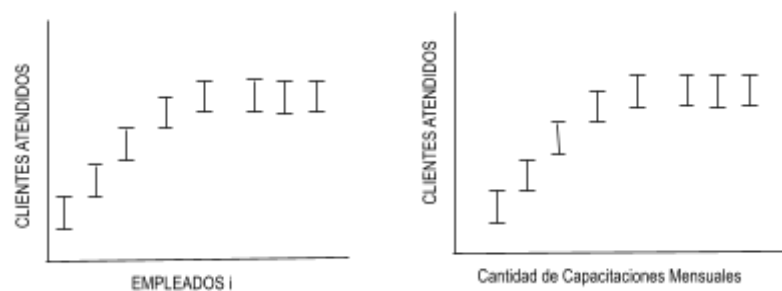


Figura 2.8.A: plan de cuadros para clientesAtendidos

En segundo lugar, se presenta en la *figura 2.8.B* el plan de cuadros para la variable *tiempoPromedio_i*. Se observa que al aumentar la cantidad de empleados y la cantidad de capacitaciones mensuales, el tiempo promedio de espera disminuirá.

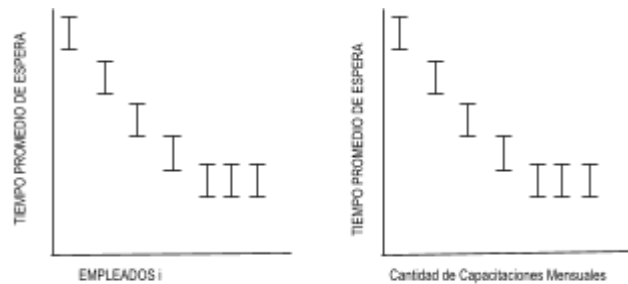


Figura 2.8.B: plan de cuadros para el tiempo promedio de espera

Luego, se presenta el plan de cuadros para la variable de referencia *totalAbandono* (*figura 2.8.C*). Se observa así que la cantidad de abandonos disminuye al aumentar la cantidad de empleados y la cantidad de capacitaciones mensuales.

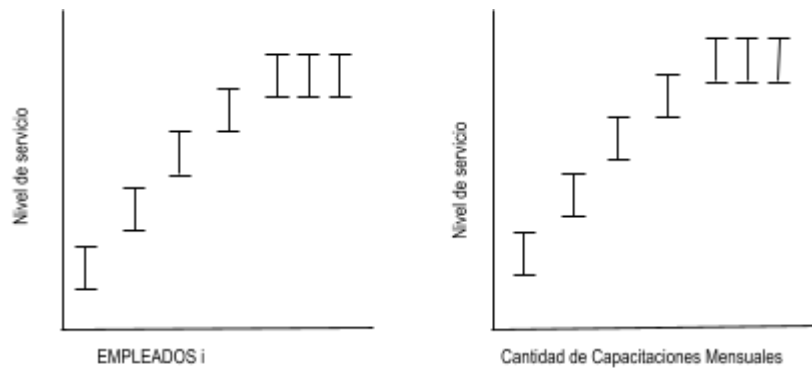


Figura 2.8.C: plan de cuadros para el nivel de servicio

A continuación, se realiza un análisis de la variable cantidad de consultas resueltas en relación con la cantidad de capacitaciones mensuales que realizan los empleados.

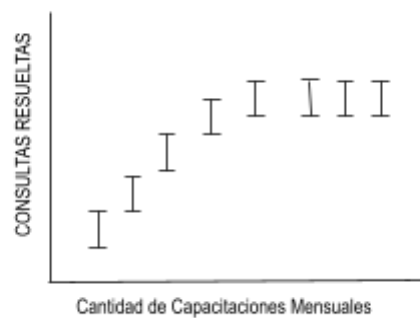


Figura 2.8.D: plan de cuadros para consultas resueltas.

Es posible notar cómo cuantas más capacitaciones realizan los empleados, mayor será la cantidad de consultas resueltas. Aunque se debe tener en cuenta que hay un límite de capacitaciones que se pueden realizar, por eso se presenta una meseta en el gráfico.

Por último, en la siguiente figura, se evalúan la variable clientes atendidos con respecto al mantenimiento de los cajeros automáticos del banco.

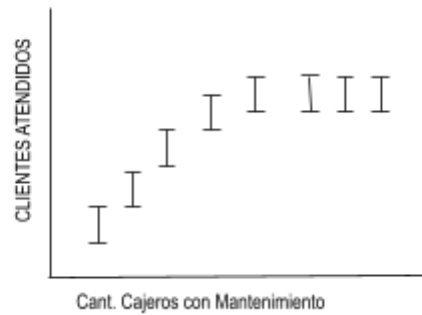


Figura 2.8.E: plan de cuadros para mantenimiento de cajeros.

Se observa que existe una relación directamente proporcional entre la cantidad de cajeros que reciben mantenimiento y la cantidad de clientes atendidos, ya que si los cajeros reciben mantenimiento, esto garantiza que funcionan de manera correcta y es posible atender a más clientes. Aunque también se presenta una meseta porque la cantidad de cajeros es limitada.

Eventualmente, las variables de referencia alcanzan un punto de estabilización, donde la adición de más unidades no produce un incremento en las variables de decisión. Este fenómeno ocurre cuando se llega a un límite en el cual incrementos adicionales en las entradas no tienen un impacto significativo en los resultados, indicando que se ha alcanzado un estado de saturación o un rendimiento máximo en el sistema.

2.9. Diagrama de procesos IDEF0

En la *figura 2.9.1*, se presenta el diagrama IDEF0 del proceso. En el mismo, se observa que el agente que entra al proceso es una solicitud de atención. Esta solicitud de atención puede salir del proceso atendida o no atendida. Las solicitudes que salen del proceso sin ser atendidas reflejan aquellas personas cuyo tiempo de espera para ser atendidos fue mayor al tolerado y decidieron irse.

Por otro lado, se observa que todos los procesos de la sucursal bancaria están regidos o actúan en base a los horarios, a los días de atención y a las políticas y normas de esa sucursal bancaria. En los bancos, se utilizan tanto personal como máquinas para atender los pedidos.

En la *figura 2.9.2*, se presenta un IDEF0 más detallado con los procesos involucrados. Los clientes pueden acudir al banco con 3 tipos de solicitudes: atención de caja, atención comercial o cajero automático. En caso de que vayan al cajero automático, no es necesario tener un turno ni pasar por la recepción. En cada proceso rigen distintas políticas y hay diferentes recursos asignados.

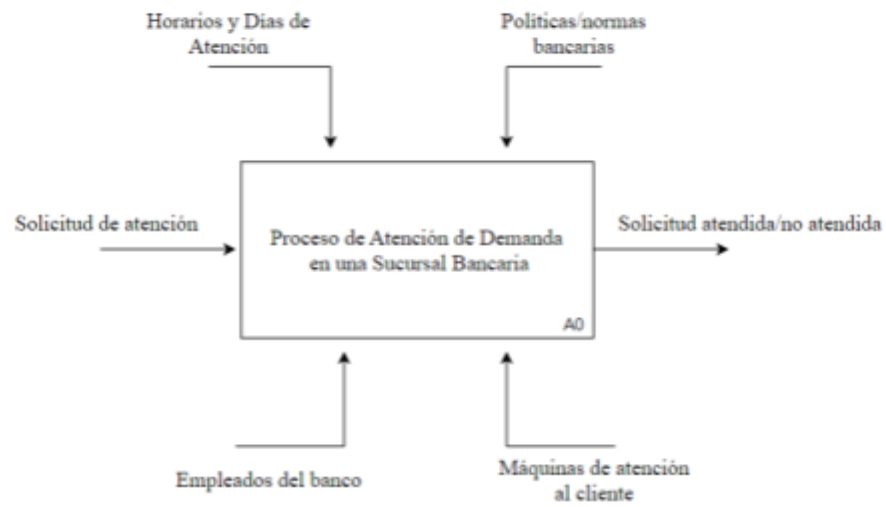


Figura 2.9.1: diagrama IDEF0

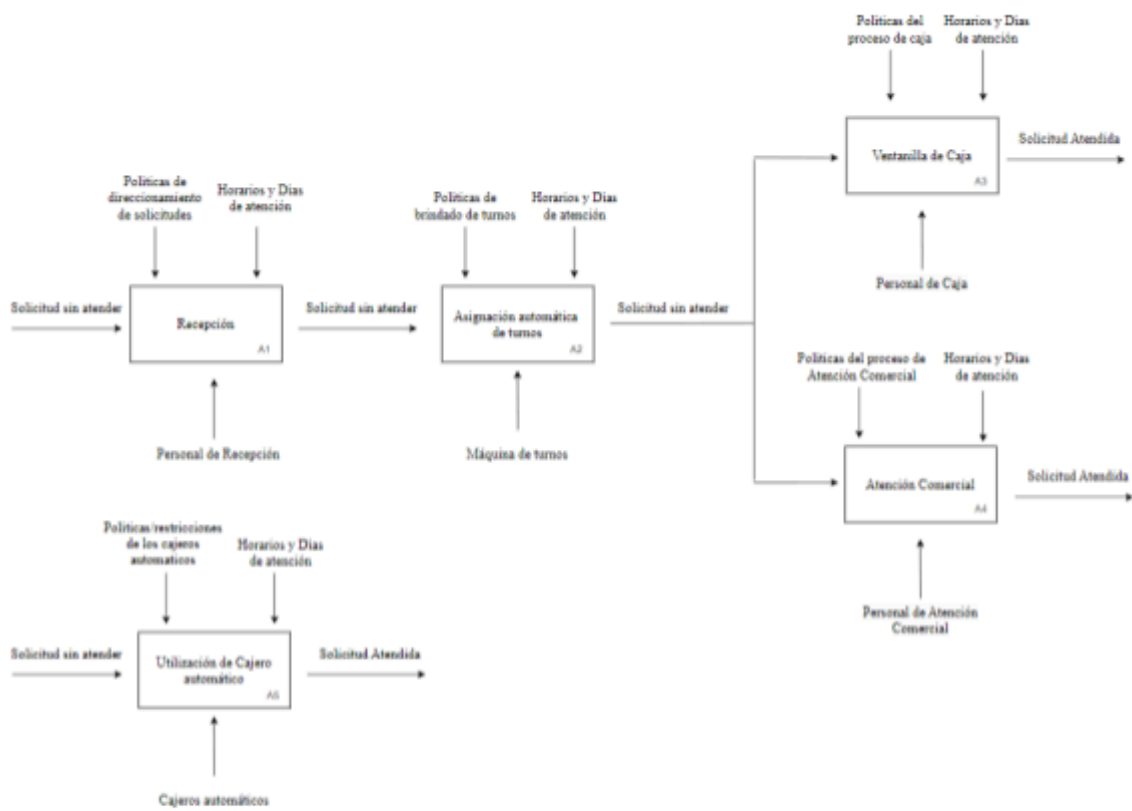


Figura 2.9.2: diagrama IDEF0

2.10. Lógicas generales

Para la correcta representación del sistema se requieren numerosas lógicas. A continuación, se presentarán las principales. La primera, representada en la *figura 2.10.A*, regula si un agente se va del sistema sin ser atendido



Figura 2.10.A: lógica 1

La segunda y la tercera (*figura 2.10.B* y *figura 2.10.C*) dirigen a los agentes a los distintos servicios según el tipo de solicitud que tengan. Es importante aclarar que la espera a los distintos servicios se considera como parte del proceso del servicio. Por ejemplo, el decir “Entra al proceso de utilización de cajero automático” o “Entra al proceso de atención a caja” significa que la persona entra al ciclo de ese proceso el cual incluye la espera a ser atendido.

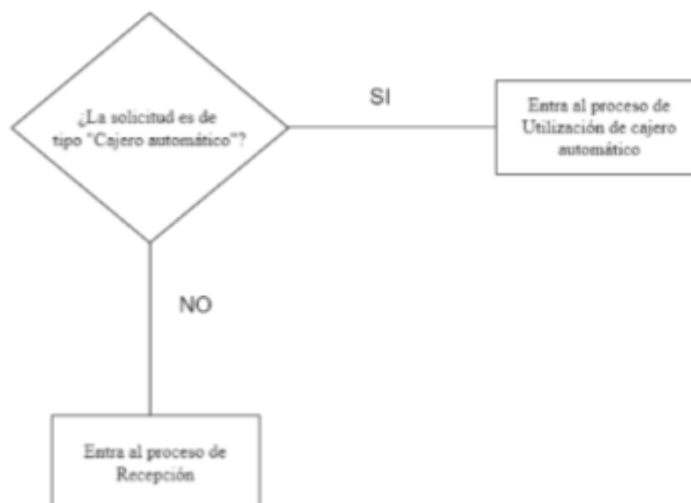


Figura 2.10.B: lógica 2

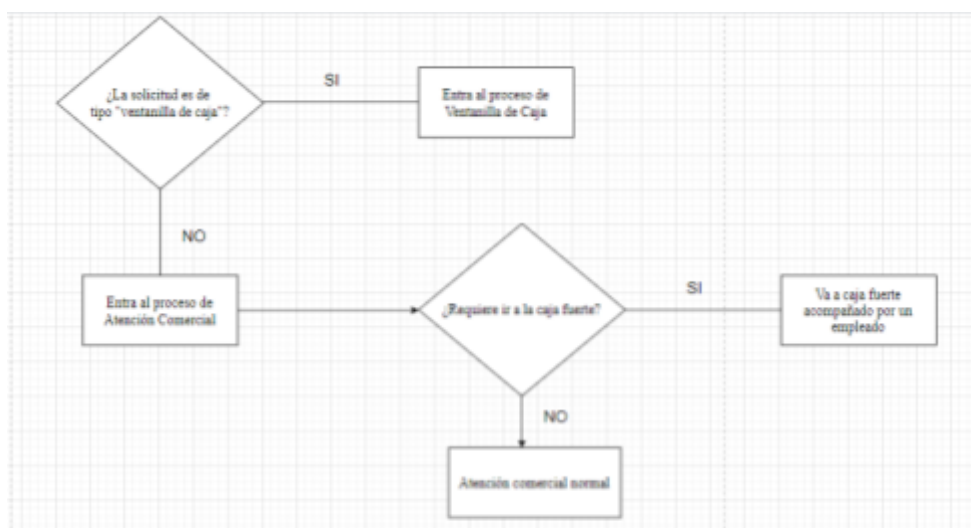


Figura 2.10.C: lógica 3

Con respecto a los cajeros automáticos, estos pueden dejar de funcionar. Cuando esto sucede, se lleva a cabo un diagnóstico para determinar si el cajero puede ser reparado. Si se concluye que el cajero tiene reparación y se cuenta con el presupuesto necesario, se procede a repararlo. En caso contrario, el cajero se reemplaza por uno nuevo, siempre que el presupuesto lo permita. Si el presupuesto no es suficiente, se deberá esperar al próximo mes para realizar la reparación o el reemplazo.



Figura 2.10.D: lógica 3

Finalmente, se presenta en la *figura 2.10.D* la cuarta lógica, que va dirigida a aquellos clientes que se encuentran en el cajero automático. Si se va a realizar una extracción, el cajero debe contar con el dinero que se está solicitando. De no ser así, la extracción no se realiza.

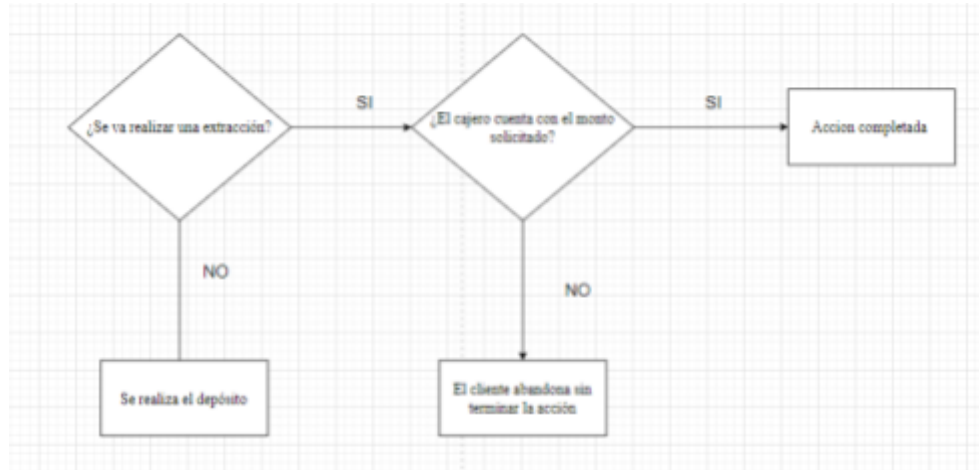


Figura 2.10.E: lógica 4

3. Modelo de datos

3.1. Información a utilizar

Al ser un caso semi real, se tomó en consideración el funcionamiento de un banco para estimar los flujos de llegada de clientes y consumo de los distintos servicios. Para ello, se entrevistó a un empleado del banco Santander conocedor de los procesos y de los valores aproximados. A partir de ello, se autogeneran [varios datasets](#) con información semi real de distintos procesos.

3.2. Variables relevantes

Los tipos de las variables obtenidas son los siguientes:

Variable	Tipo	Dependencia
Semana	Discreta	-
Día	Discreta	-
Hora	Continua (entera)	-
Cantidad de clientes	Continua (entera)	Depende del día y de la hora
Caja	Continua (entera)	Depende de cantidad de clientes total
Comercial	Continua (entera)	Depende de cantidad de clientes total
Cajero	Continua (entera)	Depende de cantidad de clientes total
Nivel de experiencia	Discreta (ordinal)	-
Tipo de cliente	Binaria	-
Estado de la operación	Binaria	Depende del nivel de experiencia
Tiempo demora en caja	Continua	Depende del nivel de experiencia

Tabla 3.2: Tipos y dependencias de las variables

3.3. Llegada de clientes

Se comenzará realizando un análisis de la variable llegada de clientes. Como se observa en la *figura 3.3.A*, la cantidad de clientes por hora oscila entre 10 y 50 en la mayoría de los casos, con pocas observaciones de 60 clientes en 1 hora. Por otra parte, en la *figura 3.3.B* es posible notar que los días lunes y viernes tienen más clientes por hora que el resto de los días.

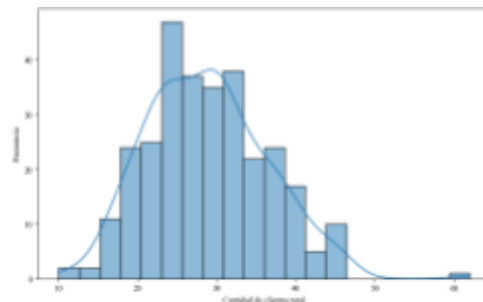


Figura 3.3.A: distribución de cantidad de clientes en una hora

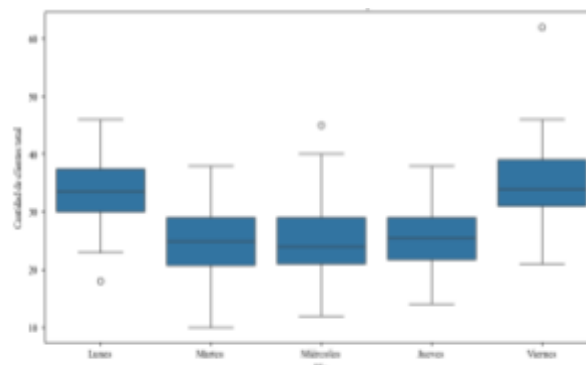


Figura 3.3.B: Distribución de clientes por hora, distinguiendo por día

Según se observó en la *figura 3.3.C*, los días lunes y viernes registran un mayor número de clientes en comparación con el resto de los días de la semana. En cuanto a los horarios, se identificó un comportamiento de hora pico alrededor de las 13:00 horas. Además, cada franja horaria presenta un promedio de clientes totales diferente, con la excepción de las 11:00 y las 12:00.

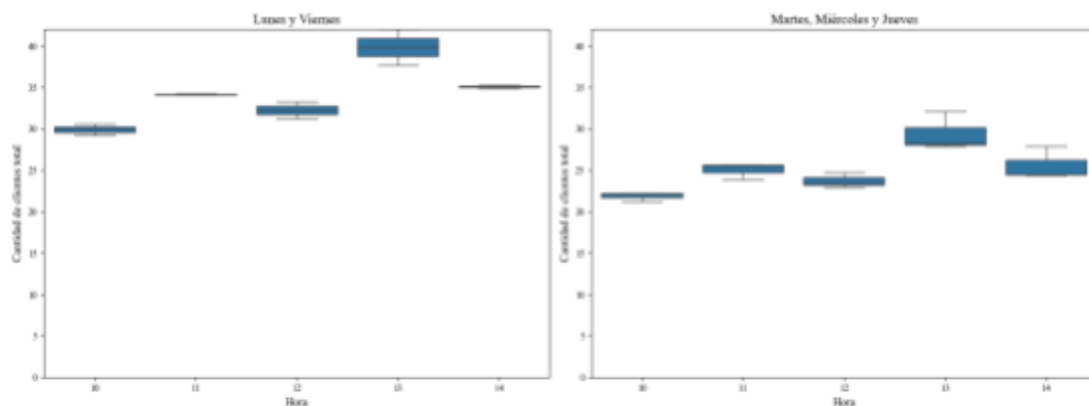


Figura 3.3.C: distribución cantidad de clientes por día y hora

Finalmente, se realizó un análisis gráfico para observar el comportamiento de la caja fuerte. Es decir, de todos los clientes que van a atención comercial, ¿cuántos requieren ir a la caja fuerte? Así, a partir del gráfico realizado en la *figura 3.3.D*, se llegó a la conclusión de que el 30% de los clientes que van a la atención de caja requieren ir también a la caja fuerte.

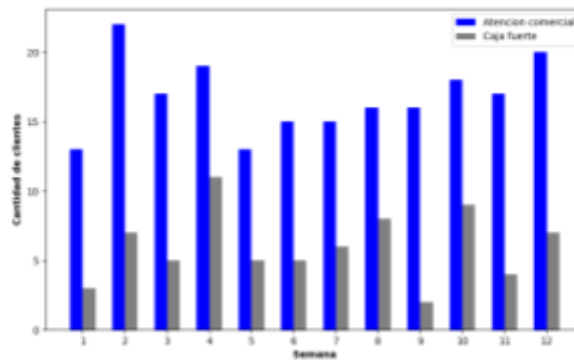


Figura 3.3.D: cantidad de clientes que van a atención comercial por semana, y la cantidad de ellos que requieren ir a la caja fuerte

3.4. Cajero automático

A continuación, se analizarán diversos factores que influyen en el tiempo de utilización de los cajeros automáticos. Los datos recopilados incluyen los siguientes aspectos:

- Operación: tipo de transacción realizada: extracción o depósito de dinero.
- Cambio de Clave: indica si durante la operación el cajero automático solicitó al cliente un cambio de clave de cuenta bancaria. Este evento es aleatorio.
- Cantidad de Dinero: se refiere al monto de dinero involucrado en la transacción.
 - Para extracciones: el monto varía entre \$5,000 y \$200,000.
 - Para depósitos: no hay monto mínimo. El máximo es de \$600,000.
- Tiempo: duración de la operación en el cajero automático, medida en minutos.

3.4.1 Tipo de Operación

Durante el período estudiado, se realizaron un total de 1,000 operaciones en cajeros automáticos. De estas transacciones, alrededor del 60% correspondió a depósitos, llevados a cabo por 603 personas. El restante 40% de las operaciones correspondió a extracciones, llevadas a cabo por 397

personas. Este análisis preliminar sugiere que una mayoría de los usuarios utilizan el cajero automático para realizar depósitos.

Para ver si el tipo de operación tiene alguna influencia en el tiempo de utilización del cajero automático, se realizaron los boxplots presentados en la figura 3.4.1.A. Es posible observar que los mismos no se superponen. Esto sugiere que los depósitos requieren más tiempo que las extracciones.

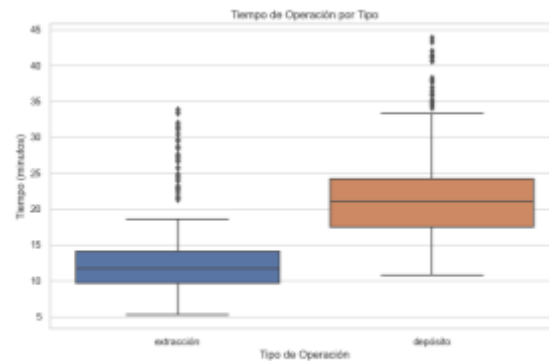


Figura 3.4.1.A: tiempo de la operación según su tipo

3.4.2. Cambio de clave

En las 1000 operaciones que se tienen a disposición se observa que en 36 de ellas, el cajero automático solicita un cambio de clave. Este evento es aleatorio y fue implementado por el banco para aumentar la seguridad. Esto quiere decir que aproximadamente el 3,6% de las veces se solicita el cambio de clave. A continuación se analiza si este efecto influye en el tiempo del servicio.

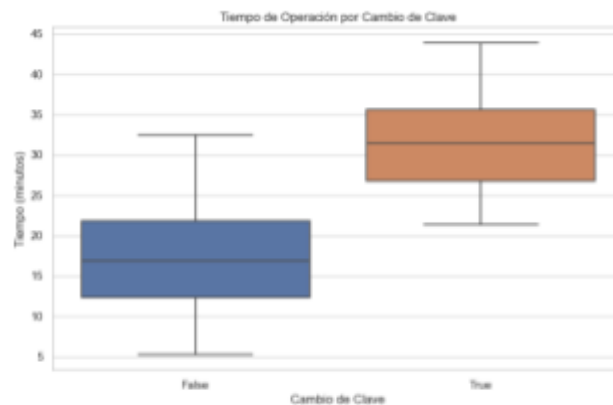


Figura 3.4.2.A: tiempo de la operación según haya o no cambio de clave

Los boxplots presentados no se superponen, lo que indica que solicitar un cambio de clave resulta en un tiempo adicional en el uso del servicio de cajero automático. Es importante entender cuánto tiempo adicional implica esta opción.

El tiempo de depósito sin cambio de clave muestra una distribución que parece triangular, con un tiempo mínimo de 11 minutos, un máximo de 35 minutos y una moda de 23 minutos. En contraste, el tiempo para depósitos sin cambio de clave es considerablemente menor, siguiendo una distribución también triangular pero con un mínimo de 3 minutos, un máximo de 19 minutos y una moda de 9 minutos.

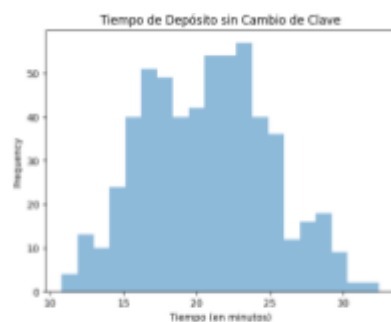


Figura 3.4.2.B: tiempo de depósito sin cambio de clave

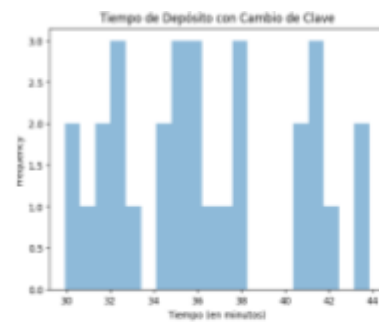


Figura 3.4.2.C: tiempo de depósito con cambio de clave

En el caso de las extracciones que incluyen un cambio de clave, el tiempo de operación sigue una distribución uniforme con un mínimo de 30 minutos y un máximo de 43 minutos (*figura 3.4.2.D*). Para las extracciones que incluyen cambio de clave (*figura 3.4.2.E*), el tiempo se distribuye uniformemente con un mínimo de 22 minutos y un máximo de 34 minutos.

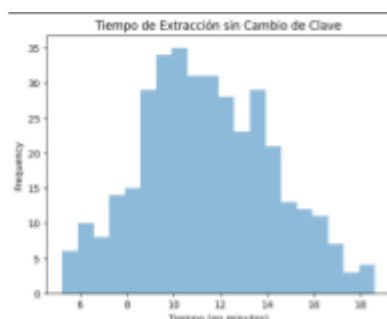


Figura 3.4.2.D: tiempo de extracción sin cambio de clave

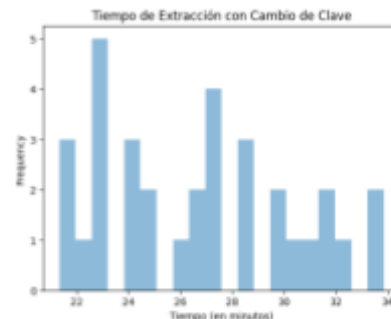


Figura 3.4.2.E: tiempo de extracción con cambio de clave

3.4.3. Monto de las transacciones en cajeros automáticos

En las figuras 3.4.3.A y 3.4.3.B, se presentan los histogramas de monto de las transacciones en cajeros automáticos.. Observando los gráficos, se puede concluir que las cantidades manejadas en ambas operaciones presentan una distribución bastante uniforme a lo largo del rango permitido, lo que indica un uso equilibrado de las opciones de extracción y depósito.

El histograma de extracciones, presentado en la *figura 3.4.3.A*, muestra varias barras con frecuencias similares a lo largo del rango, desde los 5.000 (mínimo permitido) hasta el máximo permitido de 200,000. Las frecuencias en el histograma de depósitos (*figura 3.4.3.B*) son relativamente uniformes a lo largo del espectro, desde un mínimo de 1.936 (observado en los datos) hasta un máximo de 600,000.

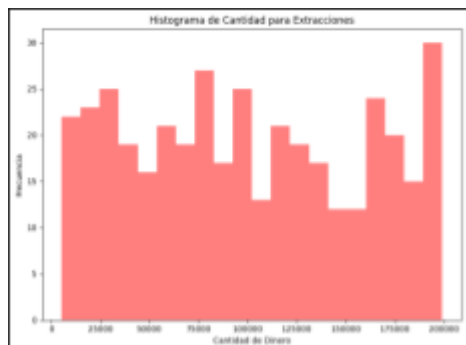


Figura 3.4.3.A: cantidad de extracciones

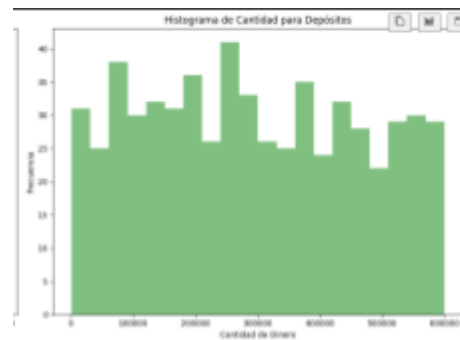


Figura 3.4.3.B: cantidad de depósitos

En las *figuras 3.4.3.C* y *3.4.3.D*, se realizó un análisis para ver si la cantidad de dinero extraída o depositada influye en el tiempo del servicio de cajero automático. Así, se observa que la cantidad de dinero involucrada en cada operación no muestra una correlación clara con el tiempo que toma realizarla.



Figura 3.4.3.C: relación entre cantidad y tiempo de las extracciones

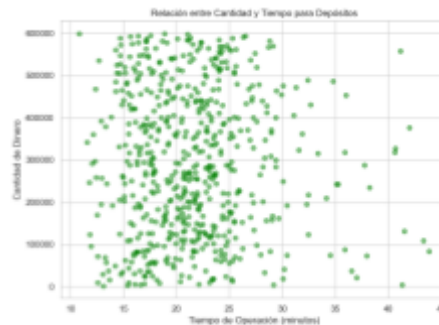


Figura 3.4.3.D: relación entre el monto depositado y el tiempo del depósito

3.4.4. Descomposición del cajero automático

Para entender la frecuencia de fallos en cajeros automáticos, se dispone de datos durante un año de una máquina específica, donde cada día se registra el funcionamiento del dispositivo en una columna binaria: se marca con un "0" si el cajero se descompone y con un "1" si opera normalmente.

Tras calcular los tiempos entre roturas se observó que el cajero automático suele dejar de funcionar aproximadamente 1 vez cada 90 días desde la última vez que fue arreglado o cambiado.

Se han generado datos de 500 incidentes para analizar la condición de cajeros automáticos tras sufrir fallos. De estos incidentes, en 51 casos (10%) la máquina resultó irremediablemente rota, requiriendo un reemplazo total, mientras que en los 449 casos restantes (90%), el daño fue menor y las máquinas pudieron ser reparadas.

Se ha observado que el tiempo de revisión es mayor cuando la máquina está completamente rota, probablemente debido a que se requiere un análisis más detallado para determinar si es posible repararla o si debe ser reemplazada.

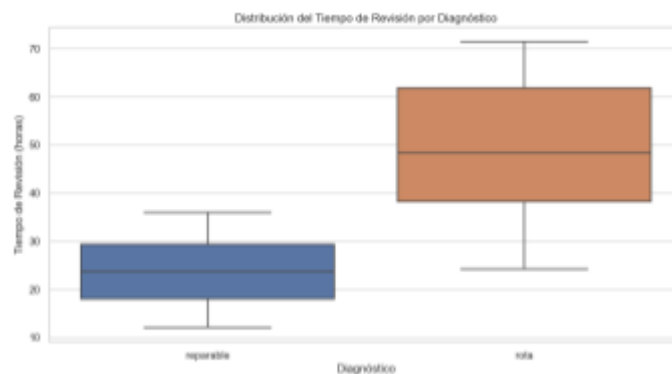


Figura 3.4.A: Distribución del tiempo de revisión por diagnóstico

Debido a la relación observada en la *figura 3.4.A* entre el estado de la máquina y el tiempo de revisión, se ha llevado a cabo un análisis detallado basado en el diagnóstico final. Se observa que cuando la máquina no está rota, los tiempos de revisión se distribuyen de manera uniforme, con un mínimo de 5 horas y un máximo de 36 horas (*figura 3.4.B*). Por otro lado, cuando la máquina está rota, el tiempo de revisión es considerablemente mayor, oscilando entre un mínimo de 10 horas y un máximo de 70 horas (*figura 3.4.C*), comportándose también de manera uniforme.

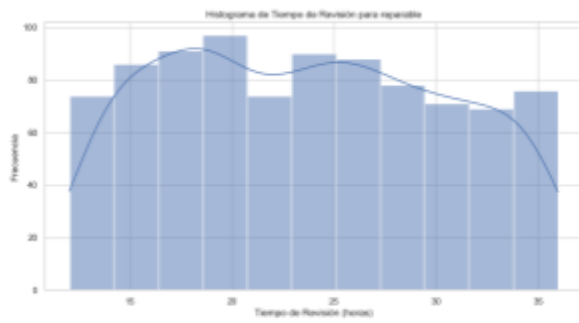


Figura 3.4.B: tiempo de revisión para "reparable"

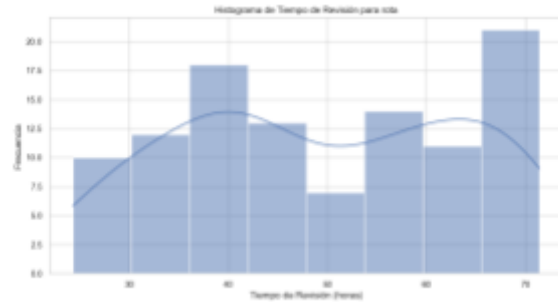


Figura 3.4.C: tiempo de revisión para "rota"

Cuando la máquina se diagnostica como rota, debe ser reemplazada; en cambio, si no está rota, simplemente se repara. Los histogramas correspondientes a estos dos escenarios, presentados en *figura 3.4.D* y *figura 3.4.E*, muestran diferentes patrones de distribución del tiempo necesario para cada acción.

En el caso de las máquinas rotas, el tiempo de reposición parece seguir una distribución triangular, con un mínimo de 80 horas, un máximo de 143 horas y una moda de 105 horas. Por otro lado, los tiempos de reparación para las máquinas que no están completamente rotas también parecen ajustarse a una distribución triangular, con un mínimo de 10 horas, un máximo de 120 horas y una moda de 50 horas. Estos análisis reflejan las diferencias en los procedimientos y el tiempo requerido según el estado final del diagnóstico de la máquina.

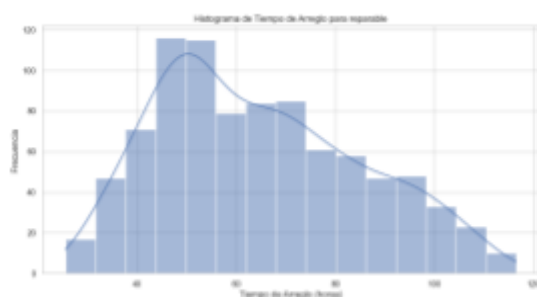


Figura 3.4.D: tiempo de arreglo para "reparable"

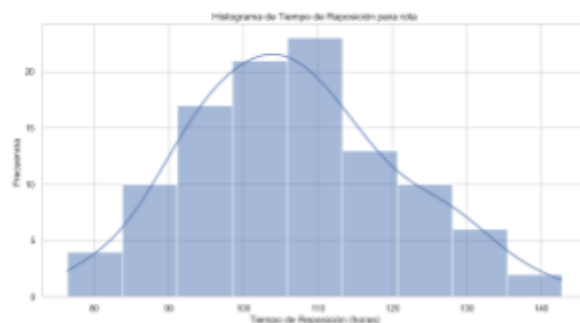


Figura 3.4.E: tiempo de reposición para "rota"

3.5. Servicio de caja

En esta sección, se considerarán distintos factores que influyen en el tiempo de demora de la atención del cajero humano. Los datos obtenidos incluyen:

- Nivel de experiencia del empleado: el empleado ingresa a trabajar en el banco con cierto nivel de experiencia (no es siempre el mismo en el ingreso, depende de la persona). Los empleados pueden aumentar su nivel luego de realizar capacitaciones.
- Tipo de cliente: Un cliente puede ser regular o premium. La atención en caja es igual para todos los clientes pero a los clientes premium se los prioriza en la espera para ser atendidos.
- Estado de resolución de la operación: Las operaciones solicitadas por los clientes pueden ser resueltas en el momento o no. Se espera una relación entre el estado de resolución y el nivel de experiencia del empleado, dado que a mayor experiencia se suele tener mayor capacidad de resolución.
- Tiempo que demora el proceso: Se considera desde que la persona es atendida en caja hasta que se retira de la ventanilla. Se espera observar una relación con el nivel de experiencia del empleado por el mismo motivo que en el estado de resolución de la operación.

3.5.1 Tipo de clientes

Se considera relevante indagar en la variable discreta tipo de cliente para conocer cuál es la probabilidad de que un cliente que acude a caja sea premium. Al ser la variable discreta e independiente se realizó una tabla de frecuencia para comparar las probabilidades de que un cliente pertenezca a cada tipo.

Tipo de cliente	Frecuencia	Porcentaje	Probabilidad
normal	719	71.9%	0.71972
premium	280	28.0%	0.28028

Tabla 3.5.1: Distribución de tipo de clientes

Se observa que aproximadamente el 72% de los clientes son “normales” o regulares y el 28% restante son premium.

3.5.2 Estado de resolución de la operación

Se realizó un análisis para determinar si existía una relación observable, además de teórica, entre el nivel de capacitación y la cantidad de solicitudes resueltas. El mismo se presenta en la *figura 3.5.2.A*. Se confirma que cuanto mayor sea el nivel de experiencia más resultó ser la cantidad de solicitudes resueltas.

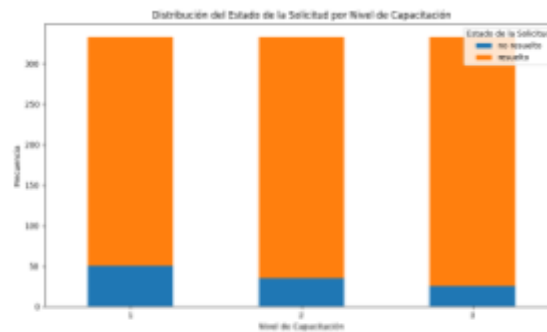


Figura 3.5.2.A: Estado de solicitud por nivel de capacitación

3.5.3 Tiempo de demora de la consulta

Se espera que haya una relación entre el nivel de experiencia del empleado y el tiempo que demora la operación. Como se observa en la *figura 3.5.3.A*, las distribuciones de las demoras para los distintos niveles de experiencia del empleado se superponen, pero a mayor nivel de experiencia los tiempos de demora oscilan en un rango más bajo.

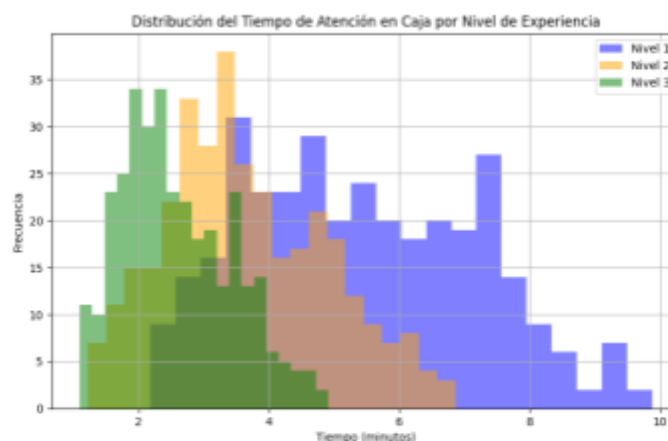


Figura 3.5.3: demora en minutos para la atención en ventanilla de caja segmentado por nivel de experiencia del empleado

Por otra parte, se analizó las distribuciones de tiempos de atención en ventanilla de caja según el nivel del empleado, observando en todos los casos una distribución es triangular.

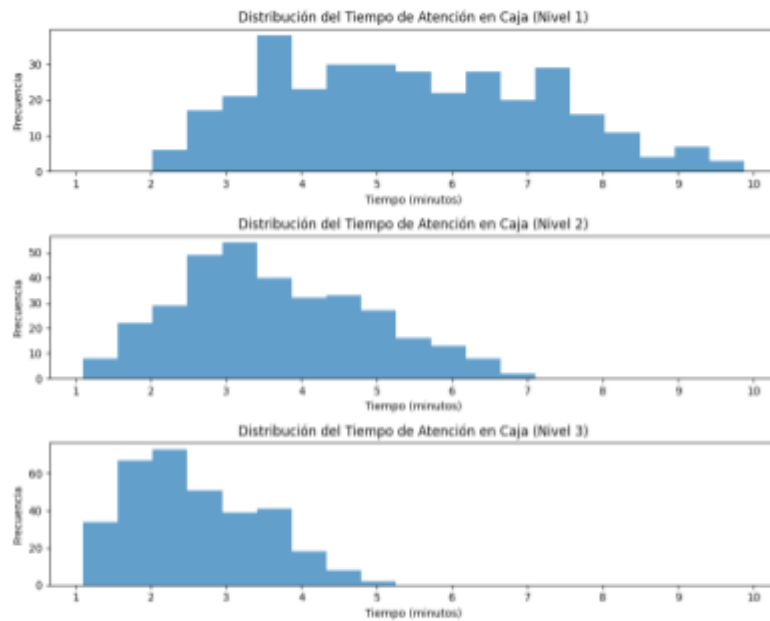


Figura 3.5.3.B: demora en minutos para la atención en ventanilla de caja según el nivel del empleado

3.6. Atención comercial

En esta sección, se considerarán distintos factores que influyen en el tiempo de demora de la atención comercial. Los datos obtenidos incluyen:

- Dificultad de la solicitud u operación: es una variable discreta que puede tomar cualquier valor entero entre 1 y 5, siendo 1 la solicitud más fácil. Es independiente de otras variables.
- Nivel de experiencia del empleado. Misma variable que la utilizada en caja, sin embargo, los empleados de comercial pueden ser del nivel 3 al nivel 6. Solo los empleados de nivel 6 pueden resolver la operación de nivel de dificultad 3 que representa ir a la caja de seguridad.
- Tipo de cliente: Misma variable que la utilizada en caja. Puede tener otra distribución.
- Estado de resolución: misma variable que en caja pero también depende del nivel de dificultad.

3.6.1 Tipo de cliente

Se analizó la variable tipo de cliente para conocer cuál es la probabilidad de que un cliente que acude a comercial sea premium. Al ser una variable discreta e independiente, se realizó una tabla de frecuencia. Así, en la *figura 3.6.1.A*, se observa que aproximadamente el 63% de los clientes son “normales” o regulares y el 36% restante son premium.

Tipo de cliente	Frecuencia	Porcentaje	Probabilidad
normal	4117	63%	0.633
premium	2383	36%	0.366

Figura 3.6.1.A: Distribución de tipo de cliente para atención comercial

3.6.2 Estado de resolución de las operaciones

El estado de la operación depende, teóricamente, del nivel de dificultad de la operación que presenta el cliente. Como se esperaba, cuanto más difícil sea la operación a realizar, más probabilidades debería haber de que la misma no pueda ser realizada. El nivel de dificultad 5, acudir a la caja fuerte, se resuelve el 100% de lo escasos.

Nivel del problema	Frecuencia		Porcentaje resuelto		Porcentaje resuelto	
	Resuelto	No resuelto	Resuelto	No resuelto	Resuelto	No resuelto
1	90	1410	94%	6%	0.94	0.06
2	135	1365	91%	9%	0.91	0.09
3	203	1297	86%	14%	0.86	0.14
4	235	1265	84%	16%	0.84	0.16
5	0	500	100%	0%	1	0

Figura 3.6.1.A: Distribución de estado de resolución por nivel de dificultad del problema

3.6.3 Tiempo de demora para realizar las operaciones

Se cree que la demora de cada consulta depende del nivel dificultad de la operación que trae el cliente y de la capacidad que tiene el empleado de resolverla (medido en nivel de experiencia).

En la *figura 3.6.3.A*, se observan las relaciones entre tiempo, nivel de dificultad de la operación y nivel de experiencia del empleado mencionados anteriormente. Por ende, se opta por analizar la expresión generadora segmentando al tiempo según la combinación de dificultad y experiencia que correspondan.

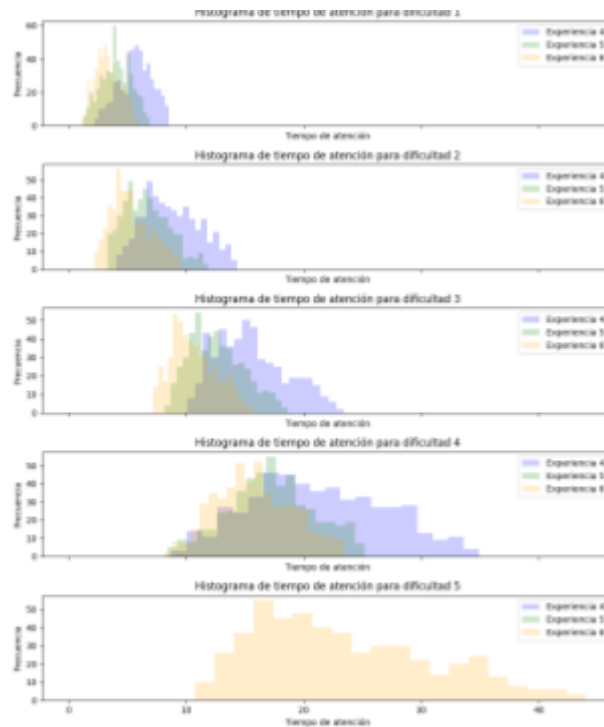


Figura 3.6.3.A: Distribución del tiempo por nivel de dificultad y experiencia

3.7. Capacitaciones

Se examinará la frecuencia y efectividad de las capacitaciones mensuales.. Las mismas se realizan el primer viernes de cada mes, y en cada una debe haber un empleado de atención comercial y otro de ventanilla de caja. Durante el día de la capacitación, los empleados designados no trabajan.

Se dispone de datos de las capacitaciones realizadas desde 2013 hasta 2023. En la *figura 3.8.A*, se presenta un histograma que muestra la distribución de los niveles de entrada de los empleados que participaron en estas capacitaciones a lo largo de esos años. Se observa que la probabilidad de que un empleado tenga un nivel de entrada de 1 o 2 es del 30%, mientras que para el nivel 3 es del 25%. Por otro lado, la probabilidad de tener un nivel de entrada de 5 o 6 es del 7.5%

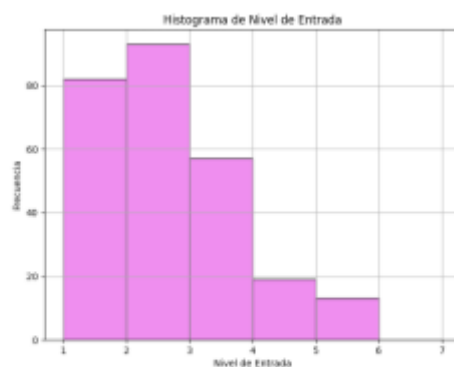


Figura 3.8.A: histograma del nivel de entrada

Por otra parte, se creó un gráfico de barras que muestra la cantidad de aprobados y desaprobados en las capacitaciones (*figura 3.8.B*), desglosados por nivel. Se observa que la probabilidad de aprobar la capacitación es del 80%, independientemente del nivel de entrada.

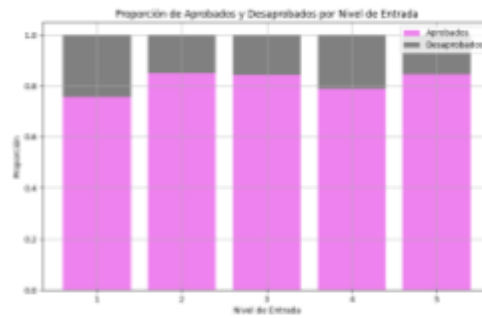


Figura 3.8.B: gráfico de barras que muestra los aprobados vs desaprobados por nivel

4. Expresiones generadoras

4.1. Llegada de clientes

Dado que los clientes llegan independientemente uno del otro y la tasa promedio de llegada es constante, según las clasificaciones previamente dadas, se determina a la expresión generadora de clientes totales como una distribución con el siguiente parámetro λ :

Horario	Día estándar	Día concurrido
10	22	30
11	24	33
12	24	33
13	29	40
14	26	36

Tabla 4.1.A: Valor del parámetro λ de la distribución poisson para cantidad de clientes por hora según día y horario

4.2. Tipo de servicio

La expresión generadora de cada servicio se representa como porcentaje de la cantidad total de clientes por hora, presentado en la *tabla 4.2.A*.

Servicio	Porcentaje de los clientes totales que lo usa
Caja	34%
Comercial	29%
Cajero automático	37%

Tabla 4.2.A: Porcentaje de clientes que acuden a cada servicio.

4.3. Atención comercial

Tipo de cliente:

Tipo de cliente	Porcentaje
normal	63%
premium	36%

Figura 4.3.B: Distribución de tipo de cliente para atención comercial

Estado de resolución de la operación

Nivel del problema	1	2	3	4	5
Resuelto	94%	91%	86%	84%	100%
No resuelto	6%	9%	14%	16%	0%

Figura 4.3.B: Distribución de estado de resolución por nivel de dificultad del problema

Tiempo de demora en la consulta:

- Tiempo de demora en la atención comercial con empleado nivel 4, dificultad 1:
 - *Triangular*($min = 2$ minutos; $max = 9$ minutos; $moda = 6$ minutos)
- Tiempo de demora en la atención comercial con empleado nivel 4, dificultad 2:
 - *Triangular*($min = 4$ minutos; $max = 15$ minutos; $moda = 7$ minutos)
- Tiempo de demora en la atención comercial con empleado nivel 4, dificultad 3:
 - *Triangular*($min = 10$ minutos; $max = 24$ minutos; $moda = 13$ minutos)
- Tiempo de demora en la atención comercial con empleado nivel 4, dificultad 4:
 - *Triangular*($min = 8$ minutos; $max = 36$ minutos; $moda = 20$ minutos)
- Tiempo de demora en la atención comercial con empleado nivel 5, dificultad 1:
 - *Triangular*($min = 1$ minutos; $max = 7$ minutos; $moda = 4$ minutos)
- Tiempo de demora en la atención comercial con empleado nivel 5, dificultad 2:
 - *Triangular*($min = 3$ minutos; $max = 12$ minutos; $moda = 5$ minutos)
- Tiempo de demora en la atención comercial con empleado nivel 5, dificultad 3:
 - *Triangular*($min = 8$ minutos; $max = 19$ minutos; $moda = 11$ minutos)
- Tiempo de demora en la atención comercial con empleado nivel 5, dificultad 4:
 - *Triangular*($min = 8$ minutos; $max = 26$ minutos; $moda = 17$ minutos)
- Tiempo de demora en la atención comercial con empleado nivel 6, dificultad 1:
 - *Triangular*($min = 1$ minutos; $max = 6$ minutos; $moda = 3$ minutos)
- Tiempo de demora en la atención comercial con empleado nivel 6, dificultad 2:
 - *Triangular*($min = 2$ minutos; $max = 10$ minutos; $moda = 4$ minutos)
- Tiempo de demora en la atención comercial con empleado nivel 6, dificultad 3:
 - *Triangular*($min = 7$ minutos; $max = 16$ minutos; $moda = 9$ minutos)
- Tiempo de demora en la atención comercial con empleado nivel 6, dificultad 4:
 - *Triangular*($min = 8$ minutos; $max = 24$ minutos; $moda = 15$ minutos)
- Tiempo de demora en la atención comercial con empleado nivel 6, dificultad 5:
 - *Triangular*($min = 10$ minutos; $max = 45$ minutos; $moda = 16$ minutos)

4.4. Cajero automático

Probabilidad de ocurrencia según el tipo de operación:

- Depósito: 60%
- Extracción: 40%

Probabilidad de que se pida el cambio de clave:

- Cambio de clave: 10%
- No cambio de clave: 90%

Las expresiones generadoras para el cambio de clave son:

- Tiempo de servicio en depósitos con cambio de clave:
 - *uniforme*($\min = 30 \text{ mins}$; $\max = 43 \text{ mins}$)
- Tiempo de servicio en extracciones con cambio de clave:
 - *uniforme*($\min = 22 \text{ mins}$; $\max = 34 \text{ mins}$)
- Tiempo de servicio en depósitos sin cambio de clave:
 - *triangular*($\min = 11 \text{ mins}$; $\max = 34 \text{ mins}$; $\text{moda} = 23 \text{ mins}$)
- Tiempo de servicio en extracciones sin cambio de clave:
 - *triangular*($\min = 3 \text{ mins}$; $\max = 19 \text{ mins}$; $\text{moda} = 9 \text{ mins}$)

Monto

Las funciones generadoras según la cantidad son:

- Cantidad de dinero extraído:
 - *uniforme* ($\min=5000$; $\max=200000$)
- Cantidad de dinero depositado:
 - *uniforme* ($\min=1900$; $\max=600000$)

Descomposición de la máquina

Las funciones generadoras para la descomposición de una máquina son :

- Tiempo entre descomposiciones de las máquinas:
 - *Exponencial*($\lambda = 3 \text{ meses}$)

- Tiempo de revisión para maquinaria rota:
 - *Uniforme* ($\min = 10$; $\max = 70$)
- Tiempo de revisión para maquinaria averiada:
 - *Uniforme* ($\min = 5$; $\max = 36$)
- Tiempo de reparación de maquina:
 - *Triangular* ($\min = 10$ horas; $\max = 120$ horas; $\text{moda} = 50$ horas)
- Tiempo de reposición de máquina:
 - *Triangular* ($\min = 80$ horas; $\max = 143$ horas; $\text{moda} = 105$ horas)

4.5. Servicio de caja

Tipo de cliente

Tipo de cliente	Probabilidad
normal	72%
premium	28%

Tabla 4.5.A: expresión generadora del tipo de cliente

Estado de resolución de la solicitud

La variable *estado de resolución de la solicitud* es una variable binaria, que depende de una variable categórica (nivel de experiencia del empleado). Para encontrar su expresión generadora se armó una tabla de frecuencias que discrimina al estado de la consulta por nivel de resultados.

	Frecuencia		Porcentaje		Probabilidad	
Nivel de capacitación	no resuelto	resuelto	no resuelto	resuelto	no resuelto	resuelto
1	50	283	15.01%	84.9%	0.150	0.849
2	35	298	10.51%	89.48%	0.105	0.894
3	25	308	7.50%	92.49%	0.075	0.924

Tabla 4.5.B: Frecuencia, porcentaje y probabilidad para cada estado de resolución

Tiempo de demora en la consulta

Anteriormente, se mencionó que hay una correlación entre el nivel de experiencia del empleado y el tiempo que demora en resolverse la operación, o quedar como no resuelta en su defecto. A continuación se menciona la expresión generadora observada para cada uno de los niveles de experiencia:

- Tiempo de demora en la atención en ventanilla de caja con empleado nivel 1:
 - *Triangular*($min = 2 \text{ minutos}$; $max = 10 \text{ minutos}$; $moda = 3,75 \text{ minutos}$)
- Tiempo de demora en la atención en ventanilla de caja con empleado nivel 2:
 - *Triangular*($min = 1 \text{ minutos}$; $max = 3 \text{ minutos}$; $moda = 7 \text{ minutos}$)
- Tiempo de demora en la atención en ventanilla de caja con empleado nivel 3:
 - *Triangular*($min = 1 \text{ minutos}$; $max = 2 \text{ minutos}$; $moda = 5 \text{ minutos}$)

4.6. Capacitaciones

En la *tabla 4.6.A*, se muestra la probabilidad de aprobación y de desaprobación de las capacitaciones a los empleados.

Estado	Probabilidad
aprobado	80%
desaprobado	20%

Tabla 4.6.A: probabilidad de aprobación de la capacitación

5. ABM

5.1. Cajeros automáticos

Como se mencionó anteriormente, los cajeros automáticos pueden dejar de funcionar. Para modelar estos sucesos, consideraremos a los cajeros automáticos como agentes. Estos agentes podrán estar en uno de los siguientes estados: funcionamiento, revisión o reparación. También podrán estar rotos, en cuyo caso se generará otro agente en su reemplazo. Las transiciones entre estos estados estarán determinadas tanto por timeouts como por mensajes.

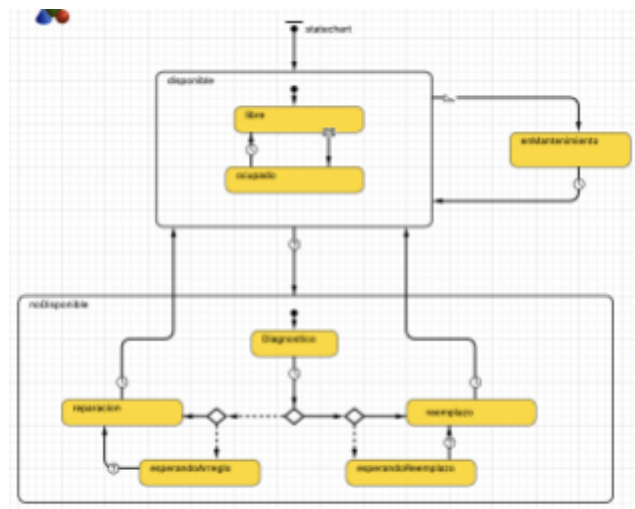


Figura 5.1.A: ABM Cajeros.

5.2. Empleados AC y VC

Los empleados son modelados como agentes. Estos agentes pueden estar disponibles o no (porque están atendiendo o por capacitación). Además, el personal puede rotar entre diferentes estados según su nivel de capacitación y la disponibilidad de otros miembros del equipo.

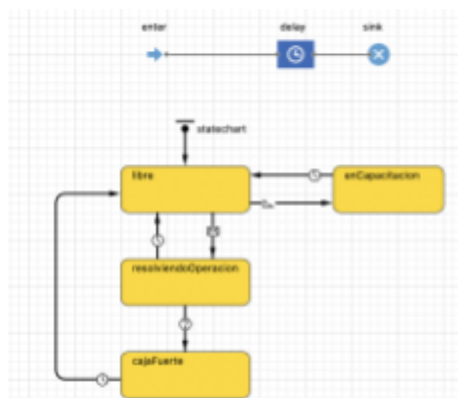


Figura 5.2.A: ABM Empleados AC.

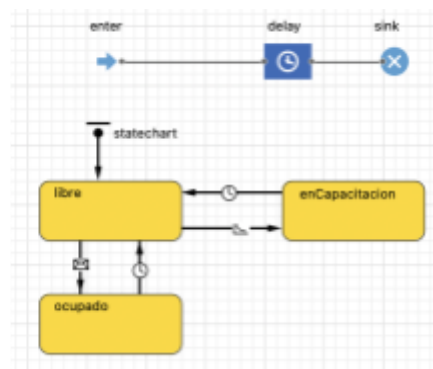


Figura 5.2.B: ABM Empleados VC.

6. Verificación

Con el objetivo de garantizar una codificación e implementación precisas del modelo, es necesario llevar a cabo un procedimiento de verificación. Se hizo uso de variables auxiliares y prints para asegurar el correcto desempeño de las funciones definidas y la actualización apropiada de los valores de las variables globales. La visualización del simulador también facilitó la identificación y corrección de errores.

En primer lugar, se utiliza la vista de problemas para verificar la sintaxis del modelo. Esto permite detectar errores de compilación que impiden que el programa corra. En la figura 6 se puede observar un ejemplo de una alerta de problemas de sintaxis que surgió durante la creación del modelo.

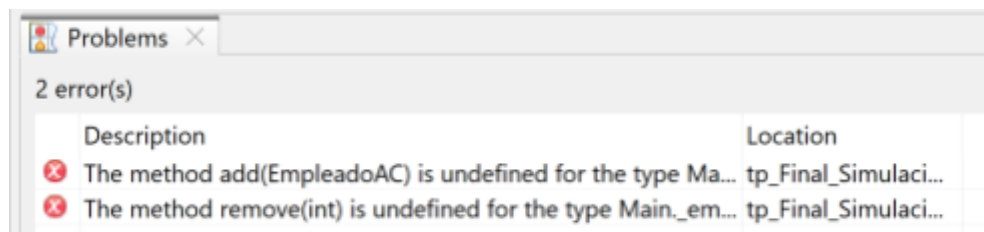


Figura 6.A: vista de problemas utilizada para comprobar la existencia de errores de sintaxis

Además, para lograr llevar a cabo la verificación en el modelo de simulación planteado se realiza `println()` que permite imprimir valores o texto en la consola en el momento que se ejecuta un proceso. Se seleccionaron determinados puntos del modelo para colocar esta función como el tiempo de espera al ser atendido, el índice del empleado que atiende al cliente, y el tipo de cliente que se atiende, entre otras.

```
Tipo de cliente: normal
Tiempo de espera: 0.0
root enviado a 0
Cliente procesado: 14349
Tipo de cliente: normal
Tiempo de espera: 10.319535072543658
root enviado a 3
Cliente procesado: 14353
Tipo de cliente: vip
Tiempo de espera: 5.6291880491771735
root enviado a 1
InicioEspera: 199445.93539761796
El tiempo es: 0.0
```

Figura 6.B: uso del `println` para validar que está sucediendo lo esperado

Por último, se realizaron gráficos que mostraban el valor de los distintos indicadores durante las corridas del simulador, los mismos se pueden observar en la *Figura 6.C*



Figura 6.C: Gráficos que permiten visualizar los valores que toman los indicadores a lo largo de la simulación

7. Validación

Este punto es de gran relevancia a lo hora de definir si el simulador es realmente una representación fiel del escenario real o, por el contrario, si es diferente y por ende debe revisarse o no se debe confiar en sus resultados. Se realizaron 20 corridas y se obtuvieron los resultados que se muestran en la Figura 7.A

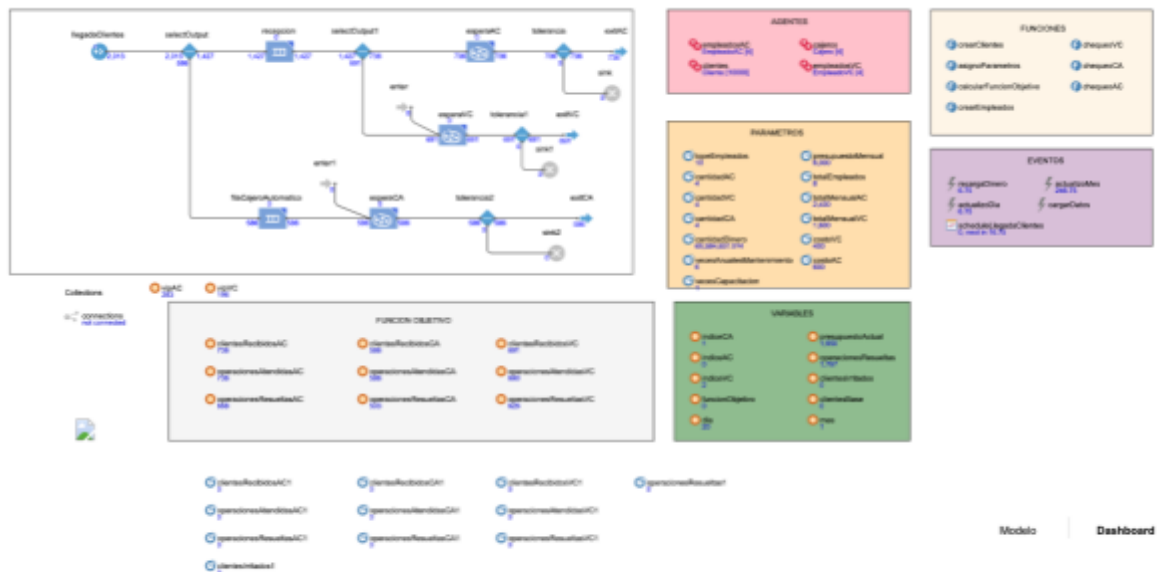


Figura 7.A: Resultados de la situación inicial de la simulación realizada en AnyLogic.

En primer lugar, se valida la llegada de clientes a cada área: Cajero Autoático (CA), Atención Comercial (AC) y Ventanilla de Caja (VC). Inicialmente, se presentó en la sección de Modelo de Datos un cálculo con los porcentajes de clientes totales que acuden a cada servicio. En la Tabla 7.A se comparan estos porcentajes iniciales con los obtenidos en la simulación realizada en AnyLogic.

Servicio	Porcentaje de los clientes totales inicial datos	Porcentaje de los clientes totales simulación
Ventanilla de Caja (VC)	34%	34%
Atención Comercial (AC)	29%	29%
Cajero Automático (CA)	37%	36%

Tabla 7.A: Porcentaje de clientes que acuden a cada servicio vs simulación.

A partir de la Tabla 7.A se observa que los porcentajes iniciales coinciden con los porcentajes obtenidos en el simulador.

En segundo lugar, se validan las llegadas por tipo de cliente para los servicios de Atención Comercial (AC) y Ventanilla de Caja (VC). En un principio se planteó una probabilidad inicial con los

datos que fueron utilizados en el presente trabajo y fueron explicadas anteriormente en el Modelo de Datos. En esta sección, se realizaron 20 corridas y se tomó la probabilidad de llegada de los dos tipos de clientes para cada servicio. En las Tablas 7.B y 7.C se muestran las probabilidades calculadas inicialmente en comparación a las obtenidas de la simulación en Anylogic.

Tipo de cliente	Probabilidad Inicial Datos	Probabilidad Simulación
normal	63%	64%
vip	37%	36%

Tabla 7.B: Distribución de tipo de clientes AC vs. simulación

Tipo de cliente	Probabilidad Inicial Datos	Probabilidad Simulación
normal	71.9%	71.6%
vip	28.1%	28.4%

Tabla 7.C: Distribución de tipo de clientes VC vs. simulación

Es posible notar que las probabilidades son similares para ambos casos, tanto en atención comercial como en ventanilla de caja. Esto confirma la validez del modelo de simulación realizado en Anylogic.

Por último, se realiza la validación de las llegadas de los clientes por día de semana. Inicialmente se calcularon las llegadas de los clientes con sus respectivos promedios. Por otro lado, se calcularon los promedios de llegadas de clientes en la simulación realizada en AnyLogic.

Tipo de cliente	Promedio Inicial Datos	Promedio Simulación
Lunes	35	38
Martes	25	26
Miércoles	25	27
Jueves	24	25
Viernes	36	39

Tabla 7.D: Llegada de de clientes por día de semana vs. simulación

Los resultados obtenidos son similares, por lo tanto se valida la llegada de los clientes en la simulación.

8. Experimentación

La función objetivo de la sucursal es el nivel de servicio. A través de la simulación, se buscará incrementar este nivel dentro de las restricciones presupuestarias y capacidades del banco. Mediante la experimentación, se pretende encontrar la combinación óptima de variables que produzca los mejores resultados para la sucursal bancaria.

Las capacidades actuales de la sucursal son las siguientes:

- Empleados totales: 8.
- Empleados en ventanilla de caja: mínimo 2.
- Empleados en atención comercial: mínimo 2.
- Cajeros automáticos: 4.

Las variables que pueden ajustarse en la simulación son la cantidad de empleados en cada área, las capacitaciones mensuales y los mantenimientos anuales de los cajeros automáticos.

En relación a las capacitaciones mensuales, estas pueden variar entre 1 y 2 por mes. Aunque no tienen un costo monetario, su realización implica que los empleados no estarán disponibles para trabajar durante el tiempo de capacitación. Por otro lado, los mantenimientos anuales de los cajeros automáticos pueden variar entre 6 y 9 al año. A diferencia de las capacitaciones, los mantenimientos sí tienen un costo asociado, lo que debe considerarse al ajustar esta variable.

Estos parámetros se utilizarán en los experimentos para determinar la combinación óptima que maximice el nivel de servicio de la sucursal, respetando las restricciones presupuestarias y operativas existentes.

Para correr todos los escenarios con todas las combinaciones posibles, se podría utilizar la opción de "*Parameters Variation*", que permite asignar un rango de valores para cada variable y realizar todas las iteraciones posibles. Sin embargo, debido al tiempo que esto implicaría, se decidió seleccionar 4 escenarios que se consideran representativos y que se espera produzcan resultados significativamente distintos.

Además, en relación a la cantidad de replicaciones necesarias por experimento, se debe calcular el valor de N. Este cálculo determinará cuántas veces debe ejecutarse la simulación para obtener resultados estadísticamente significativos, basados en el nivel de confianza elegido.

8.1. Cálculo del N

El número N indica la cantidad ideal de ejecuciones necesarias para obtener datos estadísticamente significativos en la simulación. Su fórmula es la siguiente: $N = \left(\frac{S \cdot Z}{\epsilon} \right)^2$, en donde:

- Z: se tomó un $\alpha = 0.05$. Por lo tanto nuestro $Z = 1.96$.
- S: desvío de la variable.
- E: error. Se consideró un error distinto por cada variable, teniendo en cuenta que tanta precisión nos interesaba obtener en cada caso.

Luego de correr la simulación, se calculó el N, tomando como variable de referencia el nivel de servicio. Como se observa en la *tabla 8.1.A*, podemos ver que el N obtenido es en todos los casos menor a 20, por lo que podemos concluir que con las corridas que se hicieron, el resultado obtenido es significativo.

	Experimento			
	1	2	3	4
Promedio	78.93%	78.98%	72.35%	78.86%
Desvío	0.043	0.044	0.018	0.007
Z	1.96	1.96	1.96	1.96
Error	0.02	0.02	0.02	0.02
N mínimo	17	19	3	1

Tabla 8.1.A: cálculo del N

8.2. Experimentaciones

En el primer experimento, se simuló con las capacidades de los empleados al máximo, con una capacitación mensual y seis mantenimientos anuales de los cajeros automáticos.

Observando en el primer experimento que los empleados de ventanilla de caja atendían a todos los clientes sin ningún inconveniente, se decidió reducir en uno la cantidad de empleados en dicha sección, manteniendo todos los demás parámetros iguales.

En este experimento, se probó qué sucedería si los empleados operaban con la capacidad mínima. Se anticipaba que el nivel de servicio disminuiría considerablemente, pero también lo harían los costos. Este experimento sirve para evaluar el trade-off entre los costos de los empleados y el nivel de servicio.

Finalmente, se regresó a la situación inicial: cuatro empleados en ventanilla de caja y cuatro en atención comercial. Sin embargo, se realizaron dos cambios: se aumentaron las capacitaciones

mensuales a dos, lo que debería mejorar el rendimiento de los empleados, y se incrementaron los mantenimientos anuales de los cajeros automáticos a nueve. Estos ajustes buscan determinar si hay una mejora significativa en el nivel de servicio.

8.3. Comparaciones generales

En la *tabla 8.3.A* se observan las diferencias entre los niveles de servicio y los costos totales en cada una de las experimentaciones.

	Experimentos			
	1	2	3	4
EmpleadosAC	4	4	2	4
EmpleadosVC	4	3	2	2
Capacitaciones mensuales	1	1	1	2
Mantenimientos anuales	6	6	6	9
Costo mensual	4625	4225	2625	3937.5
Nivel de servicio	0.79	0.82	0.72	0.90
Dinero sobrante	1375	1775	3375	2062.5
Cantidad arreglos q se pueden hacer	3	4	8	5
Cantidad de reemplazos	0	0	1	1

Tabla 8.3.A: comparaciones entre experimentaciones

A partir de los resultados obtenidos, será decisión del gerente del banco determinar la cantidad de empleados, capacitaciones y mantenimientos a implementar, según considere conveniente. Como se mencionó anteriormente, existe un trade-off entre el nivel de servicio y el costo total.

Sin embargo, observando estos resultados, se cree que la mejor propuesta es la experimentación 4, ya que ofrece un buen equilibrio entre el costo mensual y el nivel de servicio. Aunque el costo mensual de 3650 USD no es el más bajo, se obtiene un nivel de servicio del 0.79, comparable con el de la experimentación 1, pero con una estructura de empleados y capacitaciones que parece más sostenible a largo plazo. Además, el incremento en las capacitaciones mensuales a 2 y los mantenimientos anuales a 9 podrían mejorar la eficiencia y la calidad del servicio, justificando así el costo adicional.

Es importante destacar que, para obtener resultados concluyentes, sería necesario utilizar la opción de "Parameters Variation" para simular todos los escenarios posibles.

8.4. Prueba ANOVA

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar los niveles de servicio en los cuatro escenarios planteados. Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Estadístico F: 84.0878
- Valor p: 6.2382e-24

Estos resultados indican que hay diferencias significativas entre los niveles de servicio de los distintos experimentos. El estadístico F alto (84.0878) sugiere que la variabilidad entre los grupos es mucho mayor que la variabilidad dentro de los grupos. Además, el valor p bajo lleva a rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias entre los niveles de servicio de los escenarios.

En la *figura 8.4.A*, se realizó un boxplot que permite observar gráficamente las distribuciones de la función objetivo en cada experimento.

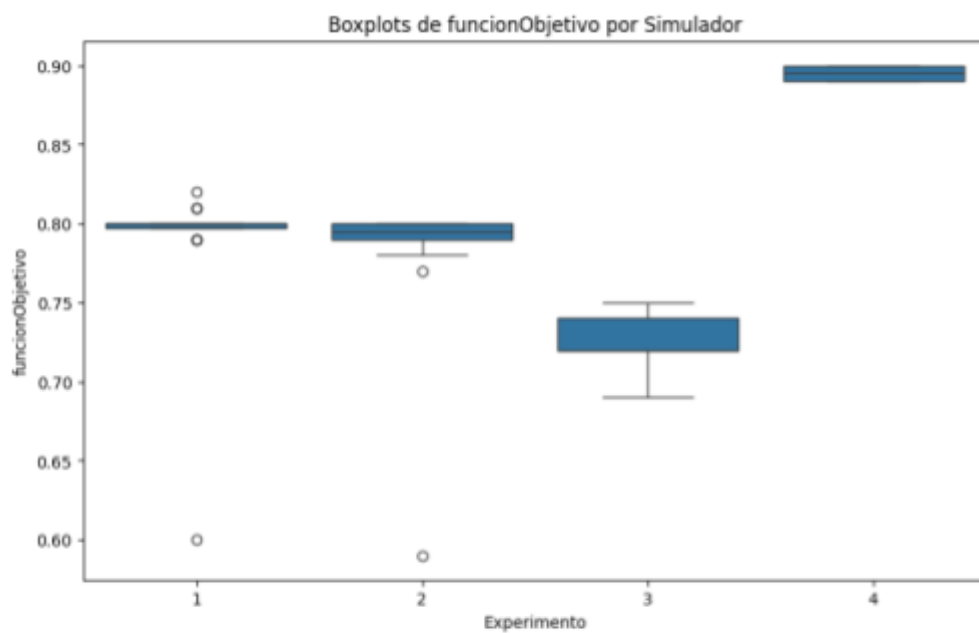


Figura 8.4.A: boxplots de las distribuciones de las funciones objetivos por experimentación

9. Optimización

Se realizó una intervención al proceso propuesto por el banco, en la cuál se propuso que los servicios de Ventanilla de caja y atención comercial puedan prestarse empleados cuando sus filas se colapsen, es decir cuando haya clientes esperando para un servicio pero no empleados disponibles para atenderlos y el tamaño de esa fila sea un 50% más grande que el de la fila del otro servicio.

Esto permitió que, cumpliendo con la restricción del máximo de empleados para la sucursal de banco establecida al principio de este ensayo, se evite el sub aprovechamiento de los empleados en un servicio determinado colaborando con la agilidad de atención en el servicio que lo requiera. De esta forma podría aumentarse el nivel de servicio sin incurrir en costos adicionales.

Para implementar este cambio se desarrolló una heurística que evalúa la existencia de un empleado libre en el servicio determinado A cuando llega un cliente del servicio correspondiente. En caso de no haber empleados disponibles se busca un empleado en el otro servicio B. Si se encuentra a un empleado en el servicio B, que no esté atendiendo en el momento se compara el largo de las filas. Si el tamaño de la fila A = tamaño de la fila B * 1,5 entonces se pasa el empleado libre del servicio B al servicio A.

```
// Iterar sobre los empleadosAC para encontrar uno con varLibre
int indiceAC = -1;
for (int i = 0; i < empleadosAC.size(); i++) {
    if (empleadosAC.get(i).varLibre) {
        indiceAC = i;
        break; // Salir del bucle una vez encontrado el empleado libre
    }
}

// Si no se encontró un empleado libre en empleadosAC, evaluar empleadosVC
if (indiceAC == -1) {
    int empleadosLibresVC = 0;
    int indiceEmpleadoLibreVC = -1;

    // Contar la cantidad de empleados libres en empleadosVC
    for (int i = 0; i < empleadosVC.size(); i++) {
        if (empleadosVC.get(i).varLibre) {
            empleadosLibresVC++;
            indiceEmpleadoLibreVC = i; // Guardar el índice del empleado libre encontrado
        }
    }

    // Evaluar si es conveniente pasar un empleado de empleadosVC a empleadosAC
    if (empleadosLibresVC > 1 && indiceEmpleadoLibreVC != -1) {
        int tamañoFilaVC = esperaVC.size();
        int tamañoFilaAC = esperaAC.size();
        // Verificar si la fila de esperaVC es como mínimo un 50% más pequeña que la fila de esperaAC
        if (tamañoFilaVC <= (tamañoFilaAC / 1.5)) {
            // Crear un nuevo empleado en empleadosAC con el nivelEmpleado del empleado en empleadosVC
            EmpleadoVC empleadoVCLibre = empleadosVC.get(indiceEmpleadoLibreVC);
            EmpleadoAC empleadoAC = new EmpleadoAC();
            empleadoAC.nivelEmpleado = empleadoVCLibre.nivelEmpleado;
            empleadoAC.varLibre = true;
            empleadoAC.goToPopulation(empleadosAC);
            // Imprimir el movimiento de empleados
            System.out.println("Moviendo empleado de VC a AC: " + empleadoVCLibre);

            // Incrementar el contador de movimientos
            movimientosVCAAC++;

            // Eliminar el empleado de empleadosVC
            remove_empleadosVC(empleadoVCLibre);

            indiceAC = empleadosAC.size() - 1; // El nuevo empleado transferido es el último en la lista de empleadosAC
        }
    }
}
```

Figura 9.A: heurística para prestar un empleado de VC a AC en caso de que sea conveniente

Para verificar si se aprovecha esta oportunidad se decidió imprimir el mensaje “Moviendo empleado de VC a AC: root.empleadosVC[2]” cuando se realice el pase, por ejemplo, de VC a AC.

Con esta verificación se observó que se realiza el pase de 2 empleados por día aproximadamente, por lo que se usaría el recurso del pase de forma moderada.

Se analizaron los resultados de implementar la heurística¹ y se los comparó con el experimento de mejor resultado (4).

	Experimentos	
	4	4 + heurística
EmpleadosAC	4	4
EmpleadosVC	2	2
Capacitaciones mensuales	2	2
Mantenimientos anuales	9	9
Pase de empleados?	no	si
Costo mensual	3237.5	3237.5
Nivel de servicio	0.895	0.8963

Figura 9.B: combinación de recursos utilizados en cada experimento 4, con y sin heurística

Se observa la distribución del nivel de servicio en ambas implementaciones en diagramas de caja y bigotes que se halla en la figura 9B.

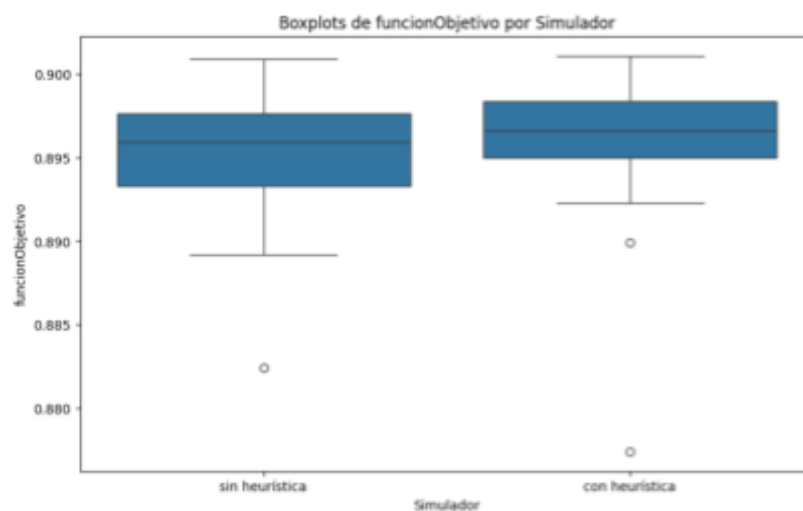


Figura 9.B: diagrama de caja y bigotes de la función objetivo con y sin heurística

¹ Usando la misma combinación de recursos que en la experimentación 4.

Como se ve en la *figura 9.B*, el valor función objetivo fue bastante similar en ambos casos. A pesar de que la media fue un poco mayor tras implementar la heurística, se realizó un test de anova, *Figura 9.C*, y se concluyó que la diferencia en los resultados no fue estadísticamente significativa.

```
Resultado del test de ANOVA:  
F-value: 1.3395792704629879  
P-value: 0.2499213719622442  
El P-value es 0.2499, que es mayor que 0.05. Por lo tanto, no podemos rechazar la hipótesis nula.  
Esto sugiere que no hay una diferencia significativa en los valores de funcionObjetivo entre los distintos valores de Simulad
```

Figura 9.C: Resultado del test de ANOVA para comparar la función objetivo de los simuladores con y sin la heurística de préstamo de empleados

10. Conclusiones

El informe detalla la gestión de atención al cliente en una sucursal bancaria, abordando la problemática actual, el diseño de un modelo conceptual y de datos, así como la identificación de variables relevantes y restricciones. Mediante simulación y análisis descriptivo, se busca optimizar el proceso para reducir los tiempos de espera y mejorar la satisfacción del cliente.

En este trabajo se desarrollaron un modelo conceptual y de datos, expresiones generadoras, y un modelo de simulación basado en eventos discretos y agentes. Se llevaron a cabo experimentos con diversas distribuciones de recursos, análisis estadísticos, validaciones y verificaciones para comparar los resultados y obtener la solución óptima para el banco.

Finalmente, el análisis concluye que la mejor solución, identificada en la experimentación 4 (cuatro), incluye cuatro empleados en atención comercial, dos en ventanilla de caja, dos capacitaciones mensuales y nueve mantenimientos anuales de los cajeros automáticos. Esta configuración se recomienda para maximizar la eficiencia operativa y la experiencia del cliente en la sucursal bancaria.

La heurística implementada no mejora significativamente el nivel de servicio, se considera que esto sucede porque la parte del nivel de servicio que refiere a los clientes atendidos ya se mejoró todo lo que se podría mejorar. Se recomienda considerar el recurso de pase de empleados para momentos en los que la llegada de clientes sea mayor o el presupuesto para contratar empleados sea menor y no se pueda atender a todos clientes sin generar grandes esperas.

