



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANÁLISIS DE PRIORIZACIÓN DE REQUERIMIENTOS EN UN SERVICIO DE
ATENCIÓN A CLIENTES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

JUAN IGNACIO ZAMBRANO JECHAN

PROFESOR GUÍA
MARCEL GOIC FIGUEROA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ANDRÉS WEINTRAUB POHORILLE
RODOLFO URRUTIA URIBE

SANTIAGO DE CHILE
AÑO 2018

Análisis de Priorización de Requerimientos en un Servicio de Atención a Clientes

La priorización de requerimientos es una práctica recurrente en diversas firmas de servicio por lo que tiene gran interés estudiar su conveniencia y aplicabilidad. Algunas investigaciones sobre esta materia sugieren que los administradores a cargo de planificar la atención a clientes deberían implementar esta política, pues en general, tiene un efecto positivo sobre la rentabilidad de los negocios y en particular sobre el retorno obtenido por las ventas. Pese a esto, es difícil establecer si su implementación ayudará a generar los beneficios suficientes que permitan justificar su ejecución, además, se hace necesario abordar cómo incorporar esta práctica en la planificación de operaciones de un servicio específico. Bajo este contexto, se ha desarrollado una metodología que permite incluir información de los clientes de una firma para priorizar la ejecución de sus requerimientos de atención. De esta forma se han caracterizado algunos escenarios de demanda que permiten dilucidar cuándo se perciben los mayores beneficios asociados a esta práctica y qué tipo de información de los clientes puede ser incorporada como base. La metodología mencionada no solo ayuda a estimar de forma general el ahorro de recursos adquiridos al priorizar la atención, también permite caracterizar ciertos indicadores globales de servicio obtenidos al simular la atención de una cartera de clientes. Mediante este trabajo se ha determinado que, en el mejor escenario caracterizado, la firma de servicios podría ahorrar CLP\$92.240 al día al flexibilizar al 41% de su demanda diaria. Esto resulta en un ahorro de CLP\$3.690 por cliente flexibilizado. Se ha mostrado que la política estudiada es económicamente factible de implementar en ciertos casos, pues se produce una liberación de recursos que pueden ser utilizados en la diferenciación del servicio ofrecido a los clientes. Pese a lo anterior, su viabilidad práctica depende de que las condiciones específicas del negocio permitan proveer el servicio a la cartera restante de clientes a un menor costo del que se provee en la actualidad.

A mi familia,
con amor.

Tabla de Contenido

1	Introducción	1
1.1	Antecedentes Preliminares	1
1.2	Descripción del Servicio Estudiado	2
1.3	Objetivos	3
1.4	Objetivo General	4
1.5	Objetivos Específicos	4
2	Modelo de Ruteo de Vehículos	5
2.1	Problema de Ruteo de Vehículos (VRP)	5
2.2	Formulación Problema de Ruteo de Vehículos	5
2.3	Problema Maestro	6
2.4	Generación de Rutas Factibles	7
2.5	Diseño de Flota.	9
2.6	Implementación del Modelo	10
3	Modelo de Priorización de Clientes	11
3.1	Descripción General	11
3.2	Modelamiento estadístico del costo de no atender.	13
3.3	Priorización de requerimientos mediante el uso de información específica.	15
4	Análisis de Datos	18
4.1	Descripción General	18
4.2	Caracterización de la Demanda	20
4.3	Instancias Diarias de Atención.	23
4.4	Costos Operativos	24
5	Resultados Obtenidos	25
5.1	Demanda Cubierta y Capacidad de Atención.	25
5.2	Simulación de Instancias de Atención.	27
5.3	Resultados Priorización Mediante Información Específica	33
6	Conclusiones	42
7	Bibliografía	45
8	Anexos	46

Índice de Tablas

Tabla 1. Requerimientos de Atención. Región Metropolitana, Chile. _____	19
Tabla 2. Requerimientos de servicio anuales y clientes totales. _____	20
Tabla 3. Llamados promedio por día de la semana. Providencia, Chile. _____	22
Tabla 4. Requerimientos de servicio. Distribución 21 instancias diarias. _____	23
Tabla 5. Costos Operacionales. _____	24
Tabla 6. Resolución instancia de demanda baja. ($\rho=0,8$) _____	36
Tabla 7. Resolución instancia de demanda baja. ($\rho=0,95$) _____	36
Tabla 8. Resolución instancia de demanda media. ($\rho=0,8$) _____	37
Tabla 9. Resolución instancia de demanda media. ($\rho=0,95$) _____	37
Tabla 10. Resolución instancia de demanda alta. ($\rho=0,8$) _____	37
Tabla 11. Resolución instancia de demanda alta. ($\rho=0,95$) _____	38
Tabla 12. Resolución instancia de demanda baja. ($c=1$) _____	38
Tabla 13. Resolución instancia de demanda media. ($c=1$) _____	39
Tabla 14. Resolución instancia de demanda alta. ($c=1$) _____	39
Anexo 1. Resultados Instancia Base - Promedio 21 Instancias. _____	46
Anexo 2. Instancia Diaria de Prueba. (Penalización Homogénea) _____	46
Anexo 3. Resolución Instancia de Prueba. Primera Iteración _____	47
Anexo 4. Resolución Instancia de Prueba. Iteración Final _____	48

Índice de Ilustraciones

Figura 1. % Promedio requerimientos diarios atendidos respecto a penalización _____	12
Figura 2. Cadena de Márkov Asociada _____	16
Figura 3. Probabilidad de espera respecto a número de servidores. (ρ cte.) _____	17
Figura 4. Macrozonas de atención de clientes. Región Metropolitana, Chile. _____	18
Figura 5. Demanda por requerimientos de servicio. Serie mensual. Providencia, Chile. _____	21
Figura 6. Número de clientes. Serie mensual. Providencia, Chile. _____	21
Figura 7. Número de requerimientos por cliente. Distribución anual. Providencia, Chile. _____	21
Figura 8. % Requerimientos de servicio, respecto al total. Providencia, Chile _____	22
Figura 9. Demanda por requerimientos de servicio. 21 instancias diarias. _____	23
Figura 10. Distribución tiempo de servicio. 21 instancias diarias. _____	24
Figura 11. % Demanda cubierta respecto al número de técnicos disponibles. _____	26
Figura 12. Relación entre demanda cubierta y número de técnicos. _____	26
Figura 13. Relación entre penalización media y dispersión (σ) _____	28
Figura 14. Penalización promedio al priorizar servicio ($\alpha=1$). _____	29
Figura 15. Penalización promedio al priorizar servicio ($\alpha=1$ y $\alpha=0,5$). _____	29
Figura 16. Relación entre % demanda diaria cubierta y dispersión (σ) _____	31
Figura 17. Ahorro por liberación de recursos y dispersión (σ). _____	31
Figura 18. % Demanda cubierta y número de servidores. (izq.) _____	33
Figura 19. % Demanda cubierta y utilización de servidores. (ρ) _____	33
Figura 20. Ahorro por liberación de recursos y número de servidores. (izq.) _____	34
Figura 21. Ahorro por liberación de recursos y utilización de servidores (ρ). _____	34
Figura 22. Número de impresoras / Clientes atendidos. Demanda Baja. ($\rho=0,8$) _____	35
Figura 23. Número de impresoras / Clientes atendidos. Demanda Baja. ($\rho=0,95$) _____	35
Figura 24. Número de impresoras / Clientes atendidos. Demanda Media. ($\rho=0,8$) _____	36
Figura 25. Número de impresoras / Clientes atendidos. Demanda Media. ($\rho=0,95$) _____	36
Figura 26. Número de impresoras / Clientes atendidos. Demanda Alta. ($\rho=0,8$) _____	37
Figura 27. Número de impresoras / Clientes atendidos. Demanda Alta. ($\rho=0,95$) _____	37
Figura 28. Utilización de impresoras / Clientes atendidos. Demanda Baja. _____	38
Figura 29. Utilización de impresoras, clientes atendidos. Demanda Media. _____	39
Figura 30. Utilización de impresoras, clientes atendidos. Demanda Alta. _____	39

1 Introducción

1.1 Antecedentes Preliminares

Una pregunta que surge de la implementación de un servicio de atención a clientes es si se deben focalizar los recursos disponibles en una firma para priorizar la satisfacción de requerimientos de mayor valor. Pareciera ser que, mediante la concentración y distribución de recursos logísticos sobre un grupo reducido de consumidores, se podrían incrementar de forma importante las ganancias y al mismo tiempo disminuir los costos operacionales asociados a la provisión de un servicio. Pese a lo anterior, implementar una política como esta en un negocio real, podría acarrear importantes consecuencias sobre la calidad ofrecida, pues dicha política afecta algunas decisiones operacionales que deben ser revisadas previamente. Por ejemplo: Al planificar la atención de clientes se debe determinar el tamaño de la inversión en recursos diarios requeridos para entregar el servicio de forma adecuada. Esta decisión tendrá mayor o menor impacto en los costos y en los indicadores globales de servicio, dependiendo de la magnitud del grupo al que se le asigne mayor prioridad. Si existe un mayor número de clientes que necesariamente deben ser atendidos durante cierto día, la firma está obligada a adquirir insumos o recursos necesarios para proveer su atención, en caso contrario tendrá mayor flexibilidad para disponer de ellos y podrá disminuir sus costos operacionales por esta vía.

La priorización de requerimientos de servicio es una problemática recurrente en marketing cuantitativo y una práctica presente en diversas firmas que prestan atención a clientes, por esta razón, tiene gran importancia estudiar su conveniencia y aplicabilidad. Algunos resultados de investigaciones previas en esta materia¹, sugieren que los administradores o gerentes a cargo de la atención de clientes deberían implementar esta política, pues dicha práctica, en general, tiene un efecto positivo sobre la rentabilidad de los negocios, y en particular, sobre el retorno obtenido por las ventas. Se ha probado que existen dos mecanismos que conducen a este efecto. En primer lugar, la priorización de clientes tiene un efecto positivo en las relaciones con los consumidores de primer nivel y no tiene un efecto negativo en las relaciones con aquellos de nivel inferior o con la cartera restante de requerimientos. Por esta razón, la política de priorización permite a las empresas desarrollar relaciones importantes que impulsan las ventas y la rentabilidad sin dañar sustancialmente a clientes menos importantes. En segundo lugar, la priorización mejora la rentabilidad y rendimiento de las ventas a través de la eficiencia con respecto a los costos de comercialización y ventas. Pese a esto, no es posible desprender si priorizar requerimientos de mayor valor genera a priori, beneficios suficientes que justifiquen su implementación. Además, se hace necesario ilustrar, cómo y bajo qué circunstancias es posible incorporar esta práctica en la planificación de atenciones de un servicio específico.

¹ Homburg, C., Droll, M., Totzek, D. (2008), Customer Prioritization: Does it pay off? And how should it be implemented? Journal of Marketing, Vol 72, No 5. Pp. 110-130.

Con el objetivo de abordar esta problemática, se ha considerado el caso de una firma fabricante de impresoras que provee un servicio de asistencia y reparación de sus productos como parte de un servicio de post venta. La prestación ofrecida proporciona la oportunidad de estudiar cómo podría ser integrada esta política de atención en las operaciones de dicha firma y permite desprender escenarios específicos en que la priorización de requerimientos puede generar mayor valor para esta compañía. Con la ayuda de este caso, se persigue estudiar el efecto de dicha práctica sobre el nivel de servicio entregado y en los costos por proveerlo. A su vez, permite la definición de un modelo que identifica y selecciona los casos en que es necesario priorizar la atención y ayuda a estimar la magnitud del ahorro de recursos debido a la incorporación de esta política. El desarrollo de un modelo que incorpora información específica de los clientes en la planificación de operaciones ayudará a determinar si su implementación generará condiciones más favorables para la factibilidad económica del servicio ofrecido y contribuirá a determinar si es justificable su implementación o no.

1.2 Descripción del Servicio Estudiado

Para estudiar la política de priorización se toma como referencia el caso de una firma de servicios técnicos a domicilio. Dada la naturaleza de este negocio, la firma requiere desplazar de manera eficiente una serie de recursos técnicos y humanos a cada punto geográfico convenido previamente por ambas partes de la relación de servicio. Para lograr esto se utiliza un modelo de atención que ayuda a hacer eficiente las operaciones que ejecuta. Este modelo consiste en la minimización de sus costos operacionales sobre la base de la selección inteligente de rutas de atención, las cuales le permiten cumplir adecuadamente con los tiempos acordados con su contraparte en un contrato de prestación de servicio. Adicionalmente, la selección adecuada de rutas permite a la firma determinar los recursos que se deben disponer para lograr atención a todos los clientes que requieran del servicio técnico. El modelamiento propuesto para este servicio es habitual en negocios que se producen a domicilio, y ha sido estudiado en la literatura de gestión de operaciones como parte de la familia de problemas de ruteo vehículos².

La propuesta comercial de este servicio se basa en la provisión de equipamiento certificado por la marca del producto, herramientas y personal capacitado para garantizar la atención del cliente en el lugar donde es reportada una incidencia técnica. Para asegurar la atención de requerimientos, el servicio técnico ofrece un contrato de mantenimiento de equipos, el cual es correctivo y garantiza la atención en la que se incluye mano de obra especializada y repuestos necesarios para la reparación del equipamiento

² Cordeau, J., Desaulniers, G., Desrosiers, J., Solomon, M., & Soumis, F. (2002). The vehicle routing problem. VRP with time windows (pp. 157-193). SIAM.

Cortés, C., Weintraub, A., et al (2014). Branch-and-price and constraint programming for solving a real-life technician dispatching problem. European Journal of Operational Research Vol. 7 Issue 7 (pp. 300-312).

instalado por el cliente. En este contrato se especifica que cada requerimiento debe ser resuelto sobre un tiempo de respuesta máximo y debe estar garantizada la solución del problema. Pese a que la firma ofrece distintos contratos de mantenimiento, incluido uno de servicios preventivos y las instalaciones para atender requerimientos de forma presencial, el foco de esta investigación está puesto en el servicio correctivo a domicilio. Esto pues dicha modalidad de atención requiere de la implementación de una estrategia de priorización a seguir cuando la capacidad de la firma, limitada por los recursos disponibles, no son suficientes para cubrir la demanda por requerimientos de atención.

Para cumplir con el contrato de prestación de servicios, la firma debe planificar cada día las visitas técnicas a realizar dentro una ventana de tiempo fija de ocho horas. La planificación diaria de las operaciones y la asignación de recursos depende de la información que el planificador disponga al comienzo de cada día. Dicha información corresponde a la demanda de reparaciones, la ubicación geográfica de los clientes y el tiempo de servicio estimado para la resolución de cada incidencia técnica. Con esta información el planificador puede determinar la cantidad mínima de rutas adecuadas para satisfacer los requerimientos de servicio y el número de técnicos, vehículos y recursos que serán requeridos para recorrerlas. Dado que los recursos son limitados, debe planificar correctamente su adquisición para cumplir con la demanda de cada día. Por ejemplo: Si decide invertir fuerte en número de técnicos y vehículos para satisfacer los requerimientos diarios, aumentará el costo de la provisión de servicio, pero a cambio dispondrá gran capacidad logística para cumplir con todos los requerimientos técnicos que recibe diariamente, especialmente en los momentos de alta demanda. Lo contrario resultará si decide limitar la cantidad de recursos disponibles.

Cuando los recursos disponibles se hacen insuficientes para satisfacer la demanda diaria, será necesario priorizar a los clientes de acuerdo con el grado de importancia que tenga este para recibir la asistencia técnica a tiempo. Dicha priorización debe realizarse en base a la información que el servicio posea sobre sus clientes, en particular, de información que sirva como base para aproximar de forma razonable el costo que tiene para cada uno de ellos la no disponibilidad del equipamiento debido a una incidencia técnica. Si el proveedor del servicio incorpora dicha información en la planificación de sus operaciones, liberará recursos que podrán incrementar la rentabilidad de este negocio, o bien podrán ser utilizados para compensar la demora en la prestación del servicio.

1.3 Objetivos

Esta investigación está centrada en el desarrollo de una metodología que permitirá a una firma de atención a domicilio, incorporar información de sus clientes de tal modo de priorizar la ejecución sus requerimientos de atención. Para lograr esto se ha incluido en el modelamiento de la planificación de operaciones, el costo que tiene para el cliente la no disponibilidad del servicio. Si bien, dicho costo puede ser interpretado de múltiples formas de acuerdo con las características propias del cliente (tipo de industria a la que pertenece, nivel de uso del activo, nivel de importancia que se le atribuye a la disponibilidad), se busca desarrollar un modelo general, que permita establecer cuándo

la firma obtendrá mayores beneficios al incorporar esta práctica y qué tipo de información de los clientes puede ser incorporada como base, en dicha planificación.

La incorporación de información mencionada no solo permitirá estimar el ahorro de recursos adquiridos al priorizar la atención, también ayudará a caracterizar, de qué forma esta práctica impacta ciertos indicadores globales de servicio obtenidos al simular la atención de una cartera definida de clientes.

1.4 Objetivo General

Caracterizar el impacto económico y operacional que tiene la incorporación de información de los clientes en la planificación de recursos necesarios para priorizar y satisfacer la demanda en un servicio de atención a clientes.

1.5 Objetivos Específicos

- a. Caracterizar y cuantificar balance operacional al que se ve enfrentada la firma estudiada al atender requerimientos diarios de servicio³.
- b. Modelar costo de no disponibilidad del equipamiento en clientes utilizando información observable por el planificador del servicio.
- c. Estimar ganancia operacional en la provisión de servicio debido a la inclusión de información de los clientes en la planificación de requerimientos.
- d. Identificar factores críticos presentes en la priorización de requerimientos, así como escenarios donde es favorable implementar esta práctica.
- e. Derivar políticas de servicio posibles de implementar debido a la incorporación de información de los clientes.

³ Se refiere al "trade-off" al que se ve enfrentada la firma respecto de cuantos recursos disponer para garantizar la atención de todos los clientes que llaman durante un día de operaciones.

2 Modelo de Ruteo de Vehículos

El objetivo de esta sección es presentar el modelo de ruteo de vehículos que ha sido documentado para simular la resolución de requerimientos de atención en un servicio específico. Primero, se presenta el modelo de transporte que sirve como base para la ejecución de ejercicios computacionales desarrollados en las secciones siguientes. Luego se contextualiza de qué forma su implementación puede ser utilizada para determinar la cantidad de recursos que debe disponer la firma estudiada para brindar el servicio a sus clientes. Finalmente se comentan algunos aspectos relacionados con su implementación.

2.1 Problema de Ruteo de Vehículos (VRP)

El problema de ruteo de vehículos denominado VRP (Vehicle Routing Problem), es un tipo de problema de optimización combinatorial que consiste en determinar el conjunto óptimo de rutas que deben ser atendidas para satisfacer la demanda proveniente de un grupo de clientes. Cada una de estas rutas está compuesta por un conjunto de nodos que representan su ubicación geográfica y para los cuales existe un costo asociado de transporte. Este problema de optimización pertenece a la clase NP-Completo, es decir, no existen algoritmos de optimización disponibles para resolverlo en tiempo polinomial. Debido a esta característica, existen múltiples aproximaciones al problema que buscan encontrar soluciones en tiempo razonable. Una de estas aproximaciones proviene del método de generación de columnas, el cual se basa en la separación del problema de ruteo en dos modelos: Un modelo principal o problema maestro, en el cual se eligen las rutas con el mínimo costo de un conjunto de rutas factibles y un modelo secundario, el sub-problema, que genera rutas factibles que potencialmente podrían disminuir el costo total.

En esta investigación se ha trabajado sobre la formulación de generación de columnas propuesta por Cortés, C y Weintraub, A⁴. Dicha formulación ha sido adaptada para resolver instancias elaboradas específicamente para este trabajo. A continuación, se presenta la formulación utilizada para su implementación computacional.

2.2 Formulación Problema de Ruteo de Vehículos

El problema de ruteo de vehículos se formula asumiendo que es posible elegir diferentes rutas de atención para cada técnico disponibles en un conjunto preexistente de rutas R . Cada ruta $r \in R$ es caracterizada por un técnico que inicia el camino r en una ubicación específica $i_1 \in I_1$, y luego sigue atendiendo a una secuencia de clientes $\{i_2, \dots, i_e\} \in I_2$, donde I_2 es el conjunto de todos los clientes a servir durante un día específico. Cada ruta, por ende, es descrita por el conjunto $l \in \{2, \dots, e\}$ siendo e el último

⁴ Cortés, C., Weintraub, A., et al (2014). Branch-and-price and constraint programming for solving a real-life technician dispatching problem. European Journal of Operational Research Vol. 7 Issue 7 (pp. 303-304)

cliente de ese camino. El tiempo de llegada a cada domicilio está dado por w_{i_l} , variable que representa la hora del día en que comienza la atención de un cliente en una determinada secuencia de atención. Esta variable se define como $w_{i_l} = w_{i_{l-1}} + s_{i_{l-1}} + t_{i_{l-1}}$, donde s_{i_l} es el tiempo de servicio esperado en resolver la incidencia en un punto de la ruta y t_{i_l} corresponde el tiempo de viaje al cliente actual. De esta forma, la hora en que se inicia la atención de un cliente en una ruta, depende de la hora de inicio y tiempo de servicio esperado del cliente anterior más un tiempo de transporte al cliente actual. Una violación a la ventana de tiempo está dada por $d_{i_l} = \max(0, w_{i_l} - b_{i_l})$. Donde b_i es el tiempo máximo de la ventana de tiempo existente para atender al cliente, es decir, el plazo que tiene la firma para comenzar su atención en ese punto de la ruta, adicionalmente se define $d_{i_1} = w_{i_1} = 0$.

En la formulación original de este problema, se ha considerado que el costo de una ruta está descrito por: $c_r = \beta \sum_{l=2}^e d_{i_l} + (1 - \beta) \sum_{l=2}^e t_{i_l, i_{l+1}}$. Esto significa que dicho costo es una combinación lineal entre la suma de las violaciones de tiempo acumuladas en la ruta y los tiempos de viajes entre cada nodo. Esta definición busca forzar la selección de rutas que no sean costosas de recorrer en términos de tiempo, y que a su vez garanticen la satisfacción de requerimientos dentro de la ventana de tiempo correspondiente. Se define una variable binaria θ_r que indica si la ruta $r \in R$ debe ser elegida o no y un parametro binario a_{ir} que indica si el punto de ruta i pertenece a la ruta r . Junto con esto, se incluye una variable binaria adicional, v_i igual a uno si el punto de ruta i no ha sido incluido en ninguna ruta, incurriendo en una penalización P .

2.3 Problema Maestro

El problema maestro del modelo de ruteo de vehículos corresponde a la siguiente formulación matemática.

$$\min_{\theta, v} \sum_{r \in R} c_r \theta_r + \sum_{i \in I_1, I_2} P_i v_i \quad (2.1)$$

$$s. t \sum_{r \in R} a_{ir} \theta_r + v_i \geq 1 \quad i \in I_1 \cup I_2 \quad (2.2)$$

$$\theta_r \in \{0,1\} \quad r \in R \quad (2.3)$$

$$v_i \in \{0,1\} \quad i \in I_1 \cup I_2 \quad (2.4)$$

En esta se garantiza la inexistencia de rutas dentro del conjunto de rutas R . Para ese caso $v_i = 1, \forall i \in I_1 \cup I_2$, esto es equivalente a imponer que ningún cliente es atendido y por ende se debe pagar la penalización P para todos los requerimientos del día. Para resolver este problema de optimización se debe inicializar su resolución mediante un conjunto de rutas vacío y luego generar caminos de atención factibles a través de un modelo secundario que es descrito a continuación.

2.4 Generación de Rutas Factibles

Dado un conjunto R de columnas asociadas a la solución óptima de la relajación lineal del problema maestro presentado. Una columna r , que no pertenece a R , tiene el potencial de mejorar la solución objetivo si tiene un costo reducido negativo. El costo reducido de una columna está definido como el costo de la ruta c_r , menos la suma de las variables duales asociadas a la restricción (2.2) del problema maestro presentado anteriormente.

$$\sum_{r \in R} a_{ir} \theta_{ir} + v_i \geq 1. \quad (2.2)$$

Para resolver el problema completo, en cada iteración, el sub-problema identifica una ruta con un mínimo costo reducido, luego se resuelve el problema maestro sobre el conjunto actual de columnas usando el método simplex y se obtienen valores para las variables duales correspondientes a la solución actual. El sub-problema genera una nueva ruta al minimizar el costo c_r menos la suma de las variables duales de la solución actual. Este problema se resuelve sobre un conjunto de restricciones que permiten asegurar que la ruta generada sea factible. Si el costo reducido generado es negativo se incluye como una ruta factible. Una columna puede ser incluida en la base del problema maestro para mejorar la función objetivo en el modelo principal.

En el modelo secundario, la ruta que es generada se representa por un arreglo de variables $sc[l]$, $l = 1 \dots L$. Donde L es el máximo número de requerimientos que un técnico puede satisfacer durante cada día. Por ejemplo: $sc[1] = 23$ indica que el cliente 23 está siendo atendido como primera parada de esta ruta. La ruta debe comenzar en una posición inicial, en este caso una oficina de la compañía proveedora o un centro de despacho de vehículos correspondiente a la zona donde se necesita resolver un requerimiento de atención. Esta oficina se encuentra en el conjunto de nodos I_1 . Junto con esto, la ruta debe contener al menos un requerimiento del conjunto de clientes a atender I_2 . Cada posición en la ruta que no está cubierta por un requerimiento del conjunto de clientes a atender debe utilizar un nodo del conjunto de nodos ficticios I_3 que son agregados a este problema solo con el propósito de facilitar el modelamiento. El número máximo de nodos ficticios que pueden estar incluidos en una ruta es $L - 2$. Se define el conjunto de nodos ficticios como $I_3 = \{C + 1, \dots, C + L - 2\}$, donde C es la cardinalidad del conjunto $I_1 \cup I_2$. El dominio de la variable $sc[l]$ es está fijado al conjunto $I_1 \cup I_2 \cup I_3$.

Las variables $w[l]$ y $d[l]$ definen el tiempo de comienzo del servicio y la violación a la ventana de tiempo respectivamente para los requerimientos en posiciones $l = 1 \dots L$. La variable $a[i]$, $i \in I_1 \cup I_2 \cup I_3$ toma el valor de uno si el requerimiento i es servido en la ruta o cero en caso contrario.

El sub-problema utilizado para la generación de rutas factibles se presenta a continuación.

$$\min_{d,sc,t} \beta \sum_{l=1}^L d[l] + (1 - \beta) \sum_{l=1}^L t_{sc[l-1],sc[l]} - \sum_{l=1}^L \alpha_{sc[l]} \quad (2.5)$$

$$\text{s.t. } w[1] = 0 \quad (2.6)$$

$$w[l] = w[l - 1] + s_{sc[l-1]} + t_{sc[l-1],sc[l]}, \quad \forall l = 2 \dots L \quad (2.7)$$

$$d[l] = \max(0, w[l] - b_{sc[l]}) \quad (2.8)$$

$$\text{all different}(sc) \quad (2.9)$$

$$sc[l] \in I_1, l = 1 \quad (2.10)$$

$$sc[l] \in I_2, l = 2 \quad (2.11)$$

$$sc[l] \in I_2 \cup I_3, \quad \forall l = 3 \dots L \quad (2.12)$$

$$sc[l] = i \in I_3 \rightarrow sc[l + 1] = i + 1, \quad \forall l = 3 \dots L \quad (2.13)$$

$$a[sc[l]] = 1, \quad \forall l = 1 \dots L \quad (2.14)$$

$$\sum_{i \in I_1 \cup I_2 \cup I_3} a[i] = L \quad (2.15)$$

Adicionalmente existen dos restricciones que los autores agregaron para para mejorar los tiempos de resolución del problema.

$$sc[l] > \text{first}(I_3) \rightarrow sc[l - 1] = sc[l] - 1 \quad (2.16)$$

$$sc[l] \leq \text{first}(I_3) \rightarrow sc[l - 1] < \text{first}(I_3) \quad (2.17)$$

La función objetivo del sub-problema minimiza la combinación lineal de la suma de las violaciones a cada ventana de tiempo y los tiempos de viaje, este es considerado como el costo real de la ruta, a su vez se le restan variables duales del problema primal.

La restricción (2.6) asegura que el comienzo de la ruta esté asociado con el comienzo del día y (2.7) fija el tiempo de inicio del siguiente requerimiento en el trayecto. La restricción (2.8) define una violación a la ventana de tiempo, siendo $b_{sc[l]}$ un parámetro que indica que el tiempo máximo en que debe ser satisfecho el requerimiento en $sc[l]$. (2.9) Es un tipo de restricción lógica que impone que todos los puntos de rutas deben ser diferentes, esto es, que no se pueden visitar dos veces el mismo nodo. La siguiente restricción impone que la primera parada de la ruta sea un nodo perteneciente al conjunto I_1 de nodos iniciales y (2.11) obliga a que la primera visita del técnico sea un

requerimiento de un cliente. (2.12) restringe a las siguientes posiciones de la ruta a ser o bien un requerimiento, o bien un nodo ficticio. Mediante (2.13) es posible asegurar que si la posición l es utilizada por un nodo ficticio, entonces el siguiente nodo visitado será también un nodo ficticio. Finalmente, las restricciones (2.14) y (2.15) establecen restricciones lógicas para relacionar las variables sc y a . Esta última, utilizada en el proceso de generación de columnas.

2.5 Diseño de Flota.

El número de técnicos, vehículos y equipamiento necesario para atender la demanda diaria tiene directa incidencia en la calidad del servicio entregado y en la definición de costos por proveerlo. Determinar cuál es tamaño de la inversión que debe enfrentar la firma para satisfacer la demanda, es un aspecto del problema que debe ser revisado previo a la resolución de los objetivos de esta investigación pues el número de técnicos disponibles para cubrir las rutas de atención es un parámetro necesario para evaluar el impacto que tiene la política de priorización.

Dicha problemática de asignación de recursos ya ha sido abordada por Cortés, Geandreau, Leng y Weintraub⁵. Estos autores realizaron un estudio basado en simulaciones para determinar el tamaño óptimo de la flota requerida para proveer la asistencia técnica. La metodología utilizada en este estudio consiste en determinar la homogeneidad de la demanda para los diferentes meses y diferentes días de la semana. También ajustaron la distribución de llamados telefónicos de los clientes dentro de cada día y la duración del tiempo de servicio completando con esto la información necesaria para realizar simulaciones de instancias semanales de atención a clientes. Los resultados de las simulaciones, para los diferentes meses, determinan diferentes curvas de rendimiento, considerando costos y calidad de servicio tomando como indicador principal la violación de las ventanas de tiempo. En la aplicación de dicho estudio se utilizaron las curvas de rendimiento para establecer diferentes políticas de contratación de personal, las cuales se hacen cargo de la variabilidad de la demanda durante el día, durante la semana y durante todo el año.

No es el objetivo de esta investigación determinar el tamaño óptimo de la inversión que debe realizarse para efectos de enfrentar la demanda por requerimientos. Pese a esto, es necesario estudiar la política de priorización asumiendo un nivel de capacidad logística determinada. Si el servicio presentado tiene la cantidad de recursos para resolver sin problema todos los requerimientos de servicio, no tiene sentido desarrollar un modelo de priorización de clientes, pues este solo se hace útil cuando los recursos disponibles fuerzan al proveedor a seleccionar de forma inteligente los requerimientos de atención que realizará durante el día. Por esta razón, en las secciones siguientes se presenta una caracterización del número de técnicos requeridos para satisfacer la demanda diaria por requerimientos durante un mes de atenciones y en base a esto se

⁵ CORTÉS, C, WEINTRAUB, A, et al (2010). A simulation-based approach for fleet design in a technician dispatch problem with stochastic demand. Journal of Operational Research Society. Vol. 62. 1510-1523

justifica un nivel de capacidad con el cual se evaluará el impacto de la política de priorización de clientes.

2.6 Implementación del Modelo

La implementación del modelo documentado sirve como base para la simulación de instancias de atención suponiendo que el planificador tiene información perfecta sobre la demanda que enfrenta diariamente. Este modelo fue programado en AMPL y resuelto utilizando *CPLEX 12.8.0.0* para el problema maestro y *ilogcp 12.7.1* para la resolución del sub-problema.

Con el propósito de ilustrar los resultados obtenidos mediante su implementación, se adjunta en la sección *Anexos* un esquema que ejemplifica la resolución de una instancia de prueba compuesta por 15 requerimientos de servicio. Para las secciones que siguen, se ha asumido que el tiempo de viaje es constante e igual a 30 minutos entre cada nodo y dado que se han considerado exclusivamente instancias diarias de atención, se asume que el largo máximo de la ventana de tiempo disponible para resolver cada requerimiento es homogéneo e igual a 8 horas para todos los clientes. Fuera de los cambios mencionados, se han conservado todas las restricciones de la formulación original. La implementación del algoritmo de generación de columna fue probada en un computador Intel I5-4430 CPU 3.00 GHz, 8 Gb RAM.

3 Modelo de Priorización de Clientes

3.1 Descripción General

El modelo de priorización de requerimientos propuesto para el caso estudiado se basa en la introducción de una penalización ejercida en contra de la firma por cada requerimiento que no es atendido durante el día en que es solicitada la atención técnica. La identificación de este valor para cada cliente permite priorizar la atención entre aquellos que requieren ser atendidos durante el mismo día en que demandan la asistencia, y entre los cuales existe un grado de holgura para recibir la atención y pueden ser atendidos con mayor flexibilidad de forma posterior. Junto con esto, permite desprender políticas de atención de requerimientos de tal forma de disminuir la necesidad de recursos requeridos por parte de la compañía para proveer la asistencia.

La penalización referida se incluye en la función objetivo del problema de optimización presentado en la sección previa. Como se ha explicado, en dicha planificación es deseable minimizar el costo total de las rutas a recorrer a partir de un conjunto factible generado previamente. De acuerdo con la documentación de este modelo, existe una penalización asociada cuando un cliente no está incluido en ninguna de las rutas que son seleccionadas al resolver este problema, este valor se muestra en la siguiente formulación.

$$\min_{\theta, v} \sum_{r \in R} c_r \theta_r + \sum_{i \in I_1, I_2} P_i v_i \quad (3.1)$$

Donde,

c_r : Costo de recorrer la ruta r .

P_i : Penalización asociada al no atender al cliente i .

Como se podrá ver, el número efectivo de requerimientos atendidos durante un día de trabajo depende del valor que el planificador asigne a la penalización P_i . En principio, dicha penalización representa un costo productivo general, que trata de capturar la pérdida del cliente debido a que no recibe la asistencia a tiempo. Pese a esto, dicho valor tiene potencialmente múltiples interpretaciones. Por ejemplo, podría estar asociado a una componente subjetiva proveniente de la valoración que el cliente tiene por el servicio, o bien, representar la importancia que este le asigna al equipamiento instalado, o también representar la existencia de distintos grados de urgencia por recibir el servicio o ser una combinación de todas estas. Como se puede ver, depende de la interpretación que se haga sobre este parámetro, el modo o tipo de priorización que se incluirá en la planificación diaria. Pese a esto, como regla general se tiene que mientras mayor es el valor de la penalización asociada, menor espacio tiene el planificador para no incorporar el requerimiento dentro de las rutas de servicio a resolver durante cierto día

y por ende este será incluido. La existencia de heterogeneidad en las penalizaciones asociadas a cada requerimiento será la base para la selección inteligente de una cartera prioritaria de atención.

Otro aspecto que es importante mencionar, es que el planificador busca minimizar, por un lado, el tiempo en horas destinado a la cobertura de requerimientos técnicos y por otro, el costo del cliente. Esto deriva en una planificación de operaciones que pretende incorporar ambas partes en la planificación diaria del servicio. De esta forma, también se hace relevante conocer cuál es la importancia que tiene para la firma el costo del cliente cuando no recibe la asistencia.

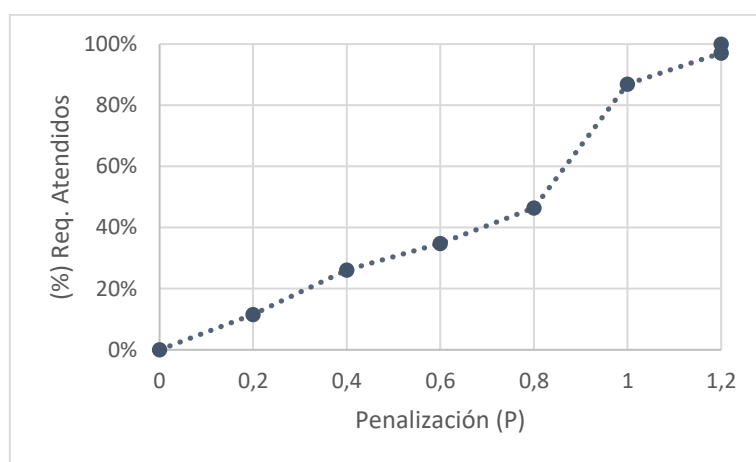


Figura 1. %. Promedio requerimientos diarios atendidos respecto a penalización

Tal como se observa en esta figura, la penalización afecta directamente al porcentaje de la demanda diaria cubierta por la firma. Para elaborar este gráfico se han tomado un conjunto de 21 instancias diarias de atención y se han resuelto utilizando el modelo de ruteo de vehículos documentado. Se ha asignado y variado el valor de este parámetro de forma homogénea entre los clientes. Pese a que en la práctica este valor se distribuye de forma heterogénea, el ejercicio sirve para mostrar cómo, a medida que aumenta la penalización asociada a los requerimientos de servicio, la firma debe aumentar el número de requerimientos a resolver durante el día y tiene mayor capacidad para flexibilizar requerimientos cuando ocurre el caso contrario. En ese caso, la cantidad de recursos expresado principalmente en dotación de técnicos, vehículos y equipamiento, a disponer puede ser significativamente menor. Si la firma es capaz de incorporar la inteligencia necesaria para identificar, interpretar y cuantificar el costo de los clientes al no recibir la asistencia, podrá flexibilizar la atención que provee diariamente. Esto último tendrá un impacto directo en su rendimiento operacional.

Como se ha mencionado, en la práctica el costo o penalización asociado a cada cliente no distribuye de forma homogénea en la población. Por esta razón se hace

necesario modelar este parámetro suponiendo que existen diferencias observables entre los clientes y que a su vez el planificador es capaz de observar dichas diferencias y planificar la atención en torno a ellas. Para desarrollar la priorización de clientes en torno a esta idea, se han desarrollado dos estrategias que permiten describir el comportamiento de este sistema cuando la resolución de requerimientos se basa en el modelo de ruteo de vehículos descrito. La primera consiste en asumir que existe una distribución de probabilidad que caracteriza la penalización asociada al conjunto de requerimientos y que dicha distribución puede ser conocida mediante alguna técnica de recolección de datos. Mediante la incorporación de esta técnica, la firma puede simular la resolución de múltiples instancias de atención condicional a que conoce el valor del parámetro P_i en cada una de ellas. Esto no solo permite estimar el efecto esperado de la inclusión de esta política en ciertos indicadores globales de servicio. También ayuda a caracterizar los escenarios donde obtendrá mayor rentabilidad al priorizar requerimientos y entorno a ellos desprender ciertas acciones que le permitirán mejorar el servicio que provee a sus clientes.

La segunda estrategia consiste en la utilización de información específica de sus clientes para aproximar bajo ciertos supuestos, el valor asociado a la penalización de cada requerimiento de servicio. Para lograr esto el planificador requiere de cierto conocimiento específico del comportamiento de sus clientes. Esto pues busca identificar información relevante y de fácil acceso para la firma que pueda ser utilizada para la aproximación de este valor. Si bien ambos enfoques permiten la identificación de los casos en que conviene resolver un requerimiento de atención de los que no, la principal diferencia entre ambos es que uno corresponde a un modelamiento estadístico del valor de la penalización, realizado para caracterizar la implementación de la política y en el segundo caso se busca establecer qué tipo de información puede ser utilizada para aproximar este valor en la práctica. La naturaleza de la información de los clientes que se incorpore para aproximar la penalización asociada incidirá fuertemente en el tipo de priorización que se obtendrá como resultado. Este aspecto será abordado en las conclusiones de este trabajo.

A continuación, se desarrollan ambas estrategias de priorización de requerimientos. El objetivo de las secciones siguientes es mostrar de qué forma pueden ser incorporadas ambas estrategias del tal modo de estudiar el efecto de la política de priorización de clientes sobre el servicio estudiado.

3.2 Modelamiento estadístico del costo de no atender.

Para estudiar el efecto de la política de priorización de requerimientos, bastaría considerar que existe una distribución de probabilidad que caracteriza la penalización asociada al requerimiento o costo de los clientes y que dicha distribución es conocida por el servicio técnico. Como se ha explicado, mediante la incorporación de esta técnica, la firma puede simular la resolución de múltiples instancias de atención condicional a que conoce el valor del parámetro P_i en cada una de ellas. De esta forma, puede estimar el

valor esperado de ciertos indicadores de servicio y conocer si es conveniente aplicar esta política a sus clientes.

Para el caso concreto de esta investigación, no se tienen datos que permitan ajustar dicha información a una distribución de probabilidad. Pese a esto, se puede caracterizar el sistema compuesto por la firma y sus clientes, asumiendo una distribución de probabilidad y estableciendo ciertos supuestos sobre sus parámetros de tal forma de caracterizar escenarios a los que puede verse enfrentada la firma. Una aproximación natural sería asumir que dicho parámetro sigue una distribución normal. Esta distribución es frecuentemente utilizada para el modelamiento estadístico de variables⁶. Pese a esto, la penalización de requerimientos es una variable positiva⁷, razón por la cual se ha optado por la utilización de una distribución log-normal. Esta es flexible, y resulta útil para modelar datos en el dominio requerido para este caso, además, sus parámetros conservan la interpretación original de la distribución normal.

De esta forma, la penalización asociada a la no provisión del servicio se representa como:

$$P \sim \text{LogNormal}(\mu, \sigma) \quad (3.2)$$

El parámetro σ es de principal interés, pues mediante este es posible describir la variabilidad existente en la penalización. Mayor variabilidad, podría significar mayor flexibilidad para priorizar requerimientos, siendo esperable que mientras mayor sea este parámetro, mayor sea la capacidad que tendrá la firma para priorizar a sus clientes.

La penalización asociada ha sido introducida en la función objetivo del problema (3.1) como:

$$P_i \approx \alpha P \quad (3.3)$$

De forma adicional, se ha incluido un segundo parámetro, α , el cual se utiliza por dos razones: En primer lugar, porque que sirve para convertir el valor asociado a la penalización en unidades comparables con el primer término del problema de optimización. De (3.1) se tiene que dicho término, compuesto por $\sum_{r \in R} c_r \theta_r$, está medido en horas y representa el tiempo que la firma destina a resolver requerimientos en las rutas de servicio seleccionadas. Por ende $P_i \approx \alpha P$ es una medida que debe representar

⁶ Henrion, R (2014). Optimization problems with probabilistic constraints. Obtenido de: <https://stoprog.org/sites/default/files/tutorials/SP04/Henrion.pdf>

⁷ Es decir: $\Pr(X \geq 0) = 1$

el tiempo del cliente en horas. Por otro lado, α también representa la importancia relativa que la firma asigna al tiempo del cliente. En principio, se considera una situación en que la firma valora de igual forma una hora de su tiempo que una hora de sus clientes, pudiendo no ser necesariamente el caso y directo de asumir, especialmente cuando existe poca información respecto del tipo de actividad de los clientes o el uso que le dan al activo. Si la firma sabe que los clientes utilizan de forma constante el equipamiento instalado y es muy caro para ellos prescindir del servicio, entonces podría ser razonable establecer como supuesto que una hora de operaciones de la firma tiene el mismo valor que una hora productiva del cliente. Ahora bien, si el equipamiento no tiene tanto valor para los ellos o distribuye de forma heterogénea en la población, este supuesto debe modificarse. En términos generales, mientras mayor es la importancia que asigna la firma al tiempo del cliente, mayor es el número de requerimientos que deben ser atendidos por esta. Para efectos de esta investigación, se han asignado valores uniformes en este parámetro. En la práctica, es esperable que este varíe de cierta forma en la población, por ejemplo, en el caso de que la firma identificara que existen segmentos de clientes con mayor uso del equipamiento que otros o bien que arbitrariamente se decidiera aumentar este parámetro a cierto grupo de clientes identificado externamente como prioritario. Dicho análisis escapa de los objetivos centrales del modelo y se deja propuesto para futuros trabajos que puedan mejorar los resultados obtenidos.

3.3 Priorización de requerimientos mediante el uso de información específica.

La segunda estrategia propuesta para evaluar la política de priorización consiste en la introducción de información específica de los clientes para aproximar un valor de la penalización asociada. Una ventaja importante de esta estrategia es que mediante ella es posible utilizar información de los clientes, fácilmente obtenible por la firma, para anticipar el costo de no resolver un requerimiento. Pese a esta ventaja, requiere de la utilización de supuestos generales que podrían afectar la calidad del servicio para cierto grupo de ellos, especialmente si estos no se cumplen o están equivocados.

A continuación, se presenta una implementación de esta estrategia que permite utilizar el número de páginas impresas e impresoras de cada cliente para aproximar una penalización asociada a cada requerimiento:

Se considera en primer lugar, que los clientes de la firma operan c_i servidores de impresión. Cada uno de ellos procesa un número determinado de trabajos en los que demoran un tiempo exponencialmente distribuido con media $1/\mu$. Se asume que internamente existe una llegada de trabajos descrita por un proceso de Poisson con tasa λ . Dicha estructura constituye un proceso de nacimiento y muerte, en el que se describe $\rho = \frac{\lambda}{c\mu}$ como la utilización de los servidores de cada cliente, la cual representa la proporción media del tiempo en que cada servidor se encuentra ocupado, siendo necesario que $\rho < 1$, para que la cola de trabajos de impresión sea estable.



Figura 2. Cadena de Márkov Asociada

Bajo este planteamiento, los clientes de la firma perciben un costo productivo cada vez que ocurre un desperfecto técnico pues pasan de tener c_i servidores activos a $c_i - 1$. Este costo puede describirse utilizando algún indicador entregado por la formulación clásica de un sistema M/M/c como el descrito. En particular es útil aquel que mide la probabilidad de espera del cliente dada cierta capacidad instalada y nivel de utilización del activo. Como se verá, este indicador es especialmente útil pues con solo dos parámetros, permite calcular la probabilidad de que el cliente deba esperar para utilizar el equipamiento instalado debido a que sus servidores se encuentran ocupados procesando trabajos.

La probabilidad de que un trabajo entrante se vea forzado a esperar para ingresar al sistema debido a que todos los servidores se encuentran ocupados es la siguiente.

$$C(\rho, c) = \frac{1}{1 + (1-\rho) \left(\frac{c!}{(c\rho)^c} \sum_{k=0}^{c-1} \frac{(c\rho)^k}{k!}\right)} \quad (3.4)$$

A modo de ejemplo: Si un cliente tiene 10 servidores y una tasa de utilización de 80%: Tiene probabilidad de espera de un 40,9%. Si falla un servidor (y por ende realiza un requerimiento de atención) su probabilidad de espera incrementa a un 43,9% ($\Delta = 3\%$). Mientras mayor es la capacidad instalada mayor capacidad existe para enfrentar una incidencia técnica. Esto porque si tiene la mitad de los servidores y el mismo porcentaje de utilización, al enfrentar una incidencia su probabilidad aumenta de 55,4% a 59,6% ($\Delta = 4,2\%$).

A continuación, se muestra el cambio en la probabilidad de espera debido a cambios en el número de servidores.

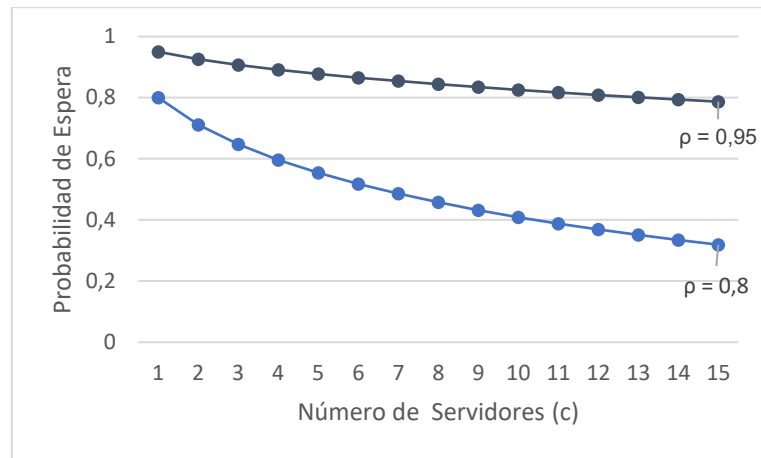


Figura 3. Probabilidad de espera respecto a número de servidores. (ρ cte.)

Tal como se observa, aquellos clientes con un mayor número de servidores, o baja utilización del activo, tendrán asociada menor probabilidad de espera y por ende debiesen ser menos prioritarios al momento de planificar la provisión del servicio. Como resultado de la implementación de este modelo, se optaría por dar mayor prioridad a aquellos clientes con menor capacidad de reemplazo, pues de acuerdo con este planteamiento, tendrían mayor pérdida cuando ocurre una falla en los servidores de impresión. De la misma forma que el caso anterior, el costo asociado a lo no provisión del servicio ha sido introducido en la función objetivo del problema de optimización como:

$$P_i \approx \alpha C(\rho, c) \quad (3.5)$$

Donde $C(\rho, c)$ corresponde a la probabilidad (interna del cliente), de tener que esperar para ocupar una impresora. Cabe destacar que también existe un modelamiento análogo dado por:

$$P_i \approx \alpha [C(\rho, c) - C(\rho, c - 1)] \quad (3.6)$$

Este a su vez representa la pérdida de capacidad productiva del cliente dado que ha perdido un servidor de impresión. Ambas formas sirven para asignar prioridad a los clientes con baja capacidad de reemplazo, pues un valor alto de (3.6) implica justamente que un cliente posee pocas impresoras o que hace un uso intensivo de estas. Por simplicidad se ha trabajado únicamente con el modelamiento propuesto en (3.5). En este también se ha incluido α , que al igual que en el caso anterior, se utiliza para transformar el valor de dado por $C(\rho, c)$ en unidades comparables con el primer término del problema (3.1). Esto pues se está minimizando de forma global el tiempo del servicio y el tiempo del cliente y en este caso se han mantenido los supuestos explicados para la estrategia anterior.

4 Análisis de Datos

4.1 Descripción General

La empresa de servicios estudiada atiende requerimientos dentro de las principales ciudades de Chile, siendo la región metropolitana la zona geográfica donde se concentra la mayor parte del volumen de despachos de atención a clientes. Para hacer frente a la demanda por requerimientos de servicio, la firma ha optado por hacer una subdivisión de la ciudad en dos macrozonas de atención desde donde despachan vehículos para responder a su demanda diaria. Ambas zonas se encuentran resaltadas dentro de la línea poligonal en la siguiente figura.

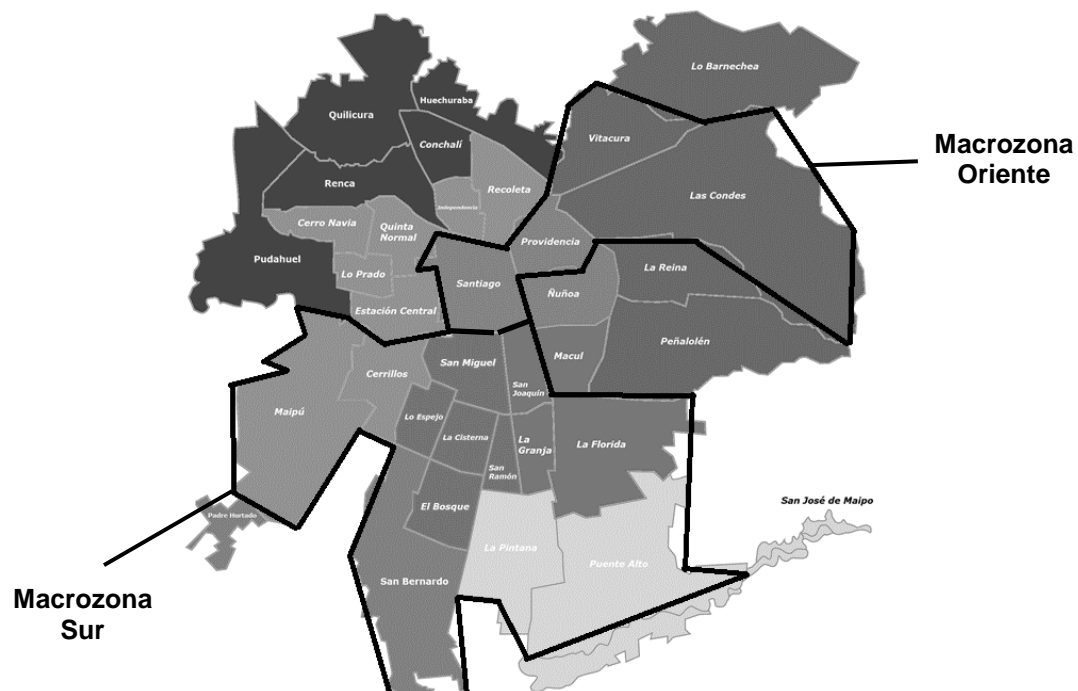


Figura 4. Macrozonas de atención de clientes. Región Metropolitana, Chile.

Cada macrozona funciona de forma independiente y en cada una de ellas se localiza un centro de despacho de vehículos los cuales responden a requerimientos de clientes ubicados en distintas comunas de la ciudad. A continuación, se muestra la importancia relativa de cada una de las comunas donde opera el servicio medido a través del número de requerimientos anuales y diarios producidos en cada una de las subdivisiones de la ciudad.

Macrozona	Comuna	Requerimientos Anuales	Requerimientos Diarios
Oriente	Santiago	36.776	141,45
	Providencia	14.996	57,70
	Las Condes	11.950	45,97
	Ñuñoa	4.035	15,52
	Vitacura	3.092	11,89
	Total	70.849	272,53

Macrozona	Comuna	Requerimientos Anuales	Requerimientos Diarios
Sur	Maipú	1.638	6,30
	Cerrillos	1.292	4,97
	Lo Espejo	135	0,52
	Peñalolén	382	1,47
	La Cisterna	291	1,12
	San Ramón	115	0,44
	La Granja	108	0,42
	La Florida	1.594	6,13
	El Bosque	390	1,50
	La Pintana	117	0,45
	Puente Alto	1.059	4,07
	Pirque	79	0,30
	Peñaflor	114	0,44
	El Monte	61	0,23
	Talagante	214	0,82
	Isla de Maipo	37	0,14
	C. de Tango	122	0,47
	San Bernardo	1.580	6,08
	Buín	326	1,25
	Paine	103	0,40
Peñaflor	177	0,68	
Total	9.934	38,20	

Tabla 1. Requerimientos de Atención. Región Metropolitana, Chile.

Tal como se observa, el número de requerimientos anuales y diarios producidos en la macrozona oriente es en promedio 30 veces mayor a los ocurridos en la macrozona sur. Esto ocurre porque la cantidad de empresas (principal tipo de cliente que requiere del servicio ofrecido) que se ubican en las comunas de Santiago, Providencia y Las Condes, es significativamente mayor a las existentes en el sur de Santiago y por ende la cobertura que otorga el centro de despacho ubicado en esta zona de la ciudad es mayor.

Debido a la gran concentración de requerimientos registrados en este sector, se ha optado por acotar este estudio a un lugar específico del sector oriente. Para esto se ha elegido la comuna de Providencia por dos razones: En primer lugar, es una comuna que representa un 21,2% de la demanda ocurrida en la zona a la que pertenece, siendo de gran importancia para la compañía en términos del volumen de llamados que se resuelven en esta diariamente. En segundo lugar, porque el procedimiento utilizado para estudiar la política de priorización de clientes es replicable a otras comunas, y, por ende, la resolución de instancias de atención en una escala menor, no hacen perder generalidad a las conclusiones que puedan derivarse de las observaciones generadas en este lugar.

	Requerimientos Anuales	Clientes Totales
Providencia	14.996	1.344
Sector Oriente	70.849	4.167
Total (%)	21,2%	32,3%

Tabla 2. Requerimientos de servicio anuales y clientes totales.

4.2 Caracterización de la Demanda

Se dispone de un año de información histórica, la cual da cuenta de requerimientos efectuados en toda la región metropolitana, y en particular al interior de la comuna de Providencia. En esta se resuelven en promedio 53,6 requerimientos técnicos al día, siendo la más importante de su macrozona después de la comuna de Santiago. Los datos provistos por la firma capturan información que permiten caracterizar aspectos tales como el número de llamados atendidos al año⁸, el número de clientes que solicitan el servicio, la distribución del número de requerimientos por cliente, la distribución de llamadas por día de la semana y el tiempo de resolución de cada incidencia técnica entre otros datos generales. Estos se describen con el propósito de caracterizar la demanda que enfrenta el servicio técnico al interior de la comuna estudiada.

⁸ De acuerdo con los datos provistos por la firma, cada llamado representa a su vez un requerimiento de servicio resuelto.

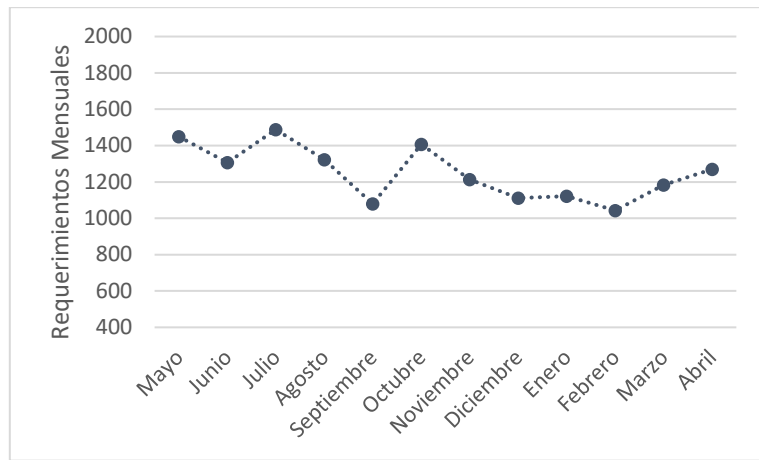


Figura 5. Demanda por requerimientos de servicio. Serie mensual. Providencia, Chile.

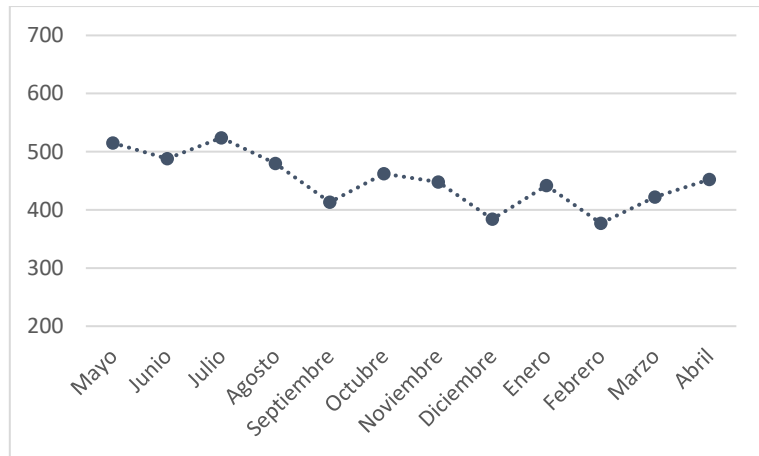


Figura 6. Número de clientes. Serie mensual. Providencia, Chile.

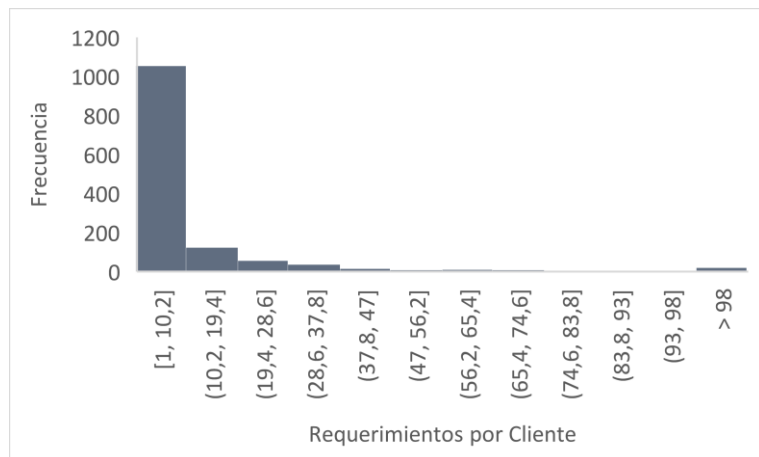


Figura 7. Número de requerimientos por cliente. Distribución anual. Providencia, Chile.

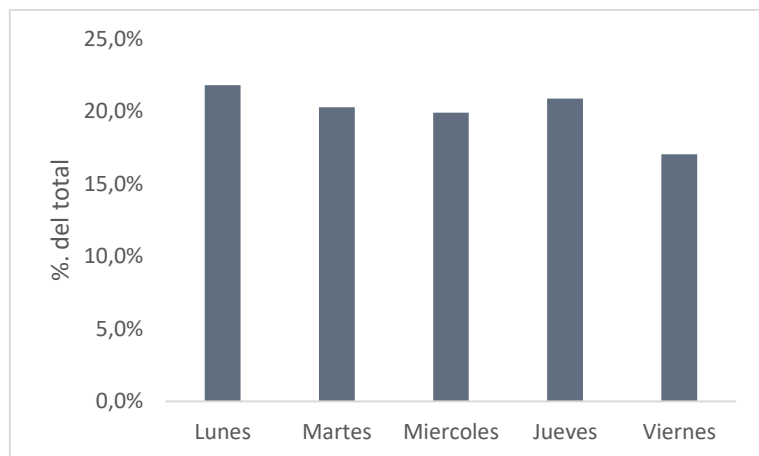


Figura 8. (%) Requerimientos de servicio, respecto al total. Providencia, Chile.

Día de la Semana	Requerimientos Promedio
Lunes	68,21
Martes	63,42
Miércoles	62,25
Jueves	65,25
Viernes	53,29

Tabla 3. Llamados promedio por día de la semana. Providencia, Chile.

Según los datos presentados, en la comuna de Providencia se efectuaron en promedio 1.250 requerimientos de atención mensuales con una desviación estándar de 142,36 requerimientos. Dado que solo se tiene un año de información estadística, no es posible concluir la existencia de alguna tendencia significativa al alza o a la baja, pese a esto, se puede observar que este número se mantuvo relativamente estable durante los 12 meses observados. Junto con lo anterior, se observa que el tamaño de la cartera de clientes de este servicio presenta una tendencia similar. Esto se explica pues el número de requerimientos realizados en promedio al mes por cada cliente es de 0,9, lo que indica que, con alta probabilidad, cada uno de ellos efectúa solo una solicitud de servicio al mes. Por ende, es de esperar que ambas series de tiempo sigan una tendencia similar. Por otra parte, se ha observado que no todos los días de atención al público son iguales. Se observa que, en promedio, el lunes es un día de alta demanda, ya que durante este se resuelve la mayor cantidad de requerimientos de la semana. Los martes, miércoles y jueves son relativamente similares en promedio y presentan una demanda ligeramente menor que el primer día de la semana. El viernes, se produce una caída importante en las atenciones probablemente debido a que los clientes prefieren esperar hasta la semana siguiente para efectuar un requerimiento de servicio.

Los datos presentados han sido utilizados como referencia para la selección de un conjunto de instancias diarias de atención. Estas fueron resueltas con el objetivo de evaluar el desempeño del modelo de priorización de clientes propuesto y obtener conclusiones generales a partir de los datos obtenidos. Con esta información se ha optado por utilizar como base el mes de abril, pues con 1.270 requerimientos representa una instancia muy cercana al promedio de atención mensual.

4.3 Instancias Diarias de Atención.

Cada instancia diaria de atención está compuesta por un conjunto de requerimientos de servicio que son resueltos mediante el modelo de ruteo de vehículos previamente documentado. En cada una de ellas se entrega la identificación del cliente que efectúa el llamado, su localización geográfica, el tiempo esperado en horas que tardará la resolución del problema, y una penalización si el cliente no es atendido. Se adjunta en la sección anexos una tabla que ilustra de qué forma se ha organizado la información provista en cada instancia diaria de atención.

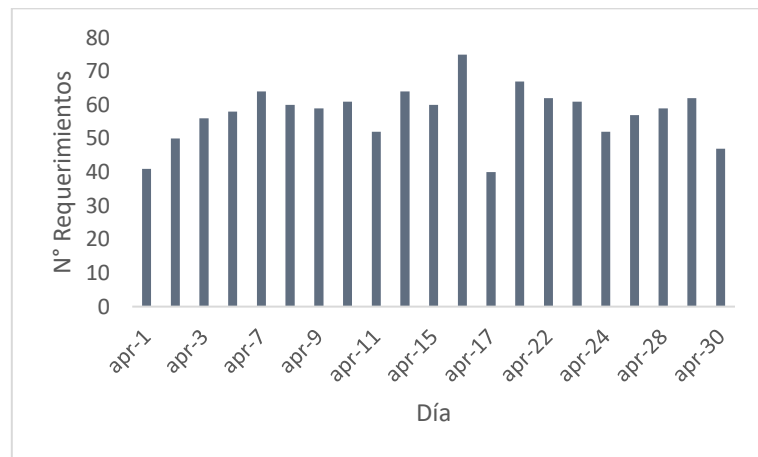


Figura 9. Demanda por requerimientos de servicio. 21 instancias diarias.

Percentiles	Requerimientos Diarios
Min	40
1° Cuartil	52
Mediana	59
Media	57,5
3° Cuartil	62
Max	75

Tabla 4 Requerimientos de servicio. Distribución 21 instancias diarias.

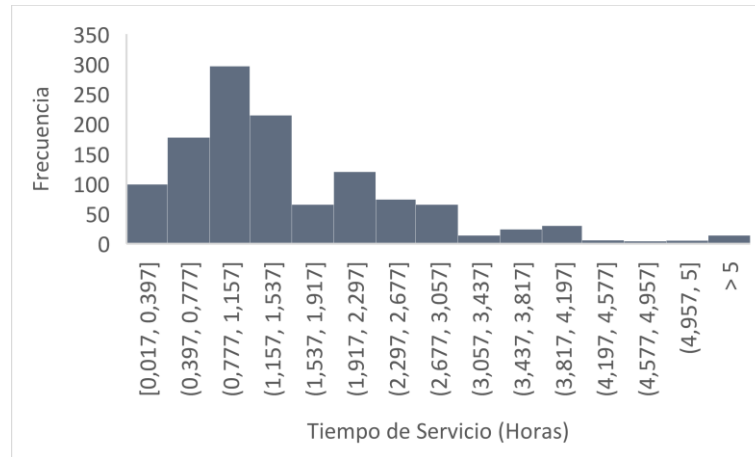


Figura 10. Distribución tiempo de servicio. 21 instancias diarias.

Cabe destacar que la demanda diaria por requerimientos presentada en la figura es de especial interés, puesta que en ella se observa claramente la variabilidad asociada al número de requerimientos que debe enfrentar el servicio estudiado. Los recursos que dispone la firma para atender a todos los clientes son limitados y por ende dicha variabilidad afecta a los indicadores de servicio de la firma. Los recursos disponibles permiten cumplir con la demanda solo durante ciertos días, pero en ciertas ocasiones, será necesario priorizar la atención de ciertos clientes, momento en que se hace necesario disponer de un modelo que permita seleccionar a quienes se le proveerá la asistencia técnica.

4.4 Costos Operativos

Los principales costos operativos de la firma estudiada están asociados a remuneraciones del personal y al mantenimiento del activo necesario para proveer la asistencia técnica. Para los ejercicios computacionales propuestos en la sección siguiente, se ha utilizado la siguiente tabla de costos operacionales. Dichos costos son referenciales y no representan valores reales provisto por la firma de servicio.

Ítem	Costo por hora
Costo por Distancia Recorrida	CLP\$3.333
Costo por Sobretiempo	CLP\$4.000
Costo por Tiempo Desocupado	CLP\$3.333
Total	CLP\$10.666
Costo Mensual	
Sueldo por Técnico	CLP\$600.000
Arriendo Automóviles	CLP\$600.000
Total	CLP\$1.200.000

Tabla 5. Costos Operacionales.

5 Resultados Obtenidos

En esta sección se proporcionan resultados de la implementación del modelo de priorización y la resolución del conjunto de instancias de atención caracterizadas previamente. Primero se ha realizado una estimación de la capacidad requerida por el servicio para enfrentar la demanda suponiendo que no se priorizan los requerimientos de atención, es decir, imponiendo una penalización alta para todos los requerimientos ejecutados. Luego se ha implementado el modelo descrito permitiendo caracterizar el efecto de la incorporación de esta política bajo ciertos supuestos que son especificados en cada caso.

5.1 Demanda Cubierta y Capacidad de Atención.

De los datos obtenidos a través de la resolución de las instancias de atención, es posible determinar la cantidad de recursos que son necesarios para enfrentar la demanda diaria por requerimientos y obtener el porcentaje de estos que será posible satisfacer de acuerdo con el nivel de recursos disponibles.

Cada instancia diaria ha sido resuelta utilizando como parámetros la identificación del cliente, su ubicación geográfica, el tiempo esperado que tardará la visita y la penalización asociada a no resolver el llamado requiriendo el servicio. Para la elaboración de esta curva se ha asignado una penalización alta y homogénea para todos los clientes. De este modo, en la resolución del problema de ruteo siempre es mejor solución atender un requerimiento que no atenderlo. Como puede desprenderse de la siguiente figura, los recursos disponibles para resolver cada solicitud de servicio, es decir, la cantidad mínima de vehículos y personal requerido para cubrir las rutas de atención que entrega como resultado el problema de ruteo de vehículos, determinan el porcentaje de la demanda que será cubierta.

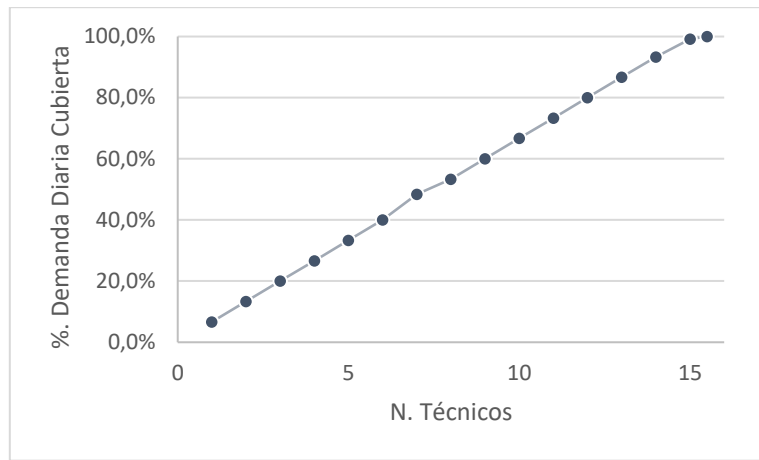


Figura 11. %. Demanda cubierta respecto al número de técnicos disponibles.

- En promedio 15 técnicos satisfacen el 99,2% de la demanda diaria por requerimientos. Cada técnico extra contratado aumenta 5,42% de cobertura de requerimientos recibidos⁹.

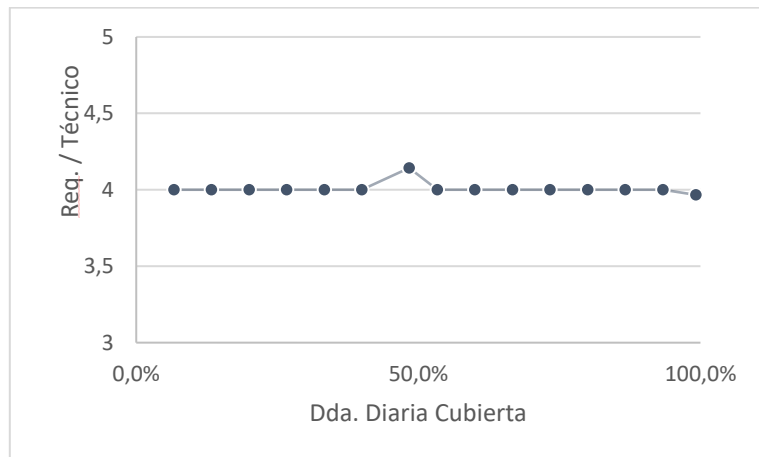


Figura 12. Relación entre demanda cubierta y número de técnicos.

- El aumento de la demanda diaria cubierta es proporcional al número de técnicos, por ende, el número de requerimientos resueltos por cada técnico al día se mantiene constante al aumentar la cobertura de servicio.

⁹ Las instancias han sido resueltas utilizando como parámetros $\alpha = 1$ y $P_i = 100$ en la función objetivo del problema de optimización (3.1).

El porcentaje de la demanda diaria cubierta es el cociente entre el número de requerimientos de servicios atendidos respecto del total recibido. Este es un valor promedio obtenido mediante la resolución de las 21 instancias diarias de atención correspondientes al mes de abril del conjunto de datos provistos. Como es posible verificar, si la firma dispone de una dotación de 15 técnicos, en promedio cubrirá un 99,18% de la demanda por requerimientos de atención efectuados en la zona de estudio. Bajo esta configuración, se puede implementar una política de priorización, pero es un escenario en que esta práctica pierde relevancia pues la firma estaría dotada de la capacidad para responder a la mayoría de las solicitudes de atención que se presentan diariamente. Se ha considerado plantear como base un escenario en que el proveedor del servicio no dispone de la cantidad de recursos suficientes para satisfacer toda la demanda. De esta forma, la incorporación esta política se vuelve especialmente relevante para la firma estudiada. De acuerdo con los resultados obtenidos, si se disponen de 12 técnicos en este sector, estos podrán cubrir en promedio un 78,69% de los requerimientos diarios y, por ende, se ha determinado esta situación como base para el análisis de la política de servicio estudiada. Como se abordará a continuación, la incorporación del modelo de priorización propuesto será útil para separar entre quienes requieren ser atendidos inmediatamente y entre aquellos que tienen un grado de holgura para esperar la entrega del servicio.

A continuación, se evalúa la incorporación de la política estudiada de acuerdo con las estrategias planteadas en la sección 3.2 y 3.3 elaboradas para este efecto.

5.2 Simulación de Instancias de Atención.

La primera estrategia utilizada para evaluar la política de priorización consiste en asumir que existe una distribución de probabilidad que caracteriza la penalización asociada al conjunto de requerimientos y que dicha distribución es conocida por el proveedor del servicio. Mediante su utilización es posible simular la resolución de múltiples instancias de atención condicional a que el planificador conoce el valor del parámetro P_i de todos sus clientes. Este ejercicio permite obtener indicadores globales de servicio promedios que son utilizados para evaluar la implementación de esta política. Como se ha explicado, el sistema compuesto por la firma y sus clientes ha sido caracterizado asumiendo una distribución de probabilidad y estableciendo supuestos sobre sus parámetros. A través de estos parámetros, es posible desprender ciertos escenarios a los que puede verse enfrentado el encargado de planificar la atención. Se ha optado por suponer que la penalización de los clientes sigue una distribución *log – normal*($0, \sigma$) y que es de especial interés observar el comportamiento del sistema cuando el servicio está expuesto a requerimientos con distintos grados de dispersión en la penalización estudiada, es decir, para distintos valores de σ . La simulación referida fue llevada a cabo asignando a todos los clientes del conjunto de datos, una realización del parámetro P_i . Luego cada instancia diaria quedó definida por un cliente, una ubicación geográfica, un tiempo de servicio esperado y una penalización asociada al requerimiento de cada cliente.

A continuación, se muestra la penalización promedio asignada a los clientes de la muestra de estudio bajo distintos valores del parámetro σ de la distribución.

$$\mu = 0$$

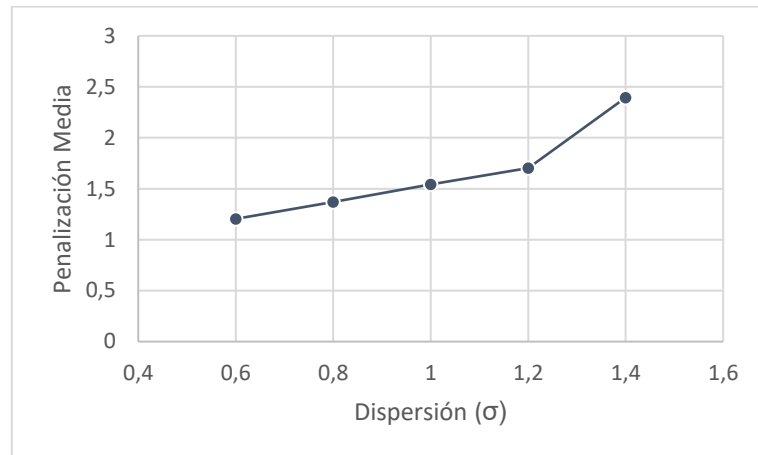


Figura 13. Relación entre penalización media y dispersión. (σ)

- El aumento en la dispersión de la distribución afecta en promedio la penalización de los clientes estudiados¹⁰.

Al variar positivamente σ , se está aumentando la dispersión en la penalización o costo por no resolver un requerimiento de atención. Esto significa que mientras mayor es el valor de este parámetro, mayor es la diferencia de las penalizaciones en el grupo de clientes y a su vez, mayor es el valor promedio de la penalización. Esto último es coherente con lo observado en la figura 13.

La resolución de las instancias generadas muestra que la asignación de un valor heterogéneo a la penalización (P_i), permite separar a los clientes en dos grupos: Uno compuesto por aquellos clientes que son prioritarios y deben ser atendidos inmediatamente y un segundo grupo compuesto por aquellos que son flexibilizados, y no serán atendidos de forma posterior. En las figuras siguientes, se puede observar que el algoritmo de ruteo opta por elegir sistemáticamente a los clientes con valores de penalización altos para incluirlos en las rutas de atención y que opta por flexibilizar la atención de clientes con penalización baja.

¹⁰ Esto ocurre pues si $X \sim \text{LogNorm}(\mu, \sigma)$, entonces $E(X) = e^{(\mu + \frac{\sigma^2}{2})}$.

$\mu=0$

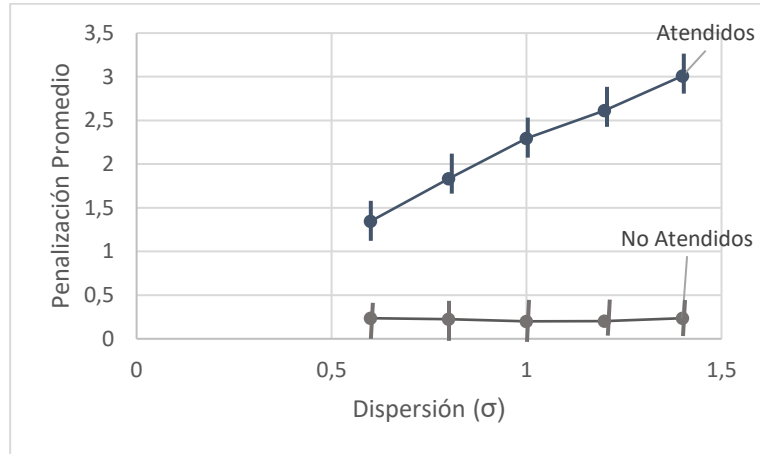


Figura 14. Penalización promedio al priorizar servicio. ($\alpha=1$)

- De las figuras presentadas, es posible observar que luego de aplicar el algoritmo de ruteo, se crean dos grupos de clientes diferenciados significativamente por la penalización asociada.

$\mu=0$

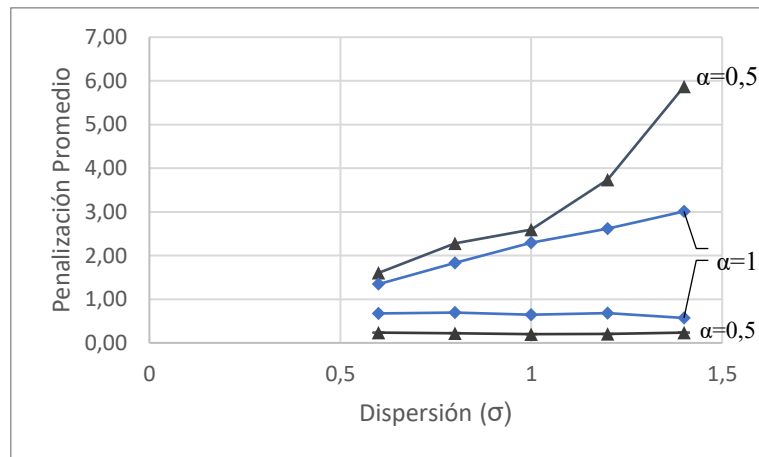


Figura 15. Penalización promedio al priorizar servicio. ($\alpha=1$ y $\alpha=0,5$)

- La diferencia en las penalizaciones promedio crece a medida que aumenta la dispersión de la distribución y se hace más significativa al variar el parámetro α .
- **Por ejemplo:** La penalización promedio del grupo de clientes priorizados cuando $\sigma=1$ y $\alpha=1$ es de 2,29 y la de los no atendidos de 0,65 respectivamente.

Ambas figuras muestran que al introducir una variable que distribuye de forma heterogénea en la población, se puede generar una separación entre dos grupos de clientes, siendo posible encontrar una diferencia significativa en entre ambos luego de finalizado el proceso de atención. En este caso el modelo opta consistentemente por servir a los clientes con mayor costo de no recibir la atención, por sobre de los de menor costo. Al aumentar la dispersión de la penalización estudiada, la separación entre ambos grupos también aumenta. Esto ocurre pues en ese caso, la diferencia entre las penalizaciones de los clientes y el valor promedio de esta es mayor, y por ende se identifican mayor número de requerimientos de alto costo que necesariamente deben ser atendidos. Además, en ambos casos es posible observar que el valor promedio de la penalización de los clientes que no son atendidos no depende de la dispersión de la distribución.

Se ha optado por sensibilizar respecto a la valorización que la firma asigna al tiempo del cliente. De acuerdo con el problema de optimización (3.1) Cuando $\alpha = 1$ se está dando como supuesto que una hora del cliente tiene el mismo valor que una hora de la firma (lo cual no necesariamente se cumple en la realidad). De acuerdo con la figura 15, cuando la firma subestima homogéneamente el valor del tiempo del cliente en un 50% con respecto al valor de su propio tiempo, la priorización realizada sobre los clientes se vuelve más eficiente pues la diferencia entre ambos grupos aumenta y, por ende, se garantiza la atención de requerimientos con alto costo asociado por sobre los de bajo costo. Una explicación de aquello está dada por el hecho de que la firma está implícitamente bajando la presión para atender inmediatamente a todos sus clientes, pues el valor de P_i disminuye un 50%, y de esta forma, aumenta la cantidad de consumidores que potencialmente puede flexibilizar. Mientras menor es la penalización promedio del grupo de clientes, mayor es la diferencia entre ambos grupos, y, por ende, se estará asegurando de que aquellos que son flexibilizados correspondan a clientes que tienen bajo costo por no recibir la atención inmediatamente.

El análisis anterior corresponde a una descripción del efecto de la política de priorización desde el lado de los clientes de la firma. Pese a esto, también existe un efecto cuantificable desde el lado de la firma que implementa esta política.

Este efecto se describe en las figuras 16 y 17 que se muestran a continuación.

$\mu = 0$

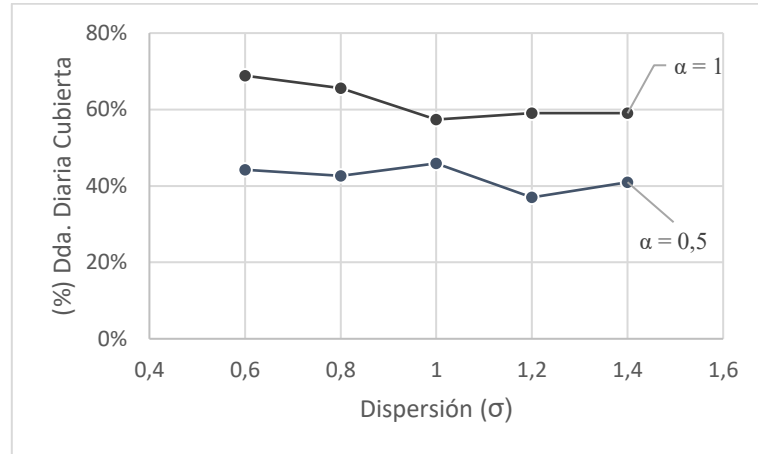


Figura 16. Relación entre %. demanda diaria cubierta y dispersión. (σ)

$\mu = 0$

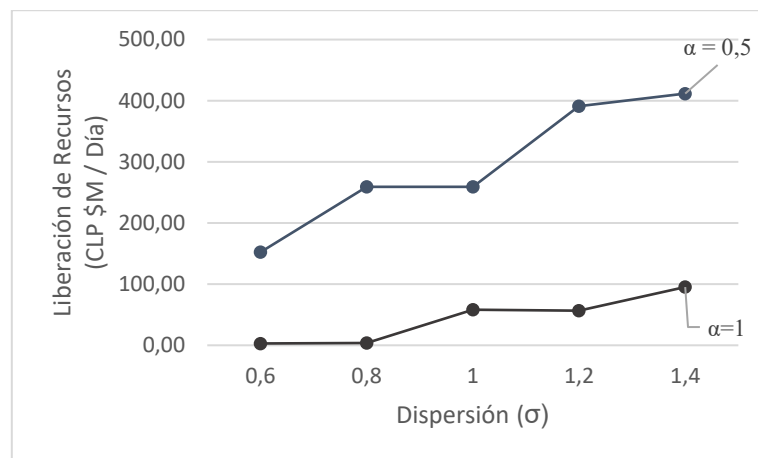


Figura 17. Ahorro por liberación de recursos y dispersión. (σ)

- El principal beneficio económico identificado como parte de la política de priorización, corresponde a la liberación de recursos asociados al costo de proveer la asistencia técnica. Dicho valor puede ser estimado mediante el cálculo del ahorro percibido con respecto una situación base. En dicha situación, el servicio utiliza 12 técnicos para recorrer 12 rutas de servicio definidas para satisfacer en promedio a un 78,69% de la demanda diaria. Mediante a los datos provistos por la tabla de costos presentada en la sección de análisis de datos, se ha determinado que el valor por hora asociado a la resolución de una ruta de servicio (es decir el valor de la hora de un vehículo más un técnico) es de CLP\$7.500/hora¹¹ y de la resolución de las 21 instancias diarias de atención se ha determinado que el largo promedio de una jornada laboral para este caso es de 7,39 horas. Por ende, se ha calculado que el costo diario, que incluye solo el pago de vehículos

¹¹ Este es un valor referencial e incluye el arriendo del vehículo, y a la disponibilidad del técnico.

y personal capacitado para proveer la asistencia es de CLP\$689.656 / día. La figura 5.7 muestra el ahorro promedio percibido de la resolución de las instancias de atención para cada valor de σ con respecto al costo de referencia calculado.

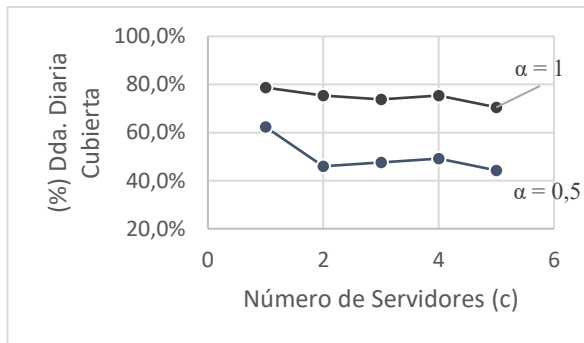
Una de las principales hipótesis planteadas en este trabajo, es que, si el proveedor del servicio incorpora información de los clientes en la planificación de sus operaciones, podrá brindar un servicio flexibilizado a cierto grupo de clientes, y al mismo tiempo aumentar el rendimiento operacional al atender a aquellos que requieren recibir la asistencia a tiempo. Tomando esto en consideración, en las figuras anteriores se muestra que el porcentaje de la demanda diaria a la que se le da cobertura varía respecto del porcentaje de requerimientos que el grupo de técnicos del sector es capaz de cubrir como base (es decir un 78,69% de la demanda), pero la importancia de esta variación depende en gran medida de α y no tanto del valor de la dispersión de la distribución. Cuando $\alpha = 1$, el servicio prioriza la atención entre sus clientes, pero la ventaja operacional adquirida mediante esta práctica es baja porque que el porcentaje de clientes que se prioriza no disminuye significativamente de 78,69%. Ambas curvas se mantienen relativamente planas al aumentar la dispersión, lo cual implica que el servicio conoce cuanto será el porcentaje de clientes independiente de la dispersión existente en el valor de las penalizaciones (P_i). Pese a lo anterior, se observa que el escenario donde la firma mejor puede sacar provecho de esta política es cuando se enfrenta a una demanda en la que existe alta dispersión en las penalizaciones. Cuando esto ocurre, en ambos casos se observa que el servicio cubre un porcentaje bajo de la demanda diaria, a cambio de un ahorro de recursos importante dado por la baja en los costos asociados a la atención de requerimientos de servicio. De esta forma se comprueba que la hipótesis planteada inicialmente está correcta. De las figuras presentadas es posible desprender que la firma podrá brindar un servicio flexibilizado a cierto grupo de clientes, y al mismo tiempo aumentar el rendimiento operacional al atender a aquellos que requieren recibir la asistencia a tiempo, pese a esto, depende del conocimiento específico de P_i si el ahorro de recursos será lo suficientemente importante para justificar la implementación de esta política en la práctica. Por ejemplo: Si la dispersión de la demanda (σ) es igual a 1 (y $\alpha = 1$). De la figura 17 es posible concluir que en promedio la firma ahorra CLP\$58.160 por día de trabajo lo cual es un ahorro de recursos que representa un 8,43% del costo por proveer la asistencia cuando no se incorpora la información de los clientes (el cual es de CLP\$689.656 al día). Dicho ahorro puede considerarse como el principal beneficio económico derivado de la implementación de esta política y proviene directamente de la disminución en la cantidad de clientes que son atendidos por el servicio. Bajo ese mismo escenario se estaría dando asistencia al 57% de la demanda diaria, lo que significa que la firma deja de brindar el servicio a poco menos de la mitad de los clientes que lo solicitan, pero percibe un ahorro de recursos que pueden ser utilizados como compensaciones por la disminución del servicio o bien para la creación de dos modalidades de atención plenamente diferenciadas en precio.

5.3 Resultados Priorización Mediante Información Específica

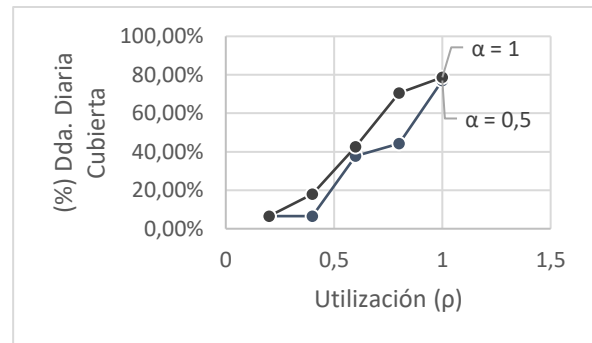
La segunda estrategia utilizada para evaluar la política de priorización consiste en la introducción de información específica de los clientes para aproximar un valor de la penalización asociada a cada solicitud de atención. Dicha penalización ha sido representada en la expresión (3.5), y representa el costo que tiene para el cliente la no provisión del servicio. Las siguientes figuras buscan representar las mismas métricas de servicio caracterizadas en la sección previa, pero esta vez se busca evaluar el rendimiento del sistema utilizando variables que el servicio fácilmente puede observar en sus clientes como lo son el número de impresoras y el número de páginas que imprimen diariamente¹². A diferencia del caso anterior, se han estudiado días representativos del conjunto de instancias diarias utilizadas. Primero se ha descrito el sistema bajo un día de demanda promedio, variando homogéneamente los parámetros c y ρ de la expresión (3.5). Luego, a cada cliente se le asignó aleatoriamente un valor para uno de sus parámetros manteniendo el otro constante, de esta forma, para días de baja, media y alta demanda, será posible ilustrar el tipo de priorización que resulta específicamente de la implementación de este modelo.

Las siguientes figuras ilustran la resolución de un día de demanda promedio (58 requerimientos de atención) y parámetros asignados uniformemente a la demanda.

ρ (Utilización) = 0.8



c (Servidores) = 5

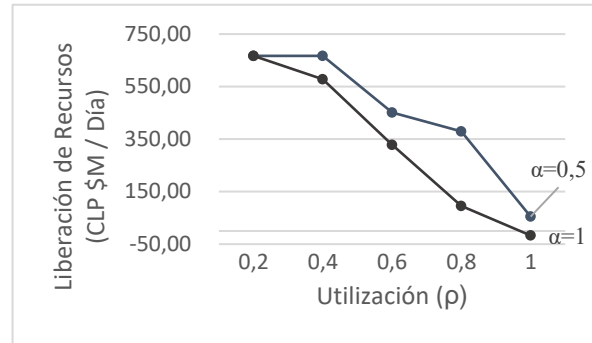
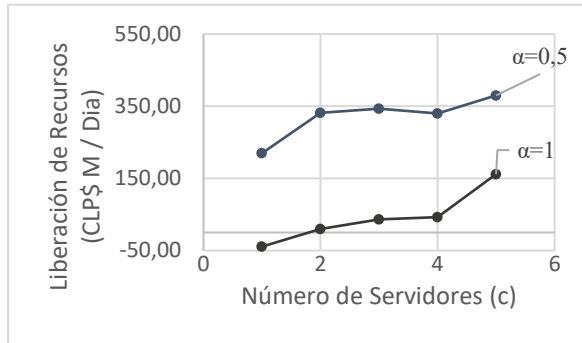


- Figura 18. %. Demanda cubierta y número de servidores. (izq.)
- Figura 19. %. Demanda cubierta y utilización de servidores. (ρ)

¹² Mediante el conocimiento del número de páginas impresas y el tiempo de trabajo de una impresora, el planificador puede conocer fácilmente la utilización que hace el cliente del equipo instalado. Este parámetro se utiliza en la expresión (3.5) para aproximar la penalización asociada a cada requerimiento.

ρ (Utilización) = 0.8

c (Servidores) = 5



- Figura 20. Ahorro por liberación de recursos y número de servidores. (izq.)
- Figura 21. Ahorro por liberación de recursos y utilización de servidores. (p)

En la figura 18 se muestra que el porcentaje de clientes flexibilizados es cercano al 80% cuando $\alpha = 1$ y que disminuye significativamente cuando $\alpha = 0,5$. En ese caso, se observa que la demanda cubierta por los técnicos es significativamente más baja del 80% dado por los recursos disponibles (12 técnicos) y que, al igual que en el caso previo, manteniendo la utilización de las maquinas constante, la demanda cubierta por la firma es relativamente estable independiente del número de servidores de los clientes. Cuando la cobertura que da el servicio se analiza en conjunto a la figura 20, la cual muestra el ahorro de recursos asociado a la incorporación de la política, se muestra que existen escenarios donde la firma no libera recursos al incorporar la política de priorización, pero de igual forma empeora su nivel de servicio¹³. Por el contrario, cuando $\alpha = 0,5$, la firma ahorra gran cantidad de recursos a cambio de una disminución significativa en el porcentaje de la demanda cubierta, y más aún, dicho ahorro no está correlacionado con este porcentaje. Es decir, cuando los clientes tienen bajo número de impresoras se flexibiliza la atención a un porcentaje importante de clientes (entorno a un 60% de la demanda diaria) y cuando el número de impresoras es alto, el porcentaje de clientes se mantiene en el mismo orden, pero el beneficio asociado a la política es mayor. Por esta razón, el mejor escenario para esta firma es aquel en que los clientes tienen buena capacidad de reemplazo en caso de falla. Es decir, manejan en promedio un alto número de impresoras y por ende no se ven afectados mayormente por la falla en alguno de sus terminales de impresión. Es precisamente en ese caso donde la firma puede priorizar un porcentaje potencialmente alto de la demanda a cambio de la liberación de recursos importantes que puedan justificar la implementación de la política. Un caso análogo por estudiar es aquel en que los clientes manejan un número similar de servidores de impresión y varía el uso que le dan a sus equipos. La figura 19 muestra que es posible flexibilizar la atención de un porcentaje alto de la demanda cuando los clientes tienen una utilización de sus impresoras menor al 60% y al mismo tiempo generar valor económico a través de dicha disminución. Pese a esto, ese escenario es difícil que ocurra en la práctica pues implicaría que existen clientes que están dispuestos a invertir en impresoras que no utilizan. Es esperable que la firma se vea enfrentada a clientes que racionalmente

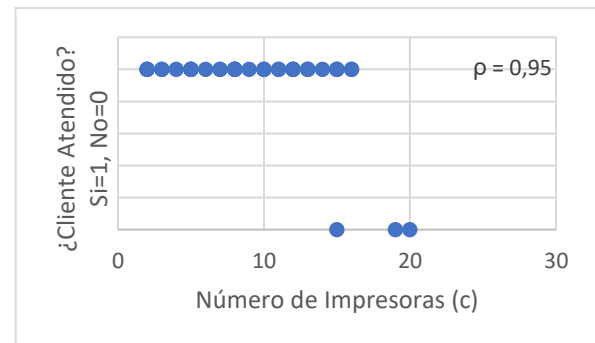
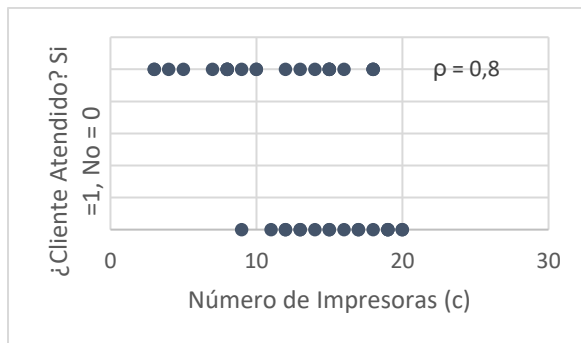
¹³ Esto se da cuando $\alpha = 1$. De acuerdo con lo definido previamente, es un escenario asociado a que la firma valora de igual forma una hora de su tiempo con respecto a una hora del tiempo de sus clientes.

invierten en equipos que ocupan por lo menos un 70 o 80% del tiempo y en ese caso, el ahorro de recursos debido a la política de priorización es significativamente menor.

Los resultados que han sido ilustrados fueron elaborados sobre la base de una instancia diaria en los que los parámetros estudiados (c y ρ) fueron asignados homogéneamente a los clientes. Este ejercicio permite caracterizar el comportamiento del sistema compuesto por la firma y sus clientes bajo el modelamiento propuesto para P_i , siendo estos consistentes a los obtenidos en la sección previa. Pese a esto, es de especial interés observar el caso en que dichos parámetros distribuyen de forma heterogénea en la población. Además, es deseable caracterizar el tipo de priorización que resulta cuando la firma puede anticipar la penalización (P_i) asociada a cada requerimiento de servicio. Para evaluar este caso se utilizaron 3 instancias diarias distintas: De baja, media y alta demanda. La tabla 4, adjunta en la sección 4.3, muestra la distribución de la demanda registrada en el conjunto de instancias utilizadas. En ella se observa que un día de baja demanda puede ser representado por una jornada en la que se reciben entre 40 y 52 requerimientos de servicio, esto pues corresponde al primer cuartil de la distribución descrita. De la misma forma, un día normal puede ser representado por una instancia en la que se reciben entre 52 y 62 requerimientos diarios de atención, intervalo que va desde el primer al tercer cuartil de la distribución y finalmente en un día de alta demanda, se representa por un día en el que se atienden más de 62 requerimientos diarios.

Los siguientes gráficos y tablas fueron elaboradas variando aleatoriamente un solo parámetro de la expresión (3.5) respectivamente. En estas se muestra como han sido priorizados los clientes dependiendo de su número de impresoras (c) y su utilización (ρ).

Día de Demanda Baja.



- Figura 22. Número de impresoras / Clientes atendidos. Demanda Baja. ($\rho=0,8$)
- Figura 23. Número de impresoras / Clientes atendidos. Demanda Baja. ($\rho=0,95$)

Demanda Diaria	41
Demanda Cubierta	56,10%
Técnicos Utilizados	6 (de 12)
Jornada Laboral Promedio	6,06 horas

Costo Tiempo Desocupado	\$38.445
Recursos Liberados / Día	\$455.860 (66,10% ¹⁴)

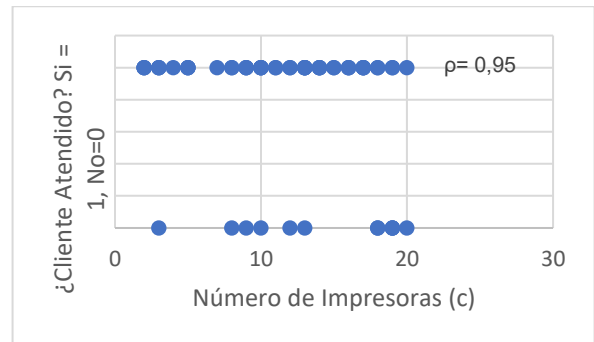
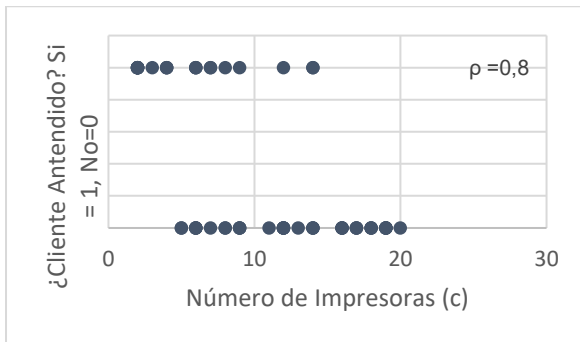
Tabla 6. Resolución instancia de demanda baja. ($\rho=0,8$)

Demanda Diaria	41
Demanda Cubierta	92,68%
Técnicos Utilizados	11 (de 12)
Jornada Laboral Promedio	7,28 horas

Costo Tiempo Desocupado	\$26.297
Recursos Liberados / Día	\$115.128 (16,69%)

Tabla 7. Resolución instancia de demanda baja. ($\rho=0,95$)

Día de Demanda Media



- Figura 24. Número de impresoras / Clientes atendidos. Demanda Media. ($\rho=0,8$)
- Figura 25. Número de impresoras / Clientes atendidos. Demanda Media. ($\rho=0,95$)

¹⁴ Porcentaje con respecto al costo de proveer al servicio en la instancia base: CLP\$689.656 al día.

Demanda Diaria	59
Demanda Cubierta	35,59%
Técnicos Utilizados	6 (de 12)
Jornada Laboral Promedio	5,65 horas

Costo Tiempo Desocupado	\$46.929
Recursos Liberados / Día	\$482.185 (69,92 %)

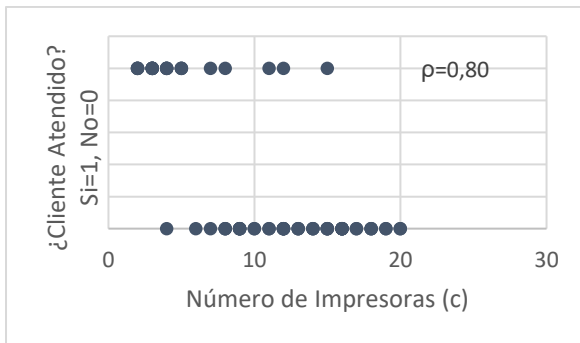
Tabla 8. Resolución instancia de demanda media. ($\rho=0,8$)

Demanda Diaria	59
Demanda Cubierta	79,66%
Técnicos Utilizados	12 (de 12)
Jornada Laboral Promedio	6,79 horas

Costo Tiempo Desocupado	\$48.528
Recursos Liberados / Día	\$127.384 (18,47%)

Tabla 9. Resolución instancia de demanda media. ($\rho=0,95$)

Día de Demanda Alta



- Figura 26. Número de impresoras / Clientes atendidos. Demanda Alta. ($\rho=0,8$)
- Figura 27. Número de impresoras / Clientes atendidos. Demanda Alta. ($\rho=0,95$)

Demanda Diaria	67
Demanda Cubierta	32,84%
Técnicos Utilizados	6 (de 12)
Jornada Laboral Promedio	6,5 horas

Costo Tiempo Desocupado	\$29.930
Recursos Liberados / Día	\$426.936 (61,91%)

Tabla 10. Resolución instancia de demanda alta. ($\rho=0,8$)

Demanda Diaria	59
Demanda Cubierta	68,66%
Técnicos Utilizados	12 (de 12)
Jornada Laboral Promedio	6,87 horas

Costo Tiempo Desocupado	\$45.195
Recursos Liberados / Día	\$116.551 (16,9%)

Tabla 11. Resolución instancia de demanda alta. ($\rho=0,95$)

Día de Demanda Baja.

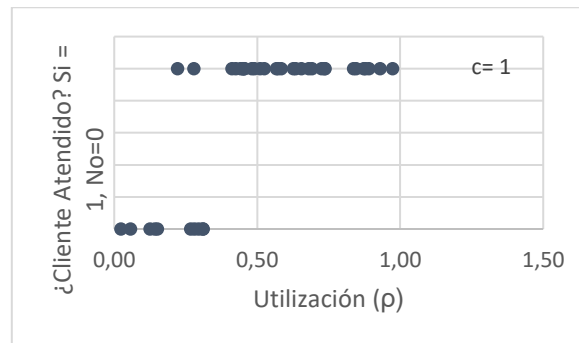


Figura 28. Utilización de impresoras / Clientes atendidos. Demanda Baja.

Demanda Diaria	41
Demanda Cubierta	75,61%
Técnicos Utilizados	9 (de 12)
Jornada Laboral Promedio	7,08 horas

Costo Tiempo Desocupado	\$27.564
Recursos Liberados / Día	\$239.244 (34,69%)

Tabla 12. Resolución instancia de demanda baja. ($c=1$)

Día de Demanda Media.

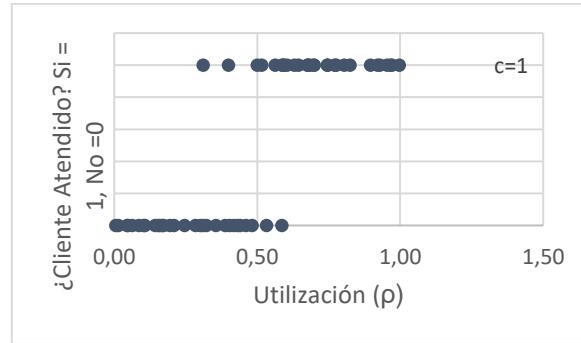


Figura 29. Utilización de impresoras, clientes atendidos. Demanda Media.

Demanda Diaria	59
Demanda Cubierta	49,15%
Técnicos Utilizados	9 (de 12)
Jornada Laboral Promedio	5,98 horas

Costo Tiempo Desocupado	\$60.694
Recursos Liberados	\$286.231 (41,5%)

Tabla 13. Resolución instancia de demanda media. (c=1)

Día de Demanda Alta.

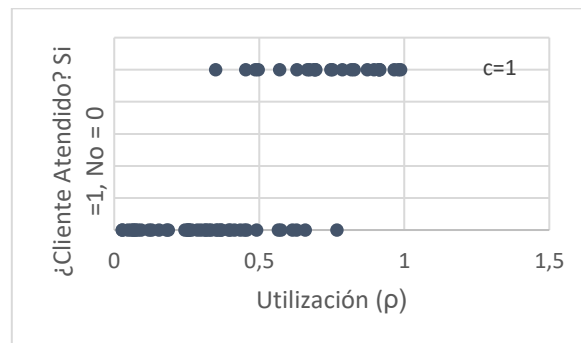


Figura 30. Utilización de impresoras, clientes atendidos. Demanda Alta.

Demanda Diaria	67
Demanda Cubierta	35,82%
Técnicos Utilizados	7 (de 12)
Jornada Laboral Promedio	7,18 horas

Costo Tiempo Desocupado	\$19.098
Recursos Liberados	331.729 (48,1%)

Tabla 14. Resolución instancia de demanda alta. (c=1)

Los gráficos y datos presentados muestran que el algoritmo de ruteo en todas las instancias estudiadas opta por dar prioridad a los clientes con menor capacidad de reemplazo, en desmedro de aquellos con mayor capacidad para seguir operando. Esto se observa principalmente en las figuras 22, 23, 24, 25, 26 y 27, en las que se ve que los clientes que son atendidos, en promedio tienen menor número de impresoras que los clientes a los que se les ha flexibilizado la atención, los cuales tienen un 40%, 35% y 15% más de servidores de impresión respectivamente. Junto con lo anterior, es posible comprobar que existe mayor varianza en el número de impresoras del grupo de clientes que son atendidos respecto del grupo de clientes que son flexibilizados. A su vez, dicha varianza aumenta levemente cuando aumenta la demanda que enfrenta el servicio. Es decir, si la firma se enfrenta a un día con baja demanda, el grupo de clientes a los cuales se les flexibilizará la atención será un grupo con similar capacidad operativa y por ende podrían ser clientes con características similares. Pero dicha dispersión aumenta a medida que el número de clientes que debe enfrentar el servicio es mayor. Se concluye entonces que cuando la demanda es baja, el servicio es capaz de flexibilizar la asistencia a un grupo de clientes más homogéneo y con mayor capacidad operativa, resultando en que la implementación de la política de servicio se hace más eficiente. En caso contrario, el servicio aún sigue asistiendo a clientes con mayor capacidad de reemplazo promedio, pero la composición de ambos grupos se hace más diversa y por ende son atendidos clientes con alto y bajo número de servidores al mismo tiempo.

El caso análogo corresponde a la situación en que los clientes tienen similar número de servidores (en este caso se ha asignado constante e igual a uno) y existe heterogeneidad en la utilización que hacen de sus máquinas. En este se observa la misma tendencia explicada recientemente, pero es posible desprender de las figuras 28, 29 y 30 respectivamente, que la dispersión observada en el valor de la utilización es significativamente menor en el grupo de clientes flexibilizados y que a su vez dicha dispersión se mantiene estable independiente del tipo de demanda registrada. Esto quiere decir que cuando la firma de servicio se enfrenta al caso en que solo existen diferencias respecto al uso que se le da a el equipamiento y no a la composición de este, se estaría brindando asistencia sobre un escenario en que la implementación de la política de priorización puede llevarse a cabo de forma más eficiente, siendo utilizada incluso para segmentar en grupos de clientes a los cuales potencialmente se les podría aplicar un precio diferente, pues independiente de la intensidad de la demanda, se verifica que son clientes con uso del equipamiento similar.

Para finalizar, es necesario comentar que cuando los parámetros c y ρ son asignados heterogéneamente a los clientes, los indicadores presentados, son consistentes con los presentados para el caso en que dichos parámetros son asignados homogéneamente. Es decir, independiente del nivel de demanda de la instancia estudiada, las tablas 6, 7, 8 y 9 muestran que cuando la utilización de las maquinas es alta, el porcentaje de la demanda cubierta y el ahorro de recursos asociado a la disminución en la cantidad de clientes atendidos es menor que cuando la utilización es baja. Por lo tanto, mediante los datos provistos en la resolución de estas instancias, es posible confirmar que la implementación del modelo de priorización propuesto tendría gran utilidad para segmentar la atención del servicio en dos modalidades definidas exclusivamente por la capacidad operativa de los clientes que requieren de la asistencia

y que dicha separación del servicio sería factible de implementar cuando existen diferencias observables en la penalización asociada a cada requerimiento. Especialmente cuando existen de igual forma, clientes con alta y baja capacidad de reemplazo.

6 Conclusiones

Una de las principales ideas de este trabajo, es que, a través de la focalización y distribución de recursos logísticos sobre un grupo reducido de consumidores, se podrían incrementar de forma importante las ganancias y al mismo tiempo disminuir los costos operacionales asociados a la provisión de un servicio. También se ha mencionado que, en la práctica, la priorización de requerimientos es una problemática recurrente, que implica dejar de atender a una cartera determinada de clientes para focalizar los recursos en aquellos que mayor valor producen para la compañía. Respecto a esta idea surgen dos preguntas que han tratado de ser abordadas mediante la incorporación de los modelos de priorización propuestos. La primera tiene relación con los beneficios asociados a esta práctica: ¿Es posible generar los beneficios económicos suficientes para justificar su implementación? La segunda se relaciona con el tipo de priorización que resulta de su incorporación: ¿Cómo determinar con precisión la composición de aquella cartera de clientes con mayor valor?

De los resultados obtenidos en la sección previa, se ha podido verificar que la flexibilización del servicio a un porcentaje de la demanda efectivamente resulta en un ahorro económico que proviene de la disminución de recursos utilizados. Pese a esto, la cartera de clientes que será flexibilizada aún requiere de la asistencia de la firma y debe ser atendida de alguna forma. La política de servicio estudiada solo podrá ser implementada si se definen algunas prácticas adicionales que permitan validarla. No sería justificable, por ejemplo, dejar de proveer la asistencia a una cartera de clientes durante un día, para luego atenderla incurriendo en un costo superior al ahorrado previamente. Se ha visto que, en el mejor escenario caracterizado por las figuras 16 y 17 de la sección anterior, se ahorran CLP\$92.240 al día al flexibilizar el 41% de la demanda diaria¹⁵, en promedio significa que se privilegia la atención de 36 clientes en desmedro de 25 restantes. Esto resulta en un ahorro de CLP\$3.690 por cliente flexibilizado, lo cual permite visualizar la factibilidad de implementar alguna práctica de servicio adicional que permita implementar la política de priorización. Es deseable que todos los clientes que recurren al servicio sean atendidos, pero es posible que luego de priorizar la atención no sea posible proveer la asistencia a un costo menor al que se provee actualmente. Por esta razón, se debe establecer como primera conclusión de este trabajo, que la política estudiada solo podrá ser implementada si se disponen de los elementos suficientes para garantizar la atención posterior de los clientes flexibilizados a un costo menor o igual al monto equivalente al ahorro promedio por cliente flexibilizado. Por ejemplo: Se ha calculado que la atención de un cliente tiene un costo promedio de CLP\$14.368¹⁶ cuando no se priorizan los requerimientos y de \$16.388 cuando si se priorizan en el mejor escenario. El costo aumenta pues disminuyen la cantidad de clientes atendidos y (en dicho escenario) el número de recursos utilizados no varían significativamente con respecto a la situación base. A su vez se percibe un ahorro de \$3.690 por cliente. Lo que implica que en teoría se pueden focalizar los recursos disponibles atendiendo al 60% de

¹⁵ De la Sección 5, figuras 16 y 17. Esto ocurre cuando $\sigma=1,4$ y $\alpha=1$.

¹⁶ Este es un valor referencial, obtenido a través de la resolución de las 21 instancias de atención en las que se ha calculado que atender al 80% de la demanda diaria promedio tiene un valor de CLP\$689.656.

la demanda, y flexibilizar la atención de los clientes restantes, quienes deberán ser atendidos en una modalidad distinta y a un costo menor. Esto en la práctica corresponde implícitamente a la definición de dos contratos de atención diferenciados principalmente por el nivel de servicio ofrecido. Es decir, bajo el primer contrato de atención se ofrece un servicio de reposición inmediata, el cual tendrá asociado un costo operacional mayor, y por otra parte se ofrece un contrato flexibilizado que deberá ejecutarse a menor costo y que podría estar asociado a una atención ejecutada con menor precio. A pesar de lo anterior, si la firma no posee las condiciones para atender a la cartera restante de clientes a un costo significativamente más bajo al que lo hace en la actualidad, entonces dicha política de servicio no se justifica económicamente y por lo tanto no debería implementarse.

Las ideas expuestas anteriormente se resumen en las siguientes premisas:

- Se ha mostrado que la política de priorización de requerimientos es económicamente factible de implementar, pues se produce una liberación de recursos que pueden ser utilizados en la diferenciación del servicio ofrecido a los clientes.
- Pese a lo anterior, la viabilidad práctica de la política depende de que las condiciones específicas del negocio permitan proveer el servicio a la cartera restante de clientes a un menor costo del que se provee en la actualidad.

Para el caso específico del servicio estudiado, la definición del modelo propuesto podría derivar en la política de asignar máquinas de reemplazo en el grupo de clientes definidos como prioritario, y de esta forma disminuir su costo asociado a la no provisión del servicio, especialmente en casos en que existe alta demanda y no se tienen los recursos disponibles para brindar asistencia a la cartera completa. Al mismo tiempo, se podría estipular que no se brindará asistencia técnica en los domicilios de los clientes flexibilizados durante los días de alta demanda. Habilitando para ello las instalaciones que posee para reparar equipos. De esta forma puede disminuir significativamente el costo de proveer la asistencia y, por ende, la incorporación de la política podría justificarse.

Suponiendo que la firma reúne las características necesarias para poder brindar la atención a la cartera de clientes flexibilizados a un menor costo, aún falta por abordar como se determina con precisión la composición de la cartera de clientes de mayor valor. Se ha explicado que la motivación principal tras la implementación de la política de priorización es que permite a las empresas desarrollar relaciones importantes con sus clientes prioritarios, que impulsan las ventas y la rentabilidad sin dañar sustancialmente a clientes menos importantes. Pese a esto, de acuerdo con el modelamiento propuesto en este trabajo, la cartera de clientes priorizados no se define de acuerdo con el valor percibido para la compañía, sino que depende del costo que tiene para el cliente la no provisión del servicio. Se ha mostrado que la priorización de requerimientos propuesta se ejecuta entorno a la capacidad de reemplazo de los clientes, y que la priorización aquí

presentada se establece con respecto al “daño” que produce una falla en una impresora del cliente. Este tipo de priorización no necesariamente da cobertura inmediata a los clientes que mayor valor generan para la compañía. De hecho, dicho grupo debería estar constituido por aquellos que registran el mayor volumen de llamados y por aquellos que poseen la mayor cantidad de terminales de impresión. Sin embargo, en la segunda estrategia de priorización abordada, son precisamente esos clientes, aquellos con mayor capacidad de reemplazo, los que menor prioridad tienen asignada. Por lo tanto, al implementar este modelo de atención se estaría poniendo en riesgo la relación comercial con un grupo importante de clientes: Aquellos con alto número de servidores y alto uso del equipamiento.

Por ende:

- La política de priorización no puede hacer caso omiso a otros aspectos del negocio que también deben cuidarse, como la relación con los clientes de alto valor de la compañía.
- La derivación de un modelo que permita seleccionar de acuerdo con el valor del cliente para la compañía no ha sido abordada en este trabajo, pero sin duda es un aspecto que puede extender el alcance de este.

Se concluye que el modelamiento de P_i debe ser considerado como referencial y como parte de un ejercicio cuyo principal objetivo es establecer el tipo de información que podría comenzar a utilizar el servicio, a modo de segmentar su cartera de clientes. De esta forma es deseable seleccionar inteligentemente los casos en que corresponde asignar la asistencia de los que no, especialmente cuando existe alta demanda o cuando la limitación de recursos no permita atenderla completamente. Respecto a este punto, el modelamiento propuesto permite verificar exitosamente que la introducción del costo del cliente en la planificación de las operaciones de la firma permite separar la demanda en dos segmentos diferenciados. Más aún, se ha podido comprobar que el grupo de clientes flexibilizado como resultado del modelo propuesto, resulta ser un grupo relativamente homogéneo y por ende este modelo podría utilizarse para identificar a los clientes con características similares. Sobre estos podría diseñarse una política de servicio especial, lo cual permitiría expandir los resultados obtenidos hasta el momento.

7 Bibliografía

1. CORTÉS, C, WEINTRAUB, A. et al (2014). Branch-and-price and constraint programming for solving a real-life technician dispatching problem. *European Journal of Operational Research* Vol. 238, issue 1 300-312
2. CORTÉS, C, ORDOÑEZ, F et al (2012). A robust optimization approach to dispatching technicians under stochastic service times. *Optimization Letters* Vol. 7 Issue 7 1549–1568
3. CORTÉS, C, WEINTRAUB, A, et al (2010). A simulation-based approach for fleet design in a technician dispatch problem with stochastic demand. *Journal of Operational Research Society* Vol 62. 1510-1523
4. CORDEAU, J., DESAULNIERS, G., DESROSIERS, J., SOLOMON, M., & SOUMIS, F. (2002). The vehicle routing problem. VRP with time windows (pp. 157-193). SIAM.
5. HOMBURG, C., DROLL, M., TOTZEK, D. (2008), Customer Prioritization: Does it pay off? And how should it be implemented? *Journal of Marketing*, Vol. 72, No 5. Pp. 110-130.
6. FADER, P & BRUCE, H, 2009. Probability Models for Customer-Base Analysis, *Journal of Interactive Marketing*, Vol 23, No 1, pp 61-69.
7. POLLAK, R. A. et al, 1995. Demand system specification and estimation. Oxford University Press Catalogue.

8 Anexos

Anexo 15. Resultados Instancia Base - Promedio 21 Instancias.

Demanda Diaria	57,5
Demanda Cubierta	78,69%
Técnicos Utilizados	12
Jornada Laboral Promedio	7,39 horas
Tiempo Ocioso Promedio	0,61 horas

Costo Tiempo Desocupado	\$24.271
Costo Promedio del Servicio	\$689.656

Anexo 216. Instancia Diaria de Prueba. (Penalización Homogénea)

Id. nodo	Penalización	Tiempo Servicio
depot	-	0
1	10	0,36
2	10	1,18
3	10	1,43
4	10	1,49
5	10	1,81
6	10	0,09
7	10	0,37
8	10	0,27
9	10	1,58
10	10	0,16
11	10	4,46
12	10	0,23
13	10	1,29
14	10	0,17
15	10	1,60

Anexo 3. Resolución Instancia de Prueba. Primera Iteración

F.0	150
Demanda Cubierta	0,00%
Columnas (Rutas)	0
Sub-problema	-49.39

v_i : ¿Cliente Atendido? – 0: Si, 1: No

Id. nodo	V_i
depot	0
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1
10	1
11	1
12	1
13	1
14	1
15	1

θ_r : ¿Ruta Elegida? / c_r : Costo de Ruta

c_r	θ_r
0	0

Anexo 4. Resolución Instancia de Prueba. Iteración Final

F.0	4.13
Demanda Cubierta	100%
Columnas	29
Sub-problema	-0,000

v_i : ¿Cliente Atendido? –Si: 0, No: 1

Id. nodo	Vi
depot	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0

c_r : Costo de Ruta / θ_r : ¿Ruta Elegida? Si: 1, No:0

c_r	θ_r
0	0
1.23	0
1.29	0
1.28	1
1.16	0
1.29	0
0.68	1
1.31	0
0.89	1
0.65	1
0.63	1
1.32	0
1.62	0