

Universidad de Costa Rica  
Sede Rodrigo Facio

Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Industrial

Proyecto de graduación:

Diseño de un sistema para la gestión de la oferta del servicio de bus interno en la sede Rodrigo Facio, de la Universidad Costa Rica

Estudiantes:  
Catalina Ariño Buitrago  
Luis Jiménez Ríos  
Graciela Rivera Picado

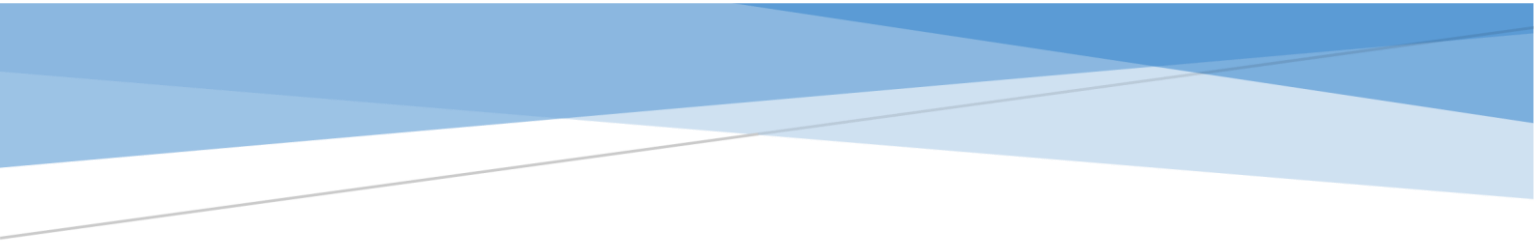
Para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial

Noviembre, 2019









Universidad de Costa Rica

Sede Rodrigo Facio

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Industrial

Proyecto de graduación:

Diseño de un sistema para la gestión de la oferta del servicio de bus interno en la sede Rodrigo Facio, de la Universidad de Costa Rica

Estudiantes:

Catalina Ariño Buitrago

Luis Jiménez Ríos

Graciela Rivera Picado

Para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial

Noviembre, 2019

*Aprobación del proyecto*

**Representante de la Dirección:**

M.Sc. Evelyn Salas Valerio

Firma:



Fecha:

19/02/2020

**Director(a) del Comité Asesor:**

Ing. Paola Gamboa Hernández

Firma:




Fecha:

19/02/2020

**Asesor(a) Técnica:**

M.Sc. Patricia Ramírez Barrantes

Firma:



Fecha:

19/feb/2020

**Profesional Contraparte:**

Ing. Jeffrey Dimarco Fernández

Firma:



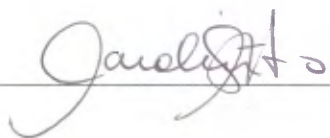
Fecha:

20/02/2020

**Profesor (a) Lector (a):**

Inga. Carolina Vásquez Coto. MBA

Firma:



Fecha:

20/2/2020

## *Resumen gerencial*

La Oficina de Servicios Generales (OSG) de la Universidad de Costa Rica (UCR) es la dependencia encargada de la prestación de servicios de apoyo a las actividades sustantivas de la institución para el desarrollo de la docencia, investigación y acción social dentro de la Universidad. Actualmente es la unidad encargada de la solución de temas relacionados con el transporte, por lo cual recae en ella la responsabilidad de la administración y mejora continua en esta materia, y específicamente la gestión de la prestación del servicio de bus interno de la Sede Rodrigo Facio.

Se identifica que la migración de facultades entre las tres fincas de la Universidad y la construcción de nuevos edificios han generado una necesidad de transporte entre la comunidad universitaria, que la OSG ha buscado satisfacer por medio del bus interno. En los últimos años este servicio ha crecido en cuanto a capacidad instalada y frecuencia de las rutas en aras de satisfacer la demanda; sin embargo, a pesar de los esfuerzos que la organización ha realizado para aumentar la oferta, sigue existiendo una insatisfacción de la demanda, relacionada con la brecha entre ésta y la capacidad instalada.

El contenido del documento se divide en cuatro capítulos: la propuesta del proyecto, el diagnóstico del problema, el diseño de una solución viable al problema y la validación del diseño. En conjunto se busca solucionar la problemática que enfrenta la OSG, relacionada con la gestión del servicio de bus interno, donde el proceso de planificación del bus interno de la OSG no permite el mejor aprovechamiento de los recursos, y que, entre otros factores dificulta el monitoreo y control de las variables que influyen en la operación del transporte.

Por medio de un análisis de la demanda del servicio, se evidencia que ésta se genera de forma multicausal, lo cual dificulta el pronóstico y modelación, donde los datos obtenidos no son lo suficientemente representativos para generar un resultado confiable. Sin embargo, se logra demostrar que para ciertos horarios la demanda sobrepasa la oferta actual de transporte. También se evidencia que este crecimiento en la oferta del servicio ha generado un aumento en el consumo de combustible, que repercute no solo financieramente por el aumento del costo del servicio, sino también en un incremento de la generación de GEI que afecta el medio ambiente.

Mediante los datos proporcionados por la OSG, se determina que el costo del servicio es de ₡36 393,27 por hora. Actualmente la OSG no utiliza ningún indicador de costo por pasajero por hora; sin embargo, reconoce que es relevante adoptar herramientas para la evaluación de la sostenibilidad financiera del servicio. Para determinar este indicador, se utiliza la estimación de demanda y se evidencia que hay mucha variabilidad relacionada con ese costo, ya que para algunos horarios el costo por pasajero por hora es de ₡ 92,13; mientras que en otros se eleva hasta ₡758,19. Ante esto, se fortalece la idea de que la planificación que se realiza de las rutas actuales está generando la insostenibilidad financiera del servicio.

Además, no existe un acuerdo de nivel de servicio en el que se defina la promesa del servicio que la OSG está dispuesta a proporcionar al usuario y sus limitaciones, lo cual deja a la libre lo que el usuario puede esperar y exigir de este servicio.

De este diagnóstico se deduce que la causa fundamental del problema es justamente el desconocimiento de la demanda, lo que ocasiona una planificación inadecuada de la oferta y, por ende, un manejo incorrecto de los recursos. A partir de estos hallazgos, se propone una forma innovadora de solución por medio de la mejora en el proceso de planificación del servicio; esta mejora reúne tres propuestas concretas que tienen impacto a corto plazo. La primera consiste en el establecimiento de una política de nivel de servicio por parte de la OSG. La segunda consiste en un

cambio en el proceso de planificación del servicio, utilizando la metodología de persecución de la demanda para el establecimiento de la oferta. Para poder llevar esto a cabo se propone la creación de Data-Mov, un sistema de análisis de la demanda y modelamiento de la oferta de servicio, el cual integra un dispositivo para la contabilización de pasajeros del autobús y una herramienta electrónica programada que con la información capturada, permite el análisis de datos de demanda y la generación de un modelo de oferta de servicio acorde a dicha información. La tercera consiste en la creación de un sistema de monitoreo y control del servicio por medio de un cuadro de mando integral (CMI), donde se visualizan varios indicadores relevantes para la operación, directamente asociados al acuerdo de nivel de servicio, y una interfaz de visualización por medio del *software* Tableau.

Al implementar las herramientas propuestas por medio de una simulación de escenarios, los resultados demuestran que luego de realizar el análisis de la demanda y la modelación de la oferta, se logra un mejor ajuste entre ambas, que repercute en el mejor aprovechamiento de los recursos de la OSG. Eso se evidencia por medio de los indicadores de éxito del proyecto, ya que el costo por pasajero se reduce en un 23%, lo que genera un ahorro a la organización de ¢2 268 662 mensuales. Además, al comparar la oferta actual y el modelo de oferta propuesto por la herramienta, se observa que el indicador de precisión mejora en un 50%, lo que quiere decir que realmente se están aprovechando los recursos en atención a la demanda de los usuarios.

A partir de los resultados obtenidos, se valida el diseño propuesto puesto que cumple con los objetivos del proyecto, de mejorar el uso y aprovechamiento de los recursos disponibles de la OSG. A esto se le suma el beneficio de la reducción de las emisiones de GEI, la disponibilidad de información de costos del servicio y la simplicidad para el monitoreo del desempeño de la operación, a partir de los indicadores propuestos en el CMI.



## Índice

<i>Aprobación del proyecto</i> .....	viii
<i>Introducción</i> .....	13
<i>Abreviaturas y acrónimos</i> .....	14
<b>Capítulo 1. Propuesta de proyecto</b> .....	<b>15</b>
1.1 <i>Descripción de la organización</i> .....	15
1.2 <i>Alcance del proyecto</i> .....	15
1.3 <i>Enunciado del problema</i> .....	15
1.4 <i>Justificación del problema</i> .....	15
1.5 <i>Beneficios para la organización</i> .....	23
1.6 <i>Beneficios para la sociedad</i> .....	23
1.7 <i>Objetivo general e indicadores de éxito</i> .....	<b>24</b>
1.7.1 <i>Objetivo general</i> .....	24
1.7.2 <i>Indicadores de éxito</i> .....	24
1.8 <i>Limitaciones</i> .....	<b>24</b>
1.9 <i>Marco de referencia teórico</i> .....	<b>26</b>
1.9.1 <i>Planificación del transporte</i> .....	26
1.9.2 <i>Metodología para la determinación de la demanda</i> .....	26
1.9.3 <i>Gestión de la oferta optimizando el uso de los recursos</i> .....	27
1.9.4 <i>Programación lineal aplicada en modelos de transporte</i> .....	27
1.9.5 <i>Movilidad urbana</i> .....	27
1.9.6 <i>Movilidad urbana como servicio</i> .....	29
1.10 <i>Metodología general del proyecto</i> .....	<b>32</b>
<b>Capítulo 2. Diagnóstico</b> .....	<b>35</b>
2.1. <i>Objetivo general</i> .....	<b>35</b>
2.1. <i>Objetivos específicos</i> .....	<b>35</b>
2.2. <i>Metodología de diagnóstico</i> .....	<b>36</b>
2.3. <i>Estudio de la movilización entre fincas universitarias</i> .....	<b>37</b>
2.3.1 <i>Causas de la movilización entre fincas</i> .....	37
2.5 <i>Estudio de la oferta y la demanda del bus interno de la UCR</i> .....	<b>39</b>
2.5.1 <i>Oferta de servicio del bus interno</i> .....	39
2.5.2 <i>Demanda del servicio de bus interno</i> .....	44
2.5.3 <i>Construcción de escenarios de oferta y demanda</i> .....	50
2.6 <i>Gestión del servicio del bus interno de la UCR</i> .....	<b>55</b>
2.6.1 <i>Planificación del servicio de bus interno</i> .....	55
2.6.2 <i>Sostenibilidad financiera del servicio de bus interno</i> .....	57
2.6.3 <i>Sostenibilidad ambiental del servicio de bus interno</i> .....	63
2.6.4 <i>Percepción del usuario del servicio de bus interno</i> .....	65
2.7 <i>Perspectivas del futuro del transporte interno en la sede Rodrigo Facio</i> .....	<b>68</b>
2.7.1 <i>Estudio de alternativas de transporte e infraestructura</i> .....	68

2.7.2	<i>Construcción de escenarios futuros y su impacto en la movilidad</i> .....	69
2.8	<i>Generación de oportunidades de mejora</i> .....	72
2.8.1	<i>Síntesis de la información obtenida</i> .....	72
2.8.2	<i>Definición y priorización de oportunidades de mejora</i> .....	73
	<i>Conclusiones de la etapa de diagnóstico</i> .....	75
3.	<b>Capítulo III. Diseño</b> .....	77
	<i>Objetivo general</i> .....	77
	<i>Objetivos específicos</i> .....	77
	<i>Metodología de la etapa de diseño</i> .....	78
3.3	<i>Análisis de la demanda del servicio por medio de la incorporación de un sistema automatizado de conteo de pasajeros</i> .....	85
3.3.1	<i>Selección de la alternativa de funcionamiento tecnológica</i> .....	85
3.3.2	<i>Justificación de la selección de la alternativa tecnológica</i> .....	88
3.3.2	<i>Diseño y características técnicas de la solución tecnológica</i> .....	89
	<i>Componentes</i> .....	92
	<i>Plano de conexiones de los componentes</i> .....	93
	<i>Desarrollo del algoritmo de detección de pasajeros</i> .....	93
	<i>Diseño final y dimensiones</i> .....	95
	<i>Costos de construcción</i> .....	96
3.4	<i>Descripción del diseño de herramientas de mejora, para la solución del problema</i> .....	98
3.4.1	<i>Herramienta de análisis de la demanda de pasajeros</i> .....	98
	<i>Depuración de datos de dispositivo</i> .....	98
	<i>Ingreso de datos al sistema</i> .....	98
	<i>Datos conglomerados de pasajeros por parada y chofer</i> .....	99
	<i>Cálculo de llegadas tardías</i> .....	99
	<i>Cálculo de ocupación de autobús</i> .....	100
	<i>Salida de datos para el análisis</i> .....	100
3.4.2	<i>Herramienta de asignación de horarios, roles de trabajo y recursos</i> .....	103
3.4.2.1	<i>Etapa 1. Diseño de rutas</i> .....	105
	<i>Paso 1. Definir las rutas posibles</i> .....	105
	<i>Paso 2. Determinar la distancia y el tiempo de ruta por hora</i> .....	106
	<i>Paso 3. Determinar la cobertura de demanda por ruta por hora</i> .....	107
	<i>Paso 4. Determinar indicador de cobertura por hora (IDT)</i> .....	107
	<i>Paso 5. Determinar la ruta por hora</i> .....	107
3.4.2.2	<i>Etapa 2. Determinación de frecuencias y horarios</i> .....	108
	<i>Paso 1. Determinar la frecuencia requerida</i> .....	110
	<i>Paso 2. Determinar la cantidad de buses requeridos por hora y ruta</i> .....	110
	<i>Paso 3. Validar la asignación de frecuencias por hora</i> .....	110
	<i>Paso 4. Definir el horario de servicio que se va a ofrecer al usuario</i> .....	111
	<i>Paso 5. Análisis de escenarios de aumento o disminución de frecuencias</i> .....	111
3.4.2.3	<i>Etapa 3. Creación de roles y asignación de recursos</i> .....	112
	<i>Paso 1. Definir los roles de trabajo</i> .....	114
	<i>Paso 2. Identificar la distancia que recorrer y el tiempo de operación por rol</i> .....	114
	<i>Paso 3. Asignar los recursos a los roles de trabajo</i> .....	114
3.4.3	<i>Cuestionario de satisfacción del usuario</i> .....	117

3.4.3.1 <i>Detalle del proceso de definición del cuestionario y uso de la información obtenida</i>	118
3.4.3.2 <i>Consideraciones acerca del cuestionario</i>	119
3.4.4 <i>Cuadro de mando integral (CMI)</i>	120
4. <i>Capítulo IV. Validación</i>	126
4.1. <i>Análisis de beneficios por el desarrollo de las herramientas</i>	126
4.1.1 <i>Establecimiento de la política del nivel de servicio y mejora de los procesos internos</i>	126
4.1.2 <i>Comprobación de funcionalidad de las herramientas desarrolladas</i>	127
4.1.3 <i>Cuantificación de la demanda</i>	131
4.1.4 <i>Herramientas 4: Monitoreo y control, cuadro de mando integral (CMI)</i>	139
4.2. <i>Análisis del beneficio que aportan los indicadores de éxito del proyecto</i>	141
4.2.1 <i>Cuantificación de los indicadores de éxito</i>	141
<i>Conclusiones generales</i>	146
<i>Recomendaciones finales</i>	147
<i>Referencias</i>	148
<i>Apéndices</i>	150
<i>Apéndice 1. Evaluación de las alternativas de transporte e infraestructura</i>	150
<i>Apéndice 2. Sondeo estructurado de movilidad realizada entre la comunidad universitaria</i>	162
<i>Apéndice 3. Análisis de demanda y capacidad del servicio de bus interno</i>	163
<i>Apéndice 4. Análisis de muestreo realizado en rutas Finca 1 – Finca 2</i>	166
<i>Apéndice 5. Resultados obtenidos tras la aplicación de las herramientas de Design Thinking.</i>	166
<i>Apéndice 6. Política del nivel de servicio de la OSG</i>	169
<i>Apéndice 7. Evaluación de las diferentes alternativas tecnológicas</i>	174
<i>Apéndice 8. Operación y mantenimiento del sistema automatizado de conteo de pasajeros</i>	175
<i>Apéndice 9. Resultado de medición de cobertura de la demanda</i>	176
<i>Apéndice 10. Reporte de asignación de buses y choferes a los roles de trabajo</i>	178
<i>Apéndice 11. Cuadro de mando Integral</i>	181
<i>Apéndice 12. Manual de uso de herramienta de demanda y asignación de recursos</i>	182
4.2.1. <i>Análisis de demanda</i>	187
4.2.2. <i>Asignación de recursos</i>	188
4.2.3. <i>Salida de datos</i>	192
<i>Apéndice 13. Cuestionario de satisfacción al usuario</i>	195

## Índice de tabla

TABLA 1. RESULTADOS HERRAMIENTA SERVQUAL .....	20
TABLA 2. METODOLOGÍA GENERAL DEL PROYECTO .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
TABLA 3. DESCRIPCIÓN DE LA FLOTILLA DE AUTOBUSES .....	40
TABLA 4. HORARIOS DEL SERVICIO DE BUS INTERNO PARA EL II CICLO 2018 .....	43
TABLA 5. OFERTA DEL SERVICIO DE BUS INTERNO SEGÚN HORARIO .....	44
TABLA 6. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE LA RUTA EN SENTIDO E-O.....	51
TABLA 7. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE LA RUTA EN SENTIDO O-E.....	51
TABLA 8. OFERTA DEL SERVICIO DE BUS INTERNO POR RANGO HORARIO .....	52
TABLA 9. DIAGRAMA SIPOC DEL PROCESO DE PLANIFICACIÓN DEL SERVICIO DE BUS INTERNO.....	56
TABLA 10. ESTIMACIÓN DEL COSTO MENSUAL DEL SERVICIO DE BUS INTERNO.....	59
TABLA 11. ESTIMACIÓN DEL COSTO POR PASAJERO EN LA RUTA SENTIDO E-O .....	60
TABLA 12. ESTIMACIÓN DEL COSTO POR PASAJERO EN LA RUTA SENTIDO O-E .....	61
TABLA 13. EMISIONES DE CO <sub>2</sub> EQUIVALENTE DEL SERVICIO DE BUS INTERNO (TONELADAS) .....	64
TABLA 14. PUNTUACIÓN SEGÚN LOS ESFUERZOS A OFRECER POR PARTE DE LA OSG.....	66
TABLA 15. PUNTUACIÓN DE LOS INDICADORES DE CALIDAD POR PARTE DE LOS ACTORES INVOLUCRADOS EN LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO .....	66
TABLA 16. ESCALA LİKERT PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA.....	69
TABLA 17. PUNTUACIÓN OBTENIDA A PARTIR DE LA MATRIZ MULTICRITERIO REALIZADA DE LOS MEDIOS DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA.....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
TABLA 18. COMPORTAMIENTO DE CAUSAS DE MOVILIDAD EN ESCENARIOS FUTUROS.....	70
TABLA 19. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE MEJORA A UTILIZAR EN EL DISEÑO DEL ESTUDIO .....	79
TABLA 21. LISTA DE COMPONENTES DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTEO DE PASAJEROS.....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
TABLA 22. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....	97
TABLA 23. RESULTADOS OBTENIDOS DEL DISPOSITIVO EN ENTORNO DE OPERACIÓN .....	128
TABLA 24. RESULTADO DE DEMANDA TOTAL POR HORA SEGÚN SENTIDO DE LA RUTA.....	132
TABLA 25. RESUMEN DE RECORRIDOS POR HORA DEL MODELO ACTUAL.....	133
TABLA 26. COMPARACIÓN ENTRE LA OFERTA ACTUAL Y EL MODELO PROPUESTO .....	134
TABLA 27. COMPARACIÓN DE COSTOS VARIABLES DE OFERTA ACTUAL Y MODELO PROPUESTO .....	135
TABLA 28. RESULTADO DE LA VALIDACIÓN EN TÉRMINO DEL AHORRO ECONÓMICO QUE REPRESENTA PARA LA OSG .....	135
TABLA 29 COMPARACIÓN DE EMISIONES DE KG DE CO <sub>2</sub> EQUIVALENTE DE LA OFERTA ACTUAL Y EL MODELO PROPUESTO.....	136
TABLA 30. INGRESO EN LA HERRAMIENTA DE LAS DISTANCIAS POR RUTAS Y TRAMOS .....	136
TABLA 31. RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA EN TÉRMINOS DE LA SELECCIÓN DE LA MEJOR RUTA .....	136
TABLA 32. DETALLE DE TIEMPOS LIBRES DE LOS CHOFERES SEGÚN BLOQUE HORARIO. ....	138
TABLA 33. RESUMEN DE TIEMPOS LIBRES POR ROL .....	139
TABLA 34. BENEFICIOS OBTENIDOS PARA CADA INDICADOR DEL CMI .....	140
TABLA 35. COMPARACIÓN COSTO POR PASAJERO SEGÚN OFERTA ACTUAL Y SEGÚN MODELO PROPUESTO .....	142
TABLA 36. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE Y DE INFRAESTRUCTURA. CRITERIO EVALUADO: ACEPTACIÓN DEL USUARIO .....	150
TABLA 37. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE Y DE INFRAESTRUCTURA. CRITERIO EVALUADO: FACTIBILIDAD POR NORMATIVAS .....	152
TABLA 38. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE Y DE INFRAESTRUCTURA. CRITERIO EVALUADO: INTERÉS DE LA OSG .....	154

TABLA 39. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE Y DE INFRAESTRUCTURA. CRITERIO EVALUADO: FACTIBILIDAD TÉCNICA SEGÚN EL CONTEXTO .....	157
TABLA 40. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y DE INFRAESTRUCTURA. CRITERIO EVALUADO: ALCANCE DEL PROYECTO .....	159
TABLA 41. CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE LOS BUSES .....	163
TABLA 42. AUMENTO DE BUSES CON CAPACIDAD DE ASIENTOS .....	165
TABLA 43. AUMENTO DE BUSES CON CAPACIDAD DE ASIENTOS Y PERSONAS DE PIE .....	165
TABLA 44. MUESTREO DE PERSONAS ABORDADAS EN DIFERENTES HORARIOS .....	166
TABLA 45. ESCALA DE LIKERT PARA EVALUACIÓN DE LA HERRAMIENTA TECNOLÓGICA.....	174
TABLA 46. COMPARACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS SEGÚN ESCALA DE LIKERT.....	174
TABLA 47. RESULTADO DE DEMANDA POR HORA EN SENTIDO F1-F3 .....	177
TABLA 48. RESULTADO DE DEMANDA POR HORA EN SENTIDO F3-F1 .....	177
TABLA 49. REPORTE DE ASIGNACIÓN DE ROLES, AUTOBUSES Y CHOFERES GENERADO POR LA HERRAMIENTA PROGRAMADA .....	178

## Índice de figuras

FIGURA 1. DEMANDA VS CAPACIDAD (ESCENARIO 1) .....	18
FIGURA 2. DEMANDA VS CAPACIDAD (ESCENARIO 15 ESTUDIANTES, TODOS SENTADOS Y 30 DE PIE) .....	18
FIGURA 3. DEMANDA VS CAPACIDAD FINCA 3 (ESCENARIO 25 ESTUDIANTES).....	19
FIGURA 4. CAUSAS PRINCIPALES PARA PREFERIR OTROS MEDIOS DE MOVILIZACIÓN .....	21
FIGURA 5. COMPORTAMIENTO DE EMISIONES DE CO <sub>2</sub> (KG).....	22
FIGURA 6. CONTRASTE DE ENFOQUES PARA LA PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE .....	28
FIGURA 7. DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD PARTICIPATIVA MEDIANTE EL USO DE LA METODOLOGÍA DESIGN THINKING .....	30
FIGURA 8. HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA METODOLOGÍA DESIGN THINKING .....	31
FIGURA 9. METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	36
FIGURA 10. PORCENTAJE DE PERSONAS QUE VISITAN LAS FINCAS UNIVERSITARIAS .....	37
FIGURA 11. PORCENTAJE DE PERSONAS QUE REALIZAN TRASLADOS ENTRE FINCAS, SEGÚN EL SENTIDO DE LA RUTA .....	38
FIGURA 12. PRINCIPALES RAZONES POR LAS CUALES LOS USUARIOS UTILIZAN EL SERVICIO .....	39
FIGURA 13. RUTA SENTIDO EDUCACIÓN-ODONTOLOGÍA .....	41
FIGURA 14. RUTA SENTIDO ODONTOLOGÍA-EDUCACIÓN .....	41
FIGURA 15. CLASIFICACIÓN DEL NIVEL DE OCUPACIÓN .....	45
FIGURA 16. PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE DÍAS.....	45
FIGURA 17.. PRUEBA DE HOMOGENEIDAD POR RANGOS DE HORAS .....	46
FIGURA 18. TENDENCIA CENTRAL Y VARIABILIDAD DE LA DEMANDA EN SENTIDO E-O.....	46
FIGURA 19. TENDENCIA CENTRAL Y VARIABILIDAD DE DEMANDA EN SENTIDO O-E.....	47
FIGURA 20. PROMEDIO DE PASAJEROS POR RANGO DE HORA Y SENTIDO DE LA RUTA.....	47
FIGURA 21. PROMEDIO DE PASAJEROS POR HORA SEGÚN EL SENTIDO DE LA RUTA.....	48
FIGURA 22. COMPORTAMIENTO DE SUBE Y BAJA EN LAS PARADAS PARA EL SENTIDO E-O .....	49
FIGURA 23. COMPORTAMIENTO DE SUBE Y BAJA EN LAS PARADAS PARA EL SENTIDO O-E .....	49
FIGURA 24. ESCENARIO PROBABLE DE DEMANDA SENTIDO E-O.....	53
FIGURA 25.. ESCENARIO PESIMISTA DE DEMANDA SENTIDO E-O .....	53
FIGURA 26. ESCENARIO PROBABLE DE DEMANDA SENTIDO O-E.....	54
FIGURA 27. ESCENARIO PESIMISTA DE DEMANDA SENTIDO O-E .....	54
FIGURA 28. ÁREAS QUE EVALUAR SEGÚN EL MARCO ESTRATÉGICO DEL PLAN ANUAL OPERATIVO 2016-2020.....	55
FIGURA 29. COSTO POR PASAJERO SEGÚN HORAS SENTIDO E-O .....	62
FIGURA 30. COSTO POR PASAJERO SEGÚN HORAS SENTIDO O-E .....	62
FIGURA 31. COMPORTAMIENTO DE LAS EMISIONES DE CO <sub>2</sub> EQUIVALENTE DEL BUS INTERNO.....	64
FIGURA 32. BRECHAS EXISTENTES ENTRE LO QUE EL USUARIO ESPERA Y LO QUE LA OSG ESTÁ DISPUESTA A OFRECER.....	67
FIGURA 33.. ÁRBOL DE REALIDAD ACTUAL DEL SERVICIO DE BUS INTERNO DE LA OSG.....	72
FIGURA 34. DEFINICIÓN DE LAS ETAPAS DE DISEÑO DEL PROYECTO .....	78
FIGURA 35.. ENFOQUE DE LA POLÍTICA DE NIVEL DE SERVICIO .....	80
FIGURA 36. INDICADORES QUE RESPONDEN A LA POLÍTICA DE SERVICIO DE LA OSG .....	80
FIGURA 37. PROCESO DE DEFINICIÓN Y CONTROL DE LA POLÍTICA DE SERVICIO .....	82
FIGURA 38.. MEJORA DEL PROCESO DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO DEL BUS INTERNO .....	84
FIGURA 39. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTEO DE PASAJEROS .....	85
FIGURA 40. LOGO DEL DISEÑO DE PRODUCTO DATA-MOV .....	89
FIGURA 41. VISTA FRONTAL DEL CONTADOR DE PASAJEROS DATA-MOV .....	90
FIGURA 42. VISTA LATERAL Y SUPERIOR DEL CONTADOR DE PASAJEROS DATA-MOV .....	91
FIGURA 43. PLANO DE CONEXIONES DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTEO DE PASAJEROS .....	93
FIGURA 44. DIAGRAMA DE FLUJO DEL ALGORITMO DE DETECCIÓN DE PASAJEROS .....	94
FIGURA 45. PLANOS DE LA CARCASA DEL DISPOSITIVO TECNOLÓGICO.....	95
FIGURA 46. DISEÑO FINAL DEL SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTEO DE PASAJEROS .....	96
FIGURA 47.. PROCESO DETALLADO PARA EL ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE PASAJEROS .....	98
FIGURA 48. INGRESO DE DATOS DEL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE PASAJEROS AL SISTEMA .....	99
FIGURA 49. REPORTE DE GPS .....	99
FIGURA 50. UNIÓN DE PARADA A REPORTE DE SUBE Y BAJA .....	99
FIGURA 51.. CÁLCULO DE LLEGADAS TARDÍAS .....	100
FIGURA 52. CÁLCULO DE OCUPACIÓN POR PARADA .....	100

FIGURA 53. CANTIDAD DE PERSONAS QUE UTILIZAN EL SERVICIO POR HORA, PARADA Y SENTIDO .....	101
FIGURA 54. PUNTUALIDAD DE SALIDAS POR AUTOBÚS, HORA, SENTIDO Y CHOFER .....	101
FIGURA 55. PUNTUALIDAD POR CHOFER POR HORA .....	102
FIGURA 56. UTILIZACIÓN DEL SERVICIO POR PARADA, HORA Y SENTIDO .....	102
FIGURA 57. SALIDA DE DATOS PARA HERRAMIENTA DE ASIGNACIÓN DE HORARIOS, ROLES DE TRABAJO Y RECURSOS .....	103
FIGURA 58. MACROPROCESO DE DEFINICIÓN DE RUTAS, ROLES Y CHOFERES .....	103
FIGURA 59. PROCESO DETALLADO PARA LA DEFINICIÓN DE RUTAS .....	105
FIGURA 60. RUTAS Y PARADAS PREDETERMINADAS CON DISTANCIA TOTAL .....	106
FIGURA 61. PROCESO DETALLADO PARA LA DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS Y HORARIOS DE LOS BUSES .....	109
FIGURA 62. DEFINICIÓN DE FRECUENCIAS Y HORARIOS .....	111
FIGURA 63. CUADRO DE IMPLICACIONES DE LOS CAMBIOS DE FRECUENCIA .....	111
FIGURA 64. PROCESO DETALLADO PARA LA CREACIÓN DE ROLES Y ASIGNACIÓN DE RECURSOS .....	113
FIGURA 65. ASIGNACIÓN DE ROLES POR AUTOBÚS .....	114
FIGURA 66. INGRESO DE VARIABLES PARA LA ASIGNACIÓN DE RECURSOS .....	117
FIGURA 67. MODELO DE ASIGNACIÓN DE RECURSOS POR MEDIO DE PROGRAMACIÓN LINEAL .....	117
FIGURA 68. PROCESO DETALLADO PARA LA DEFINICIÓN Y CONTROL DEL CUESTIONARIO DE SATISFACCIÓN .....	118
FIGURA 69. CONSIDERACIONES MÍNIMAS PARA LA ELABORACIÓN DEL CUESTIONARIO PARA EL USUARIO .....	119
FIGURA 70. PUBLICIDAD PARA LA DIVULGACIÓN DEL CUESTIONARIO DE SATISFACCIÓN .....	120
FIGURA 71. PROCESO DETALLADO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE LOS INDICADORES EN EL MANDO DEL CUADRO INTEGRAL .....	121
FIGURA 72. METODOLOGÍA PARA LA ETAPA DE VALIDACIÓN .....	126
FIGURA 73.. INSTALACIÓN DE DATA-MOV DENTRO DE LOS BUSES INTERNOS UCR .....	128
FIGURA 74. SISTEMA DE ENERGÍA PARA CONTADO (CUADRA, 2019) .....	130
FIGURA 75. RUTAS Y PARDAS UTILIZADAS EN LA VALIDACIÓN DEL PROYECTO .....	131
FIGURA 76. COMPARACIÓN EN LA PRECISIÓN DE LA OFERTA SEGÚN MODELO ACTUAL E INDICADOR .....	143
FIGURA 77. PRECISIÓN DE LA OFERTA VS. DEMANDA .....	144
FIGURA 78. COMPARACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL SERVICIO ACTUAL VS. DEL PROPUESTO .....	144
FIGURA 79. RUTA RECOMENDADA .....	147
FIGURA 80.. RESPUESTA PREGUNTA 1 .....	162
FIGURA 81. RESPUESTA PREGUNTA 2 .....	162
FIGURA 82. RESPUESTA PREGUNTA 3 .....	162
FIGURA 83. PRINCIPALES RAZONES POR LAS CUALES LOS USUARIOS HAN TENIDO QUE BUSCAR OTRAS ALTERNATIVAS .....	162
FIGURA 84. RESPUESTA PREGUNTA 5 .....	163
FIGURA 85. GRÁFICO DE DEMANDA VS. CAPACIDAD .....	163
FIGURA 86. GRÁFICO DE DEMANDA VS. CAPACIDAD .....	164
FIGURA 87. GRÁFICO DE DEMANDA VS. CAPACIDAD .....	164
FIGURA 88. GRÁFICO DE DEMANDA VS. CAPACIDAD .....	164
FIGURA 89. GRÁFICO DE DEMANDA VS. CAPACIDAD .....	164
FIGURA 90.. MAPEO DE ACTORES DEL SERVICIO DE TRANSPORTE INTERNO .....	167
FIGURA 91. INSTRUCCIONES PARA LA UTILIZACIÓN DEL DISPOSITIVO .....	175
FIGURA 92. CUADRO DE MANDO INTEGRAL TABLEAU .....	181
FIGURA 93. MENÚ PRINCIPAL DE NAVEGACIÓN. ....	183
FIGURA 94. REGISTRO DE ASIGNACIÓN DE CHOFERES POR DÍA SEGÚN PLACA DE AUTOBÚS. ....	183
FIGURA 95. VARIABLES REQUERIDAS PARA LA ASIGNACIÓN DE RECURSOS .....	184
FIGURA 96. COSTOS POR KILÓMETRO POR AUTOBÚS. ....	184
FIGURA 97. SALARIO POR HORA DE CADA CHOFER. ....	184
FIGURA 98. HORARIOS ESTABLECIDOS. ....	185
FIGURA 99. REPORTE DE GPS .....	185
FIGURA 100. VELOCIDADES POR TRAMO .....	186
FIGURA 101. INGRESO DE RUTAS AL SISTEMA. ....	186
FIGURA 102. INGRESO DE DATOS DE DISPOSITIVO. ....	187
FIGURA 103. CÁLCULO DE LLEGADAS TARDÍAS .....	187
FIGURA 104. CÁLCULO DE UTILIZACIÓN .....	188
FIGURA 105. SELECCIÓN DE RUTA .....	188

FIGURA 106.DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS .....	188
FIGURA 107. DETERMINACIÓN DE ROLES REQUERIDOS .....	189
FIGURA 108. TIEMPOS LIBRES ENTRE CADA FRECUENCIA REALIZADA POR ROL .....	189
FIGURA 109. VARIABLES DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA ASIGNACIÓN DE BUSES A ROLES .....	190
FIGURA 110. CONFIGURACIÓN DE HERRAMIENTA SOLVER .....	191
FIGURA 111. MÓDULO DE ANÁLISIS DE ESCENARIOS.....	192
FIGURA 112. TABLA DE DATOS MAESTRA. ....	192
FIGURA 113. REPORTES DINÁMICOS. ....	192
FIGURA 114. PANEL DE CREACIÓN DE TABLA DINÁMICA. ....	193
FIGURA 115. RESUMEN DE ASIGNACIÓN DE ROLES A CADA BUS Y CHOFER.....	193
FIGURA 116. ROLES DE TRABAJO FINAL.....	194
FIGURA 117. COSTOS TOTALES Y POR PASAJERO POR HORA .....	194
FIGURA 118. PRECISIÓN DE LA OFERTA BRINDADA CON RESPECTO A LA DEMANDA ESTIMADA .....	195



## *Introducción*

La Universidad de Costa Rica es una institución pública que se ha destacado por ser un referente nacional de innovación en materia de sostenibilidad, tecnología e implementación de proyectos que busquen mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, por esta razón la mejora de su sistema de transporte interno no debe ser la excepción. A partir del año 2013, la sede Rodrigo Facio ha experimentado una expansión en su infraestructura lo cual ha generado nuevas necesidades de transporte dentro de sus instalaciones. Esto ha llevado a la Oficina de Servicios Generales de la Universidad de Costa Rica a ampliar su oferta de servicio por medio de la incorporación del servicio gratuito de bus interno para el recorrido entre las tres fincas que componen la sede.

El desarrollo de este proyecto se enfoca en este servicio en específico donde inicialmente el problema se plantea como la necesidad de fortalecer el sistema de movilidad entre las tres fincas universitarias, por medio de la incorporación de otros medios de transporte. Sin embargo, en la etapa de diagnóstico se realizan estudios específicos de los cuales se concluye que hay dos alternativas que la OSG puede llegar a ofrecer para dar una solución inmediata a la universidad. La primera consiste en la mejora del servicio del bus interno y la segunda la incorporación de un servicio de préstamo de bicicletas. Sin embargo, para ofrecer una solución que genere un alto impacto a corto plazo, se determina que el proyecto debe encaminarse hacia la mejora del servicio del bus interno.

El presente estudio comprende cuatro capítulos. En el capítulo I se establece la justificación del proyecto, se detallan el problema detectado y las causas que lo están generando; también se establece el objetivo general y el marco teórico que apoya la información planteada a lo largo del documento. En el capítulo II se lleva a cabo un diagnóstico exhaustivo de las causas del problema y sus repercusiones sobre el sistema de movilidad de la sede Rodrigo Facio. Es importante destacar que en este capítulo se determina el nuevo enfoque del proyecto, relacionado con la solución de los problemas que están afectando directamente al servicio de bus interno.

En el capítulo III se presenta el diseño de tres propuestas de mejora que tienen como objetivo buscar una solución al problema identificado. Entre ellas se destaca en primer lugar una política de nivel de servicio del bus interno donde se establece la promesa de servicio que la OSG se compromete a dar al usuario; en segundo lugar, se tiene la creación de Data-Mov, un sistema de análisis de la demanda y modelamiento de la oferta de servicio. Este sistema integra dos soluciones tecnológicas diseñadas en este proyecto. La primera consiste en la creación de un dispositivo tecnológico diseñado para el conteo de pasajeros del autobús por medio de sensores infrarrojos y la segunda herramienta, que lo complementa, consiste en una hoja electrónica programada que integra la información capturada y permite el análisis de datos de demanda y la generación de un modelado de la oferta de servicio de acuerdo a dicha información. Por último, la creación de un sistema de monitoreo y control del servicio por medio de un Cuadro de Mando Integral (CMI) donde se visualizan varios indicadores relevantes para la operación y una interfaz de visualización por medio del software Tableau.

En el capítulo IV se validan la implementación de las herramientas propuestas y los indicadores de éxito del proyecto. Finalmente se detallan las conclusiones del proyecto y sus beneficios tanto para la OSG como para la sociedad a nivel país.

***Abreviaturas y acrónimos***

UCR: Universidad de Costa Rica

OSG: Oficina de Servicios Generales

Finca 1. Campus Universitario

Finca 2. Ciudad de la Investigación

Finca 3. Instalaciones Deportivas

## **Capítulo 1. Propuesta de proyecto**

### **1.1 Descripción de la organización**

La Oficina de Servicios Generales (OSG) de la Universidad de Costa Rica (UCR) es la dependencia encargada de la prestación de servicios de apoyo a las actividades de la institución para el desarrollo de la docencia, la investigación y la acción social dentro la universidad. Actualmente forma parte de la Vicerrectoría de Administración de la Universidad de Costa Rica, cuyos objetivos se centran en satisfacer las necesidades de la comunidad universitaria, mediante servicios eficaces de mantenimiento de infraestructura, maquinaria y equipo; seguridad, tránsito y transporte, para de tal manera cumplir con los requisitos legales y otros requisitos aplicables a las actividades de la institución.

### **1.2 Alcance del proyecto**

El alcance del presente proyecto abarca el área correspondiente a la Sección de Transportes de la Oficina de Servicios Generales, en particular, el servicio de transporte del bus interno de la Universidad de Costa Rica.

### **1.3 Enunciado del problema**

El proceso de planificación actual del bus interno de la OSG no permite el mejor aprovechamiento de los recursos, lo que, sumado a la inexistencia de una política de nivel de servicio y a falta de información, dificulta el monitoreo y control de las variables que influyen en la operación del transporte.

### **1.4 Justificación del problema**

La aspiración del proyecto surge de la necesidad de fortalecer el sistema de movilización entre las tres fincas de la UCR. El grupo investigador da respuesta a esta necesidad en primer lugar mediante la evaluación de medios de transporte distintos a los que brinda actualmente la universidad, bajo un enfoque intermodal basado en la pirámide de movilidad, donde se priorizan los medios más sanos. Por esto, se inicia con un estudio de medios de transporte alternativos que se tienen en universidades en el exterior y que han sido pioneras en este tema. De esta manera se seleccionan aquellos medios más aptos según las aspiraciones tanto de la OSG como de los usuarios. Los resultados indican la implementación de bicicletas en el campus y la mejora del transporte en bus (Apéndice 1).

Sin embargo, se evidencia que a lo largo del diagnóstico existen oportunidades de mejora relacionadas con el servicio del bus interno que ofrece actualmente la OSG, las cuales deben ser resueltas primero, antes de generar nuevas formas de movilización. Por esta razón, se decide enfocar el proyecto en aquellos recursos actuales que presenta la OSG y lograr el mayor aprovechamiento de su oferta al menor costo posible. Esta nueva oportunidad de mejora puede generar un mayor impacto en corto plazo para la comunidad universitaria.

Siendo éste el nuevo enfoque, se inicia el análisis primero con la identificación de las necesidades de movilización entre fincas, para luego ahondar en el estudio del servicio de bus interno y sus políticas asociadas a él.

#### **1.4.1 Necesidades de movilización entre fincas**

La sede universitaria Rodrigo Facio se compone de tres fincas que se encuentran geográficamente separadas. En estas tres ubicaciones se encuentran distribuidas diferentes facultades, centros de investigación, edificios administrativos y espacios recreativos, lo cual genera una constante necesidad de movilidad entre fincas por parte de la comunidad universitaria. Desde el año 2013, la sede Rodrigo Facio inicia un proceso de expansión de sus instalaciones, con la construcción de nuevos edificios

para varias facultades y centros de investigación, entre otros. Por ejemplo, en el año 2015, la Facultad de Ciencias Sociales en la Finca 2, y a partir del año 2018, las Facultades de Ingeniería y Odontología en las Fincas 2 y 3 respectivamente.

Con el fin de analizar los flujos de las personas, se realiza un sondeo estructurado entre la población universitaria (Apéndice 2). Se obtiene un total de 371 respuestas entre ellos estudiantes, funcionarios y administrativos. Estos datos se consideran estadísticamente correctos con un 95% de confianza según la literatura consultada.

Los resultados del sondeo indican que del total de las personas entrevistadas un 57% indica que su principal razón para movilizarse es por el trasbordo a buses externos de la universidad, ya que las paradas de éstos se encuentran exclusivamente en los alrededores de la Finca 1, al igual que la mayoría de las instalaciones de servicios adicionales. Seguido a esto un 55,6% de los entrevistados indica que se movilizan porque las clases se encuentran distribuidas entre diferentes fincas. Por último, un 47,5%, indican que se trasladan debido a actividades adicionales (fuentes de alimentación, centros de fotocopiado o impresión, cajeros automáticos, actividades de socialización, etc.).

Además, para movilizarse entre fincas, las personas pueden escoger distintas alternativas, entre las cuales se destacan la utilización de los medios de transporte personal (vehículo, moto, bicicleta), la utilización del servicio de bus interno y la opción de caminar. La primera alternativa de transporte entre fincas por medio de vehículos personales no es de interés para el alcance de este estudio, ya que ésta es muy restringida (por normativa institucional es necesario contar con marchamo universitario). Además, en el sondeo se destaca que únicamente un 5% de las personas utilizarían un medio de transporte propio para trasladarse entre fincas. Con respecto a la segunda y tercera alternativas de movilidad planteadas, se logra identificar por medio del sondeo que el 79,5% de las personas utilizan el servicio de bus interno para trasladarse entre fincas y que el 31% de estas personas optarían por caminar en caso de tener que recurrir a otra vía, es por ello que esta primera alternativa es de interés para este estudio.

#### ***1.4.2 Servicio de bus interno***

El transporte por medio del bus interno es un servicio gratuito ofrecido por la OSG para el traslado de personas entre las diferentes fincas de la sede Rodrigo Facio. Este servicio cuenta con un horario de rutas de lunes a viernes desde las 6:20 a.m. hasta las 9:50 p.m. con una frecuencia entre los 5 y 35 minutos. La capacidad instalada es de seis unidades de transporte, de las cuales cinco se encuentran en funcionamiento y una en reparación debido a un fallo mecánico. De las unidades en servicio, tres están designadas a la ruta entre las Fincas 1 y 2, y las otras dos unidades se destinan a la ruta entre las Fincas 1 y 3, todo lo anterior para el periodo del I ciclo del 2018.

La demanda del servicio es variable y depende del horario de los cursos, por lo que en ciertas horas el servicio se satura de usuarios en horarios picos, y en otras ocasiones se encuentra totalmente subutilizado. La problemática recae en que la saturación del servicio genera insatisfacción de la demanda, ya que los usuarios de ciertas paradas no consiguen abordar el autobús debido a lo abarrotado que se encuentra en algunas ocasiones; por otro lado, en el caso de una subutilización, la repercusión principal la asume la OSG en términos económicos, al destinar más recursos de los necesarios en esas horas. Analizando lo anterior, se detectan retos relacionados con el proceso de planificación del transporte; concretamente el proceso no se ha basado en una práctica sistematizada

donde se incorpore la información de la demanda de los usuarios y la información de la oferta (recursos disponibles). Esto se debe principalmente a que la OSG no cuenta con las herramientas de gestión necesarias para poder analizar, monitorear y planificar el uso de los recursos. Además, al no conocer dicha información, la planificación se basa en una respuesta reactiva que lleva a ampliar la oferta en la mayoría de los horarios debido a la necesidad de satisfacer al máximo su servicio, sin embargo, en algunos horarios se sigue sin suplir la demanda y en otros el bus se encuentra vacío. Esto refleja que no se está planificando el transporte basado en la demanda que genera cada parada por hora, y por esta razón, es de interés conocer el comportamiento de capacidad y demanda de este servicio, al igual que la percepción de sus usuarios.

#### ***1.4.3 Demanda del servicio de bus interno***

Actualmente, la OSG no cuenta con la información de demanda y utilización del servicio; por lo tanto, se lleva a cabo un planteamiento teórico hipotético como punto de partida para su estimación, y posteriormente se realiza un estudio de campo para aproximar la utilización del servicio.

Como se menciona en apartados anteriores, la necesidad de trasladarse entre las diferentes fincas, ha desencadenado un aumento de la demanda del servicio de bus interno. De acuerdo a los resultados del sondeo estructurado, este es el principal medio de transporte utilizado por los estudiantes de Ciencias Sociales, Ingeniería y Odontología, en un 93,02%, 83,90% y 86,84% respectivamente. Al analizar el comportamiento de demanda potencial de estas tres poblaciones estudiantiles y de los estudiantes que visitan las instalaciones deportivas (Apéndice 3), se logra identificar que el servicio de transporte interno actual no cuenta con la capacidad instalada suficiente para poder transportar a los estudiantes.

En el caso de los estudiantes de Ciencias Sociales e Ingeniería, que pueden utilizar ambas rutas para transportarse (Figura 1), ni en el menor escenario de demanda considerado (al suponer una matrícula de 15 estudiantes por curso impartido en el I ciclo del 2018) se cuenta con la capacidad total instalada suficiente para movilizar a estos estudiantes en los horarios de inicio de los cursos de 7 a.m., 9 a.m., 10 a.m., 1 p.m., 4 p.m., 5 p.m. y 7 p.m.; además, los picos de demanda de los días lunes, martes y jueves superan a la capacidad en más de 1000 personas para el horario de la 1 p.m., el cual se considera el más crítico, seguido por los horarios de las 10 a.m. y de las 7 a.m.. Cabe destacar que actualmente estos buses no cuentan con el permiso de CTP para transportar pasajeros de pie, puesto que es un servicio no remunerado, lo cual expone a la OSG a una multa por parte de la policía de tránsito; sin embargo, en la organización están dispuestos a asumir este riesgo debido a la alta demanda. Por esta razón, también se analizan los escenarios de demanda, considerando como capacidad máxima a todos los pasajeros sentados y 30 de pie, cantidad máxima permitida por el CTP para el servicio remunerado (Público, 2015).

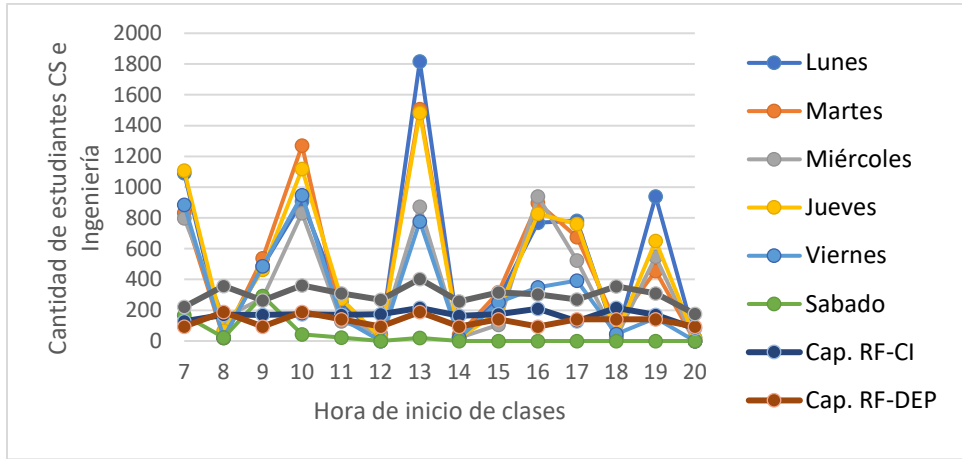


Figura 1. Demanda vs Capacidad (escenario 1)

En la figura 2, se evidencia que ni aumentando a esta cantidad el sistema es capaz de movilizar a esta población estudiantil en los horarios críticos anteriormente mencionados.

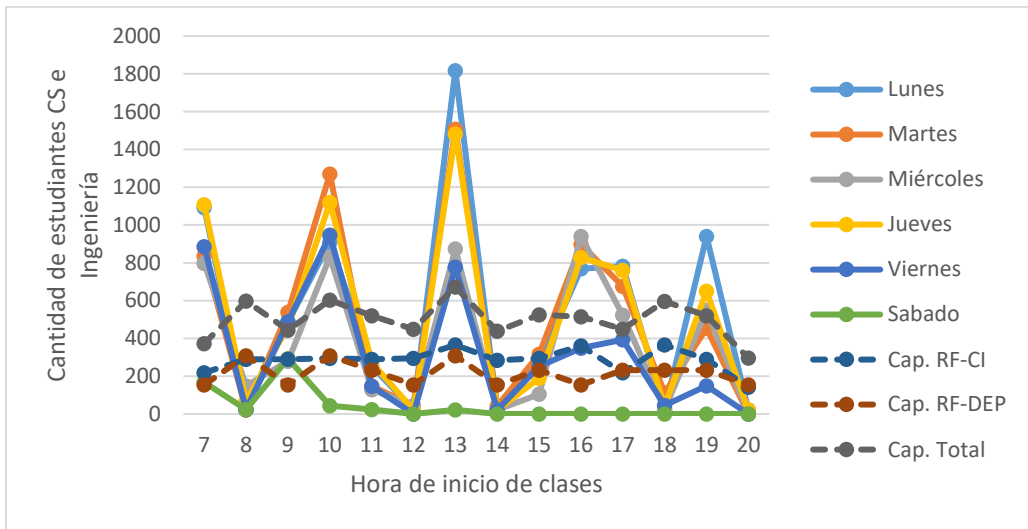


Figura 2. Demanda vs Capacidad (escenario 15 estudiantes, todos sentados y 30 de pie)

Ahora bien, al analizar la población de estudiantes de cursos ubicados en las Instalaciones Deportivas y Odontología (Figura 3), se puede observar que incluso para el escenario con mayor cantidad de estudiantes por grupo (25 personas) se puede suplir la demanda con la capacidad instalada en caso de que las personas viajen sentadas y de pie por lo cual se esperaría que estas poblaciones no tuvieran dificultades para utilizar el servicio. Sin embargo, es importante resaltar que esta ruta no es exclusiva para estas poblaciones puesto que los estudiantes de Ciencias Sociales e Ingeniería que viajan a la Ciudad de la Investigación también pueden utilizarla.

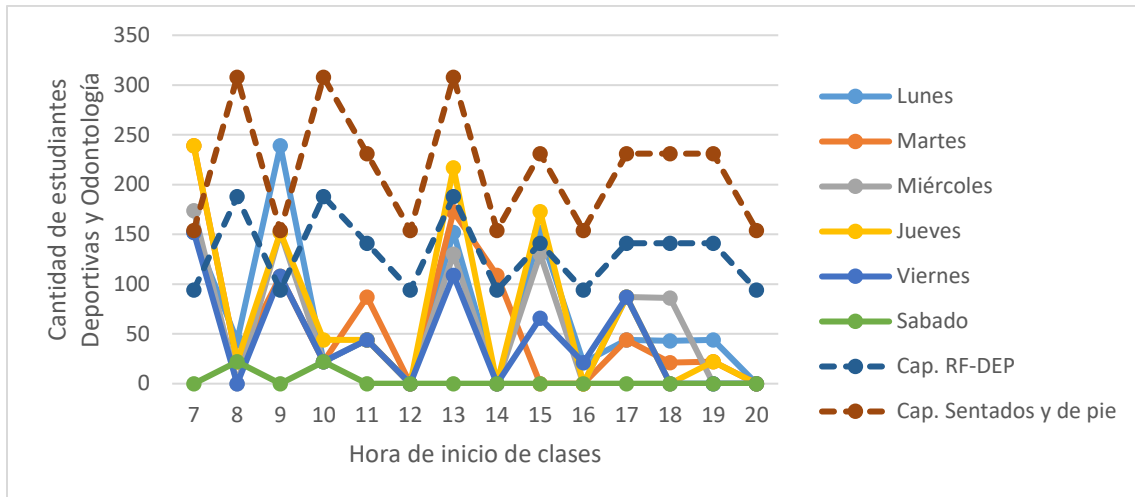


Figura 3. Demanda vs Capacidad Finca 3 (escenario 25 estudiantes)

Al realizar un muestreo de campo sobre la utilización de la capacidad de la ruta Finca 1 – Finca 2, se obtienen 51 datos (Apéndice 4). Se observa que en el 76% de las ocasiones, los usuarios sobrepasan la capacidad de los asientos disponibles en el autobús, y que el promedio de uso de la capacidad de estos es del 120%. Se cuenta con picos de demanda en las horas de las 6 a.m., 8 a.m. y 12 md (esto similarmente a lo planteado en el análisis teórico de la demanda). El servicio tiene horarios en los cuales la demanda supera hasta en un 215% la capacidad instalada y otros en los cuales se subutiliza con un 15% (Apéndice 4).

#### 1.4.4 Percepción del usuario

De acuerdo al sondeo, se logra identificar los requerimientos que los usuarios consideran más importantes para movilizarse entre fincas: por ejemplo, un 66% de usuarios indica una mejora en la frecuencia de rutas; un 55%, en la infraestructura de las paradas; un 42%, que el recorrido entre fincas sea techado, y, por último, un 31% enfatiza en que una de las alternativas sea el préstamo de bicicletas.

Además, los resultados del sondeo estructurado demuestran la insatisfacción por parte de los usuarios respecto al servicio de transporte brindado por la OSG. Mediante la herramienta estadística SERVQUAL, se percibe que definitivamente existen indicadores de desempeño que los usuarios consideran vitales y que aun así no se satisfacen. Para este análisis, se definen doce indicadores donde cada uno de éstos se evalúa mediante preguntas, para determinar qué tan importante es cada indicador para el usuario del servicio de bus y qué tan satisfecho está con su calidad. El resultado se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados herramienta SERVQUAL

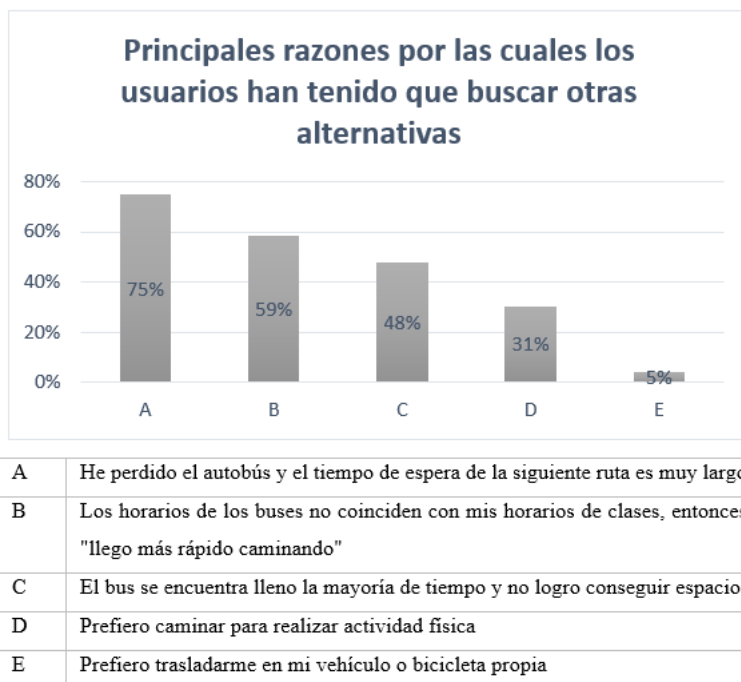
Indicador	Índice de la calidad del servicio
Información disponible y actualizada de los horarios y paradas	-0,88
Ubicación de las paradas del autobús	-0,79
Frecuencia de las rutas	-1,52
Cumplimiento de los horarios	-1,26
Tiempo de espera del autobús en la parada	-1,30
Tiempo en la ruta realizada por el autobús	-0,67
Limpieza de autobús	0,35
Disponibilidad de asientos en autobús	-0,22
Comodidad para viajar	-0,08
Seguridad dentro del autobús	-0,25
Infraestructura de las paradas de autobús	-0,73
Seguridad en las paradas del autobús	-1,01
<b>Índice global del servicio</b>	<b>-0,69</b>

De la tabla 1, se muestra que las mayores diferencias entre expectativa y percepción corresponden a los indicadores frecuencia de las rutas, cumplimiento de los horarios, tiempo de espera del autobús en la parada y seguridad en las paradas de los autobuses. Además, ninguno de los indicadores es positivo, esto quiere decir que no hay un indicador que sobrepase las expectativas del servicio o bien que el usuario no recibe lo que espera (que ocurre cuando el valor es cero). Finalmente, el estudio da como resultado un índice global del servicio de -0,69, lo cual significa que la comunidad universitaria no se encuentra del todo conforme con el servicio y se evidencia que hay grandes oportunidades de mejoras.

A causa de este grado de insatisfacción, los usuarios han optado por otras alternativas o medios de movilización para satisfacer sus necesidades. Entre las causas más significativas, el 75% de las personas busca otro medio de movilización debido a que *“han perdido el autobús y el tiempo de espera de la siguiente ruta es muy largo”*. Un 59% de los encuestados indica que *“los horarios de los buses no coinciden con los horarios de clases, entonces se llega más rápido caminando”*.

La distribución de los datos se muestra en la figura 4.





*Figura 4. Causas principales para preferir otros medios de movilización*

En la figura 4 se evidencia que hay un grado de insatisfacción que ha repercutido en que éstos tengan que buscar otras alternativas para movilizarse, sin embargo, dichas alternativas son escasas en la universidad, ya que el único servicio que se presta actualmente para este fin es el bus interno.

#### **1.4.5 Sistema de movilidad actual de la comunidad universitaria**

Otro de los objetivos estratégicos de la OSG es promover el cuidado ambiental en sus actividades cotidianas, procurando lograr un equilibrio sostenible en toda la comunidad universitario. Producto de esto, la UCR ha buscado generar estrategias que en conjunto logren cambiar no solo la realidad que enfrenta en temas de movilidad y disposición del espacio, sino también enfocadas en asegurar la accesibilidad al campus y el uso de medios de desplazamiento alternativos que mitiguen las emisiones de gases de efecto invernadero (Hernandez, 2017); incluso se han llevado a cabo planes de mejoramiento de la movilización y el transporte, para convertir el campus en un espacio armónico, amigable, atractivo y promover una visión de universidad saludable (UCR, 2012).

Lo anterior demuestra que existen esfuerzos por convertir a la universidad en un espacio donde la movilidad se pueda dar de manera integral. Sin embargo, actualmente el crecimiento exponencial de la demanda de usuarios del servicio de bus interno ha generado un desbalance en la pirámide de movilidad urbana (González, 2018).

Para cubrir esta necesidad, la OSG considera la posibilidad de comprar más buses para aumentar así la flota actual. Esta opción trae muchas implicaciones a nivel de costos económicos e impacto vial (congestión vehicular) en los diferentes trayectos fuera y dentro de las tres fincas. Por último, existe una razón proporcional entre la compra de buses y la generación de GEI, debido a que el aumento de este medio de transporte acarrea un aumento exponencial de estas emisiones; este comportamiento se evidencia en la figura 5.

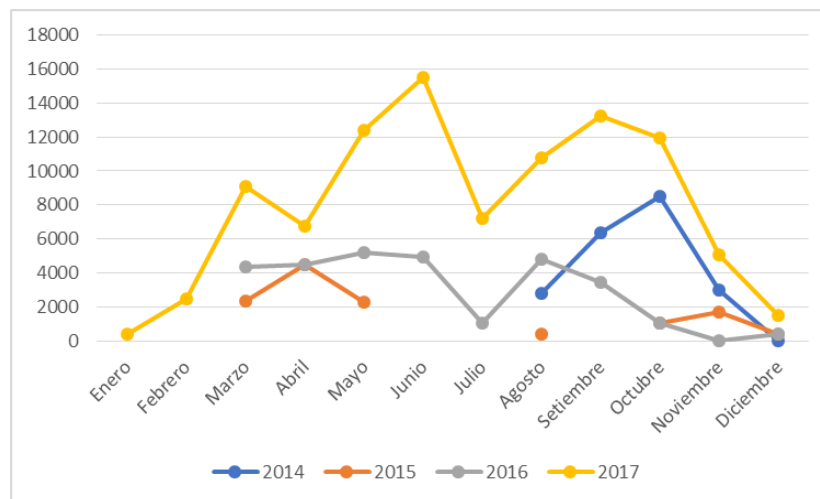


Figura 5. Comportamiento de emisiones de CO2 (kg)

En la Figura 5 se observa el aumento significativo de la cantidad de kilogramos de CO2 emitidos al ambiente desde el año 2014 hasta el año 2017 (no se cuenta con los datos del 2018), esto como consecuencia del aumento en las rutas realizadas; junio del 2017 fue el mes con mayores emisiones, con un total de 15483.12 kg de CO2. Si bien es cierto que la Universidad es carbono neutral; si se divide por sede y recintos, la Sede Rodrigo Facio es la que más genera y la que menos compensa debido a que cuenta con menos espacio para la siembra de árboles (compensación), por lo que lo ideal sería optar por modelos de movilidad de menor impacto en el ambiente y de menor generación de GEI (Córdoba, 2018). Según Córdoba (2018), la OSG tiene la posibilidad de optar por otros modelos, donde se incluyan medidas alternativas y sostenibles de transportes que se alineen con el plan estratégico de la organización, que en este caso es el de “mejorar el desempeño ambiental en todas sus actividades”.

#### 1.4.7 Revisión de objetivos estratégicos y política de nivel de servicio de la OSG

En apartados anteriores se menciona conceptos como objetivos y planes estratégicos de la OSG. Lo anterior se debe a que, dentro de la oficina de servicios, existen lineamientos donde se reflejan los objetivos estratégicos, entre los cuales pretenden:

- Fortalecer y mejorar el **acceso a la información oportuna** para la toma de decisiones mediante tecnologías de información (TI) innovadoras, eficientes, estandarizables y escalables.
- Mejorar la **percepción** general de los usuarios de los servicios de la OSG.
- Planificar, gestionar y asegurar los **recursos financieros** que permitan la sustentabilidad y el crecimiento de los servicios a la Comunidad Universitaria.
- Mejorar el **desempeño ambiental** de la OSG.

Estos objetivos deben revisarse continuamente para velar por su cumplimiento, sin embargo, según una entrevista no estructurada realizada el 23 de octubre del 2018 con la encargada del sistema de gestión, indica que algunos no se han cumplido a cabalidad debido a lo siguiente:

- No existe una medición que cuantifique la percepción que tienen los usuarios del servicio. Se tiene un buzón de quejas, sin embargo, no se da el monitoreo y control que amortigüen esas inconformidades.

- Actualmente no se tiene un indicador de medición que evalúe el impacto ambiental que genera el servicio de transporte del bus interno.
- Actualmente no se tiene un sistema de monitoreo/control que permita evaluar variables que influyen en la operación del transporte para un mejor aprovechamiento de los recursos y para la toma de decisiones.
- La OSG no cuenta con un documento que indique los niveles mínimos que debe de cumplir para brindar un servicio acorde a su oferta actual. Debido a la falta de esta política, no se ha establecido criterios ni metas; donde se logre medir si la oferta puede o no llegar a cumplir los objetivos con los recursos existentes.

### ***1.5 Beneficios para la organización***

El principal beneficio para la organización consiste en fortalecer el proceso de planificación, monitoreo y control del servicio, de forma que se logre un mejor aprovechamiento de los recursos y de esta manera, se tomen decisiones con base en información real y de importancia para el tipo de operaciones que realizan.

### ***1.6 Beneficios para la sociedad***

Este diseño de la propuesta beneficia dos niveles de la sociedad, una a nivel de universidad y otra a nivel país. En la primera, al desarrollar herramientas de planificación del transporte se logra aprovechar mejor los recursos económicos de la OSG, y de esta manera la gestión de los fondos públicos se distribuye de una mejor manera; además al buscar que la oferta del servicio se ajuste a la demanda, los usuarios estarían teniendo un mejor servicio del bus. A nivel país, este diseño sería un primer prototipo funcional que contribuya a uno de los retos país que se tienen actualmente, enfocado en el deficiente proceso de estimación de demanda ya que no se basa en datos reales y recientes sobre los volúmenes de pasajeros, en cambio utilizan métodos de estimación aproximada que no son adecuada y tiende a sobrestimar de la demanda. Con este diseño se lograría apoyar de forma integral generando un modelo de oferta tomando en consideración la demanda de los puntos y paradas para el establecimiento y definición de las rutas nacionales.

## 1.7 *Objetivo general e indicadores de éxito*

### 1.7.1 *Objetivo general*

Diseñar un sistema para la gestión de la oferta de transporte interno, cuantificando las variables que intervienen en la prestación del servicio del bus interno y estableciendo una política de nivel de servicio, para el mejor aprovechamiento de los recursos de la OSG.

### 1.7.2 *Indicadores de éxito*

**Costo de pasajero por hora:** Este indicador permite cuantificar el costo por pasajero por hora y su comparación entre la oferta actual del servicio y el rediseño propuesto.

$$\text{Costo de pasajero por hora} = \frac{\text{Costo del servicio por hora}}{\text{Cantidad de pasajeros por hora}}$$

Método de medición del indicador: se analiza el costo del servicio por hora entre la cantidad de pasajeros por hora según los horarios y rutas actuales, y se compara con los resultados obtenidos tras el diseño propuesto.

**Estimación precisa de la oferta:** Este indicador permite cuantificar la razón entre la oferta y la demanda. Se busca que este indicador se acerque al 100%, de forma en que la oferta de servicio se ajuste lo mejor posible a la demanda.

$$\text{Estimación precisa de la oferta} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{O_t}{D_t}}{n}$$

Donde,

$O_t$ : Oferta en el periodo t

$D_t$ : Demanda en el periodo t

n: Número de periodos

Método de medición del indicador: se calcula la oferta que se brinda cada hora (esta se determina al multiplicar las frecuencias ofrecidas por hora y la capacidad promedio de pasajeros de los autobuses), posteriormente se divide entre la demanda calculada por hora.

## 1.8 *Limitaciones*

Entre las limitaciones del proyecto se consideran las siguientes:

- **Limitación estratégica.** — El planteamiento del proyecto está alineado al plan quinquenal de la Universidad de Costa Rica, por lo que responde a necesidades, problemas y recursos en un horizonte temporal de cinco años.
- **Limitación presupuestaria:** — El diseño del sistema para la gestión del transporte está sujeto a la asignación de presupuesto por parte de Universidad de Costa Rica a la OSG, y de la OSG a la sección de Transporte, lo cual limita el costo de la solución propuesta.
- **Limitación regulatoria.** — El estudio de medios de movilización se encuentra restringido por el plan regulatorio de la Municipalidad de Montes de Oca, debido a que se tienen entre sus estatutos áreas en las que la Universidad no puede influir.

- **Limitación de capacidad del bus interno.** — El diseño del modelo de movilidad relacionado con el servicio de bus interno debe contemplar los recursos con los que cuenta actualmente la OSG y considerar la capacidad de transporte de pasajeros de estos buses, ya que la OSG no va a realizar inversión en la compra de más unidades.
- **Limitación de estimación de la demanda insatisfecha.** — No es posible cuantificar la cantidad de personas que no pueden ser transportadas debido a que los buses pasan llenos por las paradas, ya que no se cuenta con recursos humanos ni tecnológicos para la realización de los muestreos.
- **Limitación de tiempo para el conocimiento de la perspectiva del usuario.** — El tiempo para cuantificar la perspectiva del usuario con respecto a la calidad del servicio de bus interno es muy limitado. Deberán transcurrir varias semanas después de la implementación de un rediseño para poder cuantificar cómo afectará esta la perspectiva del usuario.

## **1.9 Marco de referencia teórico**

### **1.9.1 Planificación del transporte**

(Gaber & Hoel, 2005) plantean un proceso de planificación de transporte que se compone de 9 pasos, los cuales a su vez forman parte de 4 etapas (diagnóstico y gestión de datos, análisis y evaluación, calendario y presupuesto, seguimiento). Este proceso inicia con la definición de la situación, donde se incluyen las actividades que es necesario considerar para entenderla, se incluyen factores que ocasionan las necesidades y se define el problema; en esta etapa también se debe definir el alcance por medio de objetivos medibles.

Luego se realiza el diagnóstico y la gestión de datos. En esta etapa se realizan muestreos de campo, análisis de demanda y entorno normativo organizativo y fiscal. Se procede a la identificación de soluciones factibles por medio de lluvias de ideas considerando posibles diseños, ubicaciones y configuraciones. Acá se incluye un estudio de pre-factibilidad para reducir el rango de selecciones. El proceso continúa con el análisis del desempeño de cada una de las propuestas planteadas utilizando como parámetros la efectividad planteada en los objetivos y se procede a la selección del proyecto, se deben realizar especificaciones a fondo de la propuesta seleccionada y se ejecuta. Por último, se realiza una medición de efectividad real por medio de medidas *in situ* valorando el cumplimiento de los objetivos planteados (Monge, 2011). Cabe destacar que las etapas iniciales de esta metodología tienen una similitud con la metodología Design Thinking en cuanto a la empatía, generación de ideas y su depuración.

### **1.9.2 Metodología para la determinación de la demanda**

En todos los sistemas de transporte se pretende realizar una planeación que optimice el uso de la infraestructura y medios de transporte de manera que se atiendan las necesidades de los usuarios a los que se les brinda el servicio. Es por esto que, para determinar la configuración de las rutas, frecuencias, infraestructura y unidades que utilizar es necesario enfocarse en la demanda actual y futura. (Posada, 2010).

Posada (2010) afirma que el estudio de demanda en la planificación del transporte permite predecir los flujos futuros del sistema ante diferentes situaciones. En cuanto a los métodos que estudia el autor se encuentra el de origen y destino, que consiste en dirigir encuestas a los usuarios, con el fin de determinar su comportamiento de movilización, proveyendo información cuantitativa.

El objetivo de estos estudios es múltiple: 1) conocer el número de pasajeros que suben y bajan en los diferentes tramos en distintas horas, y 2) determinar la rotación de demanda y la operación de la ruta, las demoras y el índice de pasajeros por kilómetro (Posada, 2010).

Por otra parte, Islas (2002) plantea que existen factores influenciados por el operador del servicio tales como la velocidad y la calidad y frecuencia del servicio. Existen otros factores que son externos a la administración, como los cambios en los hábitos sociales y cambios en la distribución de la población, por lo que en la planificación del sistema se deben considerar estas variables. Islas y Posada coinciden en que existen variaciones en la demanda que deben ser estudiadas y éstas pueden responder a factores cuantitativos por horarios o zonas, o a factores cualitativos asociados al comportamiento humano.

### ***1.9.3 Gestión de la oferta optimizando el uso de los recursos***

De acuerdo con lo que expone Islas (2002), el transporte se puede explicar como un fenómeno económico por medio de una curva de oferta y demanda, en donde la demanda aumenta conforme el precio de la prestación del servicio disminuya, sin embargo, la oferta también disminuye. Por lo que para balancear ambos factores se llega a un precio óptimo procurando que la oferta y la demanda sean iguales. Este escenario no es posible en el servicio brindado por la OSG, debido a que en sus aspiraciones no se encuentra cobrar por el servicio, más bien, hay un desbalance desde el punto de vista de este principio económico, por contarse con mayor demanda de la que puede cubrir su oferta, por lo que el enfoque que debe adoptarse responde a la optimización del uso de sus recursos para maximizar la cobertura de demanda. Para esto Mauttone (2005) plantea cinco etapas para seleccionar el mejor sistema de transporte con los recursos disponibles. La primera consiste en la determinación de los trazados de los recorridos, lo que implica definir la estructura topológica de los recorridos. Seguidamente se determinan las frecuencias determinando los intervalos de tiempo entre salidas; continúa con la definición de tablas de horarios estableciendo detalladamente los horarios de salida y llegada de los autobuses. La cuarta etapa consiste en asignar la flota de buses disponibles según los horarios y recorridos definidos y por último se realiza la asignación de choferes (Mauttone, 2005).

### ***1.9.4 Programación lineal aplicada en modelos de transporte***

La programación lineal es una herramienta que utiliza modelos matemáticos para describir un problema real, en el cual se determina una función de objetivo, según lo que se desee resolver, expresada en variables que a su vez están delimitadas por restricciones. En pocos términos, es un método para asignar recursos limitados a actividades que compiten entre sí, para lograr la maximización o minimización de la función objetivo (Hillier, 2010). Este modelo de asignación es aplicable a distintas industrias. En casos de transporte es comúnmente usado para resolver problemas de minimización de costos para transporte de pasajeros, estudios de rutas para transporte multimodal y riesgos y emisión de CO<sub>2</sub>, entre otras aplicaciones (Abril, 2019).

Abril plantea un método para la maximización de ganancias en un sistema de transporte público, en el cual utiliza como función objetivo la cantidad de unidades según tipología por el ingreso, y restringe el modelo asignando toda la oferta disponible de unidades en las rutas posibles, de este modo el modelo determinará cuál tipo de unidad deberá realizar cada rol con el fin de optimizar las ganancias.

### ***1.9.5 Movilidad urbana***

Las actividades realizadas por las personas demandan el uso de formas diferentes de desplazamiento: caminata, transporte mecanizado (bicicleta) o motorizado (autobuses, motocicletas, automóviles, ferrocarriles y metro). Para comprender qué desplazamientos se realizan y qué tipo de transporte es necesario para llevarlos a cabo, se debe entender cómo está estructurada la ciudad, cómo se distribuyen las actividades en su espacio y cuáles son los factores de mayor influencia en la movilización de las personas y en la elección de los modos de transporte (Alcántara, 2010).

Según expone Alcántara (2010) entre los principales factores que pueden explicar la relación entre el desarrollo urbano y el transporte. Los primeros corresponden a los individuos, los cuales tienen necesidades e intereses de transporte específicos; los segundos a los sistemas de transporte y tránsito con sus características físicas y de oferta de servicios, y los terceros, a los procesos migratorios los cuales pueden implicar un aumento o disminución de la población de una ciudad, con impactos de todo orden en el desarrollo urbano.

Acevedo y Bocarejo (2009) explican que el tema de la movilidad puede estudiarse desde diferentes disciplinas y perspectivas. Los aspectos económicos, la ingeniería y la tecnología, los aspectos sociales y políticos, la gestión del territorio y de los sistemas de transporte son componentes necesarios en su estudio.

Para lograr una movilidad urbana sostenible es necesario modificar este enfoque y actualizar las variables. Quintero (2016) plantea que para cambiar este enfoque es necesario reducir la necesidad de viajar, fomentar el cambio modal, reducir las distancias de viaje y propiciar una mayor eficiencia en el sistema de transporte. Como lo menciona Islas (2016), el modelo urbano-sostenible se debe enfocar en dimensiones sociales tales como las necesidades de desplazamiento, y cuestionamientos como *¿por qué se desplazan las personas?* Del mismo modo se debe cambiar la prioridad del uso de la vía, ya que en el modelo actual tienden a preferir los vehículos motorizados, los cuales son menos eficientes en uso de espacio/personas además de que emiten grandes cantidades de KCO<sub>2</sub>. La preferencia debe centrarse en las personas como tales y no en los medios de transporte. Otro punto que cambiar está en que la visión del transporte se encuentra en la reducción de tiempos y de costos, sin pensar en la satisfacción de usuarios y el impacto ambiental.

Como se observa en la figura 6, Quintero (2016) presenta un enfoque de movilidad urbana sostenible fundamentada en el usuario y el medio ambiente, de forma que los sistemas de transporte se desarrollen en función de estos y no como una respuesta inmediata a las necesidades de la demanda de transporte.

<i>Enfoque convencional: planificación del transporte e ingeniería de tránsito</i>	<i>Un enfoque alternativo: movilidad urbana sostenible</i>
Dimensiones físicas	Dimensiones sociales
Movilidad	Accesibilidad
Enfoque del tráfico sobre todo en el vehículo	Enfoque en las personas, ya sea en un vehículo o a pie
De gran escala	De escala local
La calle como una vía	La calle como un espacio
Transporte motorizado	Todos los modos de transporte, en una jerarquía en la cual los peatones y los bicisuarios se encuentran en la parte superior y los usuarios de vehículos motorizados la parte inferior
Pronóstico del tráfico	Visión sobre las ciudades
Enfoques de modelización	Desarrollo de escenarios y modelización
Evaluación económica	Análisis multicriterio para tomar en cuenta las preocupaciones ambientales y sociales
Viajar como una demanda derivada	Viajar como una actividad valorada, así como una demanda derivada
Basado en la demanda	Basado en la gestión
Tráfico acelerado	Desaceleración del movimiento
Reducción del tiempo de viaje	Tiempos de viaje razonables y confiables
Segregación de las personas y el tráfico	Integración de las personas y el tráfico

Figura 6. Contraste de enfoques para la planificación del transporte

Fuente: (Quintero J. , 2016)



El enfoque de movilidad urbana sostenible tiene su fundamento en los pilares del desarrollo sostenible. De esta manera, el autor concluye que la movilidad urbano-sostenible es el conjunto de actividades que estén orientadas a satisfacer las necesidades de movilización física de personas en ambientes urbanos utilizando un uso racional de recursos que no comprometa las posibilidades de generaciones futuras.

En el modelo de movilidad urbana sostenible es importante la priorización de los tipos de medio de transporte, de manera que se favorezca el uso de aquellos que garanticen la sostenibilidad. En el 2014 el congreso mexicano aprueba la Ley de Movilidad de la Ciudad de México en donde plantean una *jerarquía piramidal inversa*. Esta pirámide permite priorizar las formas de movilización que sean más saludables, económicas, eficientes y limpias para el medio ambiente, enfocándose en aquellas que utilizan menos espacio público para su desarrollo (Arévalo, 2015). El modelo de *Pirámide invertida del transporte* jerarquiza las formas de moverse desde los medios más sanos y cuyo consumo de CO<sub>2</sub> es menor (peatones) hasta aquellos con mayor empleo de CO<sub>2</sub> (vehículos particulares motorizados).

Por otro lado, según exponen Acevedo y Bocarejo (2009), la movilidad, la conectividad, la multimodalidad, la accesibilidad y la fiabilidad son elementos asociados al transporte que hacen que una persona y una sociedad sean más productivas y más equitativas. Estos sistemas intermodales de transporte buscan la conexión e integración de infraestructura y servicios públicos. En este modelo, no se trata de crear *líneas de transporte*, sino *redes*, de forma que los intercambios sean cómodos para el propio usuario (Miralles-Guasch, 2002)

En Costa Rica, el *Plan Nacional de Energía 2015-2030* indica que “la experiencia internacional demuestra que el camino hacia la reducción de emisiones y otros gases contaminantes es consolidar un sistema de transporte eficiente e integrado” (Ministerio de Ambiente y Energía, 2015). Este último tiene como objetivo “reducir los tiempos de espera de los autobuses, facilitar el intercambio de *modos de transporte*, en miras hacia un sistema de transportes intermodal.

### **1.9.6 Movilidad urbana como servicio**

Los métodos tradicionales para la planificación del transporte se han basado en una metodología que tiene como eje central el diseño de redes y las relaciones con otros modos de transporte. Su análisis proporciona pronósticos basados únicamente en predecir la demanda futura, en determinar medidas cuantitativas de eficiencia y capacidad de los sistemas de transporte. Sin embargo, dejan en un segundo plano el análisis de otros aspectos importantes, como las medidas cualitativas atribuidas a las expectativas y las necesidades de los usuarios con respecto a un sistema de transporte y sus impactos sociales, culturales y ambientales, considerados pilares en el desarrollo de la movilidad urbana sostenible.

Planificar sin tomar en cuenta las necesidades y requerimientos de los usuarios provoca la exclusión de muchos sectores vulnerables como son los niños, adultos mayores y personas con discapacidad, ya que la planificación del transporte no se ajusta a la *medida* del usuario, consumidor final del servicio, y origina una desarticulación entre el estudio de necesidades de los usuarios según su tipología o sector de la población al que pertenece, y la realización de estudios de ingeniería de tránsito (Goodall, 2017).

Este enfoque centrado en personas, conlleva la idea de movilidad urbana como servicio, donde el producto final es la satisfacción del cliente.

Integrar el tema de ingeniería de servicio en un tema de planeación de la movilidad urbana permite incorporar las dimensiones de calidad del servicio en los planes de movilidad (donde la fiabilidad, el tiempo de respuesta oportuno, la accesibilidad en todo tiempo, la comprensión hacia el usuario, la seguridad, la habilidad para inspirar credibilidad y confianza se evalúan). Esta integración interdisciplinaria requiere incluir la voz del usuario en el plan integral de movilidad urbana como participación pública efectiva. Esta se define como el derecho que tienen los actores sociales, tanto colectivos como individuales, de involucrarse activamente, de modo informado, y de ver reflejadas sus preocupaciones y necesidades en el proceso de toma de decisiones públicas (Centro de colaboración cívica, 2014).

Por otra parte, respecto del servicio de transporte dentro de la UCR, de acuerdo con Leandro, Molina y Riba (2013), también ha sufrido el impacto del incremento de la flota vehicular en el país, por lo que la constante *evaluación de los servicios* resulta esencial dados sus efectos en la calidad de vida de las personas. Esta evaluación se podría representar como auditoría social y puede promover mejoras en el servicio actual o bien en futuros planes de movilidad urbana (Hernández-Vega, H. 2015).

### 1.9.7 Metodología Design Thinking

La metodología Design Thinking, tienen como enfoque central a las personas, permitiendo identificar los retos, detectar necesidades y finalmente solucionarlas. El uso de esta metodología tiene tres objetivos:

1. Adquirir conocimientos básicos sobre los usuarios, y sobre la situación o el problema que afrontan.
2. Desarrollar empatía con los usuarios.
3. Generar un usuario *tipo* para el cual se diseña la solución o producto

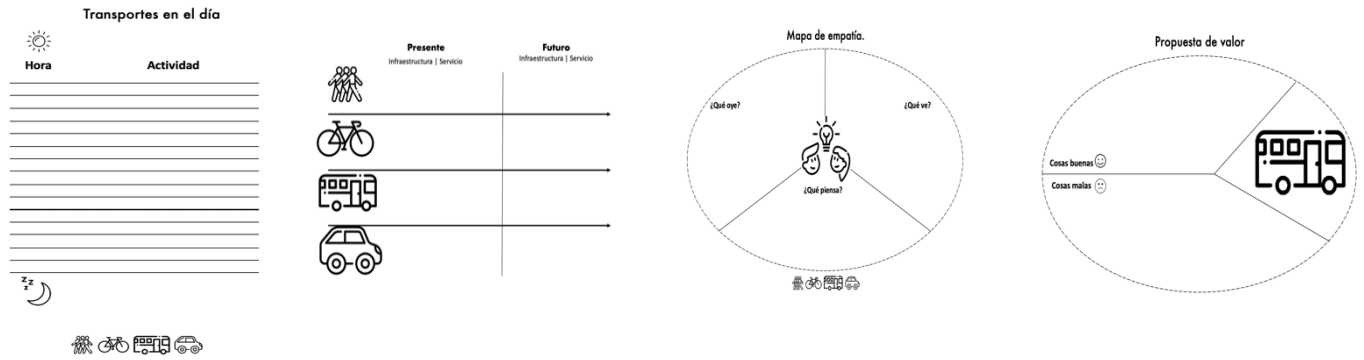
En un estudio realizado por el equipo de trabajo, se involucra a los usuarios del sistema de transporte dentro del campus universitario de la UCR en el proceso de mejora de la movilidad. El estudio se basa en un proceso participativo para la recolección de ideas para mejorar la movilidad, con el fin de obtener un resultado que refleje las carencias y expectativas de los distintos grupos (Figura 7).



Figura 7. Desarrollo de la actividad participativa mediante el uso de la metodología Design Thinking

Además, se utilizan distintas herramientas que ayudan a canalizar esta información hacia resultados. Apoyados en cuatro ejercicios claves, los usuarios plasman sus ideas y percepciones acerca del sistema de movilidad actual de la universidad y sus aspiraciones a futuro. La descripción de cada uno se presenta en la figura 8.

### Tipo de herramienta



Objetivo: Identificar los patrones de movilidad que más siguen las personas, en busca de puntos de conexión donde pueden existir formas de intermodalidad atractivas para los usuarios.

Objetivo: Definir los puntos de conflicto e identificar deseos y aspiraciones de los usuarios en relación con cada elemento de la pirámide de movilidad.

Objetivo: Aumentar la empatía con los usuarios mediante preguntas: *¿Qué oye?* *¿Hay algunas frases o palabras significativas que el usuario utiliza?* *¿Qué ve?* *¿Qué acciones y comportamientos ve?* *¿Qué piensa?* *¿Qué cree que el usuario piensa, cuáles son sus creencias?* *¿Qué siente?* *¿Qué emociones ha identificado?*

Objetivo: Identificar las falencias que los usuarios encuentran en el servicio de bus interno, con el fin de eliminarlas/modificarlas y fortalecer aquellos aspectos que consideran hasta el momento buenos.

Figura 8. Herramientas utilizadas en la metodología Design Thinking

Los resultados se detallan de manera exhaustiva en el apéndice 5 así como las conclusiones generales; la más significativa es que los usuarios observan un sin número de oportunidades de mejora que deben ser consideradas por la OSG.

## 1.10 Metodología general del proyecto

Tabla 2. Metodología general del proyecto

	<b>Actividad</b>	<b>Herramienta</b>	<b>Resultado</b>
<b>Diagnóstico</b>	<b>Estudio de las causas de movilización dentro de la sede Rodrigo Facio</b>	Sondeo estructurado	Fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del sistema de transporte entre fincas actual
	<b>Análisis de la demanda de movilización entre fincas</b>	Análisis de datos, muestreo, estudio de campo	Demanda de movilización entre fincas
			Demanda insatisfecha del servicio actual de transportes
	<b>Análisis de la calidad del servicio de bus interno</b>	Sondeo estructurado, SERVQUAL, mapa de empatía, mapa del presente y futuro, propuesta de valor	Índice Global de la Calidad del Servicio
	<b>Análisis de la sostenibilidad económica del servicio de bus interno</b>	Análisis de datos	Costo del servicio de bus interno
	<b>Mapeo de procesos para la prestación del servicio de bus interno</b>	SIPOC	Proceso mapeado
	<b>Cuantificación del inventario de carbono del servicio de bus interno</b>	Inventario de carbono	Emisiones de KCO2 equivalente generadas por el sistema actual de transporte entre fincas
	<b>Análisis del comportamiento de las causas de movilización y su impacto en la Universidad</b>	Entrevistas	Estimación del comportamiento de la demanda en el futuro
	<b>Análisis de los tipos de transporte opcionales</b>	Revisión bibliográfica, matriz multicriterio	Priorización de opciones de transportes
<b>Análisis de la información recolectada por medio del diagnóstico</b>	Revisión bibliográfica	Definir los requerimientos de diseño del sistema de movilidad	

Tabla 2. Metodología general del proyecto (continuación)

<b>Diseño</b>	<b>Planeamiento de la promesa de servicio del bus interno</b>	Revisión bibliográfica, entrevista	Promesa de servicio del bus interno
	<b>Caracterización del diseño del dispositivo de recolección de datos de demanda</b>	Investigación bibliográfica Entrevista a expertos en el tema	Metodología de funcionamiento del dispositivo de captura de datos con <b>Arduino</b>
		Diseño de la arquitectura del sistema transaccional	Requerimientos de la estructura de gestión de datos
		Ingeniería de requerimientos	Requerimientos de <i>hardware</i> y <i>software</i> para el funcionamiento del dispositivo
		Dibujo en 3D	Planos del diseño del dispositivo ( <i>hardware</i> y conexiones)
		Estructura de costos	Costos de construcción del dispositivo
		Aplicación de librerías y lenguaje de programación en <b>Arduino</b>	Código de programación para el dispositivo
		Validación con asesores expertos en el tema	Aprobación del prototipo
		<b>Construcción del dispositivo de recolección de datos de demanda</b>	Impresión 3D, Conexión de componentes
	Pruebas de funcionamiento		Funcionamiento de prototipo aprobado
	<b>Instalación del dispositivo de recolección de datos de demanda</b>	NA	Prototipo instalado en autobús
		Pruebas de funcionamiento	Funcionamiento de prototipo aprobado
	<b>Caracterización del diseño de la herramienta de gestión de la oferta</b>	Ingeniería de requerimientos	Módulos que componen la herramienta de gestión de la oferta

Tabla 2. Metodología general del proyecto (continuación)

			Parámetros de entrada de información
	<b>Construcción de la herramienta de gestión de la oferta</b>	Programación con VBA	Herramienta de gestión construida
	<b>Evaluación del funcionamiento en conjunto de los datos del dispositivo y la herramienta de gestión de la oferta</b>	NA	Rutas, horarios, paradas y frecuencias adecuadas según la demanda
<b>Validación</b>	<b>Instalación del dispositivo de recolección de datos de demanda</b>	NA	Prototipo instalado en autobús
		Pruebas de funcionamiento	Funcionamiento de prototipo aprobado
	<b>Medición del error del dispositivo en el ambiente de operación</b>	Toma de muestras en campo	Resultado de datos de prototipo aprobado
	<b>Recolección de datos de demanda con dispositivo para validación de las herramientas de gestión de la oferta</b>	Toma de muestras en campo	Datos de demanda del servicio
	<b>Análisis de datos de demanda tomados por el dispositivo en la herramienta</b>	Análisis de datos	Información para herramienta de gestión de la oferta
	<b>Diseño de rutas y asignación de recursos según el resultado de análisis de datos de demanda (por medio de la herramienta)</b>	Análisis de datos	Resultado de nuevo diseño de la oferta según la herramienta
	<b>Cálculo de indicadores de éxito del proyecto e indicadores de CMI</b>	Análisis de datos	Resultado de indicadores
	<b>Capacitación en el uso de las herramientas de análisis de datos</b>	Sesiones de capacitación prácticas con la herramienta	Usuario capacitado para utilizar la herramienta de gestión de la oferta y el dispositivo

## ***Capítulo 2. Diagnóstico***

En la propuesta del presente proyecto de graduación se menciona que la aspiración inicial se centra en el estudio del sistema de movilidad de la Universidad de Costa Rica y la solución de su problemática. A lo largo de este capítulo se desarrolla un análisis conforme a dicha aspiración, y a partir del diagnóstico realizado y los resultados obtenidos se establece una delimitación del alcance del proyecto. Este nuevo alcance contempla un enfoque basado principalmente en solventar las deficiencias en la gestión del servicio de bus interno, ya que es uno de los principales pilares del sistema de movilidad.

### ***2.1. Objetivo general***

Identificar las causas que generan el problema de movilidad actual dentro de la Sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, con el fin de identificar oportunidades de mejora que fortalezcan el sistema de movilidad.

### ***2.1. Objetivos específicos***

1. Analizar el proceso de prestación del servicio de bus interno, de la Sede Rodrigo Facio, en aspectos como la oferta de transporte, los costos asociados, la demanda de transporte, la calidad del servicio, así como el impacto ambiental que genera dentro del campus.
2. Establecer una promesa de servicio en la que se contemplen los criterios mínimos de calidad que la OSG se compromete a cumplir, con el fin de definir los indicadores para la medición del desempeño
3. Identificar las causas de reducción o aumento de traslados entre fincas, que puedan afectar el contexto de la oferta de transporte de la UCR, con el fin de poder prever su impacto.
4. Definir oportunidades de mejora aplicables al sistema de transporte actual, tomando como insumo la información recolectada en las fases previas, con el fin de enlistar los requerimientos de diseño.

## 2.2. Metodología de diagnóstico

A continuación, en la figura 9, se presenta el mapa mental de la etapa de diagnóstico, donde se establece la metodología para cumplir los objetivos planteados:

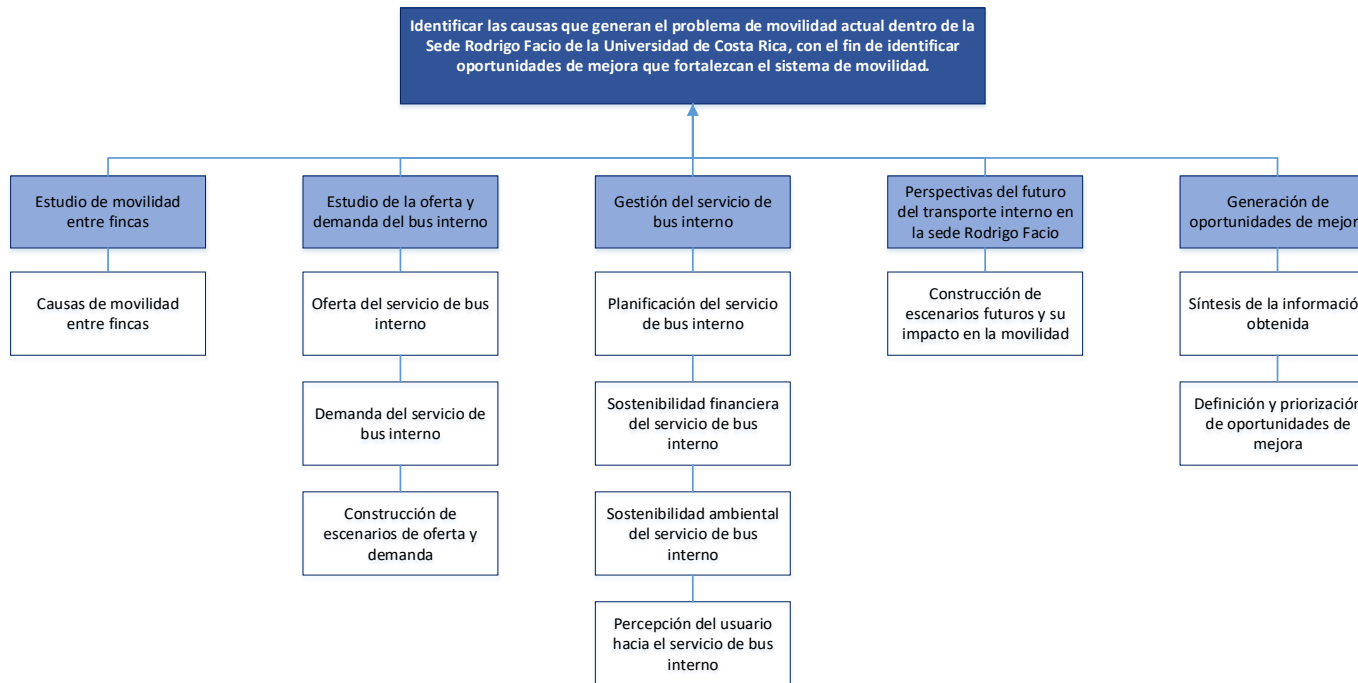


Figura 9. Metodología de diagnóstico del problema



Esta metodología se estructura de esta manera, identificando el objetivo del diagnóstico y las variables que intervienen en la problemática encontrada, con el fin de determinar oportunidades de mejora para aportar soluciones. Las variables que intervienen se desglosan en subapartados para un mejor análisis. El uso de herramientas para cumplir los objetivos específicos es subsecuente de la metodología general que se ha establecido.

### **2.3. Estudio de la movilización entre fincas universitarias**

En el estudio de movilización actual en la Sede Rodrigo Facio, se busca identificar cuáles son las fincas más visitadas por la comunidad universitaria, cuál es el medio de transporte que se utiliza para desplazarse, y por último cuáles son las causas de la necesidad de traslado; con el fin de determinar si esta necesidad se satisface con la oferta actual de transporte.

Por esto, en primera instancia, se realiza una exploración para identificar las causas de la demanda de transporte y, en una segunda instancia, una cuantificación de dicha demanda por medio de una estimación según los datos puntuales con los que se cuenta actualmente. Para analizar la satisfacción de la demanda se pretende establecer cuantitativamente cuál es la oferta actual, y a partir de esos datos realizar una comparación para estimar el nivel de cobertura en la actualidad.

#### **2.3.1 Causas de la movilización entre fincas**

Dentro del estudio de movilización actual en la Sede Rodrigo Facio es necesario identificar cuáles son las causas que están generando una necesidad de traslado de las personas, cuáles son las fincas de la universidad más visitadas, y por último cuál es el medio de transporte más utilizado por los usuarios, con el fin de establecer aquellos patrones que deben de analizarse con más detalles.

Iniciando con el estudio, cabe destacar que, a partir del año 2013, la Universidad inició un proceso de expansión en su infraestructura que se compone de la construcción de facultades, edificios de parqueos y centros de investigación, lo cual ha generado la necesidad de desplazarse entre las tres fincas ocasionando un cambio en los patrones de movilización.

Para su análisis, se realizan dos sondeos estructurados, en cada uno de los dos periodos lectivos del 2018; la metodología de aplicación para ambos se encuentra sustentada en el Apéndice 2.

Observando los resultados de estos sondeos, se comprueba que cuentan con representación de toda la población, por ende, se procede a utilizarlos para la estimación del porcentaje de la población que requiere trasladarse a cada una de las fincas. Tal como se presenta en la figura 10, un 80,3% de la población visita Finca 1, un 82,7% visita Finca 2 y un 22,6% visita Finca 3. Para esos traslados las personas utilizan distintos medios de transporte, sin embargo, como se analiza más adelante el principal medio utilizado para este fin corresponde al servicio de bus interno.

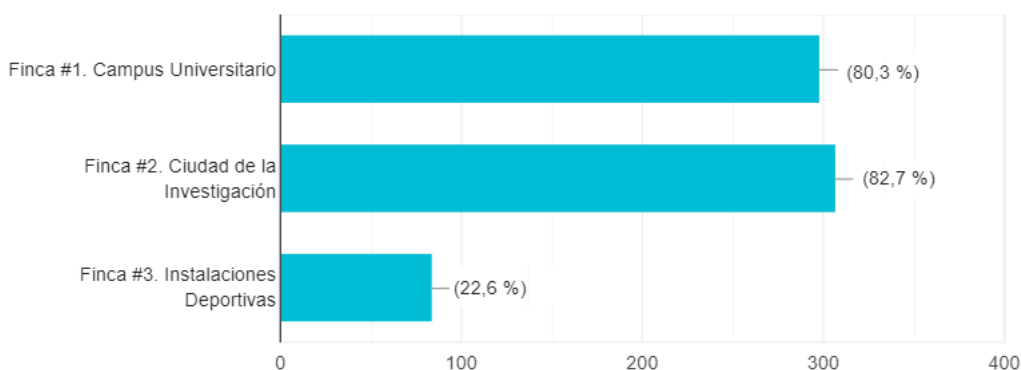


Figura 10. Porcentaje de personas que visitan las fincas universitarias

Con respecto al comportamiento entre fincas, se estima que la mayor cantidad de traslados se da entre las Fincas 1 y 2 en ambos sentidos, tal como se observa en la figura 11. De las personas que se trasladan entre fincas, un 93,2% lo hace en sentido Finca 1 a Finca 2 y un 82% en sentido Finca 2 a Finca 1. Por otro lado, en una menor medida un 9,9% de las personas, viajan en sentido Finca 1 a Finca 3 y en sentido Finca 3 a Finca 1 se estima que lo realiza solo 5,6% de la población. Además, se encuentra que la cantidad de personas que viajan entre Finca 2 y 3 es mínima en cualquiera de los dos sentidos.

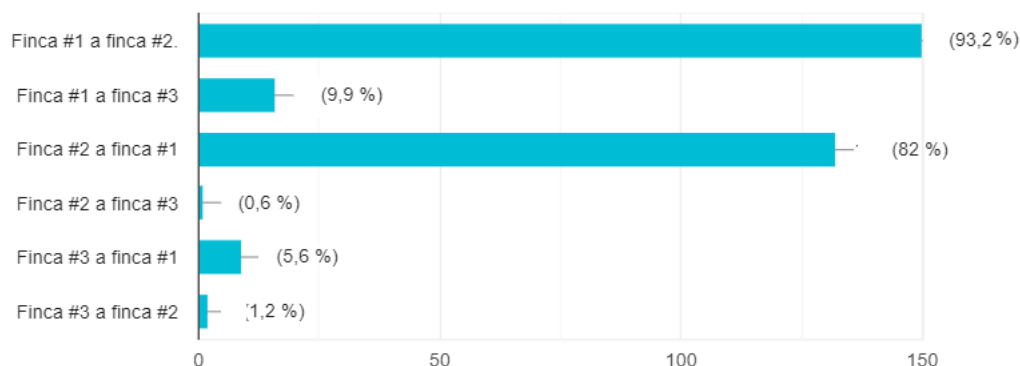
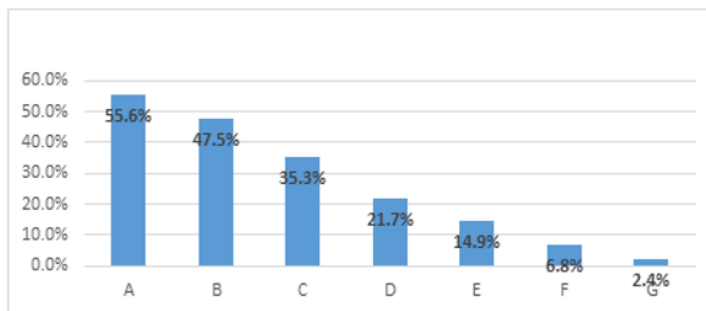


Figura 11. Porcentaje de personas que realizan traslados entre fincas, según el sentido de la ruta

Según lo expuesto, se puede asumir que las personas requieren movilizarse entre las tres fincas, con una mayor necesidad entre el Campus Universitario y la Ciudad de Investigación.

Como parte del análisis de movilización entre fincas es necesario conocer las razones por las cuales las personas lo hacen. En la figura 12 se presentan los resultados del sondeo, en donde un 55,6% de las personas necesitan trasladarse debido a que las aulas de clase se encuentran distribuidas en diferentes fincas; en un 47,5%, porque deben realizar actividades adicionales (alimentación, visitar centros de fotocopiado o impresión, cajeros automáticos, actividades de socialización, etc.) y en un 57%, para el trasbordo a buses externos, ya sea de ruta UCR o bien ruta pública. Se supone que estos resultados reflejan un panorama real de las necesidades de traslado, debido a que actualmente las paradas de los buses externos, el tren y los taxis se encuentran exclusivamente en los alrededores de la Finca 1. Por otro lado, en el caso de los servicios de alimentación se identifica una oferta muy reducida, ya que en Finca 2 se encuentra únicamente la soda de la Facultad de Ciencias Sociales y en Finca 3 no existe ninguna instancia para este fin, por lo que las personas tienen que bajar a Finca 1 para usar estos servicios (-lo anterior en el periodo del I semestre del 2018-). De igual forma, sucede con las actividades adicionales como fotocopiar, utilizar cajero electrónico, realizar trámites administrativos o inclusive visitar las bibliotecas, ya que todos estos servicios son ofrecidos en el Campus Universitario.



A	Tengo clases distribuidas en varias fincas de la Universidad
B	Tengo que realizar actividades adicionales (Comer, fotocopia o imprimir, socializar, utilizar cajero, otro)
C	Tengo que trasladarme desde y hacia las paradas de bus externo de ruta UCR (Ej: UCR-Heredia, UCR-Escazú)
D	Tengo que trasladarme desde y hacia las paradas de bus externo de ruta regular (Ej: Periférica, San Pedro-San José)
E	Tengo que estacionar en una finca y transportarme a otra
F	Tengo que trasladarme desde y hacia la parada de tren
G	Tengo que trasladarme desde y hacia la parada de taxis

Figura 12. Principales razones por las cuales los usuarios utilizan el servicio

Una vez identificadas las razones de traslado es relevante conocer cómo las personas lo están realizando. De acuerdo al sondeo, el 79,5% de las personas utilizan el servicio de bus interno para este fin y el restante 19,5% de las personas utilizan otros medio de transporte (caminar, vehículo propio, bicicleta, etc.). Según esta información, se toma la presunción de que el servicio de bus interno es el principal medio de transporte que utiliza la población universitaria para movilizarse entre las tres fincas, y que la mayoría de las personas viajan entre las Fincas 1 y 2 por ese medio.

## 2.5 *Estudio de la oferta y la demanda del bus interno de la UCR*

### 2.5.1 *Oferta de servicio del bus interno*

Según lo expuesto anteriormente, se considera que el principal medio de transporte utilizado por la población universitaria para movilizarse entre fincas es el bus interno, por ello, en el presente apartado se expone en qué consiste la oferta de dicho servicio.

#### *Caracterización del servicio del bus interno*

La OSG ofrece un servicio gratuito de traslado entre fincas por medio del bus interno, el cual se inicia con dos unidades en el año 2004 y con horarios de no más de 2 rutas por hora. Este mismo surge debido a una necesidad de traslado de personas adultas mayores a los programas recreativos que se realizaban en las Instalaciones Deportivas, por lo que la Universidad decide facilitárselo. A lo largo de los años, debido a la expansión en infraestructura y la migración de varias facultades a Finca 2 y 3, ha surgido una necesidad de traslado por parte de los estudiantes y funcionarios la cual ha venido en aumento, por lo que la OSG ha tomado medidas de aumento de la oferta por medio de la adquisición de más buses y la contratación de nuevos choferes.

Cabe destacar que los recursos con los que cuenta la OSG para la prestación de este servicio son limitados, y en un horizonte temporal de al menos cinco años, no se tiene presupuestada la adquisición de nuevos autobuses ni la contratación de más choferes para este servicio, por lo cual es de importancia identificar en primera instancia cuáles son los recursos con los que se cuenta.

Tal como se menciona anteriormente, el bus interno inicia su funcionamiento a partir del año 2004, cuando se adquieren las primeras dos unidades marca Volkswagen; sin embargo, a partir del año 2016 se da un crecimiento de la flotilla con la adquisición de otro autobús marca BLK, debido a que se incurre en muchos gastos por mantenimiento de los buses mencionados, placas 604 y 605. A partir del año 2017, se realiza la adquisición de dos unidades más marca Daewoo, en respuesta al aumento de la demanda de transporte ocasionado por la migración de facultades. Para finales del 2018, ingresan dos unidades adicionales marca BLK.

En la tabla 3 se observan los detalles de cada uno de los autobuses con los que cuenta la OSG, donde cabe destacar que no todos son utilizados al mismo tiempo, sino que se mantienen cinco en funcionamiento, los cuales se rotan constantemente para evitar el desgaste de alguna unidad en específico.

Con respecto a la planilla de choferes del servicio de bus interno, actualmente se cuenta con nueve personas que realizan esta función, las cuales tienen distintos horarios durante la semana.

*Tabla 3. Descripción de la flotilla de autobuses*

<b>Placa</b>	<b>Marca</b>	<b>Año Fabricación</b>	<b>Cantidad de asientos</b>	<b>Capacidad</b>
<b>604</b>	Volkswagen	2004	48	78
<b>605</b>	Volkswagen	2004	30	60
<b>921</b>	BLK	2016	47	77
<b>922</b>	BLK	2016	47	77
<b>987</b>	Daewoo	2017	53	83
<b>988</b>	Daewoo	2017	53	83
<b>1014</b>	BLK	2018	47	77
<b>1015</b>	BLK	2018	47	77

Cabe destacar que en la tabla anterior, la capacidad corresponde a la cantidad de asientos disponibles más la cantidad de personas que pueden transportarse de pie. Para calcularla, se cuenta con una estimación por medio de observación y con la norma del CTP en el reglamento 9078 (CTP, 2016), la cual indica que los autobuses de rutas urbanas con recorridos menores de 20 km con ancho de pasillo mayor a 50 centímetros, están autorizados para llevar 30 personas de pie.

En lo que respecta a las especificaciones del servicio ofrecido, en el periodo del I Ciclo lectivo 2018, el bus interno ofrece dos rutas que contemplan el traslado del usuario. Una de las rutas viaja en sentido Educación-Odontología, la cual parte de la Facultad de Educación en el Campus universitario, luego pasa por la Ciudad de la Investigación y finaliza en las Instalaciones Deportivas y otra ruta se realiza en sentido contrario saliendo de Odontología hacia Educación. A continuación, se presenta el detalle de cada una de las rutas ofrecidas:

*Ruta Ciudad Universitaria Rodrigo Facio - Instalaciones Deportivas:* esta ruta tiene como salida la parada de la Facultad de Educación y destino final, la parada de la Facultad de Odontología; cuenta

con un horario de salidas frecuentes de lunes a viernes de 6:20 a.m. a 9:50 p.m. En la figura 13 se detalla el trayecto recorrido por esta ruta.

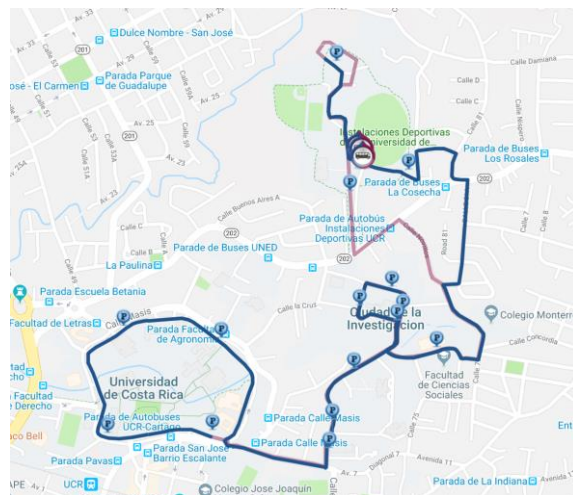


Figura 13. Ruta sentido Educación-Odontología

**Ruta Instalaciones Deportivas - Ciudad Universitaria Rodrigo Facio:** esta ruta tiene como salida la parada de la Facultad de Odontología y destino final la parada de la Facultad de Educación, cuenta con un horario de salidas frecuentes de lunes a viernes de 6:25 a.m. a 9:45 p.m. En la figura 14 se detalla el trayecto recorrido por esta ruta.

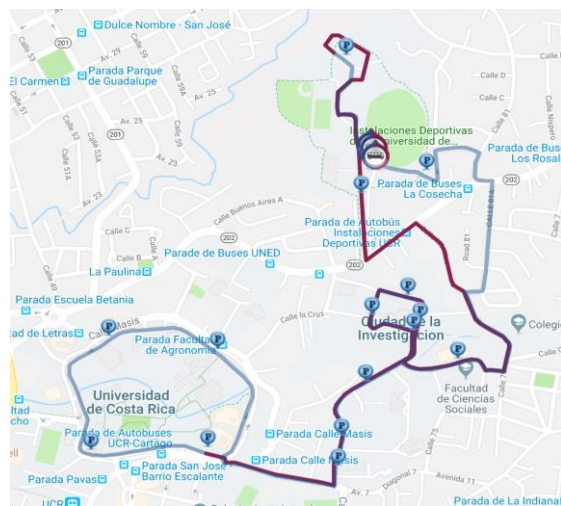


Figura 14. Ruta sentido Odontología-Educación

Con respecto a las paradas autorizadas, los choferes del servicio de bus interno tienen autorización para detenerse y recoger o dejar pasajeros exclusivamente en paradas determinadas, en cada una de las siguientes parada:

#### Ruta Ciudad Universitaria Rodrigo Facio - Instalaciones Deportivas

1. Facultad de Educación
2. Antigua Facultad de Ingeniería
3. Posgrado de Odontología
4. Facultad de Microbiología
5. Lanamme
6. Facultad de Ingeniería
7. Celeq
8. Ciprona
9. Escuela de Nutrición
10. Edificio Integral de Parqueos
11. Facultad de Ciencias Sociales
12. Estadio Ecológico
13. Facultad de Odontología

#### Ruta Instalaciones Deportivas - Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

1. Facultad de Odontología
2. Gimnasio instalaciones deportivas
3. Edificio de parqueos frente a la Facultad de Ciencias Sociales
4. CELEQ
5. CIPRONA
6. Escuela de Nutrición
7. Edificio Integral de Parqueos
8. Facultad de Ingeniería
9. Frente a CTT-Lanamme
10. Facultad de Educación

Con respecto a la frecuencia del servicio, la OSG ofrece rutas en ambos sentidos, con salidas entre 10 y 25 minutos de las paradas autorizadas de salida, sin embargo, esto se encuentra sujeto al horario establecido para el periodo en curso, por lo cual podrían existir variaciones de la oferta del servicio entre los distintos ciclos lectivos. En la tabla 4 se detalla el horario vigente durante el II Ciclo del 2018.

Tabla 4. Horarios del servicio de bus interno para el II Ciclo 2018

FACULTAD DE EDUCACIÓN SALIDA		ODONTOLOGÍA SALIDA	
06:20	14:00	06:25	14:10
06:30	14:10	06:35	14:20
06:40	14:20	06:50	14:30
06:50	14:30	07:00	14:55
07:00	14:55	07:10	15:05
07:15	15:05	07:20	15:15
07:25	15:15	07:30	15:25
07:35	15:25	07:45	15:35
07:45	15:35	07:55	15:45
07:55	15:45	08:20	15:55
08:20	15:55	08:30	16:05
08:30	16:05	08:40	16:15
08:40	16:15	08:50	16:25
08:50	16:25	09:00	16:35
09:00	16:40	09:10	16:45
09:10	16:50	09:20	16:55
09:20	17:00	09:30	17:10
09:30	17:10	09:40	17:20
09:40	17:20	09:50	17:30
09:50	17:35	10:00	17:40
10:00	17:45	10:10	17:50
10:10	17:55	10:20	18:05
10:20	18:05	10:30	18:15
10:30	18:15	10:40	18:25
10:40	18:30	10:50	18:35
10:50	18:40	11:00	18:45
11:00	18:50	11:10	19:00
11:10	19:00	11:30	19:20
11:20	19:10	11:40	19:30
11:30	19:20	11:50	19:40
11:50	19:40	12:00	19:50
12:00	19:50	12:20	20:10
12:10	20:00	12:30	20:20
12:20	20:10	12:40	20:30
12:40	20:30	12:50	20:40
12:50	20:40	13:10	21:00
13:00	20:50	13:20	21:15
13:10	21:00	13:30	21:25
13:30	21:20	13:40	21:45
13:40	21:35	13:50	
13:50	21:50	14:00	

En lo que respecta a la cuantificación del servicio, se utiliza el horario presentado en la tabla 4, de forma en que para cada hora se especifica la cantidad de rutas y su capacidad de transporte de usuarios. Al desconocer específicamente cuál es el autobús que realiza cada una de las frecuencias, se toma el supuesto de que en cada viaje pueden transportarse aproximadamente 80 pasajeros (50 sentados y 30 de pie). En la tabla 5 se presentan los resultados de la cuantificación de la oferta del servicio.

Tabla 5. Oferta del servicio de bus interno según horario

Horario	Cantidad de frecuencias sentido E-O	Capacidad sentido E-O (pasajeros)	Cantidad de frecuencias sentido O-E	Capacidad sentido O-E (pasajeros)
6 a.m.-7 a.m.	4	320	3	240
7 a.m.-8 a.m.	6	480	6	480
8 a.m.-9 a.m.	4	320	4	320
9 a.m.-10 a.m.	6	480	6	480
10 a.m.-11 a.m.	6	480	6	480
11 a.m.-12 m.d.	5	400	5	400
12 m.d.-1 p.m.	5	400	5	400
1 p.m.-2 p.m.	5	400	5	400
2 p.m.-3 p.m.	5	400	5	400
3 p.m.-4 p.m.	6	480	6	480
4 p.m.-5 p.m.	5	400	6	480
5 p.m.-6 p.m.	6	480	5	400
6 p.m.-7 p.m.	5	400	5	400
7 p.m.-8 p.m.	5	400	5	400
8 p.m.-9 p.m.	5	400	4	320
9 p.m.-10 p.m.	4	320	4	320

A partir de estos resultados es de interés para el presente estudio conocer cuál es la relación entre la oferta y la demanda del servicio de bus interno, de forma en que se pueda identificar si con la oferta actual se pueden satisfacer las necesidades de movilidad de los usuarios.

### 2.5.2 Demanda del servicio de bus interno

Según lo expuesto en el apartado de las “Causas de movilidad entre fincas”, se infiere de que el principal medio de transporte utilizado por la población universitaria es el servicio de bus interno y además de que su demanda es multicausal. En este análisis, se busca cuantificar la totalidad de la demanda y establecer su comportamiento; para ello se procede a consultar los datos del estudio realizado por el Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (PRODUS, 2018) llevado a cabo en los meses de octubre y noviembre del 2018, el cual contiene dos focos de análisis. El primero se llama *estudio de punto fijo*, que consiste en un censo de todos los horarios de servicio en ambos sentidos, donde se observa la hora en la que el bus pasa en el punto fijo y se estima la hora en la que sale del punto inicial, además por medio de observación se determina el nivel de ocupación preliminar con el fin de conocer el comportamiento de los horarios. En la figura 15 se presentan los criterios para clasificar el nivel de ocupación. El segundo análisis es un estudio relacionado con la cuantificación de las personas que suben o bajan del bus en cada una de las paradas autorizadas por la OSG, el cual consiste en la captura de observaciones tomadas por una persona que se encuentra dentro de la unidad, donde se registra cada actividad (descenso o ascenso) de pasajeros según las paradas. El resultado se muestra en la Figura 22.



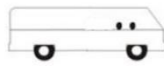

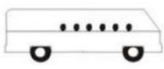



<b>A</b> Casi vacío		<b>D</b> Algunos pasajeros de pie	
<b>B</b> Semivacío		<b>E</b> Lleno	
<b>C</b> Ocupación total		<b>F</b> Sobresaturado	

Figura 15. Clasificación del nivel de ocupación

Con el fin de facilitar el estudio, PRODUS determina bloques de día según su comportamiento. Se supone que el lunes y el jueves tienen el mismo comportamiento debido a la distribución de cursos según la guía de horarios de la UCR, de igual manera el martes, el miércoles y el viernes. De este modo, se tomaron mediciones para cada uno de los horarios en cada bloque de día. Para probar que efectivamente los días se comportan diferente en términos de la ocupación, se procede a realizar una prueba de homogeneidad de *chi* cuadrado.

Rows: Bloque Dia		Columns: Valoración						
		1	2	3	4	5	6	All
K-V	Count	21	46	29	18	16	16	146
	Expected count	21,05	48,44	35,75	14,70	13,36	12,70	
	Contribution to Chi-square	0,0001	0,1233	1,2739	0,7407	0,5200	0,8600	
L-J	Count	22	45	34	14	14	16	145
	Expected count	20,90	48,11	35,50	14,60	13,27	12,61	
	Contribution to Chi-square	0,0575	0,2013	0,0637	0,0246	0,0399	0,9121	
M	Count	20	54	44	12	10	6	146
	Expected count	21,05	48,44	35,75	14,70	13,36	12,70	
	Contribution to Chi-square	0,0522	0,6372	1,9047	0,4960	0,8467	3,5313	
All	Count	63	145	107	44	40	38	437
Cell Contents:		Count						
		Expected count						
		Contribution to Chi-square						

Pearson Chi-Square = 12,285. DF = 10. P-Value = 0,266  
Likelihood Ratio Chi-Square = 12,988. DF = 10. P-Value = 0,224

Figura 16. Prueba de homogeneidad de días

En la prueba anterior se obtuvo un valor del estimador *P* de 0,26, el cual es mayor que la significancia deseada de 0,05 por lo que no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula; por lo tanto se puede considerar que los días tienen el mismo comportamiento entre sí. Por otra parte, se desea saber si existe diferencia entre las horas en las que se presta el servicio, para esto se realiza una agrupación horaria en cuatro rangos. El primer rango abarca los servicios de bus desde las 6 a.m. hasta las 9:59 a.m., el segundo desde las 10 a.m. hasta la 1:59 pm, el tercero desde las 2 .p.m hasta las 5:59 p.m., y el último desde las 6 p.m. hasta las 9:59 p.m. Estos rangos fueron determinados por PRODUS y discutidos por los investigadores.

Rows: Grupo de hora		Columns: Valoración						
		1	2	3	4	5	6	All
1		24	36	24	11	11	10	116
		16,72	38,49	28,40	11,68	10,62	10,09	
		3,1665	0,1610	0,6825	0,0395	0,0138	0,0007	
2		8	39	23	7	13	20	110
		15,86	36,50	26,93	11,08	10,07	9,57	
		3,8939	0,1714	0,5745	1,4997	0,8534	11,3834	
3		5	38	40	19	11	6	119
		17,16	39,49	29,14	11,98	10,89	10,35	
		8,6129	0,0559	4,0497	4,1110	0,0011	1,8268	
4		26	32	20	7	5	2	92
		13,26	30,53	22,53	9,26	8,42	8,00	
		12,2314	0,0711	0,2833	0,5529	1,3898	4,5000	
All		63	145	107	44	40	38	437

Cell Contents: Count  
Expected count  
Contribution to Chi-square

Pearson Chi-Square = 60,126. DF = 15. P-Value = 0,000  
Likelihood Ratio Chi-Square = 60,294. DF = 15. P-Value = 0,000

Figura 17. Prueba de homogeneidad por rangos de horas

Al realizar la prueba de homogeneidad para los rangos de horas se observa que el valor de  $P$  tiende a cero, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se considera que existe diferencia estadística a un 95% de confianza entre los diferentes rangos. Esto quiere decir que se cuenta con cuatro bloques de horarios por lo que se consideran estos para la presente investigación.

Para estimar la demanda en los rangos horarios se procede a estudiar el comportamiento de cada uno de ellos en términos de la tendencia central y la variabilidad. En la figura 18, se expone el resultado generado por medio del *software* Minitab, donde se muestran la media de pasajeros por rango de horarios y la desviación estándar, y se determina un intervalo de 95% confianza.

Según estos resultados para el sentido de traslado Educación-Odontología (E-O), se observa que el rango con mayor media y desviación es el segundo, el cual corresponde al horario de las 10 a.m. a 1 p.m. El siguiente rango con mayor demanda es el correspondiente al horario de 6 a.m. a 9 a.m.

Grupo de Hora E-O	N	Mean	StDev	95% CI
10-13	15	53,67	21,77	(44,67. 62,66)
14-17	13	46,62	16,49	(36,95. 56,28)
18-21	15	26,53	13,38	(17,54. 35,53)
6-9	12	47,83	16,38	(37,78. 57,89)

Figura 18. Tendencia central y variabilidad de la demanda en sentido E-O

De igual manera se realiza el análisis para el sentido Odontología-Educación (O-E); se identifican el rango con mayor media, correspondiente al horario de las 10 a.m. a 1 p.m. y el siguiente rango con mayor demanda, que se ubica en el horario de las 2 p.m. a 5 p.m.

Grupo de Hora O-E	N	Mean	StDev	95% CI
10-13	14	45,86	21,97	(35,15. 56,56)
14-17	13	44,77	22,86	(33,66. 55,88)
18-21	16	23,06	20,31	(13,05. 33,08)
6-9	11	20,91	10,75	( 8,83. 32,99)

Figura 19. Tendencia central y variabilidad de demanda en sentido O-E

En la figura 19 se evidencia que el promedio de demanda en todos los grupos es mayor en el sentido de la ruta E-O. Además, al analizar por bloques, se afirma que el sentido E-O cuenta con los mayores promedios de cantidad de pasajeros en los primeros dos rangos, y el sentido O-E en el segundo y el tercero. Se toma la presunción de que este comportamiento puede deberse a que existe mayor cantidad de clases en los primeros dos bloques y por eso las personas tienden a usar más el servicio en el sentido de subida, es decir de Finca 1 a Finca 2.

Para identificar los picos de demanda del servicio, se presenta la figura 20, donde se observa el promedio de pasajeros en cada una de las horas y para cada uno de los sentidos de la ruta.

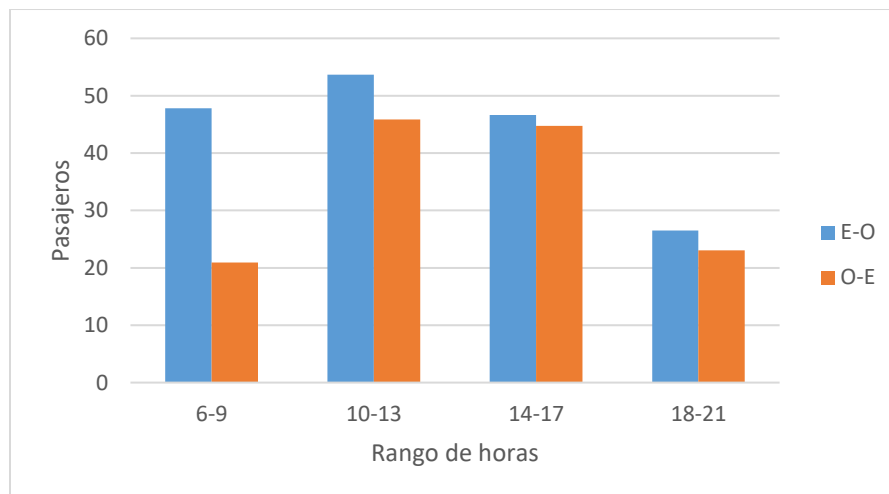


Figura 20. Promedio de pasajeros por rango de hora y sentido de la ruta

Conviene detallar, que en todos los rangos de horarios, el promedio de pasajeros es mayor en el sentido E-O, lo cual hace pensar que las personas utilizan otro medio de transporte para volver a la Finca 1. De acuerdo a lo consultado en el estudio de la voz del cliente, los usuarios suelen desplazarse caminando cuando no logran utilizar el servicio de bus interno debido a que su capacidad está llena; esto puede llevar a inferir que la brecha mostrada en la figura 20 se explica debido a que las personas regresan caminando o utilizan otro medio en el sentido O-E.

Para los horarios pico se considera el siguiente criterio: un pico corresponde a un horario en el que el promedio de la ocupación sobrepasa los 50 pasajeros; esta cantidad está relacionada con un aproximado de la cantidad de asientos disponibles en los autobuses. Para ello, al analizar el comportamiento de demanda en el sentido Educación-Odontología (E-O), se observan dos picos de demanda. En el primer rango de horas, específicamente a las 6 a.m. y 8 a.m.; en el segundo rango, se

identifican picos a las 11 a.m., 12 md. y 1 p.m.; en el tercer rango se observa que existe un pico a las 4 p.m., y en el cuarto rango no se presentan picos.

En cuanto al sentido Odontología-Educación (O-E), solo se observan dos picos, el primero en el horario de las 12 md., punto más alto observado con un promedio de 78 pasajeros movilizados por bus. El segundo es a las 3 p.m. Cabe destacar que en tres cuartas partes del horario, el sentido Educación-Odontología supera el sentido Odontología-Educación en promedio de pasajeros por bus. Por otro lado, según lo presentado en la figura 21, para el sentido O-E el mayor pico se presenta a las 12 md. Al relacionar esto con la información del apartado anterior, se puede concluir que este comportamiento de bajada hacia Finca 1, se puede relacionar con el acceso a servicios de alimentación, debido a los pocos centros de comida con la que cuenta las Fincas 2 y 3 en cuanto a sodas. Sin embargo, esto solo puede ser tomado como un supuesto ya que no se cuenta con información suficiente para evidenciarlo.

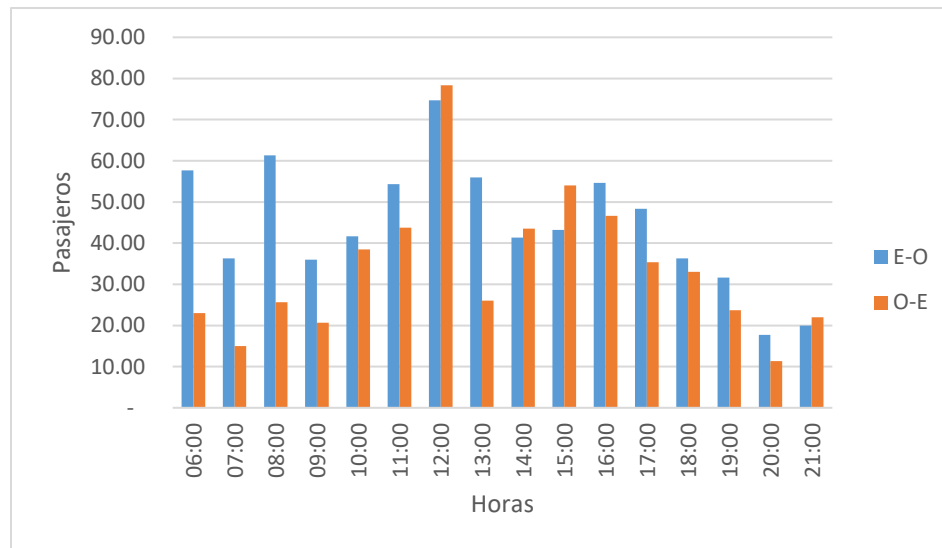


Figura 21. Promedio de pasajeros por hora según el sentido de la ruta

El segundo análisis que PRODUS realiza es la cuantificación de las personas que suben o bajan del bus en cada una de las paradas autorizadas por la OSG.

Con el fin de estimar cuáles son los puntos de mayor demanda se procede a realizar la sumatoria de las personas que sube o baja por parada. Los resultados se presentan en la figura 22, donde se observa que en el sentido E-O se da el ascenso de personas principalmente en dos paradas, en la Facultad de Educación y en la antigua Facultad de Ingeniería y el descenso ocurre principalmente en la Facultad de Ingeniería y en la Facultad de Ciencias Sociales.

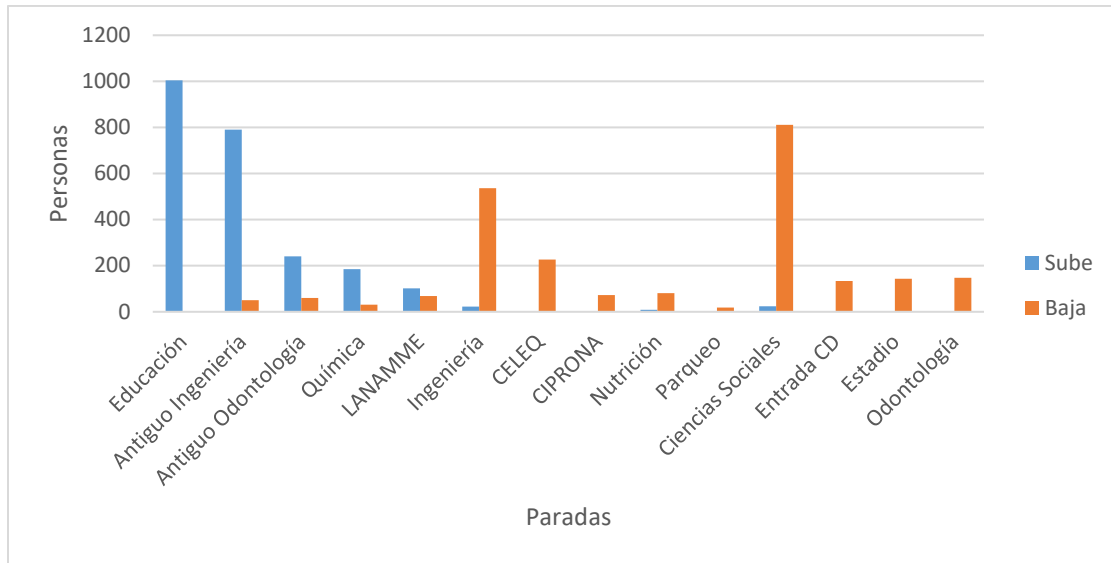


Figura 22. Comportamiento de sube y baja en las paradas para el sentido E-O

Por otra parte, en el sentido O-E se observa que el ascenso cuenta con cuatro principales puntos. El primero ubicado en la nueva Facultad de Odontología; el segundo, en el gimnasio de las Instalaciones Deportivas; el tercero, en la Facultad de Ciencias Sociales, y el cuarto, en la Facultad de Ingeniería. Cabe destacar que en este sentido, la parada donde se suben más personas al autobús corresponde a la que está ubicada en la Facultad de Ciencias Sociales. Por otro lado, el descenso de pasajeros, se identifica principalmente en una única parada, la cual está ubicada en la Facultad de Educación.

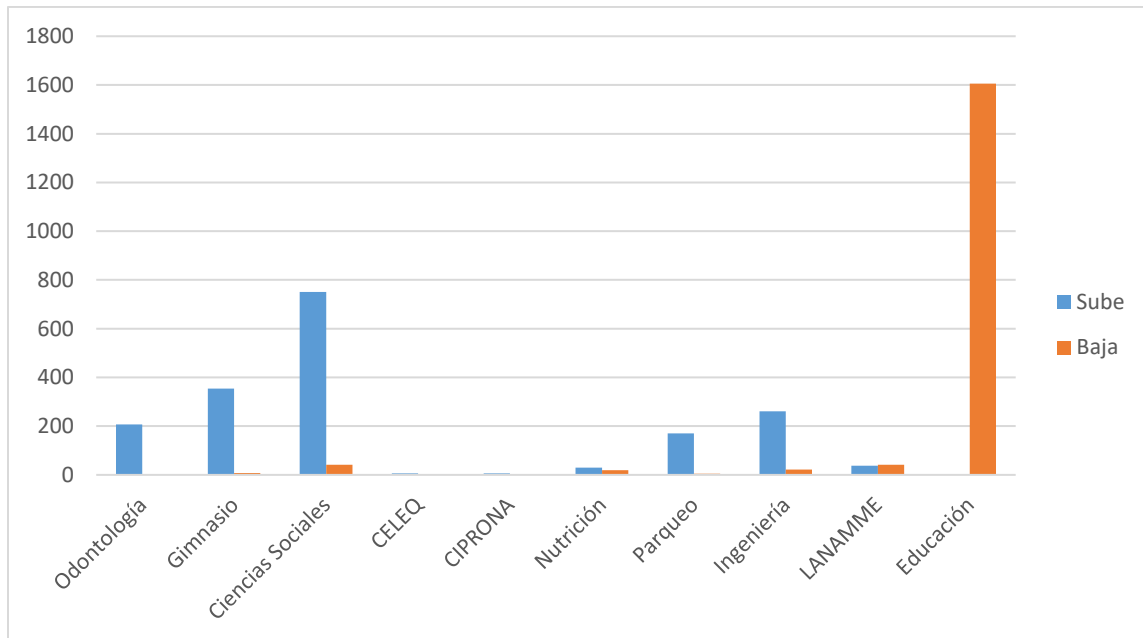


Figura 23. Comportamiento de sube y baja en las paradas para el sentido O-E

De acuerdo al estudio realizado por PRODUS, se logra estimar para un momento específico el comportamiento de la demanda según horario, sentido de la ruta y parada (para subir o bajar). Sin

embargo, en ese estudio no se identifica la totalidad de la demanda del servicio, que corresponde tanto a las personas que suben al autobús como a las que no logran hacerlo y se quedan en la parada debido a que el bus se satura en ciertos horarios. Al no contar con una fuente de datos confiables y representativos, con la cual se pueda cuantificar la demanda total del servicio de bus interno, se procede a realizar una estimación de ésta por medio de la construcción de escenarios.

Para realizar una estimación de la demanda total, se toma en consideración el principal motivo de movilización por parte de la comunidad universitaria, que corresponde en un 55,6%, a traslados entre fincas debido a la distribución de aulas. De esta forma es de interés para este estudio, poder conocer si la demanda que se genera debido a esta necesidad puede ser cubierta por la oferta actual del servicio de bus interno.

### **2.5.3 Construcción de escenarios de oferta y demanda**

Para la construcción de escenarios probables de demanda se procede a realizar una cuantificación de los cursos impartidos durante el II Ciclo del 2018 según la Guía de Cursos y Horarios del II Ciclo del 2018 (ORI, 2018). Para ello se contabilizan los cursos impartidos en Finca 2 y Finca 3 según cada uno de los rangos horarios, tanto para la hora de inicio como la de finalización de los cursos. Se consideran ambas horas ya que esto va a tener relación con la ruta que la persona utilice para realizar el traslado, ya sea en el sentido E-O o bien en sentido O-E. Para esto se toma el supuesto, según el apartado anterior, de que los estudiantes que asisten a los cursos utilizan el sentido E-O para subir a la hora de inicio del curso y posteriormente utilizan la ruta en sentido O-E para bajar hacia Finca 1 en la hora de finalización.

De esta forma se establecen tres principales escenarios para cada uno de los sentidos de la ruta: uno optimista, correspondiente a los cursos con un máximo de asistencia de 30 estudiantes; otro probable, de cursos con 20 estudiantes, y finalmente uno pesimista, de cursos con una asistencia de 15 estudiantes.

Se toman en consideración estos tres escenarios debido a que se conoce que la cantidad máxima de estudiantes admitidos en un grupo regular es de 30; sin embargo, algunos estudiantes retiran cursos o desertan de ellos, por lo que la asistencia disminuye. Al no contar con un dato confiable de cuánta es esta disminución, se realiza una penalización inicial de un tercio de los estudiantes para el escenario probable y una penalización del 50%, para el escenario pesimista. Cabe destacar que para esta estimación también se toma en consideración el supuesto de que el 79,5% de la población de dichos cursos utiliza el servicio de bus interno para trasladarse entre fincas, tal como se menciona en el apartado 2.3.1 *Causas de la movilización entre fincas*.

En las tablas 6 y 7 se presentan los resultados de la estimación de la demanda en los sentidos E-O y O-E respectivamente, para cada uno de los rangos horarios a partir de estos datos.

Los resultados que se presentan con respecto al sentido E-O muestran que los rangos horarios R1 y R2 cuentan con la mayor demanda, mientras que en el caso del sentido O-E la mayor demanda se presenta en los rangos R2 y R3. Al comparar estos resultados con los analizados en el estudio de PRODUS, se comprueba que ambos presentan el mismo resultado en cuanto a los rangos de mayor demanda.

Tabla 6. Estimación de la demanda de la ruta en sentido E-O

Ruta sentido E-O						
Escenario optimista						
Rango	Día					Promedio
	L	K	M	J	V	
R1	3768	3528	3984	4368	4104	3951
R2	4872	5424	2928	4824	3504	4311
R3	2880	2544	2088	2712	1680	2381
R4	1056	768	1032	1080	336	855
Total	12576	12264	10032	12984	9624	11498
Escenario probable						
Rango	Día					Promedio
	L	K	M	J	V	
R1	2512	2352	2656	2912	2736	2634
R2	3248	3616	1952	3216	2336	2874
R3	1920	1696	1392	1808	1120	1588
R4	704	512	688	720	224	570
Total	8384	8176	6688	8656	6416	7666
Escenario pesimista						
Rango	Día					Promedio
	L	K	M	J	V	
R1	1884	1764	1992	2184	2052	1976
R2	2436	2712	1464	2412	1752	2156
R3	1440	1272	1044	1356	840	1191
R4	528	384	516	540	168	428
Total	6288	6132	5016	6492	4812	5751

Tabla 7. Estimación de la demanda de la ruta en sentido O-E

Ruta sentido O-E						
Escenario optimista						
Rango	Día					Promedio
	L	K	M	J	V	
R1	1288	1193	811	1265	978	1107
R2	4222	4651	3316	4007	3363	3912
R3	3840	3721	3220	4556	3840	3836
R4	3149	2624	2624	3077	1384	2572
Total	12499	12189	9971	12905	9565	11427
Escenario probable						
Rango	Día					Promedio
	L	K	M	J	V	
R1	859	795	541	843	652	738
R2	2815	3101	2211	2672	2242	2609
R3	2560	2481	2147	3037	2560	2557
R4	2099	1749	1749	2052	923	1715

Total	8333	8126	6648	8604	6377	7619
Escenario pesimista						
Rango	Día					Promedio
	L	K	M	J	V	
R1	644	597	406	633	489	554
R2	2111	2326	1658	2004	1682	1957
R3	1920	1861	1610	2278	1920	1918
R4	1575	1312	1312	1539	692	1286
Total	6250	6096	4986	6454	4783	5715

Es importante destacar que esta estimación no presenta resultados representativos de la cantidad de personas que utilizan el bus interno, ya que como se menciona anteriormente la demanda tiene un comportamiento multicausal y en esta estimación se está considerando exclusivamente la necesidad de movilizarse para ir a clases, según las razones anteriormente mencionadas, por lo cual hay otras demandas que no se están cuantificando y que responden a necesidades relacionadas a otros accesos como el traslado a centro de alimentación.

Dado el desconocimiento de un dato robusto y representativo del comportamiento de la demanda, el mayor interés de este estudio recae en analizar si la demanda puede satisfacerse por medio de la oferta por parte de la OSG. En el tabla 8 se presenta la oferta del servicio según los distintos rangos horarios, de forma que pueda realizarse una comparación con la estimación anteriormente presentada.

*Tabla 8. Oferta del servicio de bus interno por rango horario*

Rango	Cantidad de horarios	Cantidad de horarios	Oferta	Oferta
	E-O	O-E	E-O	O-E
6 a.m. – 9 a.m.	20	19	1600	1520
10 a.m. - 1 p.m.	21	21	1680	1680
2 p.m. - 5 p.m.	22	22	1760	1760
6 p.m. - 9 p.m.	19	18	1520	1440

A partir de los datos de la estimación de la demanda y la oferta del servicio presentados antes, se procede a construir escenarios. Respecto a la ruta con sentido E-O, en las figuras 24 y 25 se puede observar la relación que hay entre la oferta y la demanda. En el escenario probable (Figura 24), existe una brecha considerable en los rangos horarios R1 y R2 de hasta 1500 pasajeros adicionales que no pueden ser transportados con la oferta actual. Por otro lado, al observar el comportamiento en R4 se observa claramente que la oferta supera a la demanda, por lo que se puede tomar el supuesto de que existe ocupación ociosa en esos horarios. Al tomar en consideración el resultado del escenario pesimista, se deduce que ni tomando la penalización más alta es posible suplir la estimación de la demanda con la oferta actual del servicio.



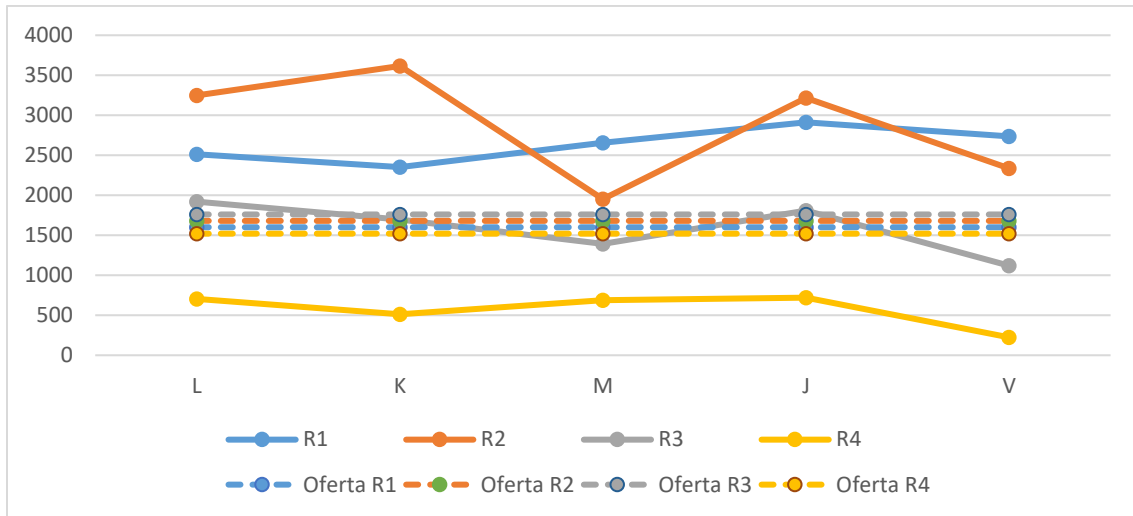


Figura 24. Escenario probable de demanda sentido E-O

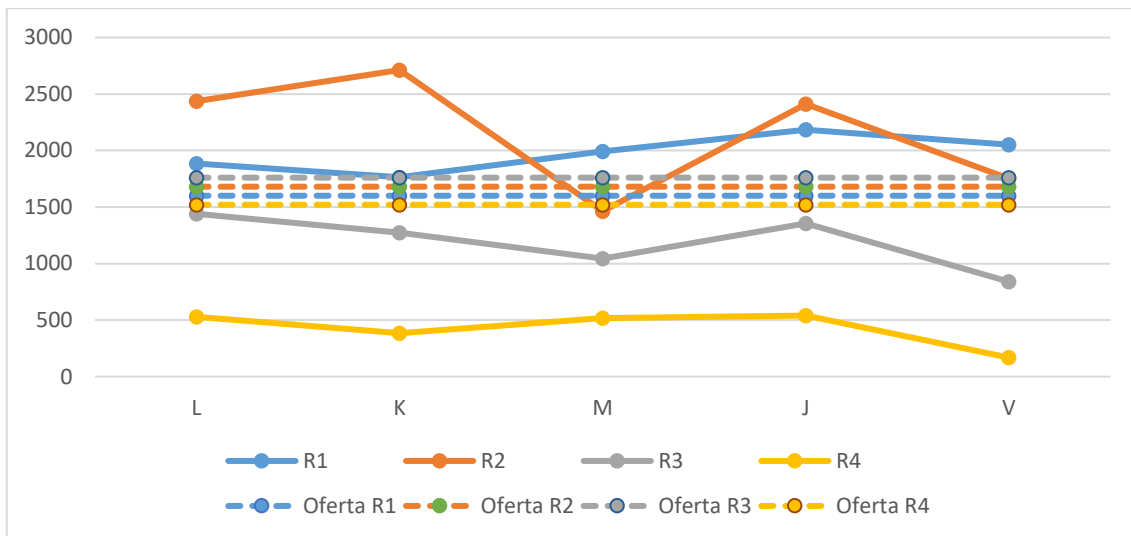


Figura 25.. Escenario pesimista de demanda sentido E-O

En las figuras 26 y 27 se puede observar la relación entre la oferta y la demanda de la ruta con sentido O-E. En el escenario probable se puede apreciar que existe una brecha en los rangos horarios R1 y R2, tal como sucede en el sentido E-O para esos mismos rangos. Por otro lado, al observar el comportamiento en R1 se expone claramente que la oferta supera a la demanda, por lo que se puede tomar el supuesto de que existe ocupación ociosa en esos horarios.

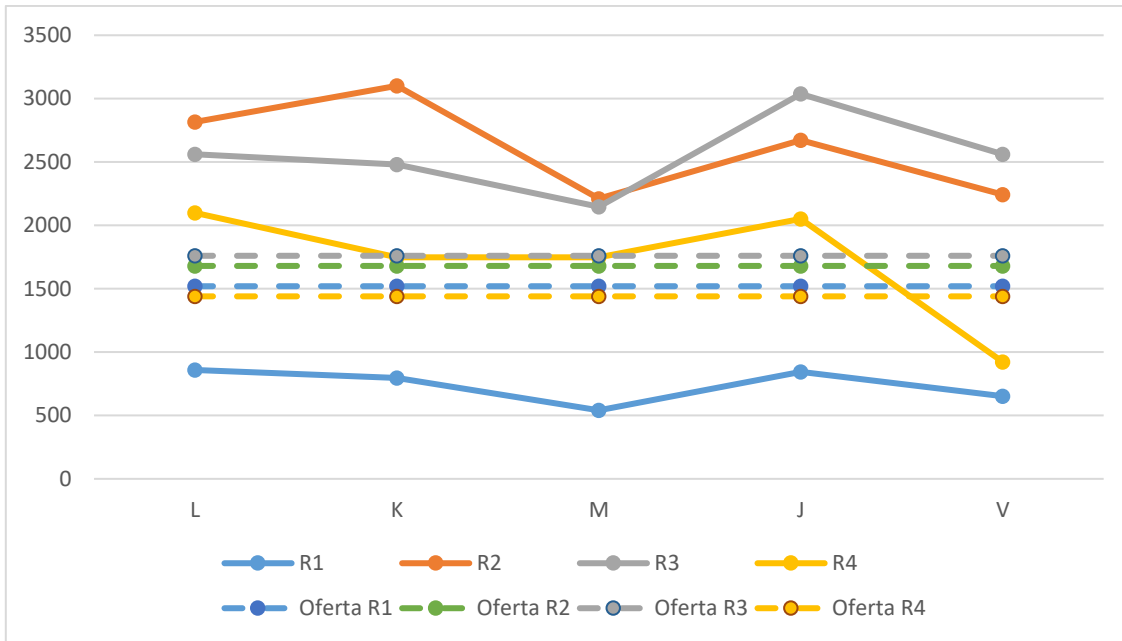


Figura 26. Escenario probable de demanda sentido O-E

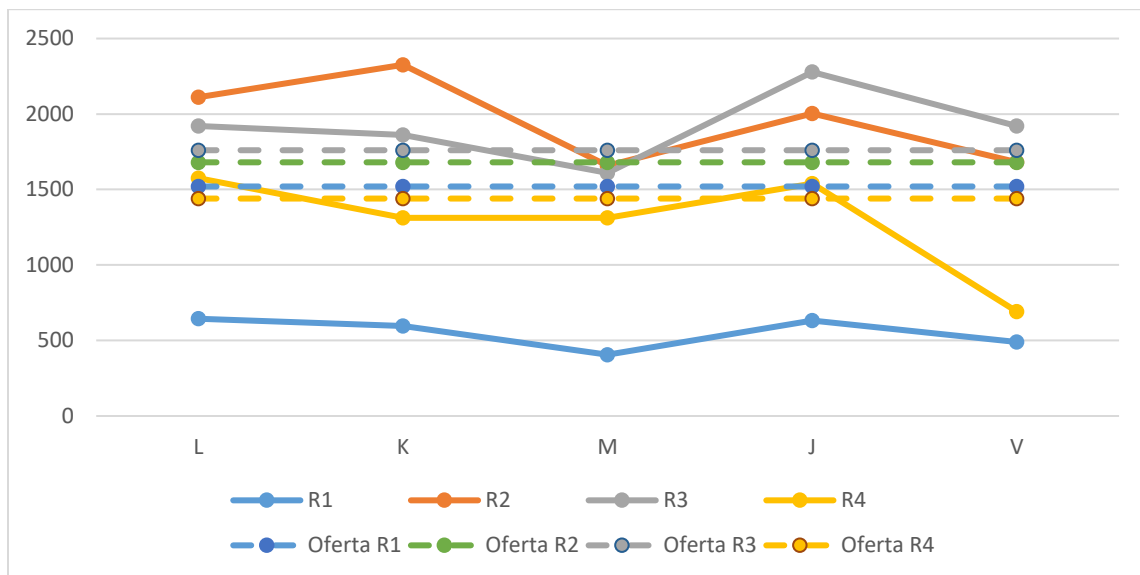


Figura 27. Escenario pesimista de demanda sentido O-E

A partir de los datos puntuales del estudio de PRODUS y del sondeo estructurado realizado, y tomando en consideración los escenarios de oferta y demanda generados, se llega a la conclusión de que no se puede cuantificar con certeza cuál es la demanda del servicio de bus interno, pero sí se puede asegurar que por mucho supera a la oferta en los rangos horarios R1 y R2 tanto en el sentido E-O como en el sentido O-E. Cabe destacar que la demanda de este servicio se genera de forma multicausal, por lo cual su estimación se considera inmanejable con los datos puntuales con que se cuenta. Para poder obtener resultados robustos y representativos de la realidad debe recurrirse a la inclusión de algún tipo de tecnología con la cual pueda obtenerse una base de datos confiable de la demanda del servicio y su comportamiento a lo largo de los distintos ciclos lectivos.

## 2.6 Gestión del servicio del bus interno de la UCR

Una vez realizado el estudio de la oferta y demanda del transporte, conviene analizar el proceso de la gestión del servicio del bus interno, que abarca todo un conjunto de tareas, actividades y estrategias encaminadas a administrar de manera eficiente los recursos actuales. La planificación, la sostenibilidad financiera, la sostenibilidad ambiental y la percepción de los usuarios son aspectos que deben contemplarse en cualquier área de la Universidad, y deben cumplirse según lo establecido dentro de su lineamiento estratégico. En detalle se evalúan a continuación cada una de estas áreas (Figura 28):

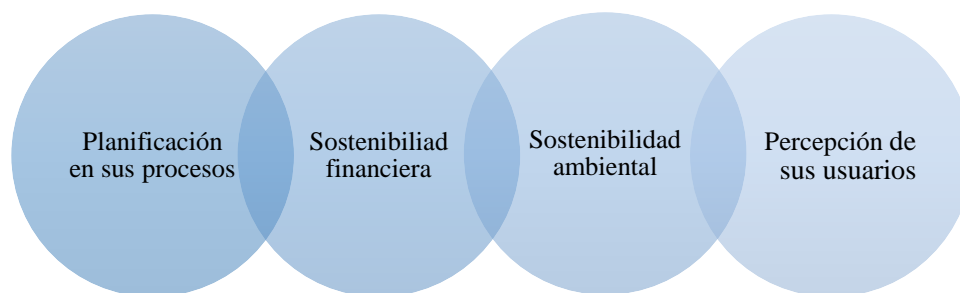


Figura 28. Áreas que evaluar según el marco estratégico del Plan Anual Operativo 2016-2020

### 2.6.1 Planificación del servicio de bus interno

El aspecto responsable para garantizar el éxito de un servicio de transporte es su planificación, ya que en este se define cómo serán utilizados los recursos para lograr una prestación eficaz del servicio. El análisis del proceso de planificación requiere conocer las entradas, las actividades y las salidas, de forma que se pueda identificar deficiencias relacionadas con problemas que está enfrentando la prestación del servicio (Monge, 2011); para ello se utiliza la herramienta SIPOC.

El diagrama de SIPOC (Proveedor-Entrada-Proceso-Salida-Cliente) es una herramienta que permite visualizar el proceso de manera sencilla y general. Este esquema puede ser aplicado a procesos de todos los tamaños y en todos los niveles (Tovar & Mota, 2007). En este caso, se utiliza para comprender el proceso de planificación del servicio de bus interno de la Universidad, y así identificar las entradas, las actividades y las salidas que actualmente se están tomando en consideración para su gestión.

Tabla 9. Diagrama SIPOC del proceso de planificación del servicio de bus interno

Proveedor	Entrada	Proceso	Salida	Cliente
Recursos Humanos OSG	Lista de choferes en planilla	Diseñar las rutas y horarios del servicio de bus interno	Publicación de rutas y horarios (redes sociales, página <i>web</i> , físicamente en las paradas)	Choferes de autobuses  Usuarios del servicio
Sección de Transportes	Lista de autobuses disponibles			
Choferes de la Sección de Transportes	Observaciones y sugerencias de mejoras al servicio de transporte interno			
Sección de Transportes	Tiempo de viaje en las rutas, según historial (GPS)			
		Implementar la ruta y el horario diseñados en una prueba piloto		
		Validar que las rutas y horarios diseñados se cumplan		
		Corregir el diseño según la validación		

Al analizar las entradas, se evidencia que para el diseño del servicio se están tomando en consideración los aspectos relacionados con los recursos internos (tanto recurso humano como las unidades de autobús disponibles) y el tiempo de viaje según las diferentes rutas que recorren las unidades, de forma que se puedan establecer tiempos de llegada y salida entre paradas.

A pesar de que estas entradas son necesarias para la planificación del servicio, se encuentra que no se están contemplando las diferencias relacionadas con la demanda del servicio según los horarios de clases y las paradas de autobús, los cuales son elementos esencial para que el servicio ofrecido responda a las necesidades de los usuarios. Por lo tanto, se deduce que este aspecto se relaciona con las deficiencias del servicio actual, ya que los recursos no están siendo utilizados en función de suplir una demanda de transporte.

Según la entrevista a Castillo (2018), la sección de transportes no cuenta con datos de la demanda del servicio, y es por esta razón que la estrategia que han venido desarrollando consiste en maximizar la frecuencia en todos los horarios, contando con los recursos que se tienen hasta el momento. Sin embargo, a pesar de que se han hecho esfuerzos por transportar a la *mayor* cantidad de pasajeros a lo largo del día, esta estrategia no ha dado resultados efectivos a la organización, ya que en las horas de mayor demanda los autobuses van abarrotados de pasajeros y muchos se quedan en la parada porque no hay suficiente capacidad para transportar a todos los usuarios, esto acarrea un grado de insatisfacción por parte de ellos e inconformidad con el servicio, que se menciona con mayor detalle en los siguientes apartados. Por otro lado, en las horas de menor demanda los buses viajan con

ocupación ociosa. Este hecho es una señal de que los recursos no están siendo planificados adecuadamente y que es necesario considerar el comportamiento de demanda del servicio para su planificación.

## **2.6.2 Sostenibilidad financiera del servicio de bus interno**

Desde el punto de vista económico, una empresa es sostenible si logra ser eficaz y eficiente al mismo tiempo. El ser eficaz significa que una empresa debe entregar el producto o servicio prometido en un tiempo dado, a un precio justo, con una calidad específica y con el nivel de atención adecuado. Por otro lado, una empresa es eficiente si logra una optimización en el uso de sus activos, tales como mano de obra, materias primas, equipos, edificios y otras infraestructuras.

Ahora bien, tomando en consideración la premisa anterior, conviene analizar en este estudio las siguientes preguntas en relación con una estrategia de *sostenibilidad financiera*: ¿La OSG conoce cuánto es el costo del servicio de bus interno?, ¿Está la OSG planificando, gestionando y asegurándose de que los recursos financieros sean utilizados sosteniblemente en el tiempo?

La OSG como unidad administrativa de una institución pública tiene la obligación de rendir cuentas acerca del uso de los recursos económicos que le son asignados periódicamente; por ello dentro de las distintas partidas que componen el presupuesto administrativo con el que cuenta, se encuentran rúbricas como el pago de salarios, combustible, mantenimiento, seguros y marchamo, donde se registran los costos del servicio de bus interno. Es importante destacar que esta unidad tiene el conocimiento por partida de cuánto se está pagando por este servicio; sin embargo actualmente no existe un monitoreo directo del costo global del servicio.. Se considera que el conocimiento y monitoreo del costo de este servicio es de importancia debido a que los recursos económicos de la OSG son limitados y el crecimiento de la demanda se encuentra en un punto máximo.

Desde la Dirección de esta unidad, se ha establecido una directriz para 1) mantener el costo de este servicio, relacionado con la búsqueda del mejor uso de los recursos tanto físicos como humanos con los que se cuenta actualmente, e 2) inclusive disminuirlo en la medida de lo posible, siempre y cuando se mantenga la calidad adecuada según la política de nivel de servicio que se ofrece al usuario.

Para conocer el costo global del servicio se realiza una estimación de este, donde se consideran únicamente los costos directos relacionados con las operaciones necesarias para su prestación; no se consideran los costos indirectos como la gestión administrativa de la Sección de Transportes, ya que no se cuenta con la información suficiente para identificar cuál es el porcentaje en este rubro que le corresponde específicamente al bus interno. Para la estimación del costo global se utilizan los datos históricos proporcionados por la OSG.

### *Costos fijos*

Costos fijos del bus interno se consideran aquellos que, por cierto periodo delimitado, no sufren variaciones debido a la operación del servicio. En este caso, se identifican los siguientes:

**Salario de los choferes:** este costo se compone del pago de planilla de los choferes contratados por la OSG para la prestación del servicio de bus interno. Actualmente hay nueve choferes en planilla

con salarios variables entre ₡402 649 y ₡1 353 912 de manera mensual. La diferencia de salarios se debe al tiempo que tiene laborando cada chofer para la OSG; los salarios más bajos corresponden a los choferes más recientes.

**Póliza de seguro de los autobuses:** este costo se compone de las pólizas de seguro que se pagan para la cobertura de responsabilidad en caso de algún accidente. Actualmente el servicio de bus interno se encuentra amparado por una póliza tipo A (Responsabilidad civil extracontractual por lesión y/o muerte de personas) y una póliza tipo C (Responsabilidad civil extracontractual por daños a la propiedad de terceras personas), ambas se pagan de forma semestral para cada uno de los autobuses, el costo por unidad es de ₡123 043 por semestre.

**Permiso de circulación:** este costo se compone del pago anual al derecho de circulación en vías terrestres de la República de Costa Rica; es de pago obligatorio para cada uno de los autobuses según la ley 9078, Ley de Tránsito por Vías Públicas Terrestres y depende del valor fiscal que tenga cada una de las unidades. El permiso de circulación por unidad es de ₡87 716 anuales.

**Servicio de GPS:** este costo se compone del pago del servicio “Optimiza de Racsa”, el cual tiene un costo mensual de \$27 por cada uno de los dispositivos de GPS de los autobuses, y la plataforma Dacor, que tiene un costo mensual total de \$150 para los siete autobuses en uso.

#### *Costos variables*

Los costos variables son aquellos que sufren variaciones relacionadas con la operación del servicio de bus interno (Berrío & Castellón, 2008). Entre ellos se identifican los siguientes:

**Pago de horas extra laboradas por los choferes:** este costo se compone del pago de horas adicionales laboradas por los choferes en planilla, ya que para poder suplir el horario del servicio de bus interno desde las 6:20 a.m. hasta las 9:50 p.m., la OSG ha tenido que incurrir en el pago de horas extras a los choferes, esto debido a que la asignación del recurso humano a lo largo del día es insuficiente para satisfacer la frecuencia ofrecida.

**Mantenimiento (preventivo y correctivo):** se considera que este costo es variable ya que el mantenimiento preventivo se relaciona directamente con la cantidad de kilómetros recorridos, los cuales no son constantes todos los meses debido a la rotación de las unidades. El Departamento de Mantenimiento tiene estipulado este tipo de servicio cada 5000 km.

**Combustible:** el costo del combustible se considera variable debido a dos factores, en primer lugar, por la cantidad de litros consumidos mensualmente, y en segundo lugar, por el precio de venta del diésel, el cual varía según lo estipule ARESEP.

En la tabla 10 se presentan los resultados de la estimación del costo directo mensual del servicio de bus interno según los datos proporcionados por la OSG. Como se observa el costo directo mensual estimado de este servicio es de ₡11 645 846.

Tabla 10. Estimación del costo mensual del servicio de bus interno

Costos fijos		
Salarios choferes	₡	6 265 055
GPS	₡	204 851
Marchamo	₡	58 477
Seguro	₡	164 057
Costos variables		
Horas extra choferes	₡	762 090
Combustible	₡	3 765 637
Mantenimiento	₡	425 679
Costo mensual	₡	11 645 846
Costo anual	₡	139 750 152
Tipo de cambio utilizado	₡	604,28

A partir de la estimación anterior se logra identificar el costo global de este servicio. Ahora bien, en términos de sostenibilidad económica, se propone el establecimiento de un indicador con el cual se pueda medir el estado actual del uso de los recursos financieros e identificar si se está logrando el mejor desempeño posible.

Para esta medición se propone la utilización de un indicador de costo por pasajero, de forma en que se pueda evaluar cómo se comporta a lo largo del horario de servicio de bus y con ello identificar si existen horarios en los que no sea sostenible en términos económicos. Para poder cuantificar este indicador se requiere de dos insumos de información: en primer lugar, es necesario conocer el costo total mensual del servicio, el cual ya es estimado anteriormente, y en segundo lugar, conocer la cantidad de pasajeros que lo utilizan a lo largo del día. Además se debe establecer un costo máximo permisible por pasajero, de forma que se pueda determinar si hay horarios en los que no sea sostenible brindar el servicio. Con la información que se cuenta actualmente se puede realizar únicamente una estimación de este indicador y ver su comportamiento con respecto al costo relacionado con la capacidad máxima de 80 pasajeros por bus.

Para la cuantificación de este indicador se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Costo de pasajero por hora} = \frac{\text{Costo del servicio por hora}}{\text{Cantidad de pasajeros por hora}}$$

Como se observa en el nominador de la ecuación se considera el costo del servicio por hora. Para la estimación de este dato se utiliza el costo mensual anteriormente cuantificado y la cantidad de horas mensuales de funcionamiento del servicio. Se considera que en promedio este servicio se brinda un total de 320 horas mensuales; de esta forma se estima que el costo del servicio por hora es de ₡36.393,27.

En lo que respecta a la cantidad de usuarios por hora, se utiliza la información del promedio de pasajeros por hora proporcionada por el estudio de PRODUS. El costo por hora estimado se presentan en las tablas 11 y 12 para cada una de las rutas en el sentido E-O y O-E respectivamente.

*Tabla 11. Estimación del costo por pasajero en la ruta sentido E-O*

Hora	Promedio de pasajeros por ruta E-O	Cantidad de frecuencias sentido E-O	Promedio de pasajeros transportados por hora E-O	Costo promedio por pasajero	Costo por pasajero capacidad llena
06:00	58	4	232	₡ 156.87	₡ 113.73
07:00	37	6	222	₡ 163.93	₡ 75.82
08:00	62	4	248	₡ 146.75	₡ 113.73
09:00	36	6	216	₡ 168.49	₡ 75.82
10:00	42	6	252	₡ 144.42	₡ 75.82
11:00	55	5	275	₡ 132.34	₡ 90.98
12:00	75	5	375	₡ 97.05	₡ 90.98
13:00	56	5	280	₡ 129.98	₡ 90.98
14:00	42	5	210	₡ 173.30	₡ 90.98
15:00	44	6	264	₡ 137.85	₡ 75.82
16:00	55	5	275	₡ 132.34	₡ 90.98
17:00	49	6	294	₡ 123.79	₡ 75.82
18:00	37	5	185	₡ 196.72	₡ 90.98
19:00	32	5	160	₡ 227.46	₡ 90.98
20:00	18	5	90	₡ 404.37	₡ 90.98
21:00	20	4	80	₡ 454.92	₡ 113.73



Tabla 12. Estimación del costo por pasajero en la ruta sentido O-E

Hora	Promedio de pasajeros por ruta O-E	Cantidad de frecuencias sentido O-E	Promedio de pasajeros transportados por hora E-O	Costo promedio por pasajero	Costo por pasajero capacidad llena
06:00	23	3	69	₡ 527.44	₡ 151.64
07:00	15	6	90	₡ 404.37	₡ 75.82
08:00	26	4	104	₡ 349.94	₡ 113.73
09:00	21	6	126	₡ 288.84	₡ 75.82
10:00	39	6	234	₡ 155.53	₡ 75.82
11:00	44	5	220	₡ 165.42	₡ 90.98
12:00	79	5	395	₡ 92.13	₡ 90.98
13:00	26	5	130	₡ 279.95	₡ 90.98
14:00	44	5	220	₡ 165.42	₡ 90.98
15:00	54	6	324	₡ 112.32	₡ 75.82
16:00	47	6	282	₡ 129.05	₡ 75.82
17:00	36	5	180	₡ 202.18	₡ 90.98
18:00	33	5	165	₡ 220.57	₡ 90.98
19:00	24	5	120	₡ 303.28	₡ 90.98
20:00	12	4	48	₡ 758.19	₡ 113.73
21:00	22	4	88	₡ 413.56	₡ 113.73

La figura 29 es un gráfico del comportamiento del indicador de costo por pasajero en la ruta E-O según el horario del II Ciclo del 2018. Se evidencia que a lo largo del día el indicador varía entre ₡100 y ₡200; sin embargo a partir de las 6:00 p.m. el costo aumenta considerablemente hasta ₡450 colones por pasajero, lo cual se deduce que en los horarios nocturnos el servicio que se está ofreciendo no es económicamente sostenible.

Por otro lado, la figura 30 es un gráfico de la ruta O-E, donde se evidencia que los costos más altos se dan tanto en la mañana como en la noche, específicamente entre las 6:00 a.m. y las 9:00 a.m. y posteriormente, a partir de las 6:00 p.m., con un punto máximo de ₡758 por pasajero, lo cual evidencia que en ese horario el servicio podría no ser sostenible.

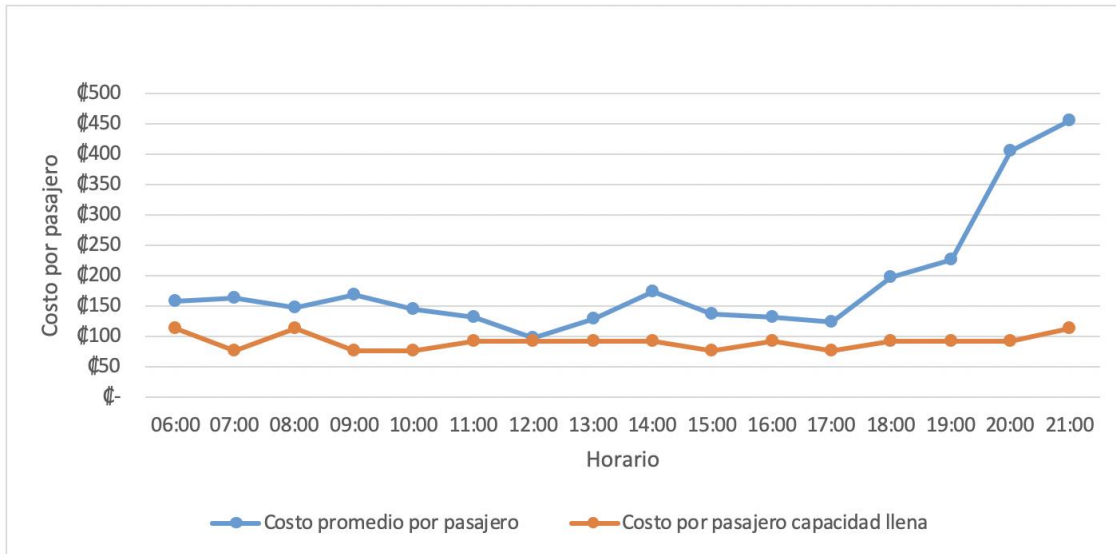


Figura 29. Costo por pasajero según horas sentido E-O

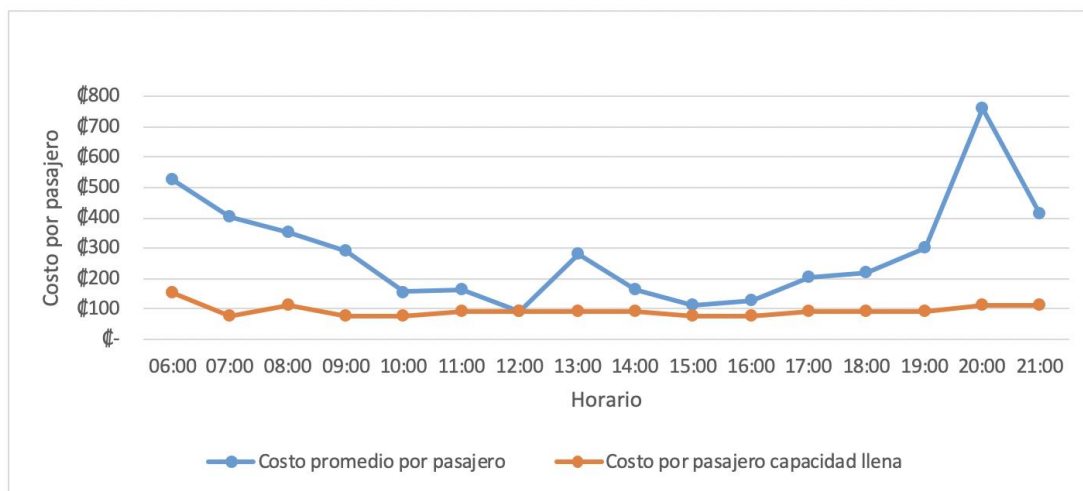


Figura 30. Costo por pasajero según horas sentido O-E

A partir de este análisis se evidencia la necesidad de incorporar el control económico del servicio como un eje fundamental para la gestión integral de este, de forma que se utilicen los recursos disponibles sin comprometer la calidad del servicio.

### **2.6.3 Sostenibilidad ambiental del servicio de bus interno**

La tercera área que evaluar es la sostenibilidad ambiental como eje estratégico. La sostenibilidad en una organización no solo debe verse en el ámbito económico, sino que debe ser entendida bajo distintos puntos de vista: sostenibilidad financiera, y sostenibilidad ambiental y social. El eje ambiental es uno de los pilares para la gestión universitaria. De acuerdo a la política de la Universidad de Costa Rica 2016-2020 “Excelencia e innovación con transparencia y equidad”, se establecen los ejes estratégicos de su organización. En el sétimo eje, relacionado con la gestión universitaria, se establecen los compromisos que adquiere la Universidad con la sostenibilidad ambiental y se especifica lo siguiente:

**7.4.1.** “Fortalecerá, en la comunidad universitaria y nacional, una cultura ambiental mediante un enfoque de gestión ambiental integral que contribuya con el mejoramiento de la calidad de vida en el país” (Universidad de Costa Rica, 2015).

**7.4.3.** “Desarrollará e implementará un plan estratégico institucional de gestión ambiental integral, al cual se le otorgarán los recursos necesarios, apoyado en un sistema de información, para mantener la carbono neutralidad, y fomentar el desarrollo y uso de tecnologías y materiales amigables con el ambiente, entre otras, a fin de prevenir, reducir y mitigar el impacto ambiental derivado del quehacer universitario, para garantizar la eficiencia en el uso de los recursos institucionales, y mejorar la calidad de vida de la comunidad universitaria”. (Universidad de Costa Rica, 2015)

El enfoque estratégico de la gestión universitaria indica el norte que las unidades administrativas deben considerar para el desarrollo de sus actividades; por ello la OSG como parte de los objetivos de su gestión establece la promoción del desempeño ambiental en sus actividades cotidianas, procurando lograr un equilibrio de sostenibilidad entre sus áreas.

El bus interno es un servicio que diariamente genera un impacto al ambiente derivado de las emisiones de gases de efecto invernadero por el consumo de combustibles fósiles; el crecimiento de este servicio a lo largo de los últimos años ha generado un aumento significativo en la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente emitidas al ambiente. Como se observa en la figura 31, para setiembre del 2018 este servicio genera una cantidad récord de 18 toneladas de CO<sub>2</sub>; al compararlo con setiembre del 2017 se observa un aumento del 63% de las emisiones, lo que se traduce en una diferencia de siete toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente entre un año y otro para un mismo mes.

Por otro lado, en términos generales se tiene que entre los meses de enero y noviembre hay un crecimiento de un 17,31% en el 2018 respecto de 2017; en el 2017 se generaron 84,41 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, mientras que en el 2018 en los mismos meses se han generado 99,09 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. Además, al comparar la cantidad de emisiones entre el primero y el segundo semestre del 2018, se identifica un aumento significativo de ellas y por ende en los litros de combustible consumidos.

De acuerdo a la tabla 13, en el primer semestre (entre los meses de marzo y junio) se emitieron 25,79 toneladas, mientras que en el segundo semestre (entre los meses de agosto y noviembre) se emitieron 60,5 toneladas, es decir, 34,71 toneladas más durante el segundo semestre.

Tabla 13. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente del servicio de bus interno (toneladas)

	2014	2015	2016	2017	2018
Enero				0.43	1.76
Febrero				1.80	2.66
Marzo		2.33	4.36	9.06	3.52
Abril		1.80	4.50	6.06	7.75
Mayo		2.69	5.22	12.35	5.39
Junio			4.95	13.09	9.13
Julio			1.08	5.99	8.33
Agosto	2.77	0.39	4.81	9.58	12.31
Setiembre	6.39		3.47	11.00	17.99
Octubre	8.53	1.07	1.04	9.43	16.99
Noviembre	2.97	1.68		5.62	13.21
Diciembre	0.02	0.43	0.40	1.95	
Total	20.69	10.39	29.82	86.36	99.03
Observaciones	Datos incompletos para este periodo	Datos incompletos para este periodo	Datos incompletos para este periodo	Datos completos para este periodo	Datos completos hasta el mes de noviembre

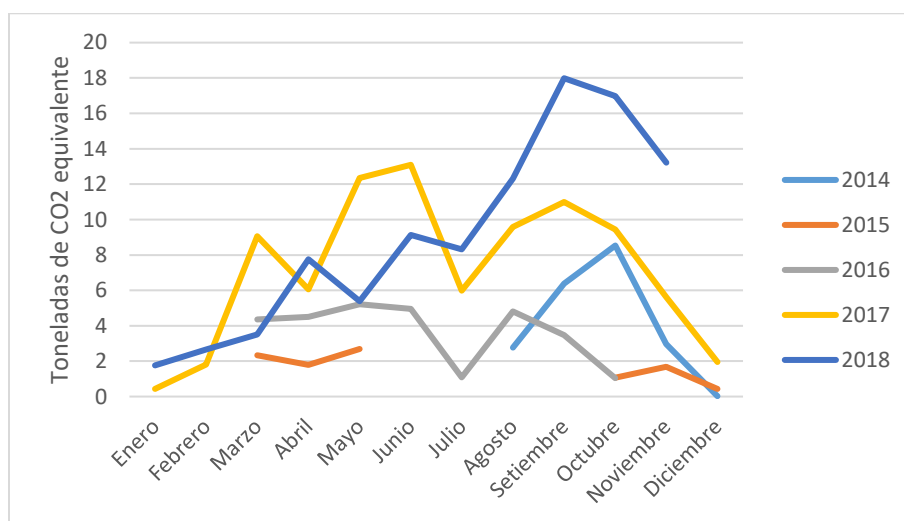


Figura 31. Comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente del bus interno

Lo anterior, demuestra no solo que cada año el servicio ofrecido es más contaminante, sino que en un mismo año su gestión puede tener repercusiones significativas, ya que para el segundo semestre del 2018 se identifica una elevación del consumo de combustible debida al cambio de dos rutas a Finca 2 y Finca 3 por una única ruta que visita ambas fincas.

Como bien se menciona en el apartado 2.6.3, la estrategia actual de planificación del servicio, que consiste en la maximización de las frecuencias, ha generado un aumento de la distancia recorrida por los buses dentro de la Universidad, lo cual tiene relación directa con el consumo de combustible y la generación de los GEI, y sin embargo, no se ha logrado satisfacer las necesidades de movilización. Por ello, se deduce que la forma en la que se está gestionando este servicio no responde a las políticas y aspiraciones de la Universidad, porque tras de que han aumentado las emisiones, no se ha visto aún ninguna mejora en los parámetros de calidad del servicio.

#### **2.6.4 Percepción del usuario del servicio de bus interno**

La última de las áreas por analizar es la calidad del servicio que se presta en la Universidad. El éxito de este radica en la capacidad de entender y evaluar las necesidades y requerimientos mínimos de los usuarios, para poderlos traducir en elementos claves para el sistema.

En cuanto al servicio enfocado en transporte, el problema recae cuando se planifica sin tomar en cuenta esas necesidades, lo cual provoca la exclusión de sectores vulnerables como los niños, los adultos mayores y las personas con discapacidad (Goodall, 2017).

Según el estudio de la voz del usuario mediante talleres focales y herramientas basadas en metodología de design thinking , que se realizó en el campus universitario, la mayoría de los estudiantes indican que el servicio de bus interno es impuntual; los estudiantes llegan tarde a las clases, y la gran mayoría de personas prefieren caminar antes que les suceda lo descrito anteriormente. Esto deja en evidencia que los usuarios perciben aspectos de mejora en el sistema de transporte. Por otra parte, los entrevistados observan que los buses están saturados, las filas son largas, los vehículos circulan a altas velocidades y las rutas son muy largas para los destinos que estos tienen. Por último, piensan que se debería ampliar el horario de los buses, con frecuencias mayores en horas pico e incluso mejorar la infraestructura para que las personas puedan moverse a pie. Con lo anterior, se puede inferir que la percepción del servicio tanto en lo que se observa como lo que se comenta es negativa, a pesar de los esfuerzos que ha hecho la OSG para aumentar la frecuencia de los traslados.

Una política de nivel de servicio permite administrar las expectativas de los usuarios, pues se definen los estándares del servicio que el proveedor está obligado a cumplir. Es una declaración formal que expresa el compromiso de la empresa con los clientes, mediante un acuerdo de adhesión o una política interna de la organización, donde se incluyen los objetivos que se deseen medir. El cumplimiento de estos últimos se juzga de acuerdo a un conjunto de mediciones de calidad, que previamente se determinan, con el fin de evaluar si se están satisfaciendo las expectativas de los clientes (Bedoya, 2012).

Actualmente, esta política no existe dentro la OSG, y esto se deduce del hecho que no se tienen mapeados los indicadores de calidad que los usuarios consideran que debe tener ese servicio como mínimo, ni tampoco la OSG ha pensado cuáles son los indicadores que desea ofrecer a sus clientes. Al desconocer esa información, la OSG no tiene metas establecidas ni parámetros de cumplimiento para conocer si está realmente satisfaciendo las necesidades de los usuarios.

### *Definición de la política de nivel de servicio del bus interno ofrecida por la OSG*

Ante tal necesidad, se toman como base el sustento teórico anteriormente mencionado. Para ello, se definen dos rúbricas; la primera es de aquellos indicadores que para los usuarios son importantes para el cumplimiento mínimo de sus expectativas, y la segunda, de los indicadores que la OSG considera que hasta el momento puede ofrecerle al usuario.

En el caso de la formulación de la primera rúbrica, se toman como insumo los resultados del modelo SERVQUAL de Calidad de Servicio, mediante el cual se identifican aquellos indicadores que son importantes para los usuarios (siendo 5 la puntuación considerada como “Absolutamente importante”). En lo que respecta a la segunda, se convoca al director de la OSG y se le solicita que asigne una puntuación del 1-5 (siendo 5 la puntuación considerada como “Dispuesto a ofrecer”), para cada uno de los indicadores, y se tienen los siguientes resultados:

*Tabla 14. Puntuación según los esfuerzos a ofrecer por parte de la OSG*

<b>Puntuación</b>	<b>Descripción</b>
1	Desinterés total en ofrecérselo al usuario.
2	Desinterés parcial en ofrecérselo al usuario.
3	Considera poco importante ofrecérselo, sin embargo, estaría anuente siempre y cuando se cubran primero las prioridades latentes.
4	Considera muy importante ofrecérselo, sin embargo, hay otras prioridades que cubrir.
5	Considera vital ofrecérselo al usuario

*Tabla 15. Puntuación de los indicadores de calidad por parte de los actores involucrados en la prestación del servicio*

<b>Indicador que evaluar</b>	<b>Usuario</b>	<b>OSG</b>
Cumplimiento de los horarios	4,71	5,00
Frecuencia de las rutas	4,61	5,00
Información disponible y actualizada	4,59	5,00
Seguridad en las paradas de los autobuses	4,51	5,00
Tiempo de espera del autobús en la parada	4,41	4,00
Seguridad dentro del autobús	4,40	3,00
Ubicación de las paradas del autobús	4,38	4,00
Tiempo en la ruta realizada por el autobús	4,15	4,00
Infraestructura de las paradas de autobús	4,01	5,00
Limpieza del autobús	3,92	3,00
Comodidad para viajar	3,54	3,00
Disponibilidad de asientos en autobús	3,52	3,00

Los resultados definen las brechas existentes entre lo que el usuario tiene como expectativas y lo que la OSG puede ofrecer hasta el momento. Gráficamente estas diferencias se pueden visualizar en la figura 32.

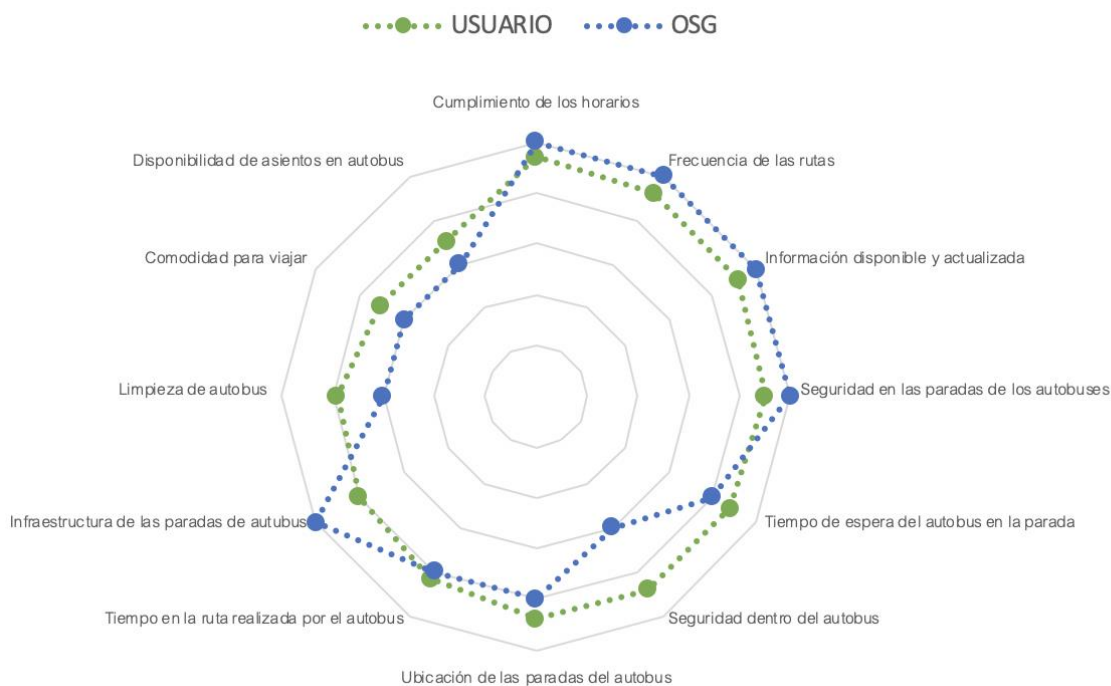


Figura 32. Brechas existentes entre lo que el usuario espera y lo que la OSG está dispuesta a ofrecer

La reducción de las brechas existentes debe ser considerada como prioridad para mejorar la calidad del servicio y al menos alcanzar la calidad mínima requerida. Ahora bien, lo que interesa en este punto es que los indicadores que presentan brechas pequeñas se deben trabajar primero para lograr una madurez en el sistema, debido a que la OSG se compromete a ofrecerle al usuario como mínimo el cumplimiento de esos indicadores.

De esta manera, se consideran los siguientes indicadores en la política de nivel servicio:

1. *Puntualidad en el servicio*: garantizar que se cumpla con los horarios establecidos favoreciendo su confiabilidad.
2. *Disponibilidad del servicio*: garantizar el cumplimiento de la cobertura y frecuencia de los buses definida en esta política.
3. *Infraestructura y seguridad de las paradas*: garantizar la disponibilidad de paradas formales con infraestructura adecuada, cámaras de seguridad e iluminación en cada una de ellas.
4. *Información disponible y actualizada*: ofrecer de información actualizada de los horarios en puntos estratégicos (paradas formales, página *web*, aplicación digital) al alcance de los usuarios.
5. *Confiabilidad en el tiempo de respuesta*: garantizar que en caso de avería o problema mecánico, se informe a los usuarios por medios de divulgación propios de la OSG.

Considerando estos indicadores y la tolerancia definida por la OSG, se realiza un prototipo de política de nivel de servicio sobre la cual se establece posteriormente la política final Apéndice 6. Es importante mencionar de que se formula con base en la oferta de transporte, no sobre la demanda, ya que esta se considera multicausal e incierta; sin embargo, se establecen los criterios para definir metas y poder determinar si la oferta puede o no llegar a ellas con los recursos existentes, y de esa manera cumplir con las expectativas de los usuarios.

## ***2.7 Perspectivas del futuro del transporte interno en la sede Rodrigo Facio***

De acuerdo a los apartados anteriores se tiene un panorama de la situación actual del transporte interno de la Sede Rodrigo Facio, en el que el aumento significativo de los traslados entre fincas es un elemento crítico. Para abordar de forma integral soluciones de movilidad, se debe contemplar por un lado cuáles alternativas de transporte podrían considerarse para mejorar el sistema de movilidad actual, y por otro lado, analizar también los cambios que pueden generarse en un futuro y afectar así la demanda de transporte.

Por esta razón se propone dentro de este diagnóstico realizar en primer lugar un estudio de alternativas viables de transporte que puede desarrollar la OSG, y en segundo lugar un análisis de cuáles factores puede afectar la demanda de transporte en un horizonte temporal de cinco años, esto por medio de una construcción de escenarios futuros.

Cabe destacar que se selecciona este periodo temporal, ya que la UCR realiza su planificación por quinquenios y actualmente se cuenta con información de los proyectos que se estarán desarrollando dentro de este lapso. Además, se considera que cinco años es un periodo prudente de estimación de cambios en la demanda, ya que un plazo mayor de estimación sería muy incierto, debido a causas como los avances tecnológicos que generan cambios en el estilo de vida de las personas, tal como es el caso de la virtualización de la educación.

### ***2.7.1 Estudio de alternativas de transporte e infraestructura***

Actualmente la OSG proporciona un único servicio de transporte que se basa en el bus interno, sin embargo, la diversificación de la oferta siempre ha sido una opción, de forma que se puede ampliar la cobertura de la demanda de transporte. Por esta razón es de interés para este estudio conocer cuáles son esas alternativas de transporte que podrían desarrollarse dentro de la Universidad. Para ello, se realiza un análisis de alternativas de medios de transporte e infraestructura que se podría llegar a considerar para fortalecer la oferta actual de la OSG.

Para la selección de estas, se utiliza una matriz multicriterio que determina de manera objetiva cuál o cuáles soluciones son las que mejor se adaptan a las necesidades tanto de la OSG como las del usuario mediante una escala Likert. Los criterios utilizados son los siguientes:

- **Aceptación del usuario:** Mide la aceptación por parte del usuario, del aspecto evaluado. Se asigna un tres si tiene un grado alto de aceptación, dos si tiene un grado medio de aceptación y uno si tiene un grado bajo de aceptación.
- **Factibilidad normativa:** Mide la factibilidad del proyecto con respecto a las normativas nacionales vigentes.
- **Interés de la OSG:** Esta es una clasificación que asigna la contraparte, con base en su criterio e intereses propios.
- **Factibilidad técnica:** Esta es una clasificación que se asigna, tomando en consideración el mantenimiento, el costo de la unidad evaluada, la infraestructura y la instalación requeridas.
- **Alcance del proyecto:** Esta es una clasificación que se asigna, tomando como en consideración el alcance del proyecto, definido por el equipo del trabajo. Quedarán excluidos



la evaluación de aceras y los diseños y señalización de elementos propios del área de ingeniería de tránsito. En cuanto al transporte e infraestructura, deben ser amigable con el ambiente generando el menor impacto.

Tabla 16. Escala Likert para la selección de alternativas de mejora

Valor	Descripción
1	Baja
2	Media
3	Alta

De acuerdo al análisis realizado en el Apéndice 7: “Evaluación de las alternativas de transporte y de infraestructura obtenida a partir de los criterios”, se priorizan, en orden secuencial, aquellas cuya puntuación sea “tres” como máximo. Se realiza la salvedad de que la puntuación de ciclo parqueos y paradas de buses externos es de 2,6 según lo descrito en la tabla 16, sin embargo, para poder llevar a cabo un diseño integral se requieren estos dos elementos, aun cuando su puntuación sea inferior a 3. A continuación, en la tabla 17 se muestra la puntuación obtenida a partir de la matriz multicriterio realizada tanto para medios de transportes como infraestructura como tal.

Tabla 17. Puntuación obtenida a partir de la matriz multicriterio realizada de los medios de transporte e infraestructura

Medios de transporte	Puntuación
Bicicletas	3
Bus interno	3
Buses (eléctrico)	2,35
Carpooling	2,35
Buses (dos pisos)	2,3
Hoverboards	2,25
Segways	2,25
Scooters eléctricos	2,15
Teleférico	1

Infraestructura	Puntuación
Aceras internas	3
Puente peatonal	3
Ciclo vías	3
Infraestructura tecnológica	3
Reubicación de paradas del bus interno	3
Paradas de buses externos	2,6
Cicloparqueos	2,6
Paso peatonal de Super Tacho	1,5
Paso peatonal (frente a entrada principal Finca 2)	1,5
Aceras externas	1,5
Subterráneos	1

A partir de este estudio de las alternativas se evidencia que las dos opciones de transporte viables el fortalecimiento de la oferta consiste en 1) la incorporación de un servicio de préstamo de bicicletas dentro de la Universidad y 2) la mejora de la gestión del servicio de bus interno que existe actualmente. Por otro lado, en el caso de la infraestructura, se evidencia que las alternativas se relacionan con la mejora de las aceras y el puente peatonal para facilitar el traslado de los peatones, además de la mejora de la infraestructura para los ciclistas y de las paradas del bus interno.

### 2.7.2 Construcción de escenarios futuros y su impacto en la movilidad

El segundo punto que estudiar es la identificación de variantes en el entorno que podrían llegar a afectar la demanda del transporte.

Como se mencionó en los apartados anteriores, la movilidad en general tiene un comportamiento volátil, es decir, puede llegar a cambiar con el paso del tiempo y verse afectada por una gran cantidad de variables. Por esta razón, los planes de movilidad normalmente se proyectan a futuro, tomando en consideración un horizonte temporal, esto con el fin de que los proyectos sean modulares y puedan ser flexibles al cambio venidero. Por esto, es importante considerar cuáles podrían ser esas nuevas variantes, que en un futuro incierto van a imperar en la Universidad, y ver de qué manera van impactar en la movilidad. De ahí las interrogantes, ¿existen variantes identificadas que moverán a las personas a trasladarse con mayor o menor frecuencia entre fincas? De ser así, ¿cómo van a impactar en los servicios de transporte en la UCR?

Para realizar este análisis, se enlistan las causas identificadas de movilización entre fincas, y su proyección en un horizonte temporal de cinco años. Por lo tanto, se establece una presunción de su comportamiento en el futuro y el efecto que ocasionarían en la demanda del servicio de bus interno; cabe destacar que, al no contar con datos de demanda confiables, no se establece una aproximación cuantitativa de este comportamiento; sin embargo, esta información podría considerarse útil para la generación de escenarios futuros en el momento en que se cuente con datos representativos de la demanda.

*Tabla 18. Comportamiento de causas de movilidad en escenarios futuros*

<b>Causas de movilización</b>	<b>Efecto en la demanda por nuevos traslados entre fincas</b>	<b>Justificación</b>
Distribución de aulas	Se mantiene igual.	Por normativa institucional los cursos deben ser impartidos en la facultad a la cual corresponden, de esta forma la Oficina de Registro mantiene la ubicación de los cursos en las diferentes instalaciones donde se encuentren ubicadas las facultades.
Servicios de alimentación	Disminuye.	Se tienen los siguientes proyectos de servicios de alimentación, los cuales serán habilitados entre el 2019 y el 2020: 1) Cafetería Hangar (Finca 3, I ciclo del 2019) 2) Comedor estudiantil (Finca 3, I ciclo del 2019) 3) Soda de Ingeniería (Finca 2, I ciclo del 2019) 4) Cafetería en edificio de aulas y laboratorios (Finca 2, I ciclo 2019)

Tabla 19. Comportamiento de causas de movilidad en escenarios futuros (Continuación)

Traslado a paradas de buses externos	Disminuye.	No se han establecido proyectos de reubicación de las paradas, pero en el caso de que se realizara alguno, la tendencia sería a la disminución de traslados.
Estacionamiento en una finca y traslado a otra	Se mantiene igual.	La infraestructura de los parqueos ya se encuentra construida y la OSG no tiene dentro de sus planes la construcción de más parqueos.
Virtualización de los cursos	Disminuye.	Se tiene prevista la transición a cursos semipresenciales y el aumento de las clases virtuales, de acuerdo al plan estratégico institucional.
Construcción de nuevos edificios	Aumenta.	La construcción de edificios nuevos en Fincas 2 y 3, ocasionará que el número de traslados entre fincas aumente.
Paso Peatonal	Disminuye.	La construcción de un puente peatonal que comunica Finca 1 y Finca 2 está prevista para el I Ciclo del 2020.

A partir de la tabla anterior, se cuenta con información para la construcción de escenarios de demanda futura, cabe destacar que estos podrán incorporarse hasta que se tengan datos representativos del comportamiento actual de la demanda, sin embargo, es importante considerar estas causas, que generan variaciones en el horizonte temporal establecido.

## 2.8 Generación de oportunidades de mejora

### 2.8.1 Síntesis de la información obtenida

Para generar las oportunidades de mejora, se establece un árbol de realidad actual de la OSG, representado en la figura 33, donde se muestran las relaciones entre los elementos principales de la problemática, según la información obtenida en los apartados anteriores.

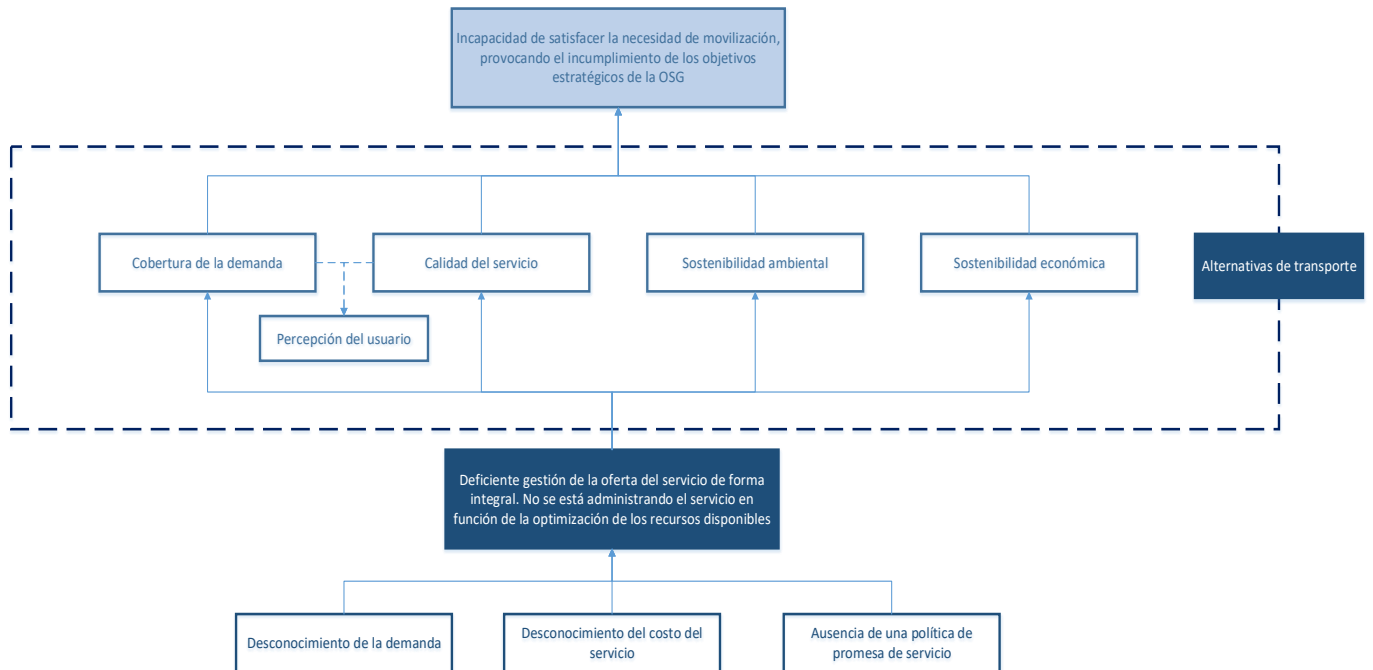


Figura 33. Árbol de realidad actual del servicio de bus interno de la OSG

Mediante el establecimiento del árbol de realidad actual, se define como la raíz del problema el *desconocimiento de la demanda real del transporte*, lo que ocasiona un uso ineficiente del servicio, con respecto a los recursos que la OSG tiene a su disposición. Esto provoca un grado de demanda insatisfecha, debido a que esta sobrepasa la oferta, según los datos estimados. Lo anterior tiene un efecto directo en la percepción que tiene el usuario del servicio, que según el estudio de la voz del usuario, evidencia la insatisfacción provocada por la saturación de los buses, los recorridos innecesarios y el incumplimiento de los horarios, entre otros.

Otra de las causas de una inadecuada gestión de la oferta y del incumplimiento de los objetivos estratégicos de la OSG es que, realmente, esa dependencia ignora el costo generado por pasajero por hora, el cual no se puede controlar si no se mide; lo que sí se puede asegurar es que la sostenibilidad financiera es cuestionable, debido al aumento en horas extra, el aumento de la flotilla y los cambios de ruta sin una previa valoración del comportamiento de la demanda en el periodo. Lo anterior desencadena aumento de kilómetros recorridos y aumento del costo del combustible, y a su vez esto genera mayor CO<sub>2</sub> equivalente que se dispersa en el medio ambiente.

Esa falta de conocimiento de la demanda conlleva también una gestión inadecuada de la oferta de transporte y desaprovechamiento de los recursos actuales. Esto lleva a la conclusión de que para poder satisfacer las necesidades de movilización, cumpliendo paralelamente con los objetivos estratégicos,

se debe hacer un mejor uso de los recursos actuales al menor costo posible, ya que la OSG no tiene presupuestado invertir más en su sistema de transporte de bus interno. Además, se debe considerar que en un horizonte de cinco años existen variantes que pueden llegar a afectar la demanda y las necesidades de movilización actual. Estas deben ser analizadas debido a que pueden ocasionar un impacto en la oferta del transporte, e incluso la OSG puede llegar a incluir otras opciones que permitan cubrir la demanda lo mejor posible y lograr satisfacción por parte del usuario con un sistema de movilidad aún más integral.

### ***2.8.2 Definición y priorización de oportunidades de mejora***

A partir del árbol de realidad actual, se define para este proyecto de graduación la optimización del uso de los recursos con que cuenta la Universidad para el servicio del bus interno, de forma que se maximice la oferta a un menor costo, según los comportamientos de la demanda real. Precisamente al ser estos recursos provenientes de fondos públicos, deben gestionarse de una mejora manera, con el fin de conseguir el mismo objetivo (movilizar a las personas) en miras a su reducción y ahorro.

Para esto, se propone la incorporación de una herramienta modular que esté alineada con la política de nivel de servicio establecida, la cual permita la administración adecuada de la oferta de transporte, de modo que se pueda controlar la gestión económica, ambiental y de calidad del servicio. La idea principal es que esta herramienta sirva de apoyo para que el encargado de administrar la oferta de servicios pueda hacerlo según el comportamiento de la demanda.

Los cuatro módulos generales y sus requerimientos, que deben ser considerados en el diseño de la herramienta con el fin de cubrir las necesidades expuestas, se detallan a continuación:

#### **Módulo 1 Análisis de la demanda**

Para la realización de este módulo, se requiere alimentarlo con datos confiables y representativos. Tal y como se explica en el árbol de realidad actual, la raíz del problema es el desconocimiento de la demanda real del transporte, ya que no existe una fuente de datos representativos de la demanda. Ante esta situación, se propone en este proyecto incorporar la tecnología en el proceso de mejora, mediante la construcción de un contador de pasajeros programado en Arduino, que pueda colocarse en los autobuses para obtener información confiable y representativa.

En este módulo se realiza un análisis cuantitativo de la demanda, el cual incluye la información recolectada con el contador que se menciona anteriormente. Con los datos recopilados es posible estudiar el comportamiento de la demanda según diferentes variables de interés: 1) la cantidad de usuarios que utilizan el servicio en cada hora, esto para definir la oferta requerida para cubrir dicha demanda, y 2) la utilización del servicio por paradas, esto es posible al vincular el dispositivo con el GPS con el que actualmente cuentan las unidades que brindan el servicio; al analizar la cantidad de personas que suben o bajan de la unidad por cada punto establecido es posible determinar con un mejor criterio los recorridos que el servicio debe brindar para cubrir de manera eficiente la demanda. Además su uso en el tiempo permite tomar decisiones acertadas respecto a las variaciones del comportamiento que se puedan dar.

## **Módulo 2 Gestión de la oferta**

Este módulo se planifica de acuerdo con la demanda analizada en el módulo 1, tomando en consideración las variables cuantitativas de distribución de la demanda por rangos horarios y ubicaciones geográficas, y las cualitativas que puedan tener un efecto sobre estas. Las variables que se incluyen en este módulo son estas:

- **M 2.1** Distribución de las rutas y frecuencias.— En este se evalúan las posibles rutas que el sistema puede realizar según las necesidades que se observen en el módulo 1. Al variar las rutas y frecuencias, se estima la cantidad de demanda cubierta por el sistema, esto con el fin de cumplir con el nivel de servicio de la manera más eficiente. En este apartado se analiza la utilización de frecuencias y rutas variables por rangos horarios.
- **M 2.2** Distribución de horarios de los choferes.— Según lo analizado en el módulo *M 2.1*, el cual busca cubrir de la mejor manera la demanda, este busca realizarlo de una forma económicamente viable, ya que explora las opciones en las que se puede modificar las jornadas laborales de los choferes, con el fin de disminuir las horas extras y aprovechar de mejor manera su recurso.
- **M 2.3** Gestión económica.— Este módulo incorpora la gestión económica del servicio de bus interno de forma que se pueda identificar el costo en el que está incurriendo la OSG y su comportamiento en el tiempo. Al contar con todas las variables mencionadas anteriormente, es importante realizar una evaluación económica para estudiar la viabilidad. Es por esto que en este módulo se cuenta con dos indicadores:

**M 2.3.1** Evaluación del costo del servicio en general.— Se estima el costo general del servicio, tomando en cuenta una combinación de las variables de la oferta que la OSG puede brindar.

**M 2.3.2** Evaluación del indicador del costo por pasajero.— Se incorporan los datos de la cobertura de demanda por hora al indicador anterior. De ese modo se obtiene una estimación de costo alineada con las aspiraciones de la OSG.

## **Módulo 3 Gestión ambiental**

En este módulo se busca incorporar la gestión ambiental de forma en que se pueda identificar el impacto en generación de GEI del servicio de bus interno; además se liga con el indicador de éxito del proyecto donde se evalúan los diferentes periodos en estudio. Éste módulo está directamente relacionado con el rediseño de las rutas establecidas.

## **Módulo 4 Medidas de calidad en el servicio**

En este módulo se incluye la dimensión de calidad del servicio por medio de la creación de una batería de indicadores relacionados con la política ofrecida, ligado con las metas y aspiraciones de la OSG, esto con el fin de conocer si de acuerdo las metas y los recursos que se tienen, se pueden cubrir las necesidades, para de lo contrario poder cuantificar los recursos que se ocuparían para alcanzarlas. Los indicadores que evaluar son la puntualidad en los horarios y la cobertura de la demanda. Es importante

recalcar que todas estas variables que se presentan en estos cuatro módulos deben de estar sujetas a las condiciones que establece la política del servicio, en miras de lograr su cumplimiento.

Además, esta propuesta de diseño se alinea con las aspiraciones tanto de la Universidad, como también del país. Con la primera porque a nivel institucional según su plan estratégico 2013-2017 con ampliación al 2020, se aspira a actualizar los mecanismos y las plataformas de la gestión universitaria velando por la sostenibilidad ambiental, el liderazgo tecnológico y la modernidad de la infraestructura física, con el fin de mejorar la eficiencia y rendición de cuentas. Y la segunda, Costa Rica está en un proceso de transición en miras a la innovación en sus procesos y en la inclusión de la tecnología para hacer más eficiente las actividades.

Como parte de este proceso, el país es consciente de que debe apuntar a mejorar la movilidad en el Área Metropolitana. Como solución a este problema el Consejo de Transporte Público (CTP) puso en marcha una serie de proyectos que mediante el uso de la tecnología busca impactar de forma positiva el servicio que reciben los usuarios de autobuses. El director ejecutivo del CTP, Mario Zárate, indica: “Estamos entrando a partir de hoy a la era del transporte inteligente que es uno de los componentes de la modernización del transporte. Uno de los aspectos importantes es que a corto plazo todos los usuarios del transporte público y los que no lo son, podrán saber por dónde se están movilizando las unidades en el Área Metropolitana por medio de una aplicación tecnológica “ (Zárate, 2018).

Teniendo en consideración lo mencionado anteriormente, este proyecto que aquí se expone, permite generar un alto impacto en el mejoramiento del manejo de la oferta de transporte en la UCR y el uso razonable de sus recursos, y al mismo tiempo le brinda una solución a corto plazo incorporando tecnología en sus procesos para la cuantificación de la demanda. Una vez atacada la raíz del problema, la OSG podrá ofrecer un mejor servicio a sus usuarios y alcanzar un mejor cumplimiento de sus objetivos estratégicos.

### *Conclusiones de la etapa de diagnóstico*

- Se logra identificar que la aspiración inicial del proyecto no puede ser cubierta aún, debido a que existe una fase previa que debe ser resuelta primero antes de generar otras formas de movilización, por lo que el proyecto se redirige a fortalecer el aprovechamiento de los recursos actuales de la OSG que se están destinando al servicio de bus interno, para lograr cumplir con la política de nivel de servicio.
- Se comprueba la hipótesis inicial del problema, evidenciando que el bus interno de la sede Rodrigo Facio no cuenta con la capacidad suficiente para satisfacer las necesidades de movilización.
- A partir del estudio de oferta y demanda se identifica que la demanda es multicausal y variable durante los ciclos lectivos. Debido a lo anterior, no se logra cuantificar con precisión dicha demanda debido a que el estudio realizado es tan solo una medición de la demanda que es satisfecha y no así toda la que el sistema **no** logra cubrir. Sin embargo, se puede afirmar que supera a la oferta en el rango horario de las 10:00 a.m a 1:00 p.m, dado que se evidencia que hay personas que no lograron subir al autobús.
- A partir de los datos proporcionados por el estudio realizado por PRODUS, no se logra modelar el comportamiento de la demanda del servicio de bus interno, lo que impide satisfacer la expectativa inicial de identificar y cuantificar la misma.
- El árbol de realidad actual comprueba que la causa fundamental del problema está en la falta de conocimiento de la demanda real de transporte, lo cual impide que se gestione

eficientemente la oferta. Esto deriva en factores que impactan de manera negativa y que contribuyen a no poder satisfacer las necesidades de movilización.

- Conociendo que existe una limitación relacionada con los recursos con los que cuenta la OSG, se toma como estrategia para la solución de este problema dar un enfoque en la gestión de la oferta y la aplicación de herramientas ingenieriles que generen una optimización de los recursos y una correcta administración de ellos, de forma que pueda ampliarse la cobertura de la demanda en los horarios que se requiere.
- Para la etapa de diseño se propone la implementación de una solución innovadora para mejorar el proceso de planificación del servicio, con tecnología que logre capturar información confiable y representativa. De esa manera, se podrá ofrecer un modelo de gestión de la oferta que se ajuste a la demanda del servicio.



### **3. Capítulo III. Diseño**

En el capítulo anterior, se identifica las causas raíz que genera el problema en estudio, el cual se ve reflejado en el desconocimiento de la demanda de pasajeros que utilizan el servicio, provocando una inadecuada gestión de la oferta de transporte. Además, se logra evidenciar que, aunque la demanda es multicausal y variable de acuerdo a las distintas temporadas del ciclo lectivo, ésta supera la oferta, sin embargo, como el servicio de bus interno es gratuito para los clientes (usuarios), financieramente siempre va a ser deficitario, por lo que la OSG debe enfocarse en dar el mejor servicio (de acuerdo con la política de nivel de servicio) al menor costo posible.

La etapa de diseño debe de responder a los hallazgos diagnosticados en el capítulo anterior, mediante 1) el diseño de herramientas que permitan gestionar la oferta de transporte de acuerdo a lo establecido en la política de servicio, y 2) y la creación de un sistema de conteo de pasajeros para el transporte del bus interno UCR.

#### ***Objetivo general***

Diseñar un sistema para la gestión de la oferta de transporte por medio de la incorporación de herramientas que apoyen los procesos de planificación, operación, monitoreo y control del servicio de bus interno y así satisfacer las necesidades identificadas en la fase de diagnóstico.

#### ***Objetivos específicos***

1. Establecer un proceso para la definición y control de la política de nivel de servicio, considerando las dimensiones de calidad y los indicadores críticos seleccionados, para mejorar el desempeño del servicio de transporte de bus interno.
2. Crear un prototipo funcional que determine la cantidad de pasajeros que suben y bajan de los buses internos de la UCR, con el fin de poder capturar esos datos y cuantificar la demanda satisfecha.
3. Definir un método para el análisis de la demanda que incluya la incorporación de una herramienta programada que contemple la cuantificación de la demanda detectada por el prototipo funcional.
4. Implementar un algoritmo heurístico que permita la asignación de roles de trabajo, horario de servicio y recursos.
5. Diseñar una herramienta que permita la visualización de los indicadores críticos para la operación del servicio de bus interno, para facilitar la toma de decisiones dentro de la organización.

## Metodología de la etapa de diseño

A continuación, en la figura 34, se muestran las etapas que comprende el diseño de la solución del problema definido en la fase del diagnóstico, para lograr abarcar de forma integral las falencias descubiertas, y poder eliminar las causas principales. Seguidamente se presenta la metodología establecida para cumplir los objetivos planteados en esta etapa de diseño:



Figura 34. Definición de las etapas de diseño del proyecto

La metodología está estructurada de esta manera (Figura 34): En la parte de arriba aparece representada la etapa que rige sobre las restantes: el establecimiento de la política del nivel de servicio de la OSG, debido a que en ella se define el servicio y las *reglas de juego* de lo que la OSG se compromete a ofrecer a sus usuarios.

A partir del establecimiento de la política se cubren tres grandes pilares que *sostienen* su cumplimiento. El primer gran pilar se representa en la columna izquierda, el cual sienta las principales bases sobre las que se lleva a cabo el diseño del proyecto, que se enfoca en la mejora del proceso de gestión y la inclusión de nuevas actividades debido a la incorporación de herramientas tanto tecnológicas como ingenieriles. El segundo pilar es la columna del centro, que corresponde al diseño de las herramientas de mejora. El aporte de estas herramientas consiste en apoyar la toma de decisiones a partir de indicadores que midan el rendimiento del servicio, para ello en la columna derecha, se tiene un sistema de control y monitoreo mediante un cuadro de mando integral (CMI) que contiene aquellos indicadores que son de valor para la OSG y que determinan el éxito de la solución propuesta. El aporte de las herramientas de mejora en la construcción de la solución del problema se detalla a continuación en la tabla 20.

Tabla 20. Descripción de las herramientas de mejora a utilizar en el diseño del estudio

Herramienta	¿Cuál es su aporte en el estudio?
Análisis de la demanda de pasajeros	<b>CUANTIFICAR</b> la demanda del servicio del bus interno por medio un sistema de conteo de pasajeros, con el fin de obtener datos que puedan ser insumos para el análisis de demanda. Este análisis contempla desde la depuración, limpieza de los datos, visualización del comportamiento de la demanda y generación de información relevante para la toma de decisiones operativas del servicio de transporte
Asignación de horarios, roles de trabajo y recursos	<b>CREAR</b> los roles de operación por medio de la asignación de las rutas, frecuencias y recursos de la OSG (unidades, choferes) en el horario de operación, por medio de un algoritmo heurístico.
Cuestionario de satisfacción del usuario	<b>MEDIR</b> el grado de satisfacción y la experiencia del usuario; esto con el fin de medir el estado en que se encuentran los indicadores y poder identificar oportunidades de mejora en el servicio. El problema se soluciona con la implementación de una serie de preguntas de interés que ligen/midan estos indicadores. Este cuestionario se tiene previsto aplicarlo a final de semestre lectivo.

En síntesis, el diseño que se expone es *integral* debido a que inicia con la formulación de política de nivel de servicio, y a partir de ahí se desglosan los otros niveles, desde la mejora del proceso *prestación del servicio del bus interno* hasta la medición de ciertos indicadores claves para la organización. Es *innovador*, porque mediante la incorporación de tecnología en el proceso actual (Internet de las cosas: IOT) y algoritmos heurísticos, se logra obtener como salida única una nueva asignación de roles por chofer, sujeta a las nuevas rutas, horarios y frecuencia.

Es *confiable y controlado*, porque por medio de la implementación de indicadores de control dentro del CMI se asegura un monitoreo constante de la efectividad de la implementación de la política de nivel de servicio y de las herramientas propuestas.

### 3.1 Establecimiento de la política de nivel de servicio

Como se indica en párrafos precedentes, corresponde primero describir en detalle la cúspide de la figura 34. En el apartado 2.6.4 del diagnóstico se indica que, ante la inexistencia de una política de nivel de servicio, se decide realizar **un acuerdo** entre el equipo de trabajo y la OSG, donde se determinen las condiciones mínimas que estaría dispuesta la OSG a ofrecerle a sus usuarios (Apéndice 6). El contenido de este se detalla de manera resumida en la siguiente figura, donde se representa el compromiso que tiene el proveedor (La OSG) con sus clientes (usuarios), basado en tres pilares.

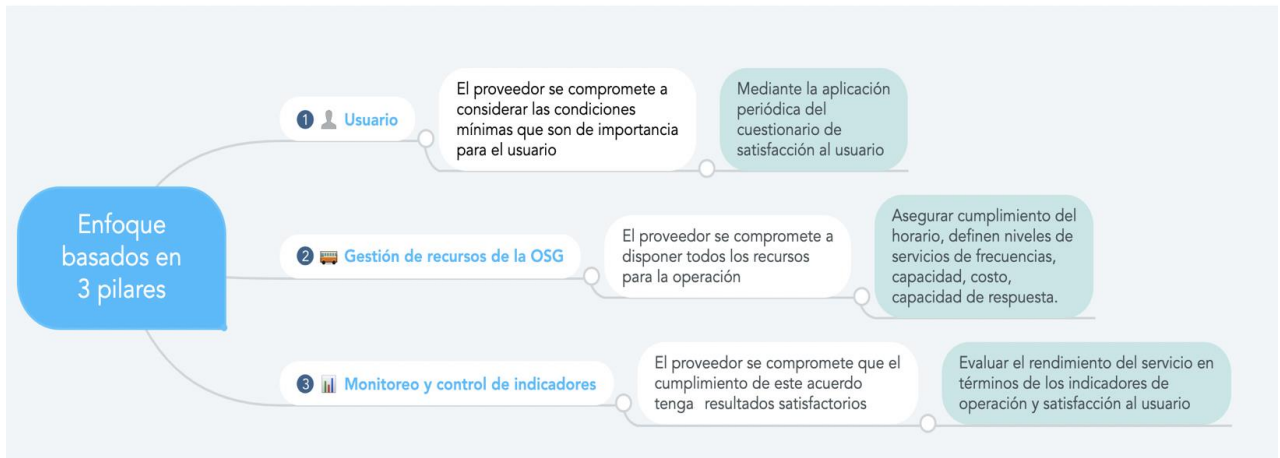


Figura 35. Contenido de la política de nivel de servicio

Además, esta política debe ser pensada en orden a una medición de la calidad del servicio clara y adaptada al enfoque en el usuario, como lo recomienda Quintero (2016). Siendo de esta manera, los indicadores que se ven reflejados en el CMI deben dar cumplimiento a la política del nivel de servicio. Ahora bien, es **CRUCIAL** la pregunta *¿Cómo la OSG sabe si el servicio que está brindando da cumplimiento a la política que ofrece?* Para responderla, la figura 36 muestran las métricas que la OSG debe evaluar para controlar el servicio del bus interno y por ende el cumplimiento de este acuerdo.

Cumplimiento de la política de nivel del servicio ( PS) de la OSG	
Inciso de la PS	Indicador del cuadro del mando integral
Cumplimiento de horario	Porcentaje de cumplimiento de horario
Disponibilidad del servicio	Utilización del servicio
Cobertura con el menor costo posible	Costo por pasajero

Figura 36. Indicadores que responden a la política de servicio de la OSG

Al conocer la OSG los indicadores mínimos de operación del bus interno, se logra monitorear si se está 1) cumpliendo la política y 2) satisfaciendo las expectativas de los usuarios. Esta información es necesaria para una eficiente administración del servicio y para gestionar las mejoras necesarias que vayan surgiendo, por lo cual, tanto la forma de medición de estos indicadores, así como los valores esperados deben ser revisados periódicamente, de modo que se permita asegurar su eficacia (Metropolitano, 2017). Ante esto, la política de servicio debe ser un documento que posibilite modificaciones periódicas, flexibles, dinámicas y controladas. Por esta razón se establece un proceso para la definición y control de la política de servicio. En la figura 36 se detalla paso a paso.

## 1. Proceso de definición y control de la política de nivel de servicio del la OSG

Responsable: Analista de la OSG



#1  
Resultado del cuestionario de satisfacción  
#2  
Política de nivel de servicio actualizada

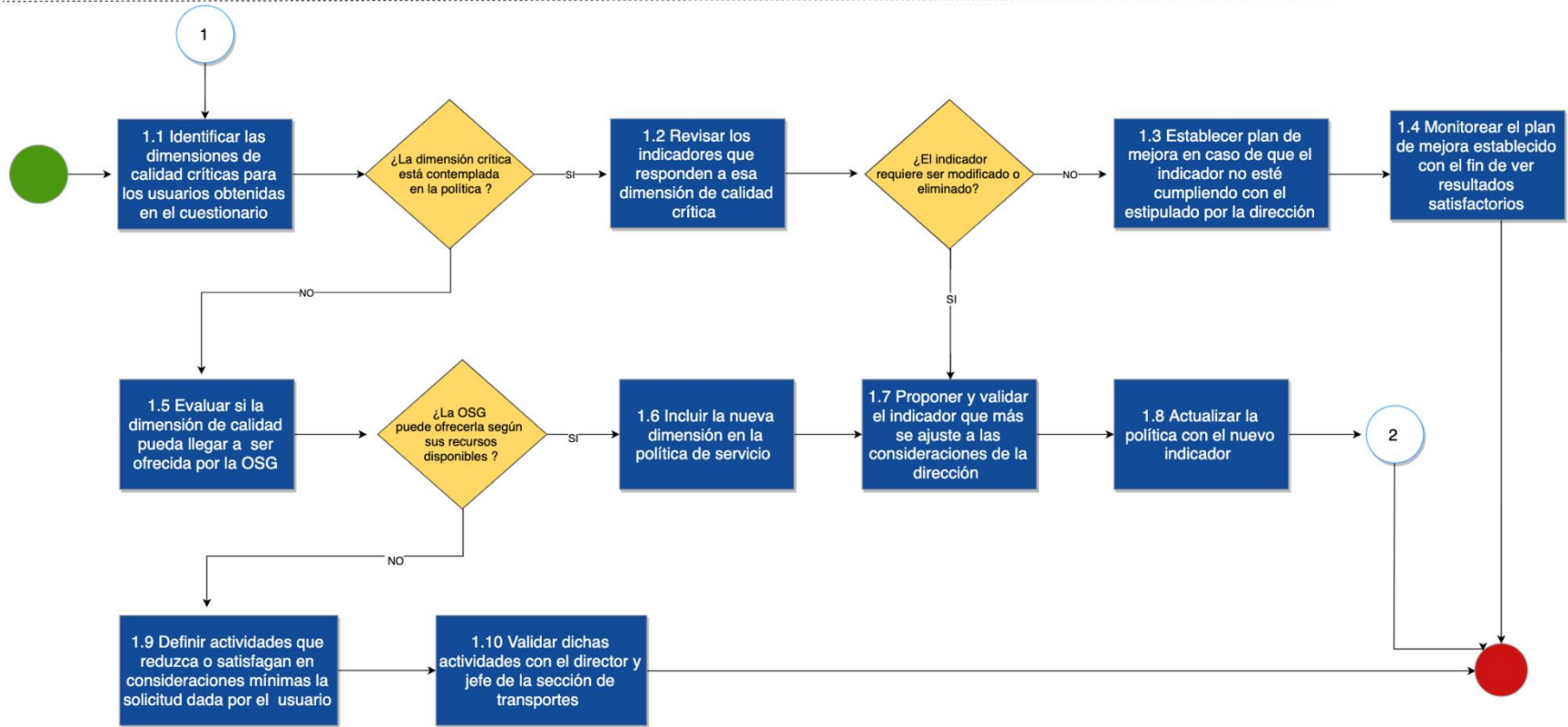


Figura 37. Proceso de definición y control de la política de servicio

El proceso inicia con la entrada principal que constituye el resultado del cuestionario de satisfacción del usuario; no se ahonda en esta parte debido a que se explica más adelante. Lo esencial de este proceso es que este cuestionario constituye la fuente de información que recolecta aquellos factores de calidad (dimensiones de calidad) que para los usuarios son de suma importancia, sin embargo, como bien se indica en la fase de diagnóstico, todo factor de calidad propuesto por el usuario debe ser *filtrado* por la OSG para evaluar si según los recursos y su viabilidad puede llegar a satisfacerse. Además, dentro del proceso se contemplan revisiones continuas de los indicadores para evaluar su eficacia y establecer planes para aumentar su rendimiento.

En síntesis, el **aporte** que genera la formulación de esta política es tener una base que indique cómo se está manejando la oferta con respecto a la demanda conocida y así poder distribuir mejor sus recursos. Se recomienda que esta política se actualice anualmente en línea con el proceso de planificación estratégica de la OSG, con el fin de incorporar otros indicadores, modificar los actuales o bien eliminarlos. Esta actividad es estratégica y representa la columna vertebral de este proyecto, a partir de ahí, se observarán el rendimiento del servicio y oportunidades de mejora que deben realizarse con el objeto de poder satisfacer las condiciones mínimas prometidas.

### ***3.2 Mejora del proceso de planificación, operación y control del servicio del bus interno***

El propósito de esta mejora del proceso de gestión del servicio es poder incorporar nuevas actividades que incluyan las entradas y salidas necesarias para la solución del problema.

Como bien se menciona en la etapa de diagnóstico, el proceso actual del servicio 1) inicia con una planificación para maximizar la frecuencia sin tomar en cuenta la demanda, y a partir de esta, generar los roles de los choferes, 2) luego se ejecuta el servicio propiamente y, 3) por último se monitorea mediante un buzón de quejas, que no ha ido más allá que una captura de datos sin un análisis de estos. Las preguntas son *¿Se tiene definido un proceso **integral** de monitoreo y control que mida el rendimiento del servicio del bus interno? ¿El proceso actual ayuda a **tomar decisiones** a futuro?* Las respuestas son negativas.

A partir de estas inquietudes, se incorporan nuevas actividades en el proceso primario de la organización (Figura 38)

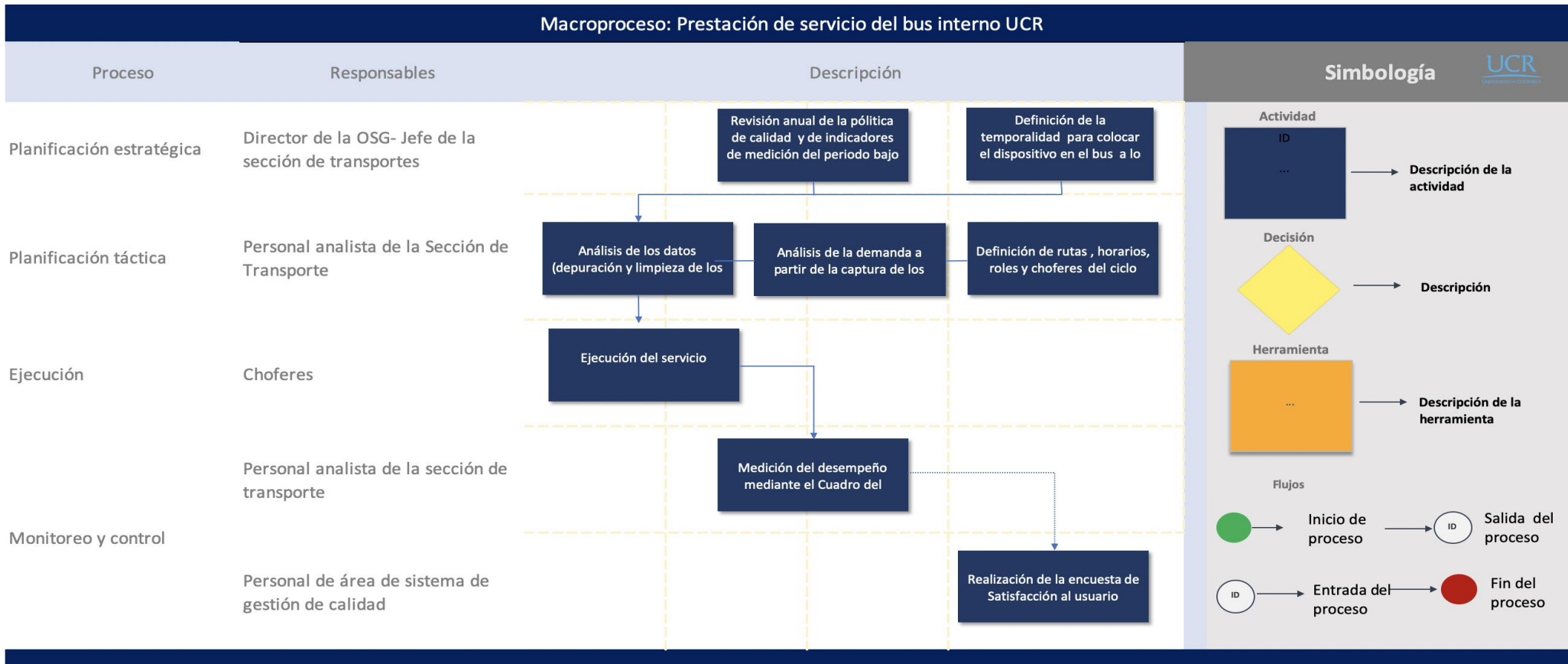


Figura 38. Mejora del proceso de prestación del servicio del bus interno



De acuerdo a la figura 38 se incluyen actividades estratégicas, tácticas, ejecución y de monitoreo, las que se definen en la primera columna. La segunda columna corresponde al responsable de ejecutar cada proceso, y la tercera columna, en los cuadros de color azul, a los procesos que integran el macroproceso de prestación de servicio del bus interno; se mapea cada proceso detallando sus entradas y salidas. A lo largo de este documento se muestran los diagramas de flujo de dichos procesos con el fin de detallar las actividades en cada una de sus fases. En **síntesis**, con esta mejora de los procesos se tienen las bases para las demás etapas del diseño.

### 3.3 Análisis de la demanda del servicio por medio de la incorporación de un sistema automatizado de conteo de pasajeros

Tal como se expuso anteriormente, la OSG no cuenta con un medio para obtener datos de la demanda que facilite la información necesaria para la planificación y estructuración de la oferta de servicio. Por esta razón, se propone la incorporación de un sistema automatizado de conteo de pasajeros que se centre en dos aspectos fundamentales: el primero, en diseñar y construir un contador de pasajeros para la captura de los datos, y el segundo, en la creación de una herramienta programada donde se realice el registro y análisis de los datos capturados por el contador, con el fin de poder monitorear la demanda de pasajeros y utilizar esta información para la planificación del uso de los recursos.

En cuanto a los requerimientos funcionales del sistema se considera que debe ser capaz de proporcionar información del flujo de pasajeros que utilizan el servicio por tipo de ruta, parada y horario. Para lograr el requerimiento funcional se propone la integración entre la información que proporciona el contador y el reporte de geolocalización (GPS) de autobuses con el que actualmente cuenta la OSG, de forma que se aproveche el recurso de información ya existente. Para unir los datos de ambas fuentes de información se propone utilizar la hora registrada de cada una de las fuentes, y de esta forma conocer la hora en que el pasajero sube o baja del autobús y la parada en la que lo realiza, en la figura 39 se detalla esta lógica de funcionamiento.

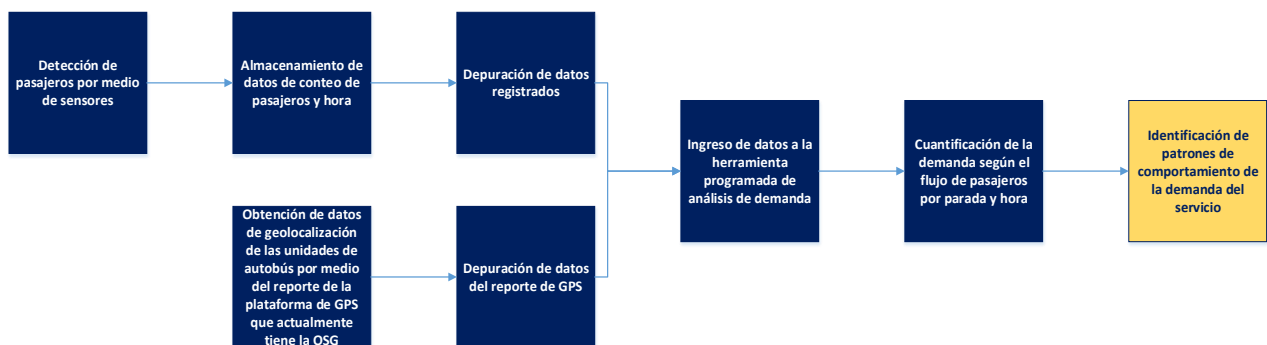


Figura 39. Funcionamiento del sistema automatizado de conteo de pasajeros

#### 3.3.1 Selección de la alternativa de funcionamiento tecnológica

Para el diseño y construcción del dispositivo de conteo de pasajeros, se realiza una revisión documental y de mercado acerca de los diferentes métodos que existen para la detección de personas

y conteo de ellas, de forma que se procura la selección del método que mejor se ajuste a las necesidades del proyecto.

- **Detección por medio de cámara.** — En el mercado existen cámaras que por medio del procesamiento digital de imágenes realizan una medición del flujo de pasajeros. El funcionamiento de esta tecnología consiste en la detección de patrones de movimiento de las personas que pasan frente a la cámara y por medio de vectores e histogramas de movimiento basados en imágenes previas se realiza una clasificación de los movimientos detectados. Este sistema alcanza aproximadamente un 98,5% de exactitud, pero su desventaja es que requiere recursos informáticos potentes para el procesamiento de imágenes (Hemangi & Nikhita, 2016). Esta última desventaja también es mencionada por Valencia (2018), que indica que esta tecnología posee gran costo computacional debido a los algoritmos de reconocimiento de personas, lo cual condiciona a las empresas a obtener un *hardware* de alto rendimiento, con aumento del costo de implementación.
- **Detección por medio de sensor infrarrojo.**— Este método de detección de personas funciona por medio de un sensor infrarrojo que se compone de un emisor y un receptor de luz infrarroja ubicados en la misma posición, de forma que se detecta la distancia a la que una persona atraviesa el haz de luz por medio del cálculo del tiempo de retardo de su reflejo. La sensibilidad del sensor para detectar un objeto que cruza el campo de visión es uno de los elementos de control que debe considerarse al implementar esta alternativa, esto puede realizarse por medio de un ajuste del mismo y de su programación para evitar errores de medición. Por otro lado, entre las ventajas de aplicar este método se encuentra el bajo costo del *hardware* y un menor procesamiento computacional (Valencia, 2018).
- **Detección por medio de sensor de movimiento PIR.**— Los sensores de movimiento PIR funcionan por medio de la reacción ante determinadas fuentes de energía, tales como la radiación infrarroja del cuerpo humano en el ambiente. Este tipo de sensor es pasivo ya que no emite luz infrarroja, sino que la recibe y capta el movimiento por medio de la diferencia entre el calor emitido por el cuerpo y el ambiente. Entre las características destaca que estos sensores cuentan con un amplio campo de visión lo cual permite que detecten fácilmente el movimiento de una persona u objeto. Este tipo de sistema logra una tasa del 100% para la detección del movimiento, sin embargo, tiene un 89% de precisión en cuanto al número de personas detectadas, ya que al tener un campo de visión tan amplio el sentido del movimiento y el entorno pueden afectar la medición. Por esta razón para la implementación de este tipo de tecnología se debe considerar la incorporación de varios nodos de detección, lo cual aumenta el costo y el procesamiento computacional (Hemangi & Nikhita, 2016).
- **Detección por medio de sensor ultrasónico.**— El sensor ultrasónico emite cíclicamente un impulso acústico de alta frecuencia y corta duración. Este impulso se propaga a la velocidad del sonido por el aire. Al encontrar un objeto, es reflejado y vuelve como eco al sensor ultrasónico. Este último calcula internamente la distancia hacia el objeto, basado en el tiempo transcurrido entre la emisión de la señal acústica y la recepción de la señal de eco. Como la distancia hacia el objeto es medida por medio del tiempo de recorrido del sonido, y no por

una medición de la intensidad, los sensores ultrasónicos son insensibles al ruido de fondo (Microsonic, 2018).

- **Detección por medio de sensor fotoeléctrico de haz de luz.** — Este tipo de detector funciona por medio de un emisor de un haz de luz y un receptor de ella, de forma que se detecta al pasajero cuando hay una interferencia o interrupción de la luz. Entre las ventajas de este método de conteo, se destaca que tiene un bajo costo de adquisición de los sensores y bajo procesamiento computacional. Entre las desventajas se destaca la limitada zona de detección del haz de luz, lo cual puede ocasionar errores en la medición en caso de que se desalineen el emisor y el receptor (Valencia, 2018).
- **Detección por medio de sensor de presión.** — Esta alternativa funciona por medio de un algoritmo que mide las diferencias de peso percibidas por un sensor de presión, de esta forma se reconoce un aumento o disminución del peso debido a la subida o bajada de un pasajero. Entre las ventajas se destaca que este tipo de sensor posee un bajo costo computacional y de mantenimiento, sin embargo, entre las desventajas se destaca la imprecisión para medir flujos de alta demanda, además estos sensores no son capaces de detectar el sentido del flujo del movimiento de pasajeros (Valencia, 2018).
- **Detección por medio de sensor térmico.** — Este tipo de detector funciona por medio de la radiación térmica emitida por las personas que se traduce en luz infrarroja debido al fenómeno físico conocido como la radiación de cuerpos negros. De esta forma cuando una persona entra en el campo de visión del sensor este detecta un cambio en el aumento de la luz infrarroja. Por medio de ese aumento se genera el conteo de los pasajeros. Cabe destacar que las principales ventajas de este método de medición consisten en la facilidad de programación y el bajo costo de la herramienta computacional, sin embargo, la mayor desventaja recae en que este tipo de sensor es incapaz de funcionar en situaciones en que la temperatura corporal del pasajero es similar a la del ambiente, además de que no es capaz de diferenciar por separado a un grupo de personas. Por otra parte, también los cambios bruscos de temperatura y luz solar pueden inducir a errores en la medición (Valencia, 2018).

### ***3.3.2 Justificación de la selección de la alternativa tecnológica***

Para la selección de la alternativa tecnológica para el funcionamiento del dispositivo, se realiza una matriz multicriterio y una medición en escala Likert para la evaluación de las variables que se considera necesario tomar en cuenta para la construcción y puesta en marcha del prototipo. Entre las variables de selección se consideran las siguientes:

- **Costo del hardware.** — Corresponde al costo de adquisición de los componentes necesarios para la implementación de la alternativa tecnológica.
- **Riesgo de error de medición debido al entorno de operación del bus.** — Corresponde al riesgo de que las mediciones sean incorrectas debido al entorno donde el dispositivo va a estar operando. Al ser instalado en un autobús el cual no se considera que sea un ambiente controlado se debe contemplar que va a haber movimiento constante, posibilidad de que se golpee y cambios de temperatura.
- **Dificultad de programación y procesamiento computacional.** — Corresponde a la dificultad técnica para la realización del algoritmo de detección que utiliza el dispositivo, además de la capacidad de procesamiento computacional que requiere para la generación de los datos.
- **Dificultad de implementación por alcance del proyecto.** — Corresponde a la dificultad que representa la implementación de la alternativa según la capacidad técnica y tiempo con el que cuenta el equipo de trabajo.

Esta evaluación se encuentra en el apéndice 7: Evaluación de las alternativas tecnológicas, en donde se evalúan los siguientes dispositivos: cámaras, sensor de infrarrojo, sensor PIR, sensor ultrasónico y sensor fotoeléctrico. Al comparar estos resultados se elige el sensor de infrarrojo, ya que según las pruebas de funcionamiento realizadas produce un error en el conteo de pasajeros de 3,33% y en el sentido del movimiento de 6,67%; este dispositivo asegura entonces una mayor precisión en esas mediciones.

### 3.3.2 Diseño y características técnicas de la solución tecnológica

Según la selección de alternativas tecnológicas descrita anteriormente y tomando en consideración todos los requerimientos se procede a diseñar el producto **Data-Mov**, cuyo slogan es “**Datos en movimiento**”. El logo refleja cómo a partir del comportamiento de los datos que se analicen (representado por las gráficas de barras celestes y blanco), se pueden llegar a tomar decisiones relacionadas a temas de movilidad, no sólo para los buses, sino para cualquier medio que permita trasladar a personas, incluso para personas que caminan por aceras (representado por la carretera en el logo), donde juntos se fusionan para generar información de alto valor agregado para cualquier organización.

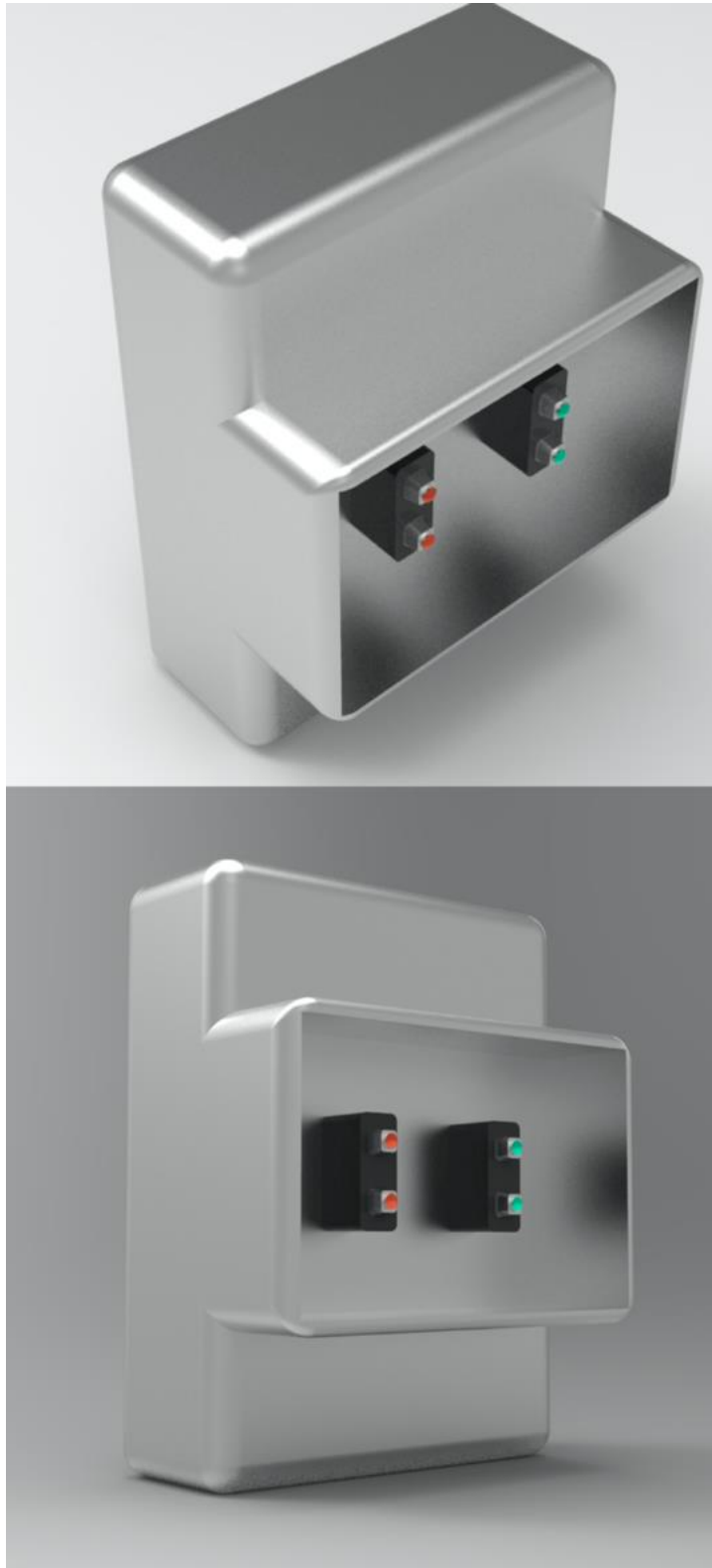


*Figura 40. Logo del diseño de producto Data-Mov*

Este producto forma parte de solución tecnológica que incluye un contador de pasajero y una herramienta programada que permite el modelamiento de la oferta de transporte. En primera instancia se detalla, las características y funcionamiento del contador de pasajeros. El cual consiste en un par de sensores de infrarrojo, los cuales tienen la capacidad de captar el flujo de pasajeros y registrar los datos según la hora real de operación. A continuación, se detallan los componentes, plano de conexiones, algoritmo de funcionamiento, diseño final, mantenimiento y costos de construcción.



*Figura 41. Vista frontal del contador de pasajeros Data-Mov*



*Figura 42. Vista lateral y superior del contador de pasajeros Data-Mov*

## Componentes

Tabla 21. Lista de componentes del sistema automatizado de conteo de pasajeros

Componente	Funcionalidad	Especificaciones	Ilustración
Arduino UNO	Arduino UNO es un micro-	-Voltaje de operación: 5V	
<b>Componente</b>	<b>Funcionalidad</b>	<b>Especificaciones</b>	<b>Ilustración</b>
Soporte de batería de 9V con switch de encendido y apagado	Este componente sirve como soporte para una batería de 9V de forma en que se conecte al Arduino y sea una fuente de alimentación de energía.	-Switch para controlar el flujo de energía  -Adaptador para conectar al Arduino	
Protoboard	Este componente permite realizar las conexiones de los cables de los diferentes componentes y el Arduino.	-Permite la soldadura de los cables de cada uno de los componentes	
Modulo de sensor de ultrasonido SHARP GP2Y0A02YK0F	Este dispositivo detecta la distancia de un objeto detectado con un alcance entre 20 y 150 cm.	-Rango de distancia de medición: 20 a 150 cm -Corriente DC: 33 mA	
Módulo de reloj en tiempo real (RTC) DS3231	Este dispositivo permite tener la hora y fecha en tiempo real de cada una de las mediciones realizadas por los sensores de infrarrojos.	-Voltaje de operación: 3.3-5.5 V -Fuente de energía: Batería de litio tipo moneda de 3 V, 250 mA	
Módulo adaptador para tarjeta micro SD	Este componente permite que se incorpore una tarjeta de memoria micro SD para el almacenamiento de la información de las mediciones de los sensores y el RTC.	-Voltaje de operación: 3.3-5.5 V -Soporta tarjetas Micro SD, Micro SDHC	
Tarjeta micro SD	Esta micro tarjeta permite el almacenamiento de la información de las lecturas del sensor.	-Capacidad de almacenamiento: 16 GB	

Tabla 22. Lista de componentes del sistema automatizado de conteo de pasajeros (Continuación)



### Plano de conexiones de los componentes

A continuación, se detalla el plano de las conexiones entre los distintos elementos que componen el dispositivo de conteo según la lista anteriormente expuesta.

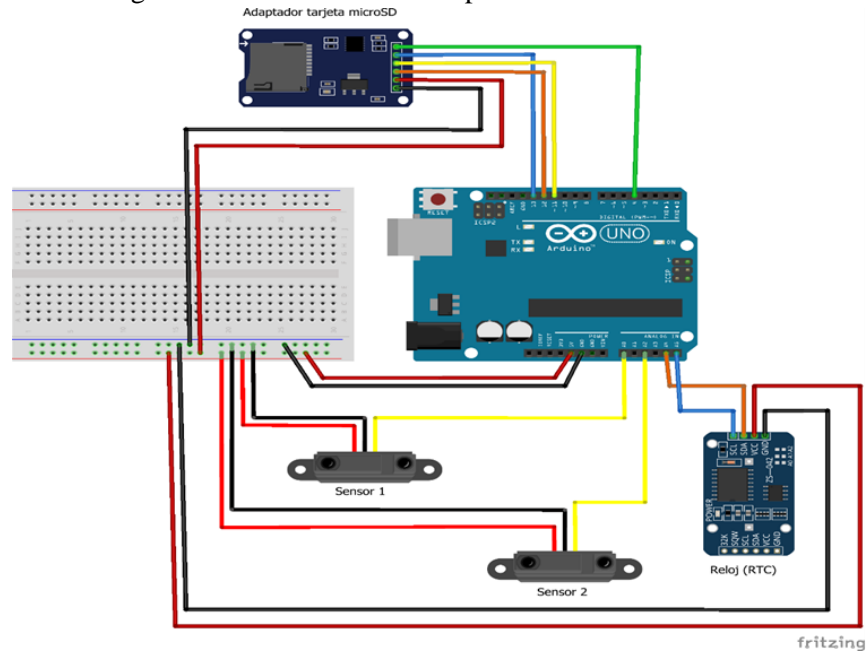


Figura 43. Plano de conexiones del sistema automatizado de conteo de pasajeros

### Desarrollo del algoritmo de detección de pasajeros

Para el funcionamiento del dispositivo de conteo de pasajeros es necesario crear un algoritmo de detección por medio de lenguaje de programación computacional, de forma que reproduzca la función del *software* del dispositivo. Para esta lógica de programación se toma en consideración la utilización de sensores de infrarrojos que por medio de la detección de obstáculos a cierta distancia permiten la contabilización de pasajeros. Por otro lado, también es necesaria la información del sentido del movimiento, es decir si los usuarios suben o bajan del autobús. Para esto se utilizan dos sensores de infrarrojos y por medio del algoritmo se detecta cuál es el primer sensor que percibe al pasajero y con ello determina el sentido del movimiento. Cabe destacar que la programación también cuenta con una restricción que no permite contar más de un pasajero en caso de que este se detenga frente a los sensores. En la figura 44 se presenta un diagrama de flujo de la lógica de programación utilizada en el dispositivo de conteo.

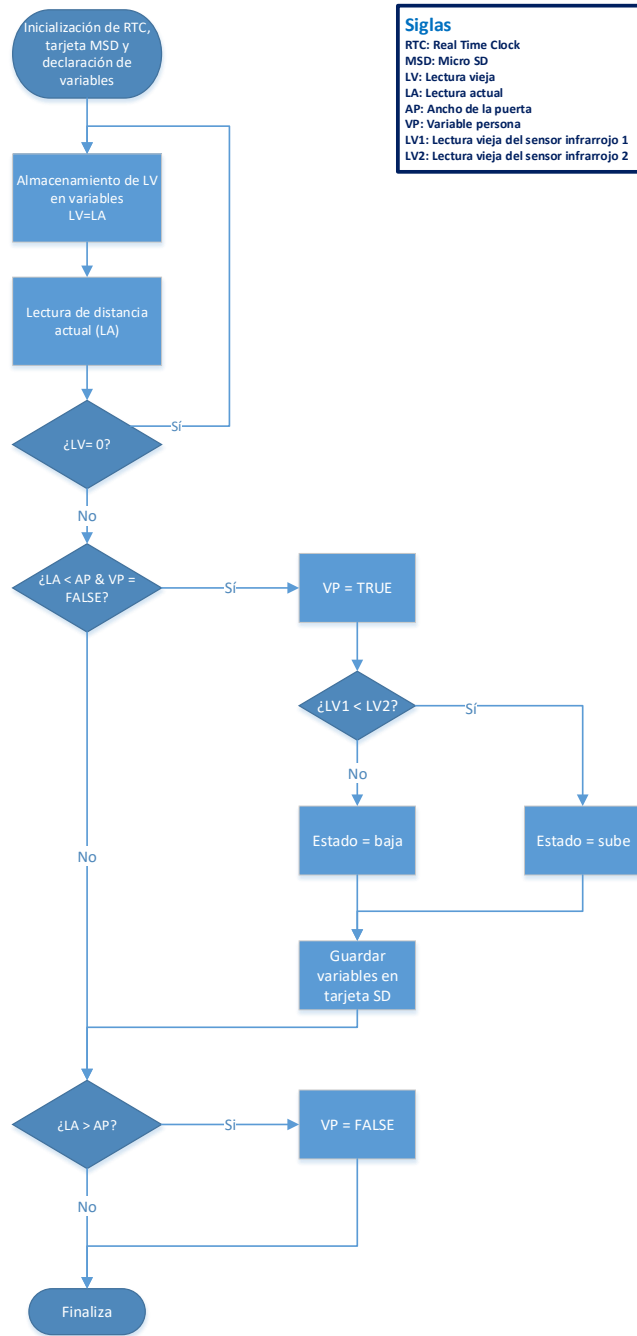


Figura 44. Diagrama de flujo del algoritmo de detección de pasajeros

### Diseño final y dimensiones

Para el diseño final del dispositivo se considera que es necesaria una carcasa que contenga todos los elementos electrónicos y al mismo tiempo los proteja de golpes y humedad exterior. A partir de esto se diseña una caja metálica donde se colocan todos los componentes. En la figura 45 se presenta el plano de esta caja. Cabe destacar que en su diseño se incorporan dos salidas para los sensores de infrarrojos; el diseño final incluye dos gazas que permiten la colocación de la caja en la estructura de tubos con la que ya cuenta el autobús, tal como se presenta en la figura 46.

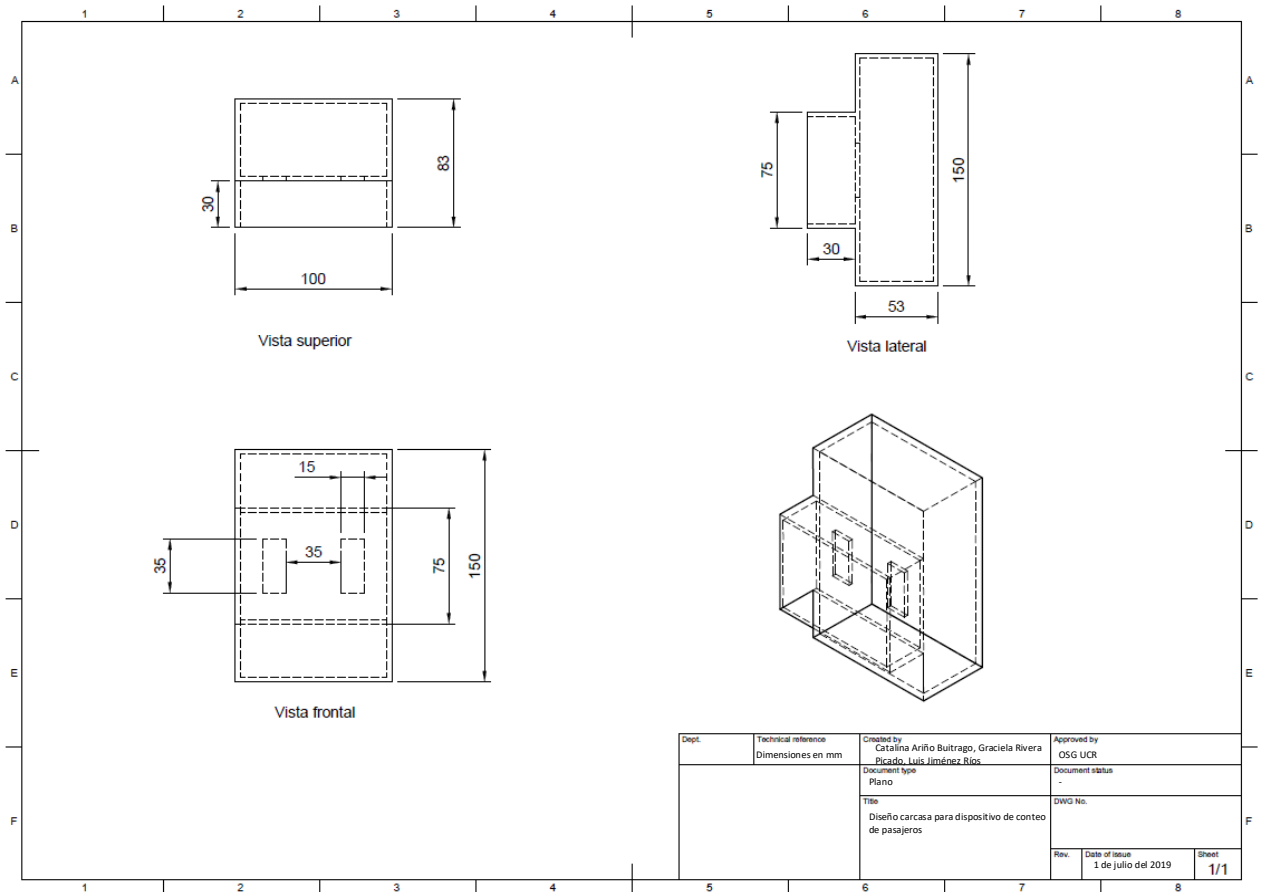


Figura 45. Planos de la carcasa del dispositivo tecnológico



*Figura 46. Diseño final del sistema automatizado para el conteo de pasajeros*

De igual forma, en el apéndice 8: Operación y mantenimiento del dispositivo, se detallan las instrucciones de uso del dispositivo, así como el plan de mantenimiento que se requiere para cada uno de los componentes.

#### *Costos de construcción*

Para la implementación del sistema automatizado de conteo de pasajeros se considera que es necesaria la colocación de dos dispositivos en cada autobús, una unidad en la puerta delantera donde se encuentra el chofer y otra en la puerta trasera. Cabe destacar que al ser un prototipo inicial se construye como producto mínimo viable por medio de los componentes disponibles en el mercado. En la tabla 23 se detalla la estimación del costo de construcción de los dos dispositivos con sus respectivos elementos.

Tabla 23. Costos de construcción del sistema

Componente	Cantidad	Precio	Monto
Arduino UNO	2	\$ 22.95	\$ 45.90
Protoboard para soldar	2	\$ 6.95	\$ 13.90
Batería cuadrada 9V	2	\$ 3.50	\$ 7.00
Adaptador de batería para Arduino	2	\$ 4.95	\$ 9.90
Reloj en tiempo real (RTC)	2	\$ 5.95	\$ 11.90
Batería tipo moneda RTC	2	\$ 1.95	\$ 3.90
Adaptador tarjeta SD para Arduino	2	\$ 5.95	\$ 11.90
Tarjeta SD	2	\$ 8.25	\$ 16.50
Sensor de infrarrojo de distancia	4	\$ 19.95	\$ 79.80
Cable para soldar	1	\$ 1.95	\$ 1.95
Soldadura para conexiones electrónicas	1	\$ 9.95	\$ 9.95
Total			\$ 212.60

Es de gran valor para el proyecto conocer en detalle el costo total de fabricación de los contadores, debido a que son una base para el planteamiento de un análisis de inversión tanto en los dispositivos para todos los autobuses, así como de costo-beneficio a largo plazo.

### 3.4 Descripción del diseño de herramientas de mejora, para la solución del problema

#### 3.4.1 Herramienta de análisis de la demanda de pasajeros

Una vez que se incorpora el sistema de conteo de pasajeros se diseña la primera herramienta de apoyo mencionada en la figura 47, para el análisis de la demanda. Para esto se crea un nuevo proceso donde se establecen las entradas, actividades y salidas con el fin de obtener como resultado un reporte de subidas y bajadas, tanto por parada como por hora en la que el usuario las realiza.



Figura 47. Proceso detallado para el análisis de la demanda de pasajeros

A continuación, se detallan cada una de los pasos realizados por la herramienta.

#### Depuración de datos de dispositivo

El contador de pasajeros guarda los valores en un archivo de texto (txt), el cual debe ser extraído en la computadora para que pueda ser leído por el *software* en el cual se analiza la información (Microsoft Excel). Para esto se inserta la memoria micro SD en la computadora y se realiza la extracción de los datos.

#### Ingreso de datos al sistema

Una vez que se tienen los datos depurados en una hoja de cálculo, se procede a ingresarlos a la herramienta de demanda, en esta se encuentra un módulo en el que se debe digitar la placa del bus en el cual es colocado el dispositivo de conteo y la puerta en la cual está instalado. Se insertan los datos en el espacio seleccionado y se oprime el botón de ingresar datos como se muestra en la siguiente figura.

Bus	Puerta
299-922	Trasera

FECHA	HORA	ESTADO
2019/4/16	20:32:49	Sube
2019/4/16	20:32:57	Sube
2019/4/16	20:33:3	Baja
2019/4/16	20:33:6	Baja
2019/4/16	20:33:8	Baja
2019/4/16	20:33:11	Baja

INGRESAR DATOS
----------------

Figura 48. Ingreso de datos del dispositivo de medición de pasajeros al sistema

Se desea conocer cuántas personas suben o bajan por parada; para esto se utiliza el reporte de GPS con el que cuenta la OSG, el cual indica la hora de entrada y de salida en cada parada. Como en los datos del dispositivo de medición de pasajeros se cuenta con la hora de registro, se reúnen estos dos reportes, buscando en el reporte de GPS la hora en la que se realiza la medición.

Zona	Movil	Placa	Fecha Entrada	Fecha Salida
Parada Facultad de Ingeniería	ST-Autobús Universitario	299-921	21-02-19 6:38	2019-02-21 06:38:49
Campus UCR	ST-Autobús Universitario	299-921	2019-02-21 06:40:53	2019-02-21 06:51:01

Figura 49. Reporte de GPS

#### Datos conglomerados de pasajeros por parada y chofer

Una vez que se realiza la búsqueda de la parada, se une en la misma tabla, tal y como se muestra en la figura 50. Además, es necesario conocer más detalles de esa ruta específica; para esto se realiza una búsqueda en una tabla ingresada previamente de choferes por turno y unidad, de este modo es posible conocer cuál chofer estaba realizando la ruta, lo cual es importante para los análisis posteriores. Se obtiene como resultado la tabla que se muestra en la siguiente figura.

Bus	Puerta	Fecha	Hora	Estad	Fecha con Formato	Parada	Chofer
299-922	Trasera	16-04-19	8:32:49	Sube	16-04-19 20:32	Parada Facultad Educación	Chofer 1
299-922	Trasera	16-04-19	20:32:57	Sube	16-04-19 20:32	Parada Facultad Educación	Chofer 1
299-922	Trasera	16-04-19	20:33:03	Baja	16-04-19 20:33	Parada Facultad Educación	Chofer 1
299-922	Trasera	16-04-19	20:33:06	Baja	16-04-19 20:33	Parada Facultad Educación	Chofer 1

Figura 50. Unión de parada a reporte de sube y baja

#### Cálculo de llegadas tardías

Debido a que la puntualidad del servicio es uno de los aspectos importantes en la política de nivel de servicio, y además afecta la satisfacción del usuario, es relevante para la OSG tener el registro de ella. La herramienta permite la medición de las salidas tardías de cada punto inicial de la ruta y a su vez determina la diferencia en minutos entre la hora en que tuvo que salir el autobús y la hora en la cual realmente salió, para evaluar según el grado de tolerancia que la OSG determina si es una tardía o no. La herramienta analiza el tipo de parada en la que se encuentra; si en la parada el bus inicia su recorrido y la contabilización de personas indica que están subiendo, se considera que esa parada es tipo “Salida”. Para determinar la hora de salida, se toma la hora en que la última persona aborda el autobús. Se debe contar con el horario actual del servicio por cada ruta para poder comparar la hora

de salida real con la hora teórica; en el ejemplo de la figura 51 se presentan las salidas tardías y las puntuales.

Hora	Tipo de Parada	Descripción	Salida para puntualic	Según horario	Sentido	Diferencia	¿Tardía?
20:32:57	Salida	Salida Educación	Si	8:15:00 PM	F1-F3	-17.00	Tardía
20:34:18	Salida	Salida Educación	Si	8:15:00 PM	F1-F3	-19.00	Tardía
6:30:00	Salida	Salida Educación	Si	6:25:00 AM	F1-F3	-5.00	Puntual
6:30:00	Salida	Salida Ciencias Sociales	Si	6:25:00 AM	F2-F1	-5.00	Puntual

Figura 51. Cálculo de llegadas tardías

### Cálculo de ocupación de autobús

Para determinar la cantidad de personas en el autobús, se utiliza la medición de subidas y bajadas. Debido a que el contador debe estar encendido cuando inicia la jornada con ninguna persona dentro, se debe **sumar** una persona cada vez que el dispositivo marque una **subida** y **restar** una cuando marque que alguien **baja**. De esta manera se cuenta con un indicador del número de personas en el bus, el cual es el resultado de esta sumatoria. A manera de ejemplo, si se suben cinco y se bajan tres personas entonces la sumatoria que resulta es de dos personas dentro del bus.

Además, se evalúa el nivel de capacidad ocupada en cada parada; para esto se divide la cantidad de personas en el autobús entre la capacidad del autobús, esta medición se realiza con el último registro de datos de cada parada. Con el fin de definir una escala de utilización, tanto el equipo de trabajo como la OSG acuerdan que si el autobús se encuentra con menos de 50% de su capacidad se considera como subutilizado, con un 50% a un 100% utilizado, y para más del 100% sobre utilizado (Figura 52).

Puerta	Fecha	Hora	Parada	Parada para Utilización	Personas en el bus	Indicador de capacidad	Utilización
Delantera	16-04-19	9:30:00	Parada Facultad Educación	Si	22	34%	Subutilizado
Trasera	16-04-19	14:05:00	Parada Facultad Educación	Si	24	34%	Subutilizado
Trasera	16-04-19	16:00:00	Parada Facultad Ciencias Sociales	Si	46	77%	Utilizado
Trasera	16-04-19	9:30:00	Parada Facultad Educación	Si	27	34%	Subutilizado
Delantera	16-04-19	16:00:00	Parada Facultad Ciencias Sociales	Si	22	34%	Subutilizado

Figura 52. Cálculo de ocupación por parada

### Salida de datos para el análisis

Tras unificar la información del servicio de transporte, la herramienta permite la generación de gráficos y reportes dinámicos que apoyen la toma de decisiones en la organización. La tabla de datos generada presenta la hora de cada registro, la parada, el chofer, el sentido, el autobús y el número de personas dentro de la unidad.

Además, permite conocer la cantidad de personas que utilizan el servicio a diferentes horas y en los diferentes sentidos de la ruta, incluso, el detalle de cada parada. En la figura 53 es posible ver cuáles son las paradas más utilizadas y de esta manera conocer el flujo de personas por hora.



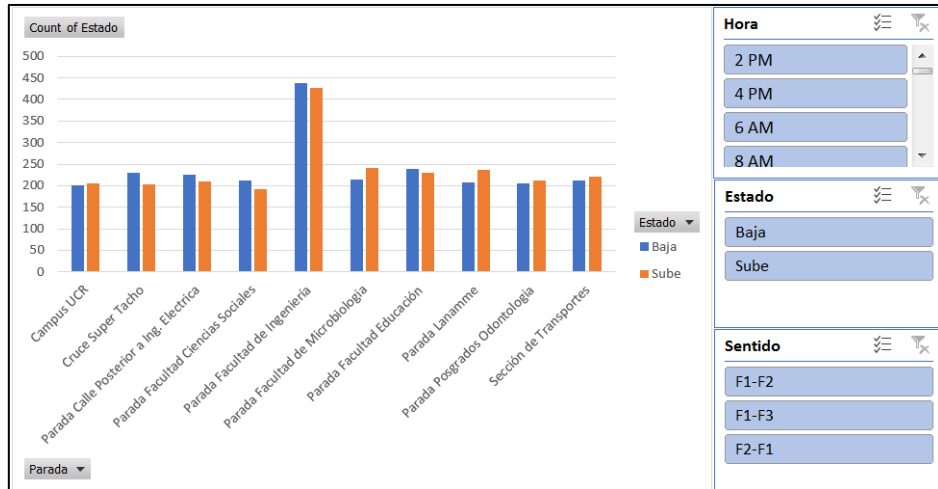


Figura 53. Cantidad de personas que utilizan el servicio por hora, parada y sentido

Por otra parte, la OSG desea conocer la puntualidad de cada salida, para esto se realiza el análisis de un porcentaje de puntualidad por hora, el cual puede ser filtrado por sentido y por bus, con el fin de conocer cuál sentido o bus tienen el mayor porcentaje de tardías. Esto se muestra en la figura 54.

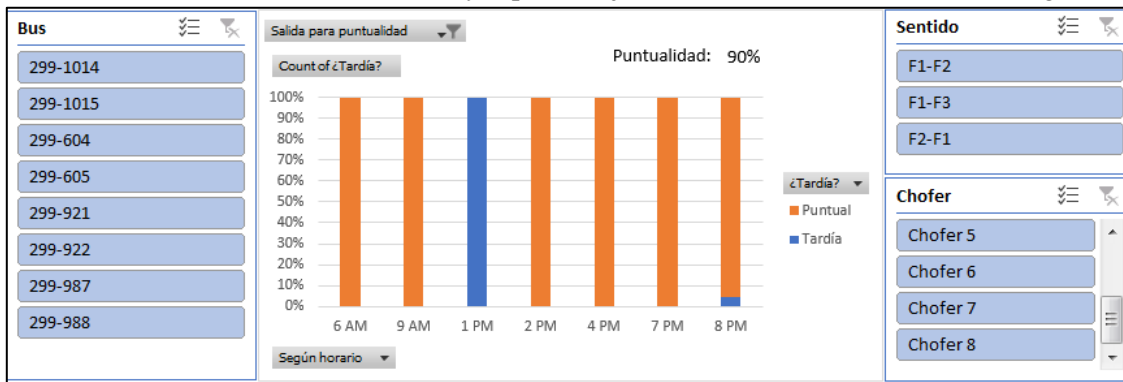


Figura 54. Puntualidad de salidas por autobús, hora, sentido y chofer

Con el objeto de conocer si la puntualidad depende de las habilidades de conducción o de hábitos de los choferes, se obtiene un reporte en el cual se muestra el nivel de puntualidad de cada uno de los choferes en diferentes horarios (Figura 55).

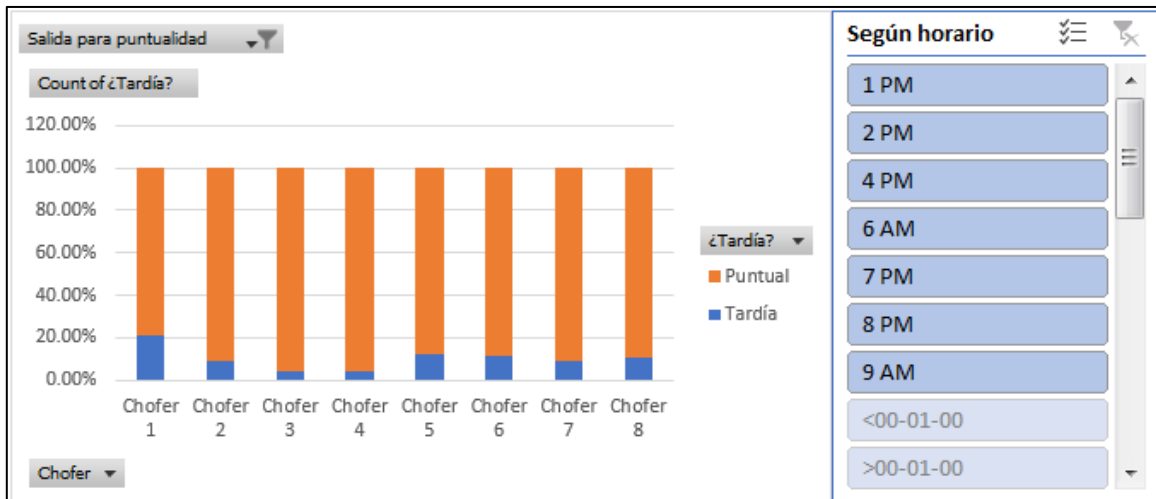


Figura 55. Puntualidad por chofer por hora

Como parte de las salidas de la herramienta de análisis de demanda se cuenta con el estudio de la utilización del transporte, el cual es sumamente importante debido a que permite **conocer cuáles son las paradas más utilizadas** y en cuáles se **alcanza la sobreutilización** de los autobuses en cada uno de los horarios de prestación del servicio y en los diferentes sentidos de la ruta (Figura 56).

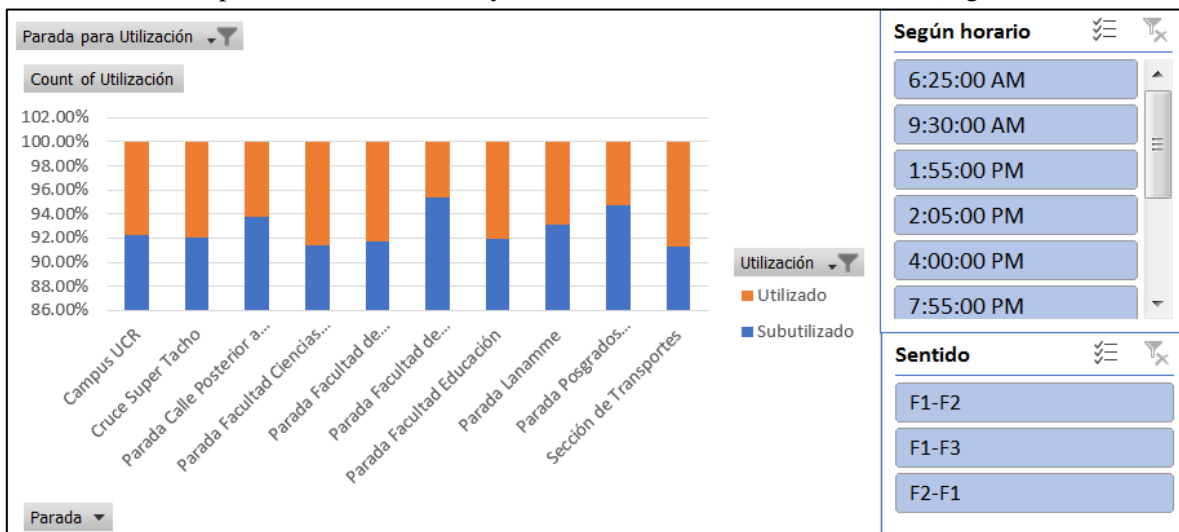


Figura 56. Utilización del servicio por parada, hora y sentido

Uno de los objetivos de la herramienta es generar una base de datos confiable y reproducible en el tiempo, con el mayor detalle posible. A partir de las entradas y combinaciones que realiza, es posible obtener la cantidad de pasajeros que suben y bajan en cada una de las paradas, por horas. Esta información es vital para el siguiente punto del diseño, que consiste en la asignación de recursos. En la figura 57 se muestra la información requerida para poder tomar decisiones sobre rutas y frecuencias, desde el punto de vista de la cobertura de la demanda. Se recomienda que este estudio sea realizado al inicio de cada periodo lectivo (semestres, ciclo de verano, ciclo intermedio), e incluso a mitad de dichos periodos, ya que se conoce que hay estacionalidades de la demanda a lo largo del año.

Parada	Sube	6:00:00 AM	7:00:00 AM	8:00:00 AM	9:00:00 AM	10:00:00 AM
1	Facultad de Educación	63	41	73	73	102
2	Antigua Facultad de Ingeniería	42	50	77	35	83
3	Posgrado de Odontología	23	23	16	6	25
4	Facultad de Microbiología	16	4	10	11	33
5	Lanamme	29	15	19	10	6
6	Facultad de Ingeniería	12	14	5	6	14
7	Celeq	0	0	0	0	1
8	Ciprona	1	0	0	0	0
9	Escuela de Nutrición	0	1	1	0	0
10	Edificio Integral de Parques	0	0	0	0	0
11	Facultad de Ciencias Sociales	35	35	21	30	42
12	Gimnasio instalaciones deportivas	7	10	10	25	55
13	Estadio Ecológico	0	0	0	0	0
14	Facultad de Odontología	0	6	8	5	8

Figura 57. Salida de datos para herramienta de asignación de horarios, roles de trabajo y recursos

### 3.4.2 Herramienta de asignación de horarios, roles de trabajo y recursos

La segunda herramienta de la etapa de diseño corresponde a un algoritmo heurístico para la asignación de horarios, creación de los roles de trabajo y la asignación de los recursos. La herramienta propuesta permite a la OSG la planificación del servicio de bus interno de acuerdo a la información de la demanda.

En el diagnóstico se realizaron hallazgos relacionados con el nivel de ocupación de los autobuses a lo largo del día, algunos horarios saturados y otros con ocupación ociosa, que tienen relación con el hecho que las frecuencias de salida de los autobuses no están siendo planificadas a partir de la demanda del servicio debido a la falta de información. De tal forma, esta herramienta pretende solucionar dicho problema por medio de la planificación de las rutas, las frecuencias y los horarios de servicio según la demanda, tomando en consideración restricciones políticas y de capacidad disponible.

Por otro lado, se pretende que por medio de esta herramienta se realice una asignación de los recursos con el objeto de disminuir los costos, esto en concordancia con los planes estratégicos de la OSG y la UCR, donde se busca disminuir el costo operativo de las diferentes unidades administrativas. De esta forma, por medio del algoritmo, se busca ofrecer a la OSG una herramienta que apoye el proceso de planificación del servicio, de modo que se obtenga un plan operativo (rol de trabajo) en el que haya un equilibrio entre el nivel de servicio y una mejora en el uso de los recursos.

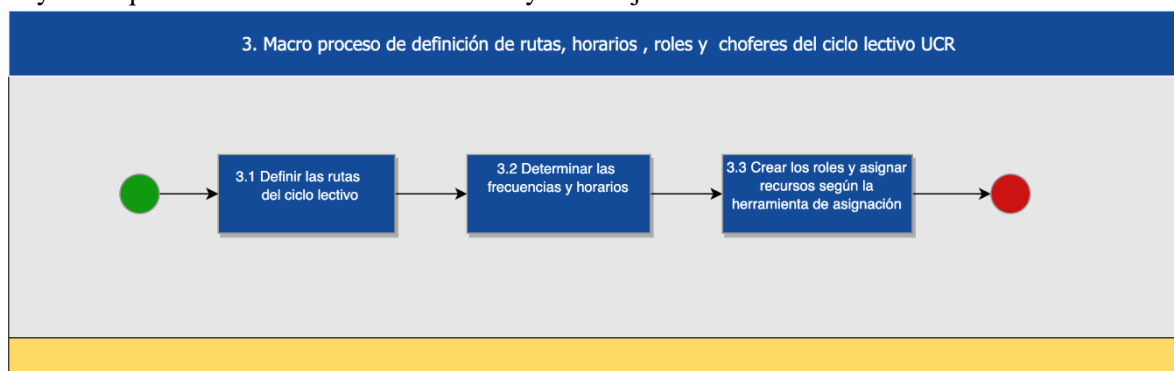


Figura 58. Macroproceso de definición de rutas, roles y choferes

A partir del diagrama anterior se propone que el algoritmo funcione según tres etapas: la primera consiste en la asignación de las rutas; la segunda corresponde al establecimiento de las frecuencias y los horarios de servicio del bus de acuerdo a la demanda, y la última etapa consiste en la asignación de los recursos (unidades de autobús y choferes). A continuación, se detalla la lógica de funcionamiento en cada etapa mencionada.

### 3.4.2.1 Etapa 1. Diseño de rutas

Esta etapa del algoritmo consiste en la asignación de las rutas por las que debe de viajar el bus interno. Para ello se considera fundamental incorporar la información de demanda por parada por hora, de forma en que se planifique la ruta según un recorrido en el cual se maximice la cobertura de la demanda en el menor tiempo posible y con la menor generación de gases de efecto invernadero. En el siguiente diagrama se detallan las entradas, procesos y salidas de esta etapa.

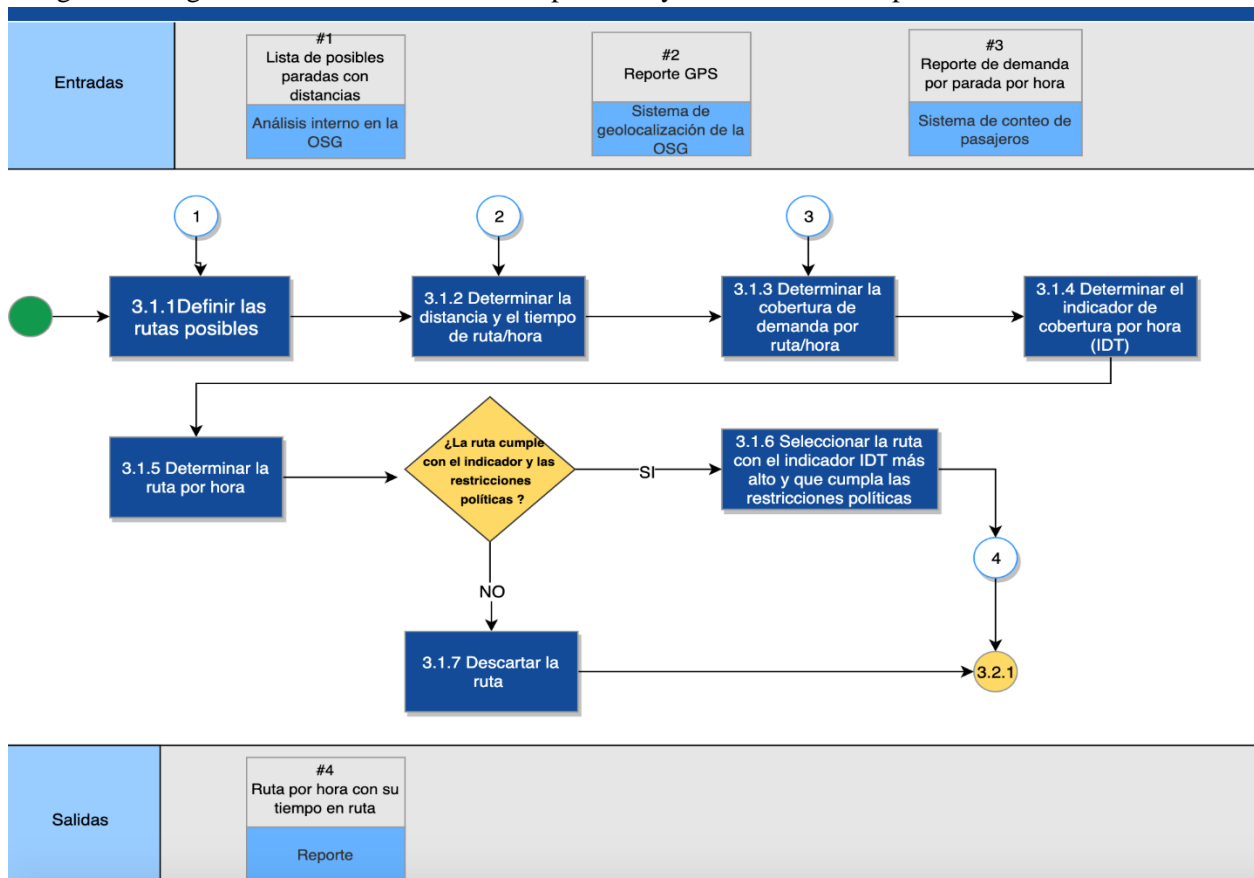


Figura 59. Proceso detallado para la definición de rutas

#### Paso 1. Definir las rutas posibles

Para el diseño de las rutas de un servicio de autobús hay que considerar las paradas que deben atenderse, de forma en que se puedan trazar los diferentes trayectos que pueden pasar por cada una de las paradas. Al aplicar este concepto en el contexto de la UCR se observa que hay algunas restricciones para el establecimiento de rutas, debido a que las fincas universitarias cuentan con una limitada cantidad de paradas, accesos y calles. Por esta razón para la identificación de las rutas posibles en primer lugar se realiza un agrupamiento de las paradas (*clustering*) según el recorrido que debe de realizar el bus para atenderlas y a partir de esto se establecen las posibles rutas que recorrer (Figura 60), sin embargo, previendo que en un futuro la OSG quisiera incorporar una nueva parada, o bien eliminar alguna de las existentes, se agrega una opción en la herramienta que permite habilitar, deshabilitar o incluir paradas.

ID Parada	1	2	3	4	NUEVA PARADA	NUEVA PARADA	Distancia Total
Rutas F1-F2	Facultad de Educación	Antigua Facultad de Ingeniería	Posgrado de Odontología	Facultad de Microbiología			
1	1.00	1.00	1.00	1.00			5.10
2	1.00	1.00	1.00	1.00			4.31
3	1.00	1.00	1.00	1.00			4.39
NUEVA RUTA							
NUEVA RUTA							

Figura 60. Rutas y paradas predeterminadas con distancia total

### Paso 2. Determinar la distancia y el tiempo de ruta por hora

El tiempo de la ruta es uno de los elementos que se consideran relevantes para el aprovechamiento de los recursos, ya que al manejar rutas más rápidas se puede aumentar la frecuencia del servicio. Por esta razón, es necesario conocer el tiempo de las rutas identificadas según el punto anterior, de forma que este dato sea también utilizado para la selección de la mejor ruta por hora. Para el tiempo de ruta se considera la utilización de la siguiente ecuación:

$$T_{ruta} = T_m + T_p + T_c$$

Donde,

$T_m$  = Tiempo del bus en movimiento

$T_p$  = Tiempo del bus en la parada

$T_c$  = Tiempo de contingencia

A partir de la ecuación anterior se determina que el tiempo de la ruta debe comprender tres momentos: el primero corresponde al tiempo en movimiento del autobús en los distintos tramos de la ruta, ya sea dentro o fuera de las fincas universitarias; el segundo corresponde al tiempo en la parada, ya que el autobús debe detenerse en cada una de las paradas para subir y bajar pasajeros; el tercero, corresponde a un tiempo de contingencia para cada ruta, esto debido a que se conoce que dependiendo de la hora pueden generarse atrasos debido a las congestiones vehiculares, tanto en los accesos a las fincas universitarias como en la calle pública. Cabe destacar que este tiempo de la ruta se calcula por hora debido a las variaciones de la demanda, las velocidades y los tiempos de contingencia que se presentan a lo largo del día. En la siguiente ecuación se detalla el cálculo total.

$$T_{ruta} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_i} + \sum_{i=1}^m (D_i \times t_{prom}) + T_c$$

Donde,

$n$  = Tramos de la ruta (internos y externos)

$d_i$  = Distancia del tramo

$v_i$  = Velocidad promedio en el tramo

$m$  = Paradas de la ruta

$D_i$  = Demanda de pasajeros en la parada

$t_{prom}$  = Tiempo promedio que demora un pasajero en subir o bajar del autobús

$T_c$  = Tiempo de contingencia

### *Paso 3. Determinar la cobertura de demanda por ruta por hora*

Para determinar el dato de cobertura de la demanda por ruta, se utiliza como entrada el reporte de demanda por parada por hora generado por la herramienta de análisis de la demanda, ya que este reporte indica cuál es la demanda en cada una de las paradas en todos los horarios. A partir de esta información se identifica para cada ruta con sus respectivas paradas cuál es la demanda que puede cubrirse. A continuación, se detalla la ecuación para el cálculo de la demanda por ruta, cabe destacar que de igual forma este dato es calculado por hora debido a la variación de la demanda a lo largo del día.

$$D_{ruta} = \sum_{i=1}^m D_i$$

Donde,

$m =$  Paradas de la ruta

$D_i =$  Demanda de pasajeros en la parada

### *Paso 4. Determinar indicador de cobertura por hora (IDT)*

Para la selección de la mejor ruta se busca una que cubra la mayor cantidad de la demanda en el menor tiempo posible y que además se relacione con la producción de menos emisiones de gases de efecto invernadero, por lo cual se propone la incorporación de dos indicadores. El primero corresponde a un indicador de cobertura por tiempo de ruta, de forma que haya un parámetro cuantitativo de comparación entre rutas que facilite la selección. A partir de los pasos dos y tres, se propone el indicador IDT (indicador de demanda cubierta por tiempo de ruta), en el que el resultado más alto corresponderá a la mejor ruta en cada hora.

$$IDT = \frac{D_{ruta}}{T_{ruta}}$$

El segundo indicador que complementa la selección de la ruta corresponde a una medición de la eficiencia ambiental. Como eficiencia se toma en consideración una razón entre la huella de carbono generada por la ruta y la demanda cubierta en el tiempo, de forma que la herramienta facilite la selección de las rutas que tengan una mayor cobertura y favorezcan una menor generación de kg CO<sub>2</sub> equivalente. A continuación, se presenta la ecuación que facilita el cálculo de este indicador.

$$\text{Razón de huella de carbono y demanda cubierta} = \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}_{ruta}}{IDT_{ruta}}$$

### *Paso 5. Determinar la ruta por hora*

Para la determinación de la mejor ruta por hora, la herramienta realiza una selección según el indicador “**Razón de huella de carbono y demanda cubierta**”, donde la ruta que se selecciona es la que tenga un valor más bajo. De esta forma la herramienta proporciona para cada hora un resultado de **cuál es la mejor ruta** que utilizar, es decir, donde se presente la mejor razón entre la generación

de huella de carbono por el consumo de combustibles fósiles y la cobertura de la demanda en el menor tiempo posible. Cabe destacar que el analista también debe considerar si esta selección que hace la herramienta está conforme con las restricciones políticas establecidas en la política de nivel de servicio.

#### ***3.4.2.2 Etapa 2. Determinación de frecuencias y horarios***

Esta etapa del algoritmo consiste en la determinación del horario de servicio que se va a ofrecer al usuario. Para ello es necesario identificar la frecuencia requerida y las restricciones de capacidad las que se cuenta, de forma que se realice una programación de los horarios de acuerdo a ambos factores. En el siguiente diagrama se detallan las entradas, procesos y salidas de esta etapa.



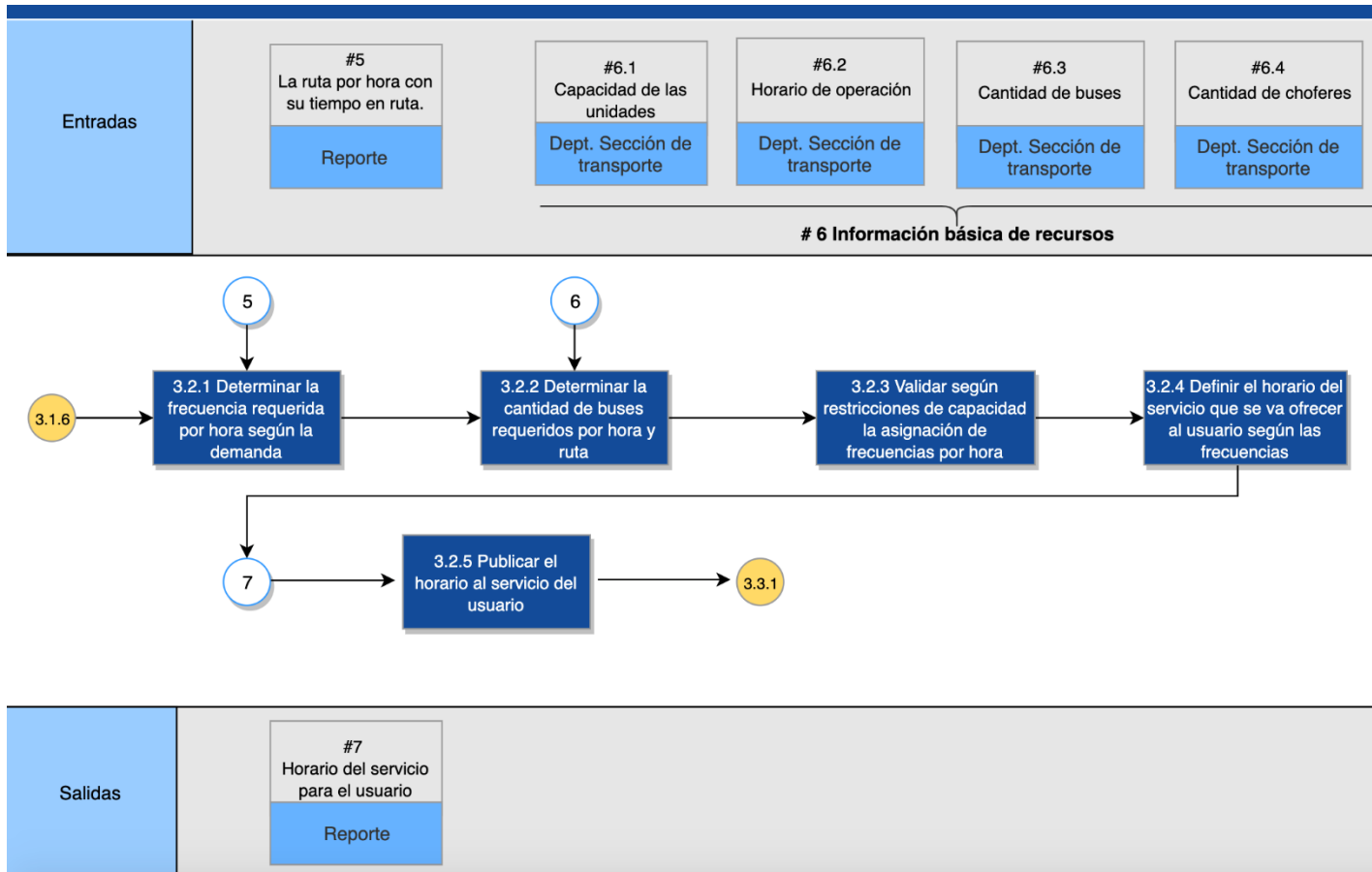


Figura 61. Proceso detallado para la determinación de frecuencias y horarios de los buses

### *Paso 1. Determinar la frecuencia requerida*

La OSG utiliza actualmente como método de planificación la maximización de las frecuencias (recorridos) según los recursos con los que cuenta. Sin embargo, en este diseño se propone que la asignación de frecuencias del servicio responda a la información de demanda y al acuerdo de nivel de servicio. Para el cálculo de la frecuencia requerida  $f_r$  se utiliza como entrada el reporte de demanda por parada por hora generado por la herramienta “Análisis de la demanda” y la capacidad promedio por unidad de autobús según la siguiente ecuación.

$$f_r = \frac{D_{ruta}}{c_{prom}}$$

Donde,

$D_{ruta}$  = Demanda de la ruta

$c_{prom}$  = Capacidad promedio de pasajeros del autobús

### *Paso 2. Determinar la cantidad de buses requeridos por hora y ruta*

Para determinar la cantidad de autobuses para suplir la frecuencia requerida es necesario calcular cuántos recorridos podría hacer cada uno de los autobuses por hora; para ello se utiliza la información del tiempo de ruta por medio de la siguiente ecuación.

$$f_{bus} = \frac{60}{T_{ruta}}$$

Donde,

$f_{bus}$  = Cantidad de recorridos posibles por autobús

$T_{ruta}$  = Tiempo de la ruta (minutos)

A partir del dato de frecuencia posible por hora  $f_{bus}$  y en conjunto con el dato de frecuencia requerida por hora  $f_r$  se procede a determinar la cantidad de buses necesarios para poder satisfacer la demanda según la siguiente ecuación.

$$N_{bus} = \frac{f_r}{f_{bus}}$$

Donde,

$N_{bus}$  = Cantidad de buses requeridos para satisfacer la demanda

### *Paso 3. Validar la asignación de frecuencias por hora*

En los puntos anteriores, se cuantifican las frecuencias y los buses requeridos según la demanda del servicio; sin embargo, la OSG cuenta con recursos limitados, por lo cual es necesario validar si puede atenderse la demanda requerida con la oferta disponible o bien, si es necesario realizar algún ajuste. Para la validación se toma en consideración la capacidad con la que cuenta actualmente la OSG, que corresponde a siete autobuses en funcionamiento y nueve choferes. A partir de esta información se determina como límite la asignación de siete autobuses de forma que la herramienta no realice una asignación mayor.

Posteriormente debe realizarse una revisión de la asignación de frecuencias (por hora) y de los recursos disponibles, para incorporar los tiempos de descanso de los choferes (café y almuerzo). Además, se comprueba que haya cumplimiento con las restricciones establecidas en la política de nivel de servicio, de forma que se pueda establecer el resultado final de frecuencia por hora.

#### Paso 4. Definir el horario de servicio que se va a ofrecer al usuario

A partir del resultado del paso anterior, la herramienta calcula el horario según los recorridos asignados por hora y los tiempos de descanso de los choferes. El resultado final corresponde al horario de servicio que se va a ofrecer al usuario.

Sentido		F1-F2						Programación de salidas			
Hora	Ruta	Demanda de la ruta	Distancia de ruta (Km)	Frecuencias requeridas	Tiempo de ciclo (min)	Buses Requeridos	1	2	3	4	
6:00:00 AM	3	175	4.39	3	41.49	3.00	0.00	20.00	40.00		
7:00:00 AM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00			
8:00:00 AM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00			
9:00:00 AM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00			
10:00:00 AM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00			
11:00:00 AM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00			
12:00:00 PM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00			
1:00:00 PM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00			
2:00:00 PM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00			
3:00:00 PM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00			
4:00:00 PM	2	182	4.31	3	45.60	3.00	0.00	20.00	40.00		
5:00:00 PM	0	0	-	0	18.32	-	0.00				
6:00:00 PM	2	107	4.31	2	52.39	2.00	0.00	30.00			
7:00:00 PM	2	171	4.31	3	38.21	2.00	0.00	20.00	40.00		
8:00:00 PM	2	57	4.31	1	33.69	1.00	0.00				
9:00:00 PM	2	170	4.31	3	41.38	3.00	0.00	20.00	40.00		

Figura 62. Definición de frecuencias y horarios

#### Paso 5. Análisis de escenarios de aumento o disminución de frecuencias

Uno de los beneficios de la herramienta de análisis de la demanda y asignación de recursos es que le permite a la OSG tomar decisiones basadas en datos. Aumentar o disminuir la frecuencia en una hora determinada puede ser de gran beneficio para los usuarios; sin embargo, esto puede causar un gran impacto en costo.

Para analizar todas las variaciones, entre las implicaciones de costo, aumento de cobertura, utilización y emisión de kilogramos de CO<sub>2</sub>, se presenta el cuadro de análisis de escenarios, que se muestra en la figura 63.

Sentido		F1-F2											
Hora	Frecuencias actuales	Capacidad actual	Distancia de ruta total (Km)	Costo promedio	Kg CO2 promedio	Aumento/disminución de frecuencia	Cambio en autobuses requeridos	Capacidad nueva	Utilización	Demanda cubierta	Cambio de utilización	Cambio en costo	Cambio en Kg CO2
6:00:00 AM	3	210	6.79	77,295.00	203.70	2	1.00	350	50%	0	33%	49,530.00	135.80
7:00:00 AM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	0	-	140	81%	0	0%	-	-
8:00:00 AM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	-1	(1.00)	70	163%	-44	-81%	(25,485.00)	(67.10)
9:00:00 AM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	0	-	140	81%	0	0%	-	-
10:00:00 AM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	0	-	140	81%	0	0%	-	-
11:00:00 AM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	0	-	140	81%	0	0%	-	-
12:00:00 PM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	-1	(1.00)	70	163%	-44	-81%	(25,485.00)	(67.10)
1:00:00 PM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	5	3.00	490	23%	0	58%	123,425.00	335.50
2:00:00 PM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	0	-	140	81%	0	0%	-	-
3:00:00 PM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	0	-	140	81%	0	0%	-	-
4:00:00 PM	3	210	6.71	76,455.00	201.30	0	-	210	87%	0	0%	-	-
5:00:00 PM	0	0	2.40	-	-	0	-	0	0%	0	0%	-	-
6:00:00 PM	2	140	7.81	58,670.00	156.20	0	-	140	76%	0	0%	-	-
7:00:00 PM	3	210	6.71	74,455.00	201.30	0	-	210	81%	0	0%	-	-
8:00:00 PM	1	70	6.71	25,485.00	67.10	4	2.00	350	16%	0	65%	97,940.00	268.40
9:00:00 PM	3	210	6.71	76,455.00	201.30	0	-	210	81%	0	0%	-	-

Figura 63. Cuadro de implicaciones de los cambios de frecuencia

La herramienta permite analizar el cambio de frecuencias. En la columna “Aumento/disminución de frecuencia” se agregan números positivos para el aumento y negativos para la disminución a la hora dada. En las columnas a la derecha de esta se muestran los cambios en la cantidad de autobuses requeridos, la utilización del servicio, el aumento o pérdida de usuarios transportados, además, de los

cambios de costo y en emisiones. Esto permite evaluar si un cambio en una frecuencia a una hora dada vale la pena, así como conocer cuántos pasajeros dejarían de recibir el servicio.

#### ***3.4.2.3 Etapa 3. Creación de roles y asignación de recursos***

Esta última etapa del algoritmo consiste en la determinación de los roles de trabajo y la asignación de recursos a estos. Para ello se utiliza como entrada el horario de servicio establecido y a partir de este y los tiempos de ruta, se asignan los roles. Además, una vez determinado lo anterior, se realiza una asignación de los recursos con los que cuenta la OSG tanto en unidades de autobús como en choferes. Para esta asignación se aplica programación lineal por medio del método Simplex, donde la función objetivo se relaciona con la disminución en el costo del servicio. En el siguiente diagrama se detallan las entradas, las actividades y las salidas.

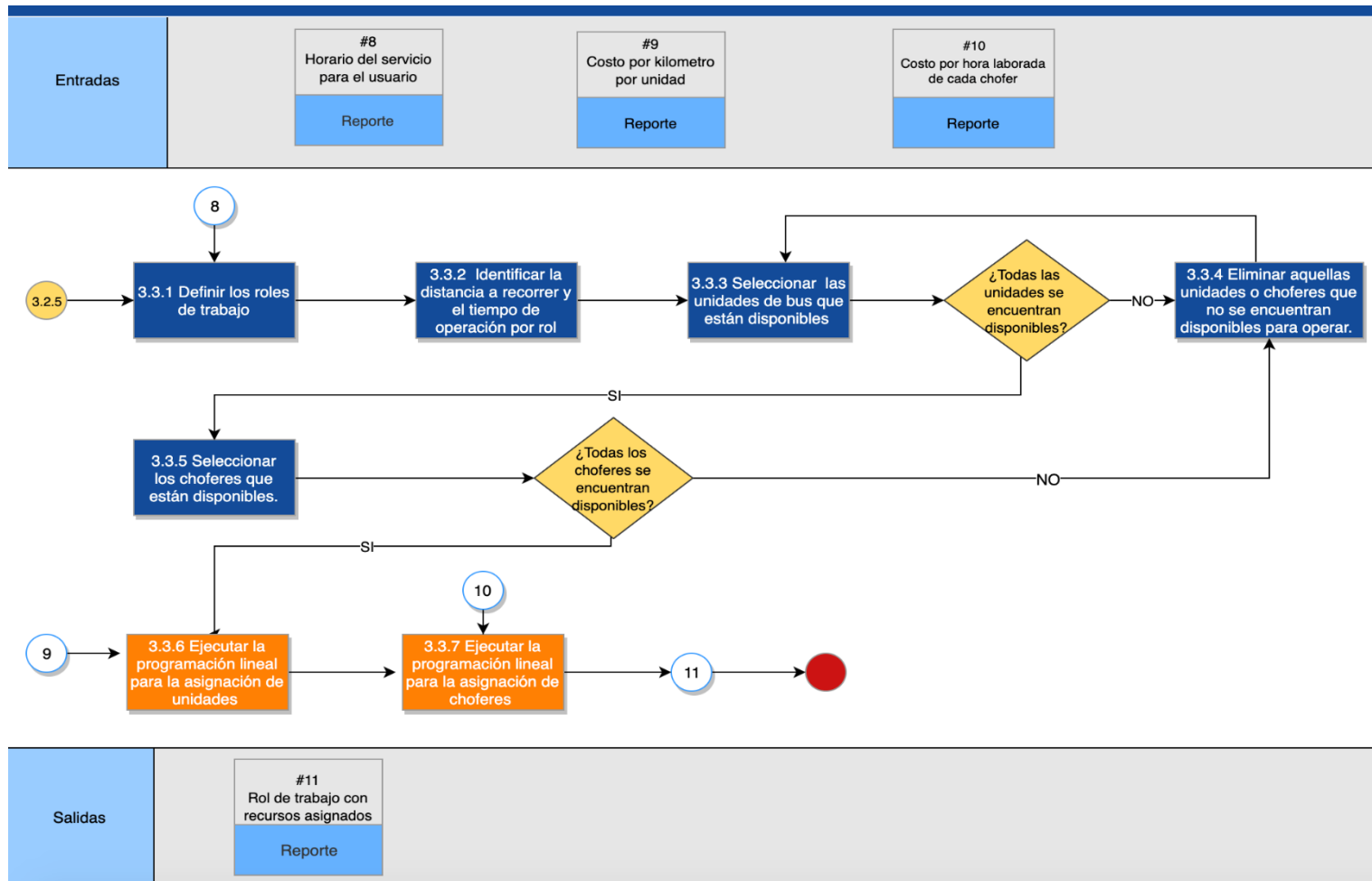


Figura 64.  
Proceso detallado para la creación de

roles y asignación de recursos

### Paso 1. Definir los roles de trabajo

Para definir los roles de trabajo se utiliza como entrada el horario de servicio determinado en la etapa anterior. Para la asignación de las horas de salida se utilizan tanto el horario como el tiempo de la ruta, de forma que pueda ser asignado un autobús a cada rol y no haya choques entre horas de salida. Cabe destacar que en la herramienta se incluyen dos tipos de rol por día, uno en la mañana y otro en la tarde, para que la asignación de recursos cubra las dos franjas horarias.

Hora	Sentido	Tiempo de ruta (min)	Tiempo entre frecuencia (min)	Tiempo de ciclo (min)	Salida	Llega a F2	Llega a F1	Bus	Turno
10:00:00 AM	F2-F1	17.06	60	37.53	0.00		17.06	3	Mañana
11:00:00 AM	F1-F2	20.47	30	37.53	0.00	20.47		1	Mañana
11:00:00 AM	F1-F2	20.47	30	37.53	30.00	50.47		3	Mañana
11:00:00 AM	F2-F1	17.06	60	37.53	0.00		17.06	1	Mañana
12:00:00 PM	F1-F2	20.47	30	37.53	0.00	20.47		2	Mañana
12:00:00 PM	F1-F2	20.47	30	37.53	30.00	50.47		1	Mañana
12:00:00 PM	F2-F1	17.06	60	37.53	0.00		17.06	2	Mañana
1:00:00 PM	F1-F2	20.47	30	37.53	0.00	20.47		2	Tarde
1:00:00 PM	F1-F2	20.47	30	37.53	30.00	50.47		3	Tarde
1:00:00 PM	F2-F1	17.06	60	37.53	0.00		17.06	2	Tarde
2:00:00 PM	F1-F2	20.47	30	37.53	0.00	20.47		1	Tarde
2:00:00 PM	F1-F2	20.47	30	37.53	30.00	50.47		2	Tarde

Figura 65. Asignación de roles por autobús

### Paso 2. Identificar la distancia que recorrer y el tiempo de operación por rol

Para poder realizar la asignación de los recursos es necesario conocer la distancia total requerida y el tiempo de operación por rol. Para el cálculo de la distancia que recorrer por cada uno de los roles se realiza una sumatoria de las distancias de todas las rutas que componen el rol. A continuación, se presenta la ecuación para el cálculo de este dato. En el caso del tiempo de operación se realiza una sumatoria de todas las horas en las que opera el rol de trabajo.

$$d_{rol} = \sum_{i=1}^k d_{ruta_i}$$

Donde,

$k$  = Rutas que componen el rol

$d_{rol}$  = Distancia total del rol

$d_{ruta_i}$  = Distancia de la ruta

### Paso 3. Asignar los recursos a los roles de trabajo

Los recursos claves para la prestación del servicio son los autobuses como los choferes y ambos significan un costo mensual para la OSG, por lo cual es necesario buscar una asignación de ambos tipos de recursos de forma que se mantenga o disminuya el costo que actualmente significa este servicio para la organización. Para la asignación de los recursos a los roles de trabajo se aplica un modelo de programación lineal por medio del método Simplex.

La programación lineal se aplica a modelos de optimización en los que las funciones objetivo y restricción son estrictamente lineales. El método Simplex resuelve la programación lineal donde cada iteración desplaza la solución a un nuevo punto esquina que tiene potencial de mejorar el valor de la función objetivo. El proceso termina cuando ya no se pueden obtener mejoras (Taha, 2004).

Para aplicar esta herramienta de investigación de operaciones, se realiza un modelo basado en dos asignaciones: 1) para las unidades de buses y 2) para los choferes.

Para el primer caso, se utiliza la siguiente función objetivo de reducción de costo.

$$Z(\min) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Ckm_i \times d_j \times A_{ij}$$

Restricciones

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n A_{1j} &= 1 \\ &\vdots \\ \sum_{i=1}^n A_{ij} &= 1 \end{aligned}$$

Donde,

$Ckm_i$  = Costo variable por kilómetro de cada unidad de autobús

$d_j$  = Distancia recorrida por cada rol de trabajo

$A_{ij}$  = Variable binaria para la asignación de autobuses

$n$  = Unidades de autobús

$m$  = Roles de trabajo

Para la función objetivo anteriormente expuesta se considera una minimización del costo variable de operación, que se relaciona con la asignación de cada unidad. El costo variable por kilómetro recorrido de un autobús para un periodo se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Ckm_i = \frac{(\text{Costos de combustible} + \text{Costos de mantenimiento})}{\text{km recorridos}}$$

Por medio de esta ecuación se determina con una periodicidad mensual el costo por kilómetro recorrido para cada autobús, sin embargo, para su aplicación en la función objetivo se calcula un promedio semestral de este.

Para determinar el valor  $d_j$  se realiza una sumatoria de la distancia total que recorrer por cada uno de los roles; este valor se considera la suma de la distancia de todos los recorridos que hace el rol en un día.

Por otro lado, para la asignación de las unidades disponibles, se utiliza la variable binaria  $A_{ij}$ . Esta tiene como objeto determinar si el rol  $i$  se asigna al bus  $j$ , evaluando así todas las posibilidades de asignación. Si el valor de esta variable es 1 significa que el rol  $i$  será realizado por el bus  $j$ , y por ende deberá multiplicarse la distancia de  $i$  por el costo  $j$ .

Además, se añade la restricción  $\sum A_{ij} = 1$ , la cual permite que todos los roles tengan un bus asignado.

Para el segundo caso se utiliza la siguiente función objetivo de reducción de costo:

$$Z(\min) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Ch_i \times h_j \times B_{ij}$$

Restricciones

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n B_{1j} &= 1 \\ &\vdots \\ \sum_{i=1}^n B_{ij} &= 1 \end{aligned}$$

Donde,

$Ch_i$  = Costo por hora extra de cada chofer

$h_j$  = Horas extra de cada rol de trabajo

$B_{ij}$  = Variable binaria para la asignación de choferes

$n$  = Choferes de autobús

$m$  = Roles de trabajo

Para la función objetivo anteriormente expuesta, se considera una minimización del costo variable de operación relacionada con el pago de horas extra. El costo por hora extra corresponde a un monto designado según el salario del chofer. Esta información se obtiene del reporte de planilla con el que cuenta la OSG.

Para determinar el valor  $h_j$  se realiza una sumatoria del tiempo que requiere pago de horas extra para cada rol de trabajo.

Por otro lado, para la asignación de los choferes disponibles, se utiliza la variable binaria  $B_{ij}$ . Esta variable tiene como objetivo definir la asignación del rol  $i$  al chofer  $j$ , si el valor es 1 significa que el chofer  $j$  realizará el rol  $i$ .

A partir de estos cálculos y al aplicar el método Simplex en la programación lineal, se obtienen los resultados para la asignación de los buses y de los choferes para cada rol, tal como se presenta en las siguientes figuras, 66 y 67.



Roles	Distancia (Kms)	Buses	Costo (Colones/Kms)
1	40.3	1	4,000.00
2	38.7	2	3,600.00
3	48.3	3	4,100.00
4	35.3	4	3,700.00
5	45	5	4,500.00
6	35.7	NUEVO BUS	
7	47.2	NUEVO BUS	
8	36.7		
9	33.9		
10	46.1		
NUEVO ROL			
NUEVO ROL			

Figura 66. Ingreso de variables para la asignación de recursos

Buses/Roles	1	2	3	4	5	NUEVO BUS	NUEVO BUS	Asignar un bus a cada rol
1	1	0	0	0	0			1
2	0	0	1	0	0			1
3	0	1	0	0	0			1
4	0	0	0	0	1			1
5	0	0	0	1	0			1
6	0	0	1	0	0			1
7	0	1	0	0	0			1
8	1	0	0	0	0			1
9	0	0	0	0	1			1
10	0	0	0	1	0			1
NUEVO ROL								0
NUEVO ROL								0
<b>Total</b>								
<b>Costo</b>	308,000.00	343,800.00	305,040.00	337,070.00	311,400.00	-	-	1,605,310.00

Figura 67. Modelo de asignación de recursos por medio de programación lineal

### 3.4.3 Cuestionario de satisfacción del usuario

Con el fin de prestar un servicio de acuerdo con las necesidades de los usuarios, su diseño debe ante todo enfocarse en satisfacerlas.

Para determinar el grado de satisfacción obtenida, se crea un cuestionario dirigido al usuario que permita 1) monitorear aquellas dimensiones de calidad del servicio que son importantes para él y 2) descubrir nuevas dimensiones que puedan aparecer en el camino y requieran iniciar su monitoreo. La identificación de estas dimensiones de calidad va a permitir incluir en la política de nivel de servicio los requerimientos que para el usuario son importantes para el cumplimiento de sus expectativas mínimas. Se puede observar que, parte fundamental de la política del nivel de servicio, mencionada en el apartado 3.1, es incluir la voz del usuario dentro del servicio, y aún más, la entrada principal para la definición y control de la política son justamente los resultados de este cuestionario.

Ante esto, conviene detallar la forma en que se gestiona la aplicación y el uso de los datos del cuestionario, a partir de las preguntas ¿Cuáles son las actividades que incluyen?, ¿qué contenido debe tener el cuestionario?, ¿cuáles canales debe de enviarse? y ¿cuál debería ser su periodicidad?

### 3.4.3.1 Detalle del proceso de definición del cuestionario y uso de la información obtenida

Como primer punto, se deben estandarizar las actividades para la definición y aprovechamiento de esta herramienta. Para ello, en la figura 68, se describen los pasos que debe seguir el responsable de este proceso.

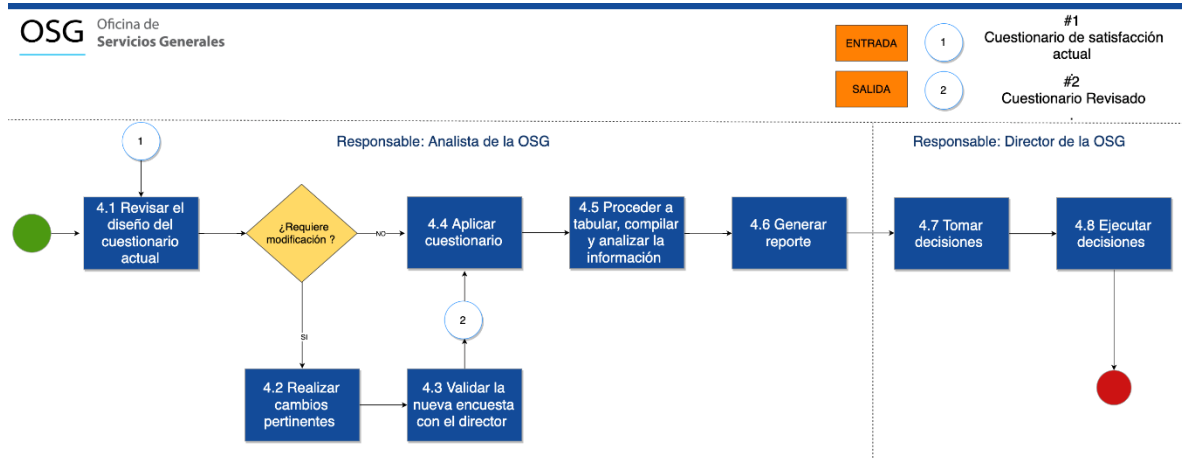


Figura 68. Proceso detallado para la definición y control del cuestionario de satisfacción

De acuerdo a este proceso, se tiene como primera actividad revisar si el diseño del cuestionario debe actualizarse o modificarse antes de aplicarlo. A partir de esta revisión el cuestionario se aplica por medio de los canales que se definen para esta actividad. Posteriormente, se tabula y analiza la información recolectada evaluando así los criterios correspondientes; seguidamente debe generarse un reporte de los resultados de la herramienta e incluso debe detectarse en este punto si una dimensión no está cumpliendo las expectativas de los usuarios y, además, toda dimensión de calidad nueva, que debe ser evaluada por la OSG para ser incluida en la política de nivel de servicio. Por último, la dirección de la OSG toma decisiones a partir de este reporte y se ejecutan, para la mejora continua de la operación del servicio.

### 3.4.3.2 Consideraciones acerca del cuestionario

Algunas consideraciones principales que se tienen que tomar en cuenta a la hora de aplicar el cuestionario a los usuarios se indican en la siguiente figura:

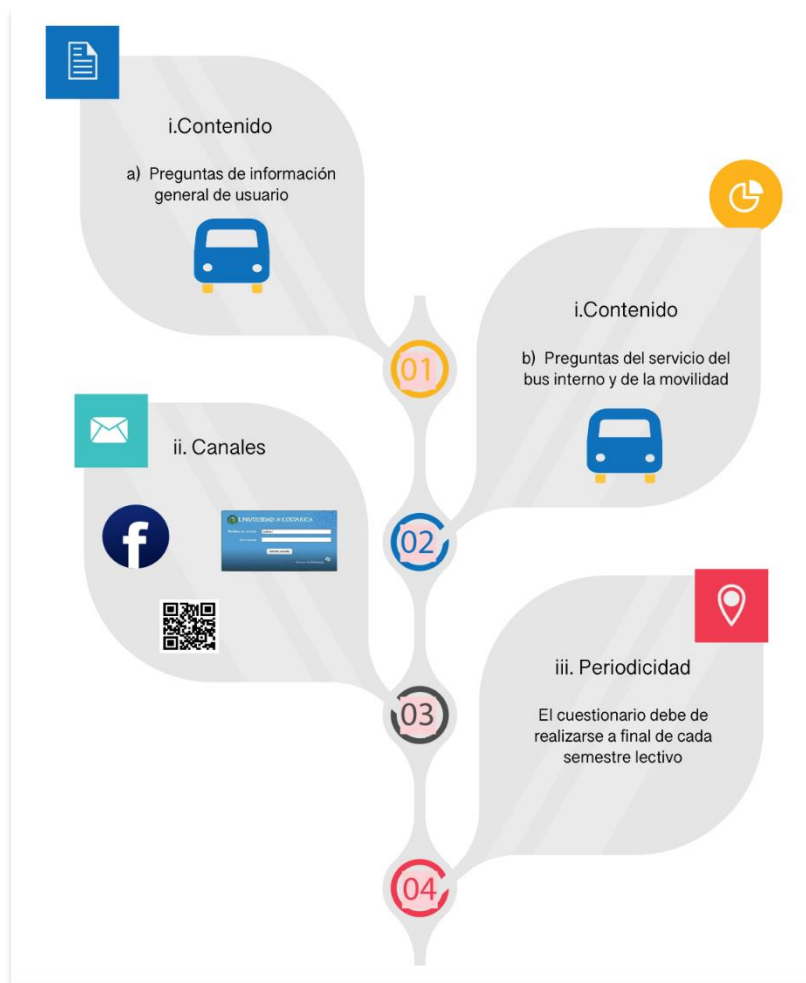


Figura 69. Consideraciones mínimas para la elaboración del cuestionario para el usuario

#### Contenido

El cuestionario de satisfacción al usuario debe contener como mínimo los siguientes rubros de evaluación:

- Preguntas de información general del usuario:

Este grupo de preguntas tiende a identificar al estudiantado, al personal docente-administrativo, y visitantes, en términos de edad, género, tipo de usuario del campus (estudiante, administrativo, docente) y la facultad a que pertenece el usuario.

- Preguntas sobre el servicio del bus interno y movilidad:

Este grupo de preguntas tiende a evaluar la satisfacción por parte del usuario acerca de las dimensiones de calidad previamente identificadas: tales como cumplimiento de horario, frecuencia de las rutas, seguridad durante el viaje, disponibilidad de asiento, limpieza del bus, entre otros. Otro tipo de preguntas son para descubrir qué otros factores son de importancia para él y qué sugerencias

propone para el mejoramiento del servicio. Por último, se debe contemplar preguntas enfocadas en qué otras opciones de movilidad dentro del campus están dispuestos a utilizar el usuario para trasladarse entre fincas.

### Canales

Para el envío del cuestionario, se tienen diversos medios de difusión, entre ellos se encuentran Facebook, el correo institucional de la Universidad y la opción de colocar en los buses publicidad que contenga códigos QR, donde el usuario pueda ingresar de forma inmediata, lo cual le ofrece una experiencia nueva.



Figura 70. Publicidad para la divulgación del cuestionario de satisfacción

### Periodicidad

Se recomienda que el cuestionario sea aplicado a final de cada semestre lectivo y procesado de acuerdo a las directrices de la OSG. Sin embargo, por motivos de este diseño, se realiza el cuestionario de satisfacción para ser aplicado el segundo semestre del 2019.

#### 3.4.4 Cuadro de mando integral (CMI)

Según Costa (2003), el cuadro de mando integral es una herramienta que recopila un conjunto de medidas derivadas de la estrategia de una empresa, la cual es usada por sus líderes para comunicar a los empleados y partes interesadas los resultados, y a su vez permite la visibilidad del cumplimiento con los objetivos definidos para cada perspectiva de la estrategia. El cuadro de mando integral (CMI) es más que un sistema de medida, permite ver la relación causa-efecto de las variables en función del cumplimiento con las estrategias, y de este modo aplicar acciones para controlarlas. Lo anterior se centraliza en la premisa de que “si no se puede medir, no se puede mejorar” (Kaplan R. S., 2010).

Por esta razón es fundamental para este diseño optar por un sistema de monitoreo y control, donde se resume el rendimiento global de la operación del servicio del bus interno, en función de sus procesos, sus herramientas de gestión, así como la formulación de planes de acción y de mejora a raíz de las inconformidades que pueden presentarse en el camino. Así, se define en primera instancia, la forma en que se van a llevar actividades de control estandarizadas, y paso a paso, el proceso de control y monitoreo de los indicadores seleccionados para la medición de calidad del servicio.

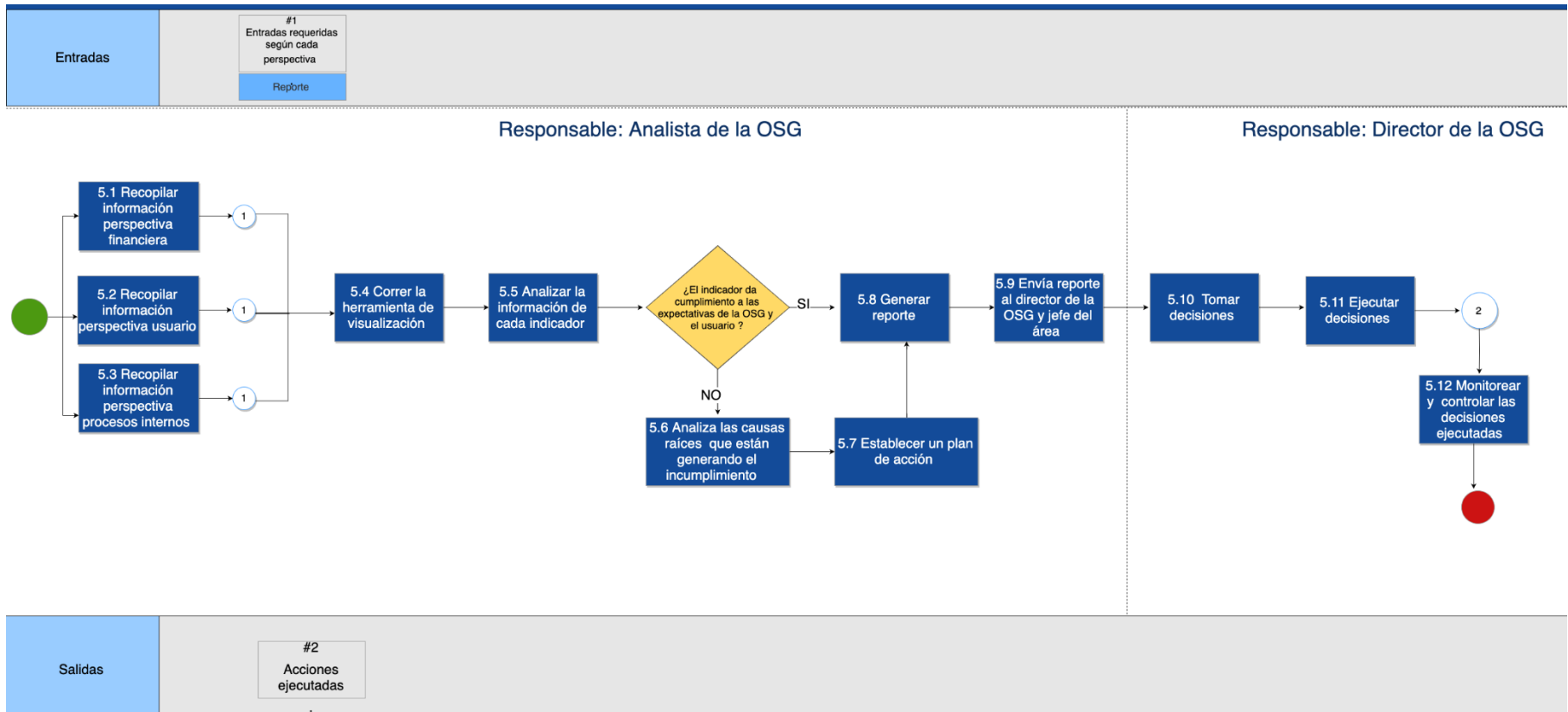


Figura 71. Proceso detallado para el monitoreo y control de los indicadores en el mando del cuadro integral

Teniendo en cuenta el proceso anterior, como segunda instancia, se debe definir los indicadores que van a evaluar el servicio. Estos deben responder tanto a la política de nivel de servicio como a la satisfacción al usuario. Lo anterior se debe a que la OSG dentro del marco de planificación estratégica, debe de elaborar y actualizar de forma periódica la política de nivel de servicio que a su vez es “la promesa” a los usuarios.

Con el fin de categorizar los indicadores de forma ordenada y por áreas, Kaplan y Norton proponen que la medición de objetivos debe realizarse según cuatro diferentes perspectivas (Kaplan N. , 1996). La **perspectiva financiera** consiste en resumir las consecuencias financieras de la operación, ya sea en términos de ingresos, márgenes o costos, interesa preguntarse en este punto qué opinan los dueños o socios de la organización, Por esto se debe sintetizar las acciones realizadas con un indicador que permita medir el desempeño global.

Por otra parte, se encuentra la **perspectiva del cliente** que busca la satisfacción del usuario en el corto, mediano o largo plazo. Se desea conocer qué opinan los clientes o usuarios de la organización. En cuanto a la medición de eficiencia de los procesos, se cuenta con la **perspectiva de procesos internos**, en la cual se identifican los procesos críticos para conseguir los objetivos propuestos. Entre ellos se encuentran procesos sustantivos como procesos de apoyo, y lo que se busca responder es qué tan buena ha sido la gestión de la empresa para lograr los objetivos. Por último, se cuenta con la **perspectiva de innovación y aprendizaje**. En esta, el modelo plantea la medición de las actividades que potencian el crecimiento de los colaboradores o bien del negocio en general, entre los indicadores que se utilizan se encuentran la cantidad de horas de capacitación, el ritmo de crecimiento salarial y otros.

### *Indicadores en el CMI*

En síntesis, para la medición y control del servicio de bus interno se tienen los siguientes indicadores:

#### **Perspectiva financiera**

Debido a la naturaleza del servicio que ofrece la OSG, no es posible medir la perspectiva financiera desde el punto de vista de ingreso, utilidad o márgenes de ganancias dado que el servicio no tiene ningún costo para el usuario; sin embargo, en estos casos interesa más mejorar la eficiencia del uso de sus recursos (Kaplan N. , 1996). Por esta razón, se definen indicadores de costo para esta perspectiva, debido a que la UCR se financia por medio de fondos públicos, y es importante mantener el menor costo posible y el mayor aprovechamiento de sus recursos.

En este sentido, se consideran tres principales indicadores: el primero consiste en el costo global del sistema, el segundo, en el costo de transporte por autobús y el último, en el costo por pasajero.

El costo global del transporte contempla todos los costos directos en los que la OSG incurre para la operación del sistema: salarios de los choferes, gastos de mantenimiento, depreciación de los autobuses, gasto por combustible, entre otros. Mide el impacto global en el presupuesto debido a la prestación del servicio.

$$\text{Costo global del transporte} = \sum \text{Costos variables} + \sum \text{Costos fijos}$$

Para evaluar de mejor manera las causas de costo se debe estudiar el costo que aporta cada una de las unidades, para de este modo monitorear su comportamiento y poder tomar decisiones sobre su utilización.

$$\begin{aligned} \text{Costo de transporte por autobus} \\ = \sum \text{Costo variable por autobús} + \sum \text{Costo fijo por autobús} \end{aligned}$$

El servicio de transporte interno es un rubro de gasto de los fondos de la Universidad, los cuales son finitos y en los últimos años foco de cuestionamientos debido a su administración y asignación. Por esto el costo del servicio debe ser justificado, el costo por pasajero reducido, e intentar que este sea el mínimo posible.

$$\text{Costo por pasajero} = \frac{\text{Costo global del transporte}}{\text{Cantidad de usuarios transportados}}$$

#### **Perspectiva del cliente**

En cuanto a la perspectiva del usuario, a la OSG le interesa evaluar ciertos indicadores que pueden llegar a afectar la satisfacción de este y, por ende, tener un impacto en el rendimiento del servicio del bus interno. Para esto se definen dos indicadores: el primero es el cumplimiento de horario del bus interno y el segundo la cobertura de la demanda.

Entre las variables más importantes que afectan la satisfacción del usuario, obtenidas en la etapa de diagnóstico, se encuentra el cumplimiento de horarios, el cual es la razón entre la cantidad de veces que el autobús salió de la parada dentro del margen permitido y la totalidad de salidas. Como se menciona en la herramienta de análisis de demanda este indicador se puede medir por horario, chofer y ruta.

$$\text{Porcentaje de cumplimiento de horario} = \frac{\text{Cantidad de salidas a tiempo}}{\text{Total de salidas}}$$

Por otra parte, una de las mayores quejas de los usuarios es la cobertura de la demanda debido a que la frecuencia actual de los recorridos y la configuración del sistema no suplen la demanda en las principales horas pico. Por esto se desea aumentar la cantidad de personas transportadas, para lo cual se considera el indicador de atención de usuarios, que mide la cantidad de usuarios que se transportan actualmente con respecto al periodo anterior:

$$\begin{aligned} &\text{Indicador de atención de usuarios} \\ &= \frac{\text{Usuarios atendidos}_{\text{periodo actual}} - \text{Usuarios atendidos}_{\text{periodo anterior}}}{\text{Usuarios atendidos}_{\text{periodo anterior}}} \end{aligned}$$

Es importante además cuantificar la cantidad de personas a las cuales no se les pudo brindar el servicio debido a su saturación, sin embargo, en el presente estudio no es posible determinar el número de personas que quedan fuera. Por esto se plantea el indicador porcentaje de atención de paradas. Este indicador se mide conociendo la parada en la cual el autobús llega a su capacidad total y contando cada una de las estaciones por atender.

$$\text{Porcentaje de atención de paradas} = \frac{\text{Paradas atendidas}}{\text{Total de paradas por atender}}$$

### **Perspectiva del proceso interno**

Por último, para el caso de perspectiva del proceso interno en el que se evalúan rendimientos, se tienen el impacto ambiental, la eficiencia de la asignación de rutas y la actualización de los datos de monitoreo y control. El primero se monitorea por medio de la tasa de generación de emisiones de kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalentes; esta se calcula dividiendo la cantidad de emisiones generadas entre los kilómetros recorridos.

$$\text{Tasa de generación de emisiones } kgCO_2 \text{ equivalente} = \frac{kgCO_2 \text{ equivalente generados}}{\text{Kilómetros recorridos}}$$

Donde:

$$\begin{aligned} &kgCO_2 \text{ equivalente generados} \\ &= \text{Litros de combustible consumidos} \times \text{Factor de emisión}_{kg CO_2 \text{ equivalente}} \end{aligned}$$

Para medir la eficiencia de la asignación de rutas, se considera el indicador de utilización del servicio, en el que se desea contar con una ocupación del 80%, evitando 1) la subutilización, que implicaría un costo por pasajero alto, y 2) la sobreutilización, ya que es una evidencia de que no se está satisfaciendo la demanda debido a que cuando el autobús alcanza su 100% no puede subir más pasajeros.

$$\text{Utilización del servicio} = \frac{\text{Cantidad de usuarios transportados}}{\text{Capacidad del servicio}}$$



Para evaluar las rutas es importante analizar y visualizar el desempeño de cada una de las paradas; Por esto se mide la utilización por parada. Este indicador permite determinar en cuáles paradas el autobús alcanza su utilización total.

$$\text{Utilización por parada} = \frac{\text{Personas que ingresan o suben por parada}}{\text{Capacidad del servicio}}$$

Además, tal y como se presentó anteriormente, el CMI es una herramienta que permite la visualización de diferentes indicadores relevantes para el monitoreo y control del servicio de bus interno. Para asegurar que la información se mantenga actualizada es necesario que haya un abastecimiento de datos de forma periódica que permita darle el seguimiento requerido a la herramienta. Por esta razón se diseña un módulo plantilla que contempla todos los datos que se requiere que el analista ingrese mensualmente; entre estos, se consideran el costo y consumo de combustible, el costo de mantenimiento y los costos fijos anuales por autobús; además, se contempla el pago de planilla de los choferes mensualmente.

En síntesis, el apartado CMI concluye la etapa de diseño de la herramienta y es el punto donde se logra medir, controlar y mejorar la ejecución y efectividad de las demás herramientas. Cada uno de estos indicadores están alineados tanto con los requerimientos estratégicos de la OSG como de los usuarios. Se recomienda monitorear estos indicadores, y si es el caso actualizarlos o modificarlos en caso de que se presenten nuevas necesidades en el transcurso del tiempo.

### **Conclusiones de la fase de diseño**

Por medio del diseño realizado en este estudio se genera un impacto directo en la solución del problema detectado en la fase de diagnóstico. Las herramientas de mejora diseñadas en conjunto con la creación de una política de nivel de servicio permiten realizar una mejor planificación en la gestión de los recursos de la OSG, al contarse con indicadores claves que evalúan la cantidad de usuarios atendidos, el control de los costos del servicio y el de las emisiones de KCO<sub>2</sub> equivalentes. Al ser estos los indicadores de éxito del proyecto, se asegura que la solución de diseño es exitosa, debido a lo siguiente:

- Se logra crear una solución Data-Mov que incluye un sistema de conteo de pasajeros funcional y una herramienta programada para el modelamiento de la oferta, que permite obtener datos para el proceso de planificación del servicio. Lo anterior cubre la necesidad de eliminar la incertidumbre que se tiene acerca del comportamiento de demanda.
- A partir de la incorporación de estas herramientas, el diseño impacta de manera profunda los procesos actuales. Por esto también se logran mejorar los procesos de planificación, operación, monitoreo y control. Por otra parte, la creación de nuevas actividades conlleva para la OSG la incorporación de personal que es asignado para la ejecución de dichas tareas.
- Actualmente la OSG no cuenta con herramientas para la toma de decisiones en temas de manejo de recursos, costos, ruteo; por lo que este diseño permite fortalecer y mejorar la apertura y el acceso a la información oportuna mediante una adecuada asignación de recursos.

En síntesis, esta solución tecnológica es *flexible, dinámica y modular*; en su diseño incorpora variables que tanto la OSG como los usuarios consideran importantes. Entender cómo este diseño y diseños semejantes pueden llegar a brindar una solución no solo en el plano universitario, sino en el nacional, es uno de los retos más importantes que los interesados han aceptado porque se entiende que es necesario resolver problemas acerca de tema de la movilidad no solo a nivel de universidad sino a nivel país.

#### 4. Capítulo IV. Validación

El principal aspecto de éxito de este estudio es asegurar que estas herramientas diseñadas cumplan y satisfagan las necesidades de la organización, generando resultados que puedan ser traducidos en beneficios cualitativos y cuantitativos, de tal forma que se logre solucionar el problema identificado.

Esta etapa consiste en dos partes: 1) El análisis del beneficio que aporta el desarrollo de las herramientas y 2) el impacto que genera su aplicación sobre los indicadores de éxito del proyecto. La primera consiste en valorar los beneficios cuantitativos y cualitativos resultantes del uso de cada herramienta y la segunda, cómo el enfoque general del diseño genera mejoras en el aprovechamiento de los recursos, por medio de los indicadores de precisión de la oferta y el costo de pasajero por hora.

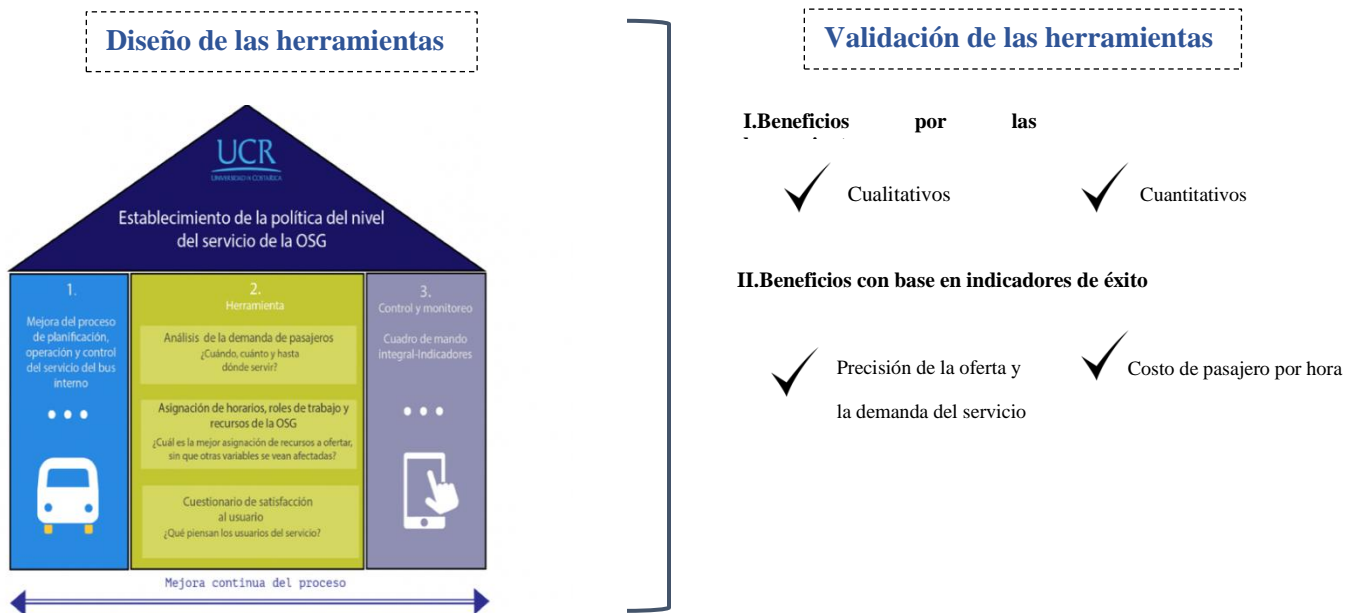


Figura 72. Metodología para la etapa de validación

Por lo tanto, se realiza una metodología de validación que logra cuantificar los resultados de los beneficios específicos que aporta cada una de ellas y su impacto en los indicadores del proyecto (Figura 72).

#### 4.1. Análisis de beneficios por el desarrollo de las herramientas

##### 4.1.1 Establecimiento de la política del nivel de servicio y mejora de los procesos internos

Como parte de la estrategia de gestión, se ha diseñado la política del nivel de servicio donde se han establecido los términos y condiciones mínimos de operación que la OSG está dispuesta a ofrecer a sus usuarios. En ella se sienta la base del diseño de las herramientas propuestas, donde se establecen métodos de medición específicos que permiten evaluar el adecuado manejo de los recursos operativos. Para comprobar el correcto establecimiento de la política se analizan los beneficios cualitativos y cuantitativos. La política de nivel de servicio se valida con el director de la OSG el 8 de julio del 2019, día en el cual se presentan la política y los acuerdos que esta contiene, así como los indicadores operativos que se establecen en ella y se analiza que cumplan todos los lineamientos que la oficina está dispuesta a ofrecer. Se concluye que la política es clara y que al cumplirse se aseguraría un mayor control de los estándares mínimos con los que va a operar el servicio de bus interno por medio de indicadores de desempeño.

El beneficio cuantitativo se puede ver reflejado en los resultados obtenidos mediante la herramienta de asignación, ya que permiten calcular los indicadores establecidos en la política e indican si responden al cumplimiento de esta o no, de tal manera que logre cuantificar su impacto.

En cuanto a los procesos, se logra la incorporación de las actividades de planificación, monitoreo y control del servicio de bus interno, producto de las nuevas herramientas que se diseñan para estas soluciones, las cuales exigen que las entradas de información se ingresen de forma oportuna y con la calidad que se requiere, asegurando que los datos de la operación se mantengan siempre íntegros y actualizados.

Se realizan también diagramas de flujo de los procesos involucrados y se define a los responsables de la ejecución de cada una de las tareas; para la validación de ellos, se realiza una reunión con el responsable de ejercer el proceso el 13 de setiembre del 2019. Se detallan las actividades y se explica cuáles son las entradas de información que se requiere y sus salidas en cada uno de los flujos propuestos, a partir de ahí se coincide en que los procesos son acordes a los lineamientos y responden a las necesidades actuales de la organización. Se concluye que los flujos están bien definidos y que son un medio para estandarizar el nuevo proceso para todo el personal y definir sus nuevas actividades debidamente.

#### ***4.1.2 Comprobación de funcionalidad de las herramientas desarrolladas***

##### ***4.1.2.1 Herramienta 1. Data-Mov (Dispositivo contador de pasajeros)***

La implementación de Data-Mov tiene como propósito proveer a la OSG con un medio con el cual pueda cuantificar la demanda y con ello mejorar el proceso de planificación del servicio y la utilización de sus recursos. La validación de esta herramienta se divide en dos etapas, en la primera se verifica el error de medición del dispositivo en condiciones reales de operación. Una vez comprobado que el error es permisible, se realiza la segunda parte, que consiste en la obtención de una muestra de datos de demanda que permite la validación de las demás herramientas.

Cabe destacar que por una limitación de tiempo, no es posible realizar la ejecución de un muestreo estadístico para la cuantificación de la demanda del servicio, sin embargo, con la implementación de este dispositivo que se propone, se define una base para que en un futuro la OSG pueda realizar los estudios pertinentes para la obtención de dicha información.

##### ***Etapas 1. Cálculo del error real de medición***

En la etapa de diseño se realizan pruebas en condiciones controladas que demuestran que las mediciones del prototipo diseñado cumplen con el error permisible (menor a un 10% según lo solicitado por la OSG). Para la validación final del funcionamiento del Data-Mov y de la veracidad de los datos que proporciona, se realiza un estudio para calcular el error de medición real en condiciones normales de operación del servicio. Para ello se instala una unidad en cada una de las puertas del autobús placa 921 y se realiza una evaluación de una muestra obtenida el día 21 de agosto a partir de las 7:00 p.m., para dicha evaluación se comparan la información recolectada por el contador y el conteo visual de pasajeros (Figura 73).

Los resultados obtenidos demuestran que la puerta trasera presenta un mayor error tanto de conteo de pasajeros como de sentido de movimiento, 5% y 15% respectivamente. Al realizar las observaciones de campo, se logra determinar que dicho aumento en el error es ocasionado por las condiciones del lugar donde está colocado el dispositivo. Esto se debe a que en la puerta trasera del autobús, los usuarios pueden permanecer de pie frente a los sensores de infrarrojos, obstaculizando el campo de visión y generando conteos falsos. En el caso de la puerta delantera esta situación difiere, como se observa en la tabla 24, el error de conteo es de un 2% y el de sentido de movimiento de 5%; esto se debe a que el chofer controla que los usuarios no permanezcan de pie en la zona donde se encuentra el dispositivo.



Figura 73.. Instalación de Data-Mov dentro de los buses internos UCR

Tabla 24. Resultados obtenidos del dispositivo en entorno de operación

<b>Resultados puerta delantera</b>	
<b>Error de cantidad</b>	
Cantidad mediciones visuales	131
Cantidad mediciones dispositivo	133
Porcentaje de error	2%
<b>Error de sentido de movimiento</b>	
Sentido del movimiento correcto	125
Sentido del movimiento incorrecto	6
Total mediciones sentido	131
Porcentaje de error	5%

<b>Resultados puerta trasera</b>	
<b>Error de cantidad</b>	
Cantidad mediciones visuales	147
Cantidad mediciones dispositivo	155
Porcentaje de error	5%
<b>Error de sentido de movimiento</b>	
Sentido del movimiento correcto	118
Sentido del movimiento incorrecto	21
Total mediciones sentido	139
Porcentaje de error	15%

Al analizar los resultados obtenidos se valida el diseño de Data-Mov con un error de medición en condiciones operativas aceptable según lo solicitado por la OSG, por lo cual puede ser utilizado como una herramienta confiable para la cuantificación de la demanda del servicio de bus interno.

En relación a los conteos en falso del dispositivo de la puerta trasera se realiza una depuración de los datos obtenidos por medio de la herramienta de análisis de datos y las observaciones de campo. Se sugiere que para los análisis de demanda en un futuro se utilicen las grabaciones de video del autobús como apoyo para la depuración de los datos.

## *Etapa 2. Obtención de datos de demanda*

Una vez comprobado que el error de medición es aceptable, se procede con la validación del funcionamiento del dispositivo con las demás herramientas, para lo cual es necesaria la obtención de una muestra de datos de demanda en condiciones normales de operación. La muestra se obtuvo el día 10 de setiembre del 2019, en la unidad con placa 921, la cual realiza el rol número cinco de trabajo. Los resultados depurados muestran un total de 2319 datos, de los cuales 1141 observaciones corresponden a la puerta delantera y 1178 a la trasera.

A partir de esta información se realiza una proyección de la demanda total, tomando como supuesto que la frecuencia en cada hora se comporta de forma homogénea. Para aplicar este supuesto, se toma en consideración la definición de bloques horarios propuesta por el estudio de Probus (2018), donde los bloques son considerados estratos homogéneos dentro de sí y heterogéneos entre sí. Esto se debe a que no se tiene la suficiente información para poder obtener el comportamiento de la demanda dentro del rango de la hora, es decir, la cantidad de personas que suben a las 6:15 a.m. no es la misma que a las 6:55 a.m., por lo que una de las limitaciones del modelo de asignación de frecuencias es realizarlo según esas tendencias variantes dentro del bloque; sin embargo, el modelo permite la flexibilidad de incorporar esas frecuencias cuando se tengan dispositivos instalados en todas las unidades, de forma en que se pueda lograr la obtención de estos datos.

## *Condiciones de funcionamiento en el futuro*

A partir de la validación del funcionamiento de Data-Mov en condiciones normales de operación se detecta la necesidad de realizar un ajuste en el diseño del prototipo para futuros muestreos de la demanda. El ajuste consiste en un cambio en la forma en que el dispositivo obtiene la energía. El consumo eléctrico del prototipo es de 115 mA; en el diseño propuesto se ha considerado la utilización de una batería de 9V y 800 mAh, sin embargo, después de cuatro horas de funcionamiento el voltaje entregado por la batería no es suficiente para mantener el sistema trabajando adecuadamente. Esta situación tiene tres implicaciones que se consideran negativas para un muestreo de varios días. La primera, debido al costo asociado a la compra de baterías: para un día de muestreo se requieren al menos cuatro baterías, con un costo total de 8000 colones aproximadamente. La segunda implicación consiste en el riesgo de pérdida de información debido a algún problema en el momento de realizar el cambio de batería, ya que el chofer tendría que encargarse de esta labor cuatro veces al día. La tercera implicación se relaciona con la contaminación producida por el desecho de las baterías.

Para evitar esta situación se propone de forma teórica el cambio que debe realizarse en el prototipo diseñado, ya que por una limitación de tiempo no es posible implementar dicho cambio en el término de este proyecto. Para el apoyo en el diseño de este sistema se realiza una entrevista al ingeniero Cuadra (2019). En la figura 74 se presenta un diagrama con los componentes que deben adaptarse para suministrar la energía necesaria para el funcionamiento del dispositivo. El cambio consiste en remplazar el suministro de energía de baterías intercambiables por un sistema que proporcione una fuente constante.

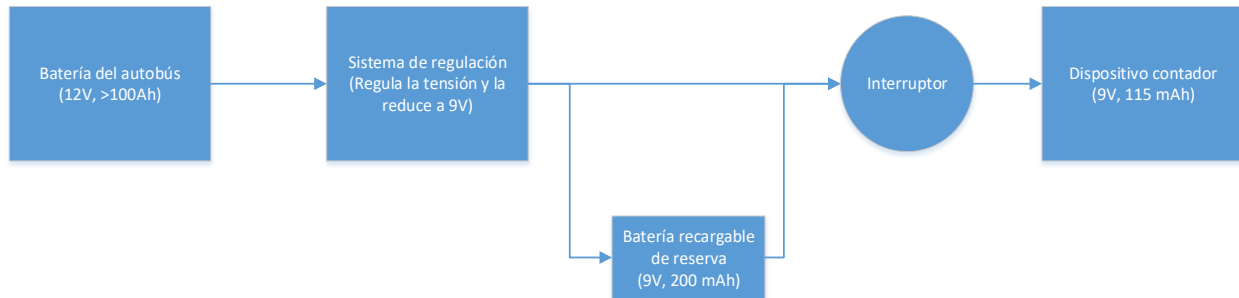


Figura 74. Sistema de energía para contado (Cuadra, 2019)

De acuerdo al diagrama de la figura anterior se detalla la función de cada uno de los componentes del sistema eléctrico propuesto.

**Batería del autobús** Fuente de energía eléctrica de 12V y más de 100Ah recargable. Se propone obtener la energía de la batería por medio de una adaptación a la cigarrera del autobús.

**Sistema de regulación:** Sistema que regula la tensión de entrada de 12 V y la reduce a 9 V por medio de un transistor, de forma que suministra el voltaje con el que puede trabajar el dispositivo contador. Además funciona como un filtro para la regulación de picos de voltaje generados por el funcionamiento de la batería del autobús.

**Batería recargable:** Reserva de energía en una batería recargable de 9V y 200 mAh. Funciona como un almacenamiento de contingencia ante el riesgo de pérdida de energía, esto en caso de que el bus se apague y se siga utilizando el contador (por un periodo máximo de una hora), o bien en caso de que la tensión suministrada por el regulador sea en algún momento inferior a los 9V.

**Interruptor:** Permite o inhibe el flujo de energía al dispositivo. Se utiliza como interruptor para encender o apagar el contador.

#### 4.1.2.2 Herramienta 2: Modelo de análisis de demanda y asignación de horarios, roles de trabajo y recursos

Para la validación del diseño propuesto se realiza un escenario de estudio que consiste en aplicar de forma práctica el uso de Data-Mov y la herramienta programada de análisis de demanda y planificación de recursos. Para ello se toma una muestra de información de demanda del servicio el día 10 de setiembre del 2019, con el autobús unidad 921. Es importante tomar en consideración que durante ese día el servicio realizó una ruta alterna a la habitual debido a arreglos en la vía pública que pasa por la Finca 1, por lo que el bus no pasó por las paradas del Posgrado de Odontología y de Microbiología, con un impacto de 600 metros menos de lo habitual. La propuesta se basa en las siguientes rutas y paradas utilizadas; se muestran los sentidos entre las fincas y la distancia a cada una (Figura 75).

Ruta Sentido Finca 1 a Finca 3
Paradas
1. Facultad de Educación
2. Facultad de Bellas Artes
3. LANAMME
4. Facultad de Ingeniería
5. Facultad de Ciencias Sociales
6. Facultad de Odontología

Ruta Sentido Finca 3 a Finca 1
Paradas
1. Facultad de Odontología
2. Facultad de Ciencias Sociales
3. Facultad de Ingeniería
4. Facultad de Educación

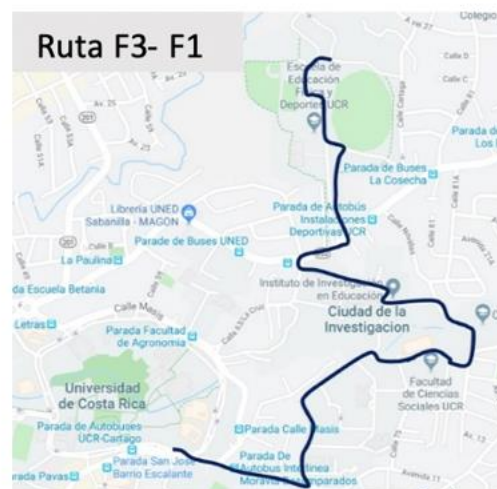
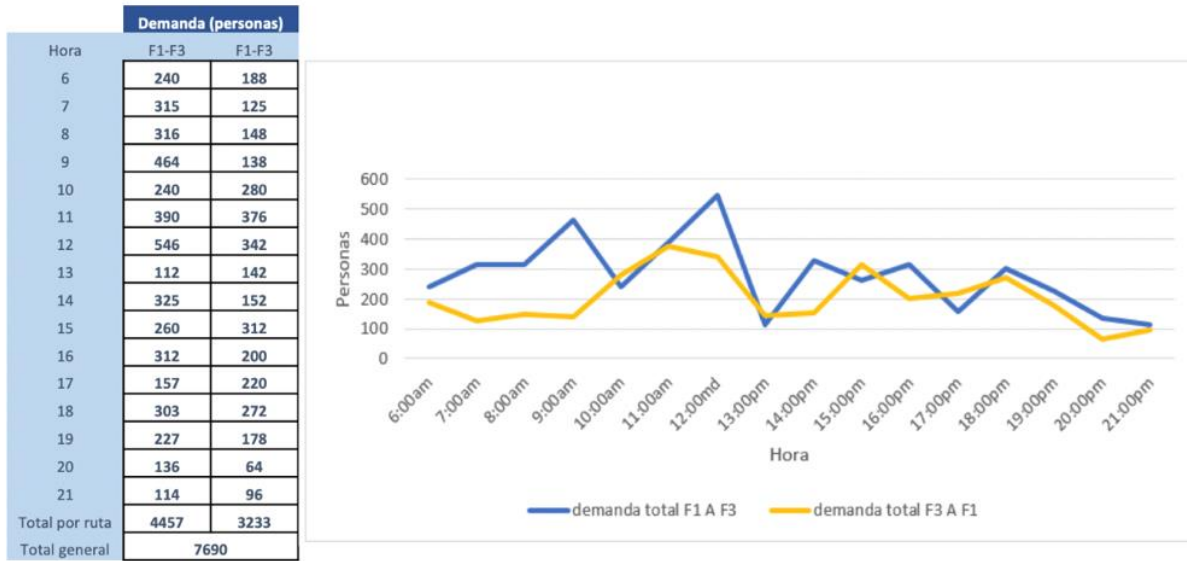


Figura 75. Rutas y paradas utilizadas en la validación del proyecto

#### 4.1.3 Cuantificación de la demanda

El reporte de demanda por parada por hora es uno de los resultados obtenidos al implementar el uso del dispositivo Data-Mov, el cual genera información esencial para realizar la planificación de los recursos del servicio. Para validar su funcionalidad, en primer lugar se ingresan los datos obtenidos del contador de pasajeros y se comprueba que la inserción a la herramienta es exitosa, además de que permite obtener información del comportamiento que puede llegar a tener la demanda a lo largo del semestre, de modo que la OSG pueda ajustar el modelo de acuerdo a los cambios que se presenten. En la tabla 25 se enlista el total de pasajeros cuantificados por hora según cada una de las rutas; el detalle de la demanda por parada por hora en cada uno de los sentidos se presenta en el apéndice 9.

Figura 76. Resultado de demanda total por hora según sentido de la ruta



A partir de la información de demanda presentada en la imagen anterior, y partiendo de la distancia de las rutas, se realiza una propuesta de modelo de oferta del servicio. Dicho modelo consiste en el establecimiento de las frecuencias requeridas para la operación, de forma que se satisfaga la demanda con el mejor aprovechamiento de los recursos. Para validar su funcionalidad, se comprueba que la herramienta calcula las frecuencias recomendadas con sus respectivas distancias. Para asegurar que la herramienta cumple con la reducción de frecuencia, tiempos y distancias, se cuantifica el ahorro que se tiene al realizar esta asignación de frecuencia por hora (Tabla 25).

En la tabla 25 se presentan los resultados obtenidos, donde se detalla la cantidad de frecuencias (recorridos) por hora y la distancia correspondiente a cada uno de ellos, esto según el escenario de demanda calculado. Según esta información el total de frecuencias que se realizan corresponde a 76 en sentido F1-F3 y 73 en sentido F3-F1, para un total general de 149 recorridos y 501,447 km diarios.



Tabla 25. Resumen de recorridos por hora del modelo actual

Hora	Frecuencias F1-F3	Distancia (km)	Frecuencias F3-F1	Distancia (km)	Frecuencias totales	Distancia (km)
6	5	19	4	11	9	31
7	5	19	5	14	10	34
8	4	15	4	11	8	27
9	6	23	6	17	12	40
10	5	19	5	14	10	34
11	5	19	6	17	11	36
12	7	27	6	17	13	44
13	4	15	4	11	8	27
14	5	19	4	11	9	31
15	4	15	6	17	10	33
16	4	15	4	11	8	27
17	5	19	5	14	10	34
18	5	19	5	14	10	34
19	4	15	4	11	8	27
20	4	15	2	6	6	21
21	4	15	3	9	7	24
Total	<b>76</b>	<b>292,448</b>	<b>73</b>	<b>208,999</b>	<b>149</b>	<b>501,447</b>

Dado lo anterior, para analizar si la asignación de recursos ofrece mejor resultado que el modelo de servicio que actualmente utiliza la OSG, se realiza una comparación entre la oferta actual y la propuesta, en igualdad de condiciones de distancia por ruta y paradas atendidas. En la tabla 26 se presentan los resultados de dicha comparación; se observa que actualmente la OSG trabaja 149 recorridos diarios con una distancia total de 501,5 km. Por otro lado el modelo de oferta propuesto considera 112 recorridos diarios, que comprenden un total de 384,7 km, lo cual se traduce en un ahorro de 37 recorridos y 117 km de distancia. Esta reducción no impacta de forma negativa al servicio, ya que asegura mover la misma cantidad de personas, cubriendo la mayor demanda posible.

Tabla 26. Comparación entre la oferta actual y el modelo propuesto

Hora	Frecuencias actuales	Distancia (km)	Frecuencias recomendadas	Distancia (km)	Ahorro frecuencias	Ahorro en distancia (km)
6	9	30.7	7	24	2	7
7	10	33.6	7	25	3	9
8	8	26.8	7	25	1	2
9	12	40.3	8	28.8	4	11
10	10	33.6	8	26.8	2	7
11	11	36.4	10	33.6	1	3
12	13	44.1	12	41.3	1	3
13	8	26.8	4	13.4	4	13
14	9	30.7	7	25	2	6
15	10	32.6	8	26.8	2	6
16	8	26.8	7	24	1	3
17	10	33.6	6	20.1	4	13
18	10	33.6	8	26.8	2	7
19	8	26.8	6	20.1	2	7
20	6	21.1	3	10.6	3	11
21	7	24	4	13.4	3	11
Total	149	501.5	112	384.7	37	117

A partir de estos resultados se valida el diseño propuesto puesto que genera un modelo de oferta donde se asignan los recursos según la mejor utilización posible. Cabe destacar que la disminución de frecuencias tiene dos repercusiones económicas positivas para la OSG, la primera está relacionada con el ahorro en distancia recorrida (esto reduce los costos variables del autobús relacionados con el consumo de combustible y mantenimiento mecánico por desgaste de las unidades). La segunda se debe a la disminución de las horas extraordinarias de trabajo de los choferes. En el apéndice 10 se presenta el detalle de la unidad de autobús y chofer asignado a cada una de las frecuencias.

Otro de los beneficios del modelo se refleja en el ámbito ambiental, al cuantificar la disminución de los kg de CO<sub>2</sub> equivalente emitidos. Para esto la herramienta permite el cálculo de factores críticos de interés para la OSG, como los costos variables del servicio y los kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente generados por hora. Para validar su funcionalidad se calcula el costo variable (costo del combustible y costo de mantenimiento), de tal forma que se comprueba que actualmente se está incurriendo en un costo total de ₡147 194,54 diarios.

En las tablas 27 y 28 se presenta el detalle del costo del servicio por hora según la oferta actual y el modelo propuesto. Al analizar estos resultados se deduce que la implementación de la herramienta de asignación es exitosa, ya que se obtiene un ahorro de ₡113 433 diarios, es decir, una disminución en un 23% del costo total variable del servicio actual.

Teniendo en consideración lo anterior, la herramienta cuantifica el ahorro mensual que se tiene en el costo variable del servicio. Al observar el resultado del costo con los roles actuales, utilizando la herramienta de

asignación, se tiene un ahorro mensual del costo variable de chofer de ₡1.086.360. Lo que busca este modelo es generar una reducción de horas extra, lo cual a nivel de política de OSG es uno de los impactos más grandes que se desea buscar, según menciona el director Ing. Dimarco.

Tabla 27. Comparación de costos variables de oferta actual y modelo propuesto

Hora	<u>Actual</u>			<u>Propuesto</u>		
	Costo variable de autobus	Costo variable de chofer	Costo total	Costo variable de autobus	Costo variable de chofer	Costo total
6	₡ 9.982,31	₡ 17.021,99	₡ 27.004,30	₡ 5.206,06	₡ 9.751,94	₡ 14.958,00
7	₡ 10.720,71	₡ 17.021,99	₡ 27.742,69	₡ 4.708,05	₡ 12.507,59	₡ 17.215,64
8	₡ 8.753,81	₡ 17.021,99	₡ 25.775,79	₡ 5.594,94	₡ 16.998,77	₡ 22.593,71
9	₡ 12.687,60	₡ 17.021,99	₡ 29.709,59	₡ 8.014,22	₡ 20.132,47	₡ 28.146,69
10	₡ 10.720,71	₡ 17.021,99	₡ 27.742,69	₡ 6.190,17	₡ 20.132,47	₡ 26.322,64
11	₡ 11.221,05	₡ 26.912,03	₡ 38.133,08	₡ 6.013,80	₡ 20.132,47	₡ 26.146,27
12	₡ 12.999,44	₡ 26.912,03	₡ 39.911,47	₡ 10.239,22	₡ 20.132,47	₡ 30.371,69
13	₡ 7.897,81	₡ 22.420,85	₡ 30.318,66	₡ 5.250,16	₡ 12.682,62	₡ 17.932,78
14	₡ 8.464,35	₡ 17.209,28	₡ 25.673,62	₡ 4.432,54	₡ 21.965,84	₡ 26.398,38
15	₡ 8.627,23	₡ 25.813,91	₡ 34.441,15	₡ 6.963,69	₡ 23.343,67	₡ 30.307,36
16	₡ 7.370,37	₡ 25.813,91	₡ 33.184,28	₡ 5.206,06	₡ 23.343,67	₡ 28.549,72
17	₡ 9.124,74	₡ 25.813,91	₡ 34.938,66	₡ 4.708,05	₡ 23.343,67	₡ 28.051,72
18	₡ 9.124,74	₡ 25.813,91	₡ 34.938,66	₡ 6.013,80	₡ 19.210,19	₡ 25.223,99
19	₡ 7.321,20	₡ 25.813,91	₡ 33.135,11	₡ 4.489,02	₡ 19.210,19	₡ 23.699,21
20	₡ 5.738,81	₡ 25.813,91	₡ 31.552,73	₡ 2.199,15	₡ 15.076,72	₡ 17.275,87
21	₡ 6.439,65	₡ 10.978,85	₡ 17.418,50	₡ 2.851,27	₡ 12.142,94	₡ 14.994,21
Total	₡ 147.194,54	₡ 344.426,42	₡ 491.620,96	₡ 88.080	₡ 290.108	₡ 378.188

Tabla 28. Resultado de la validación en término del ahorro económico que representa para la OSG

Costo variable actual	₡ 491.620,96
Costo variable propuesto	₡ 378.187,88
Ahorro diario	₡ 113.433,08
Porcentual	23%

Además para el otro criterio de interés, se tiene el resultado de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. La oferta actual de servicio está generando diariamente un aproximado de 698 kg de CO<sub>2</sub> equivalente, mientras que con el modelo propuesto esta cantidad disminuye a 410 kg de CO<sub>2</sub> equivalente, es decir una reducción de 41%. Lo anterior es debido a que el modelo disminuye la cantidad de kilómetros generados en las rutas, por lo que hay menos dispensación de emisiones al ambiente. Este resultado es muy significativo, ya que demuestra que el diseño propuesto no solo genera un beneficio económico a la OSG sino también a la sociedad y al medio ambiente.

Tabla 29 Comparación de emisiones de kg de CO2 equivalente de la oferta actual y el modelo propuesto

	<b>Actual</b>	<b>Propuesto</b>
Hora	Kilogramos de CO2	Kilogramos de CO2
6	47	24
7	50	22
8	41	26
9	59	37
10	50	29
11	52	28
12	61	47
13	37	24
14	40	21
15	47	32
16	35	24
17	43	22
18	43	28
19	35	21
20	27	10
21	31	13
Total	698	410
<b>Porcentual</b>		41%
<b>Ahorro diario</b>		289

Otro de los aspectos que validar, según la etapa de diseño, es conocer mediante la herramienta cuál es la ruta que cubre la mayor cantidad de demanda en el menor tiempo posible. Para garantizar su cumplimiento se realiza el ingreso de datos y se analizan las distancias de las rutas con sus respectivas velocidades para obtener el tiempo en ruta tabla 30. Con esto, la herramienta realiza una priorización con base en el resultado del indicador IDT, de cuántas personas pueden transportarse por minuto en esa ruta. El ingreso y los resultados según la herramienta se muestran en el segundo cuadro (Tabla 30).

Tabla 30. Ingreso en la herramienta de las distancias por rutas y tramos

ID Paradas	Distancias (km)						
	Rutas F1-F2	Distancia Total	Finca 1	Tramo Super Tacho	Tramo Salida Sociales	Finca 3	Finca 2
1		3,35	0,99	0,47	0,13	0,71	1,06
2		3,96	1,60	0,47	0,13	0,71	1,06

Tabla 31. Resultados de la validación de la herramienta en términos de la selección de la mejor ruta

6:00:00 AM	Demanda Total	Tiempo en ruta (min)	Tiempo de parada (min)	Tiempo total (min)	D/T (personas/min)	kgCO2	Razon general (KgCO2*min/personas)	Mejor
1	89	15.58	3.73	24.31	3.68	8.92	2.42	1.00
2	104	18.46	4.33	27.79	3.74	10.56	2.82	

Con estos resultados, la herramienta demuestra que a pesar de que la segunda ruta transporta más personas, no es la mejor debido a que genera mayor cantidad de kg CO<sub>2</sub> equivalente, es decir que a pesar de que una ruta ofrezca una mejor opción en cuanto a cobertura de la demanda, en términos del indicador ambiental, no es la adecuada y por ello no es seleccionada. Esto comprueba que la herramienta selecciona la ruta que presenta la menor proporción kg CO<sub>2</sub> equivalente \*min/persona; en otras palabras, selecciona la ruta que sea más rápida, con un menor impacto ambiental y que transporte a más pasajeros.

Esto garantiza y valida que la herramienta no solo contempla la selección de la ruta en términos de eficiencia operativa, sino que contempla factores ambientales que apoyan la selección para que se realice de manera que beneficie tanto a la organización como a la sociedad.

Por otra parte, los recursos claves para la prestación del servicio consisten tanto en los autobuses como en los choferes y ambos significan un costo mensual para la OSG, por lo cual es necesario buscar una asignación de ambos de forma que se mantenga o disminuya el costo. Por esta razón, la última etapa de aplicación de la herramienta consiste en determinar los roles de trabajo y la asignación de los recursos. Para lograrlo, el modelo es capaz de asignar los recursos tanto de unidades de autobús como de choferes, aplicando programación lineal por medio de método Simplex, donde la función objetivo se relaciona con la disminución en el costo del servicio. Para validar la salida final de esta herramienta, se ingresan las entradas correspondientes indicadas detalladamente en la etapa de diseño, y se corre la programación lineal. Esta genera un total de seis roles con frecuencias y horas de salida diferentes, se logra así generar una asignación ajustada a un adecuado aprovechamiento de los recursos. La creación de los nuevos roles se muestra en el apéndice 10.

Es importante que una de las limitaciones de la herramienta de asignación de roles es el establecimiento de las horas de descanso del chofer así como de la hora de almuerzo. Debido a que la herramienta se diseña en un libro de cálculo es difícil lograr su automatización. Por esto, para definir dichas horas se generan un cuadro resumen y una hoja detallada con todos los tiempos libres con los que cuenta el chofer entre cada horario establecido del servicio de transporte, con el fin de que el analista utilice este módulo para asignar de manera manual los tiempos de descanso y almuerzo. La tabla 32 muestra el detalle de cada una de las salidas que debe realizar un rol en específico, así como la llegada al destino y la diferencia en minutos con la próxima salida, de este modo es posible conocer el tiempo libre con el que dispone el chofer, de modo que se facilite la asignación de las horas de descanso.

Tabla 32. Detalle de tiempos libres de los choferes según bloque horario.

Rol	Sentido Ruta	Salida de F1	Salida de F3	Llegada destino	Próxima salida	Salida F1	Salida F3	Tiempo libre (min)
3	F1-F3	6:15		6:44	F3-F1		7:30	46
3	F3-F1		7:30	7:49	F1-F3	7:60		11
3	F1-F3	7:60		8:28	F1-F3	9:00		13
3	F1-F3	9:00		9:33	F3-F1		10:00	27
3	F3-F1		10:00	10:23	F1-F3	10:30		7
3	F1-F3	10:30		10:54	F3-F1		11:00	6
3	F3-F1		11:00	11:27	F1-F3	11:30		3
3	F1-F3	11:30		11:60	F3-F1		11:60	0
3	F3-F1		11:60	12:27	F1-F3	12:30		3
3	F1-F3	12:30		13:04	F1-F3	13:30		2
3	F1-F3	13:30		13:51	F1-F3	14:15		2
3	F1-F3	14:15		14:44	F1-F3	15:15		10
3	F1-F3	15:15		15:41	F3-F1		15:45	4
3	F3-F1		15:45	16:11	F1-F3	16:15		4
3	F1-F3	16:15		16:43	F3-F1		17:20	37
3	F3-F1		17:20	17:42	F1-F3	18:00		18
3	F1-F3	18:00		18:28	F3-F1		18:30	2
3	F3-F1		18:30	18:54	F1-F3	19:00		6
3	F1-F3	19:00		19:25	F3-F1		19:40	15
3	F3-F1		19:40	20:01				

El resumen de todos los tiempos libres por cada uno de los roles se observa en la tabla 33, en la cual se tomó la sumatoria de los minutos en que el rol queda desocupado desde una hora específica. Por ejemplo en el rol uno entre las 6:00 a.m. y 7:00 a.m., el chofer asignado tiene 22 minutos sin mover el autobús. Estos resultados ayudan a ajustar el modelo “en crudo” luego de que se realizan las asignaciones con nuevos de roles (Apéndice 10). Se debe ajustar de forma manual y analizar aquellas asignaciones donde se pueda trasladar un bus a un rol que no está trabajando en ese momento, para que los choferes puedan tener sus horas de almuerzo y descanso, cumpliendo así con la distribución de sus horas habituales.

Tabla 33. Resumen de tiempos libres por rol

Hora	Roles 1	Roles 2	Roles 3	Roles 4	Roles 5	Roles 6	Bus 7
06:00	22	7	46	8	0	0	0
07:00	17	43	25	13	13	0	0
08:00	13	13	0	14	29	1	0
09:00	12	0	27	23	3	137	98
10:00	12	12	12	7	57	0	0
11:00	3	3	6	8	0	0	0
12:00	5	36	2	85	61	15	16
13:00	19	0	2	0	0	0	0
14:00	11	10	10	1	0	0	0
15:00	4	8	8	13	68	0	0
16:00	30	10	37	30	0	0	0
17:00	18	31	18	13	0	0	0
18:00	8	13	8	13	0	0	0
19:00	23	19	15	15	0	0	0
20:00	8	22	0	0	0	0	0
21:00	12	9	0	0	0	0	0

#### 4.1.4 Herramientas 4: Monitoreo y control, cuadro de mando integral (CMI)

Como indica (Kaplan R. S., 2010), el CMI le permite a la organización obtener una visibilidad global y estratégica de los indicadores que afectan el giro del negocio, de modo que su lectura facilita el tomar decisiones basadas en datos reales capturados en un momento dado. El CMI es realizado utilizando el *software* Tableau y se puede observar en el apéndice 11; la validación de este cuadro se realizó discutiendo con la Dirección de la OSG cada uno de estos indicadores, para definir su cálculo y su beneficio. Por otra parte, al realizar la capacitación sobre el uso de las herramientas propuestas, se evidenció que la organización cuenta con el *software* y el analista que recibe la capacitación tiene el conocimiento requerido para realizar la actualización de los datos. Los beneficios del CMI están orientados a la visibilidad de las variables, por esto se dificulta cuantificarlos en términos de dinero. El beneficio se expone en la tabla 34 de manera cualitativa.

Tabla 34. Beneficios obtenidos para cada indicador del CMI

Perspectiva	Indicador	Beneficios
Perspectiva financiera	Costo global del transporte	La medición del costo global de la prestación del servicio hace posible a la OSG la visibilidad del impacto en dinero que representa el servicio. Este indicador se compone de costos fijos y variables atribuibles al autobús así como al gasto por pago de choferes. Al agregar una base de datos actualizada de costos se puede actualizar por rango de fechas.
	Costo de transporte por autobús	La medición del costo por autobús permite a la OSG contar con una visibilidad amplia sobre el sistema de transporte, de modo que puede analizar cuáles buses son los causantes de mayores costos. Este indicador depende de la cantidad de kilómetros recorridos por autobús y el costo variable calculado según valores históricos
	Costo por pasajero	Este indicador permite cuantificar el impacto en costo por cada pasajero según la configuración de rutas, frecuencias y roles con los que se cuenta, de manera que se visualiza las horas en las cuales es más o menos costoso brindar el servicio a cada pasajero.
Perspectiva del cliente	Porcentaje de cumplimiento de horario	Debido al compromiso de la OSG hacia al usuario, expuesto en la política de prestación del servicio, la OSG debe garantizar el cumplimiento con el horario establecido. Este indicador permite visualizar el porcentaje de cumplimiento por hora, autobús y hasta chofer, identificando las posibles causas de incumplimiento.
	Indicador de atención de usuarios	Este indicador permite comparar la cantidad de usuarios atendidos en dos diferentes periodos. Brinda a la OSG la capacidad de visualizar crecimiento o decrecimiento en la cantidad de los usuarios que están siendo atendidos en periodos distintos. Para obtener este indicador se requiere realizar al menos dos muestreos con el dispositivo de contador de pasajeros.
	Porcentaje de atención por paradas	Este indicador permite cuantificar el nivel de servicio por parada, lo que le brinda a la OSG la posibilidad de observar los rangos horarios en los que no se está brindando el servicio a usuarios que se encuentran en una determinada parada debido a la sobreutilización de la unidad.
Perspectiva del proceso interno	Tasa de generación de emisiones	Este indicador permite cuantificar el desempeño ambiental de la flotilla de transporte.
	kgCO <sub>2</sub> equivalentes generados	La cuantificación de los kilogramos de CO <sub>2</sub> equivalente permite a la OSG monitorear y comparar el desempeño en términos ambientales en los diferentes rangos horarios en los que se presta el servicio. Para contar con mayor visibilidad en rango de fecha se requiere cargar una nueva base de datos con el reporte de distancias recorridas por autobús.
	Utilización del servicio	Este indicador le permite a la OSG conocer el desempeño del sistema en términos de la cantidad de personas transportadas entre la capacidad total del autobús. Permite visibilidad de la utilización por hora, para actualizar los datos es necesario realizar nuevos muestreos con el contador de pasajeros.
	Utilización por parada	Este indicador le permite a la OSG conocer la cantidad de personas que usan el servicio según cada parada, lo cual es útil para analizar el comportamiento de los usuarios y tomar decisiones sobre pasar o no por una parada. Para actualizar



		los datos se requiere realizar un muestreo con el contador de pasajeros y actualizar el reporte de GPS.
--	--	---

Además, el CMI permite visualizar en una misma pantalla las variables principales que afectan el sistema. La herramienta Tableau permite la realización de un reporte dinámico en el cual varían las fechas, el chofer y los buses según lo que el usuario desea ver.

## **4.2. Análisis del beneficio que aportan los indicadores de éxito del proyecto**

### **4.2.1 Cuantificación de los indicadores de éxito**

Los indicadores de éxito establecidos en este proyecto son el costo por pasajero y la precisión en la estimación de la oferta. El primero tiene como objeto determinar el comportamiento del costo del servicio, de forma que se pueda calcular el beneficio económico para la organización al implementar las herramientas de mejora diseñadas. El segundo tiene como propósito cuantificar la razón entre la oferta y la demanda, para conocer la brecha que existe entre ambas, de tal manera que se logre un mayor control de la forma en que se gestionan los recursos en la OSG. Se espera que el costo por pasajero disminuya y que la precisión de la oferta se acerque al 100%, para generarle un ahorro a la organización y garantizarle el mejor aprovechamiento de los recursos según la demanda del servicio. A continuación se presenta el beneficio que se obtiene al aplicar cada uno de los indicadores de éxito, con el fin de validar el cumplimiento del objetivo general del proyecto.

#### **4.2.1.1 Costo por pasajero**

El costo del servicio se determina de acuerdo a la programación de los roles de trabajo (frecuencias y horarios) y la asignación de los recursos (autobuses y choferes), por esta razón este difiere cada hora. Se realiza una comparación de los resultados del costo por pasajero según la oferta que actualmente brinda la OSG y el modelo de oferta propuesto con la aplicación de las herramientas, en un mismo periodo y a partir de la misma demanda estimada.

En la tabla 35 se observan los resultados para cada escenario y el ahorro generado al aplicar las herramientas. En todos los horarios se refleja una disminución en el costo por pasajero entre ¢2 y ¢71 diarios según la hora que corresponda. Este resultado es positivo ya que demuestra que se genera un ahorro importante al implementar el modelo propuesto, pues se busca aprovechar al máximo los recursos económicos disponibles.

Tabla 35. Comparación costo por pasajero según oferta actual y según modelo propuesto

Hora	Demanda Estimada	Actual		Propuesto		Ahorro	Porcentual
		Costo total	Costo por pasajero	Costo total	Costo por pasajero		
6	428	₡ 27.004	₡ 63	₡ 14.958	₡ 35	₡ 28	45%
7	440	₡ 27.743	₡ 63	₡ 17.216	₡ 39	₡ 24	38%
8	464	₡ 25.776	₡ 56	₡ 22.594	₡ 49	₡ 7	12%
9	602	₡ 29.710	₡ 49	₡ 28.147	₡ 47	₡ 3	5%
10	520	₡ 27.743	₡ 53	₡ 26.323	₡ 51	₡ 3	5%
11	766	₡ 38.133	₡ 50	₡ 26.146	₡ 34	₡ 16	31%
12	888	₡ 39.911	₡ 45	₡ 30.372	₡ 34	₡ 11	24%
13	254	₡ 30.319	₡ 119	₡ 17.933	₡ 71	₡ 49	41%
14	477	₡ 25.674	₡ 54	₡ 26.398	₡ 55	-₡ 2	-3%
15	572	₡ 34.441	₡ 60	₡ 30.307	₡ 53	₡ 7	12%
16	512	₡ 33.184	₡ 65	₡ 28.550	₡ 56	₡ 9	14%
17	377	₡ 34.939	₡ 93	₡ 28.052	₡ 74	₡ 18	20%
18	575	₡ 34.939	₡ 61	₡ 25.224	₡ 44	₡ 17	28%
19	405	₡ 33.135	₡ 82	₡ 23.699	₡ 59	₡ 23	28%
20	200	₡ 31.553	₡ 158	₡ 17.276	₡ 86	₡ 71	45%
21	210	₡ 17.418	₡ 83	₡ 14.994	₡ 71	₡ 12	14%
<b>Total</b>	7.690	₡ 491.621	₡ 64	₡ 378.188	₡ 49	₡ 15	23%

Cabe mencionar que se utiliza la siguiente ecuación, donde la cantidad de usuarios transportados se mantiene constante en ambos casos, es decir, la demanda de 7690 pasajeros es constante y lo que presenta variación es el costo del transporte, influenciado por la reducción en los costos de combustible, mantenimiento y horas extra de choferes, los cuales son impactados por la nueva programación de frecuencias y asignación de roles.

$$\text{Costo por pasajero} = \frac{\text{Costo variable del transporte}}{\text{Cantidad de usuarios transportados}}$$

En la tabla 35, se presenta además el resultado del cálculo del costo por pasajero por hora en promedio para un día, donde se observa una disminución de un 23% ya que dicho costo pasa de ₡64 a ₡51, lo que se traduce en un promedio general de ahorro de ₡15 por pasajero. A partir de estos resultados, se valida el diseño propuesto como positivo para la reducción de costos y la mejora en la eficiencia del uso de los recursos.

#### 4.2.1.2 Precisión de la estimación de la oferta

Este indicador refleja la brecha entre la oferta y la demanda. Para aprovechar al máximo los recursos, la herramienta realiza un ajuste en las frecuencias del servicio, para aplicar la metodología de persecución de la demanda. Al analizar la Figura 76, se evidencia que el modelo de oferta generada por la herramienta tiene un comportamiento totalmente ajustado a la demanda, lo que supone un mejor aprovechamiento de los recursos, en comparación con la oferta actual. Por ejemplo, para el horario de la 1:00 p.m., se tiene una demanda de 254 pasajeros y se brinda una oferta de 640. Con el resultado de las nuevas asignaciones se tiene una oferta de 320; esto implica que la precisión entre oferta y demanda es mayor, pues se pasa de 252% a 126%, de esta manera se infiere que el modelo propuesto persigue la demanda y por ende, asegura una mejor gestión de sus recursos.

Hora	Demanda estimada	Actual		Propuesto	
		Oferta Brindada	Precisión de la oferta	Oferta Brindada	Precisión de la oferta
6	428	720	168%	560	131%
7	440	800	182%	560	127%
8	464	640	138%	560	121%
9	602	960	159%	640	106%
10	520	800	154%	640	123%
11	766	880	115%	800	104%
12	888	1,040	117%	960	108%
13	254	640	252%	320	126%
14	477	720	151%	560	117%
15	572	800	140%	640	112%
16	512	640	125%	560	109%
17	377	800	212%	480	127%
18	575	800	139%	640	111%
19	405	640	158%	480	119%
20	200	480	240%	240	120%
21	210	560	267%	320	152%
<b>Total</b>	<b>7,690</b>	<b>11,920</b>	<b>170%</b>	<b>8,960</b>	<b>120%</b>

Figura 76. Comparación en la precisión de la oferta según modelo actual e indicador

El siguiente gráfico muestra que la oferta propuesta siempre sobrepasa la demanda, de tal forma que se asegura que, en todos los horarios, se brinde siempre el servicio para sus usuarios. Así se valida este indicador, ya que genera un resultado positivo, pues la oferta actual cuenta con una precisión de 170%, mientras que al aplicar las herramientas se obtiene un 120%; esto indica que la brecha es únicamente de un 20%, en comparación a la brecha actual que se aproxima a un 70%, representando una mejora del 50% del modelo actual.

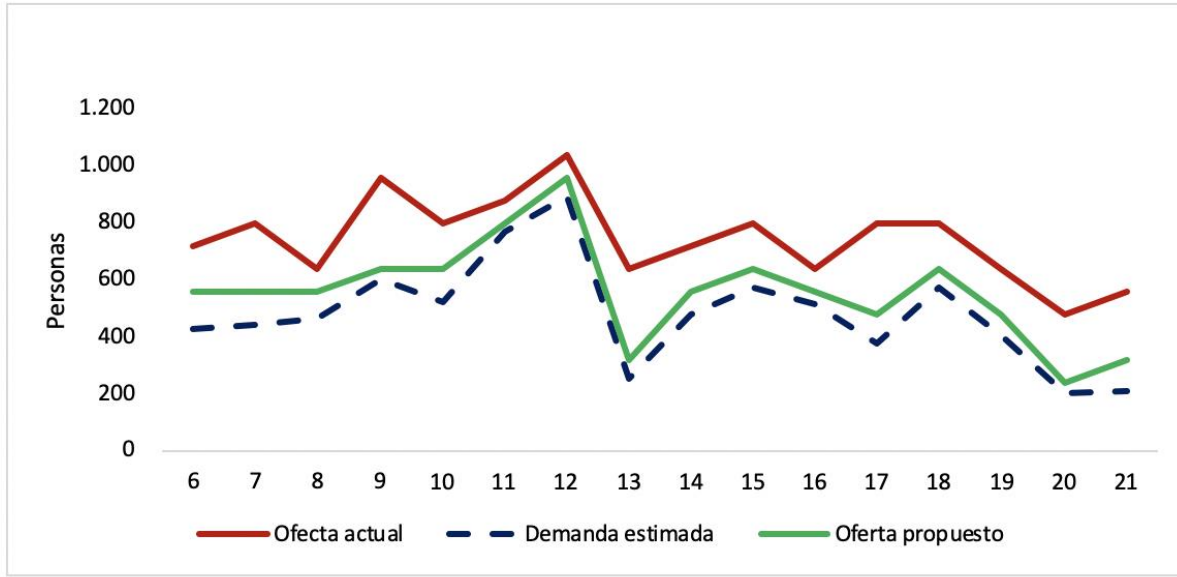


Figura 77. Precisión de la oferta vs. demanda

Además, este indicador impacta de manera directa el comportamiento de la utilización del servicio, es decir que al obtener un mejor ajuste entre la oferta y la demanda, se logra una mayor utilización del servicio; esto asegura que este nuevo modelo está realizando una adecuada planificación de los recursos y, por lo tanto, impacta otras variables que influyen en la operación del servicio. Se observa que, a lo largo del día, la utilización presenta mejoras; pasa de un promedio de 63% a un 84%. De esta forma se comprueban las mejoras en el servicio, y que contribuye a un mejor aprovechamiento de los recursos, generando directamente beneficios a la organización.

Hora	Utilización actual	Utilización propuesta
6	59%	76%
7	55%	79%
8	73%	83%
9	63%	94%
10	65%	81%
11	87%	96%
12	85%	93%
13	40%	79%
14	66%	85%
15	72%	89%
16	80%	91%
17	47%	79%
18	72%	90%
19	63%	84%
20	42%	83%
21	38%	66%
Totales	63%	84%

Figura 78. Comparación de la utilización del servicio actual vs. del propuesto

El beneficio percibido por la OSG al implementar el diseño propuesto se puede medir de forma cualitativa y cuantitativa. En lo que respecta a la evaluación cualitativa se demuestra que las herramientas se encuentran alineadas con la política de nivel de servicio. Además, apoyan el proceso de monitoreo y control de indicadores clave como la puntualidad, la atención de paradas y la ocupación de autobuses, entre otros. En lo que respecta al beneficio cuantitativo, este se mide con los indicadores de éxito establecidos en este proyecto, costo por pasajero y la precisión de la estimación de la oferta.

### ***Conclusiones de la fase de validación***

El desarrollo del diseño propuesto asegura el éxito de la mejora en los indicadores seleccionados, generando valor a la OSG. De esta manera, las oportunidades de mejora detectadas a lo largo del diagnóstico, son cubiertas de forma integral con este diseño, desde la parte estratégica hasta la gestión operativa del servicio. Además, los procesos de planificación, operación, control y monitoreo propuestos aseguran que la información fluya de forma ordenada, clara y limpia, para el registro adecuado según la herramienta.

A partir de la creación del sistema contador de pasajeros, se logra cuantificar los datos de la demanda y se evidencia que los resultados tienen un error menor a 10%, lo cual se considera aceptable por parte de la OSG. Este sistema permite realizar en un futuro un estudio estadístico de la demanda, a un menor costo, y con ello mantener actualizada la información para la planificación del servicio.

En cuanto a la validación de la herramienta de análisis de la demanda, se logra cuantificar el dato de la demanda estimada y se obtiene una mejora del 50% en la precisión entre oferta demanda. Además, con el uso de la herramienta de asignación, la OSG puede llegar a experimentar una reducción de unos 117 km diarios y un total de 37 frecuencias diarias.

Con el uso de la herramienta de asignación también se logra reducir el costo por pasajero en un 28%, ya que este pasa de ₡64 a ₡49, lo que se traduce en un promedio general de ahorro de ₡15 por pasajero. A partir de esto se valida el resultado efectivo del diseño propuesto para la reducción de costos y la mejora en la eficiencia del uso de los recursos. Por otro lado, el indicador ambiental kg CO<sub>2</sub> equivalente mejora en un 50% del valor actual, y esto se debe a la selección adecuada de las rutas según los criterios mencionados.

A partir de los resultados anteriores se valida el diseño de la herramienta propuesta puesto que cumple con los objetivos del proyecto a partir del incremento en el uso y aprovechamiento de los recursos disponibles de la OSG. De igual forma se proponen en el CMI otros indicadores operativos que es de interés evaluar, los cuales pueden ser visualizados de forma sencilla y de fácil acceso en la herramienta Tableau, para la adecuada toma de decisiones dentro de la OSG. Por lo que a esta última etapa de validación respecta, se comprueba que el diseño de las propuestas y su implementación solucionan el problema identificado y logran satisfacer las necesidades de la organización, potenciando la gestión de servicio del bus interno, en todas sus áreas.

### *Conclusiones generales*

Se determinó que la demanda del sistema de bus interno de la UCR es multicausal, lo que dificulta su medición y debido a su variación semestral, se requiere un método de estimación variable en el tiempo y a bajo costo que le permita a la OSG realizar las mediciones cuando sea necesario. Por otra parte, se evidenció la insatisfacción del usuario, principalmente, debido a la cobertura insuficiente de la demanda.

Al analizar alternativas para la prestación del servicio, se concluye que la implementación de nuevos medios de transporte no es factible a corto plazo debido a la inversión inicial y a la limitación de tiempo del presente proyecto; sin embargo, se recomienda la mejora de las aceras y conexiones entre las diferentes fincas con el fin de que el usuario se pueda desplazar de manera segura a pie dentro del campus.

Con el estudio de escenarios de demanda respaldado además de la investigación en PRODUS, se concluye que el servicio cuenta con horas pico y horas valle, por estas razones se determina que el sistema debe ser flexible, de manera que se persiga la demanda según se requiera, evitando la subutilización del transporte.

Se logra diseñar un dispositivo de medición de pasajeros con un error menor al 10%, que le permite a la OSG conocer la cobertura de la demanda real en cualquier momento dado; este dispositivo mide la cantidad de personas que suben y bajan de la unidad; utilizando información del GPS también es posible determinar la parada específica.

Al utilizar conceptos de programación lineal, se crea una herramienta de asignación de recursos que permite una reducción del costo de pasajero por hora de un 28%; además, con la incorporación de un algoritmo de persecución de la demanda es posible acercar la oferta a la demanda requerida por hora, logrando una precisión de 107%

Se evidencia que el diseño logra solucionar el problema planteado de la inexistencia de una política de nivel de servicio y falta de información, que dificulta el monitoreo y control de las variables que influyen en el transporte, lo que no permite el mejor aprovechamiento de los recursos. Al validar el diseño de un sistema para la gestión de la oferta que incorpora el dispositivo Data-Mov y la herramienta de asignación de recursos, junto con el monitoreo y control mediante Tableau, es posible afirmar que se soluciona el problema planteado inicialmente, cumpliendo además con los indicadores de éxito.

### ***Recomendaciones finales***

Debido a que uno de los puntos de mejora del dispositivo contador de pasajeros es la dependencia energética, se recomienda alimentarlo directamente desde la fuente eléctrica del autobús. Esta modificación se puede realizar debido a que el dispositivo cuenta con una entrada tipo Jack que recibe de 7 a 12 voltios.

Para conocer el impacto en la satisfacción del usuario debido a los cambios propuestos en el sistema de transporte, se debe realizar una medición de la calidad del servicio al menos 6 meses después de la implementación de la política de calidad; esto debido a que los cambios en la percepción del usuario suelen observarse luego de este tiempo, razón por la que no se contempla en la investigación.

Es recomendable realizar el estudio de cobertura de demanda al menos cada inicio de ciclo lectivo, debido a que el comportamiento de los usuarios puede cambiar por diferentes causas (asignación de clases en edificios, lugares de alimentación y otras), de esta manera se realiza un diseño de roles acorde a las necesidades del ciclo actual.

Con el fin de mejorar la asignación de frecuencias, se recomienda analizar el comportamiento de la demanda en cada hora específica, de este modo se podría designar los roles según corresponda, y no distribuidos equitativamente dentro de la hora como lo realiza el modelo actual.

Se recomienda considerar la ruta que se muestra en la figura 79, la cual rodea el edificio de la Facultad de Ingeniería y consolida las paradas de Ingeniería y Ciencias Sociales frente a la plaza de la Autonomía. Este cambio significa un ahorro de 300 m por recorrido, que considerando 112 frecuencias al día son 33.6 km menos, con un costo por kilómetro por autobús promedio de 322.7 colones. El impacto de este cambio es de 216 000 colones mensuales de ahorro.



*Figura 79. Ruta recomendada*

## Referencias

- Abril, K. (2019). Método de programación lineal para maximizar los ingresos de una empresa del sistema integrado de transporte público en la ciudad de Bogotá. *Unimilitar*.
- Acuña, R. (2016). *Guía de diseño y evaluación de ciclovías para Costa Rica*. San Jose: LANAMME.
- Aguilar, S. (2005). *Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud*. México: Secretaría de Salud Estado de Tabasco.
- Alcántara, E. (2010). *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*. Obtenido de Banco de Desarrollo de América Latina: [https://www.caf.com/media/3155/An%C3%A1lisis\\_movilidad\\_urbana.pdf](https://www.caf.com/media/3155/An%C3%A1lisis_movilidad_urbana.pdf)
- Arévalo, A. (2015). *Plan de movilidad*. Chile.
- Bedoya, E. (24 de Septiembre de 2012). Creación de la promesa de servicio al cliente. *Logística y Cadenas de Abastecimiento*.
- Berrío, D., & Castellón, J. (2008). *Costos para gerenciar organizaciones manufactureras, comerciales y de servicios*. Barranquilla: Ediciones Uninorte.
- Castillo, E. (16 de Octubre de 2018). Proceso de planificación del servicio de bus interno de la OSG. (C. Ariño, L. Jiménez, & G. Rivera, Entrevistadores)
- Centro de colaboración cívica. (2014). *Manual de participación en políticas de movilidad y desarrollo urbano*. Mexico: ITDP.
- Cordoba, A. G. (29 de Mayo de 2018). Gestion ambiental en la OSG. (G. Rivera, & C. A., Entrevistadores)
- Córdoba, J. A. (2015). Análisis de movilidad entre las fincas de la Sede Rodrigo Facio para mejorar la seguridad vial de peatones y ciclista.
- Costa, C. D. (2003). Cuadro de mando integral (Balanced Scorecard). España: Laboratorio de Técnicas de Gestión.
- CTP. (2016). *REGLAMENTO A LAS DISPOSICIONES SOBRE TRANSPORTE PÚBLICO EN RUTAS REGULARES DE LA LEY DE TRÁNSITO POR VÍAS TERRESTRES Y SEGURIDAD VIAL No 9028*. San José, Costa Rica: Ministerio de Obras Publicas y Transporte.
- CU. (24 de octubre de 1997). Reglamento de circulación y estacionamiento de vehículos en la Universidad de Costa Rica. *Consejo Universitario*.
- Cuadra, B. (2 de Setiembre de 2019). Sistema de energía eléctrica para dispositivo contador por medio de batería de autobús. (C. Ariño, L. Jiménez, & G. Rivera, Entrevistadores)
- DFG. (2006). *Manual de Biciletas*.
- Feoli, I. (10 de Junio de 2015). *Avanza proyecto para mejorar accesibilidad en el campus de la UCR*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2018, de <https://semanariouniversidad.com/universitarias/avanza-proyecto-para-mejorar-accesibilidad-en-el-campus-de-la-ucr/>
- Gaber, & Hoel. (2005). *Ingeniería de Transito y Carreteras*. Thomson.
- Goodall. (2017). *Movility As a Service*.
- Hemangi, B., & Nikhita, K. (2016). People counting system using Raspberry PI with Opencv. *International Journal for Research in Engineering Application & Management* .
- Hernandez, H. (2017). *Caracterización de la movilidad en bicicleta en el Campus Universitario Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica* . CostaRica.
- Hillier, F. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones*. Mexico: McGraw-Hill.
- Jiménez, F., & Espinoza, C. L. (2007). *Costos industriales*. Costa Rica: Tecnológico de Cost Rica.
- Kaplan, N. (1996). *Cuadro de Mando Integral*. Estados Unidos: Harvard Business Review.



- Kaplan, R. S. (2010). *Conceptual Foundations of the Balance Scorecard*. Harvard Business School, Harvard University. Elsevier.
- Koepff, J. (2015). El Transporte Público en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica.
- Mauttone. (2005). *Optimizaciòn de recorridos y frecuencias en sistemas de transporte público urbano colectivo*. Uruguay: Universidad de la República.
- Metropolitano. (2017). Servicios Complementarios Tecnológicos.
- Microsonic. (2018). *Microsonic*. Obtenido de Tecnología ultrasónica: <https://www.microsonic.de/es/suporte/ultrasonic-tecnolog%C3%ADa/principio.htm>
- Ministerio de Ambiente y Energía . (2015). Plan Nacional de Energía 2015-2030. Sanjose.
- Miralles-Guasch. (2002). *Cuidad y trasporte : El binomio perfecto*. Barcelona.
- Monge, J. A. (2011). *Planificación del transporte*. San José: Lanamme.
- OEPI. (octubre de 2018). *UCR en Cifras*. Recuperado el 03 de noviembre de 2018, de <https://www.ucr.ac.cr/acerca-u/ucr-en-cifras.html>
- ORI. (13 de julio de 2018). *Oficina de Registro e Información*. Obtenido de Guía de cursos y horarios II Ciclo 2018: [http://ori.ucr.ac.cr/web\\_matric/guia/guia\\_22018/srf\\_2-2018.pdf](http://ori.ucr.ac.cr/web_matric/guia/guia_22018/srf_2-2018.pdf)
- OSG. (2013). *Movilidad Plan de Ordenamiento Territorial*. San Jose: UCR.
- Posada. (2010). *Metodología para estudio de demanda de transporte público de pasajeros en zonas rurales*. Colombia: Universidad de Antioquia.
- PRODUS. (2018). Estudio de sube y baja, y punto fijo en transporte interno UCR. *UCR*.
- Público, C. d. (25 de Agosto de 2015). *Sistema Costarricense de Información Jurídica*. Obtenido de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80004&nValor3=101411&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80004&nValor3=101411&strTipM=TC)
- Quintanar, D. S. (2011). *Manual integral de movilidad ciclista para ciudades mexicanas*. México : LASSO comunicación.
- Quintero, J. (2016). En *Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. Ambiente y Desarrollo* (págs. 57-72.).
- Quintero, J. (2016). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente y Desarrollo*, 57-72.
- Recio, P. (10 de 3 de 2017). *Nacion*. Obtenido de Ciclovía entre la UCR y la Sabana comienza a tomar forma y estará lista a mitad de año: <https://www.nacion.com/el-pais/servicios/ciclovía-entre-la-ucr-y-la-sabana-comienza-a-tomar-forma-y-estara-lista-a-mitad-de-año/6H3S4CQ7WRE4LERFF4H5TCAD5I/story/>
- Reglamento del servicio de transportes, Sesión 3271-09 (Consejo Universitario 23 de Abril de 1986).
- Rizo, T. C. (21 de 04 de 2015). *Universidad de Costa Rica*. Obtenido de FEUCR pone en marcha plan piloto de préstamo de bicicletas.: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2015/04/21/feucr-pone-en-marcha-plan-piloto-de-prestamo-de-bicicletas.html>
- Salazar, G. (Septiembre de 2018). Gestion ambiental y movilidad universitaria. (G. Rivera, Entrevistador)
- Santiago\*, C. J. (2011). *ESTUDIO DE VIABILIDAD DEL SISTEMA TELEFERICO*. Puerto Rico.
- Taha, H. (2004). *Investigación de operaciones*. México: Pearson Educación.
- Tovar, A., & Mota, A. (2007). *CPIMC Un modelo de administración por procesos*. México: Panorama .
- UCR. (2012). Obtenido de Plan de mejoramiento para la movilidad y el transporte en la Ciudad Universitaria: <http://www.ucr.ac.cr/plan-mejoramiento-movilidad.html>
- UCR. (2017). *Planilla de agosto 2017*. San Jose: Universidad de Costa Rica.

Universidad de Costa Rica. (2015). *Políticas de la Universidad de Costa Rica 2016-2020 "Excelencia e Innovación con Transparencia y Equidad"*. Aprobado por el Consejo Universitario en la sesión N. 5884 del 20 de marzo del 2015.

Valencia, R. (2018). *Algoritmo de conteo de pasajeros por medio de sensores infrarrojos para el transporte público metropolitano*. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/42203/3560900255195UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vargas, P. C. (Martes de septiembre de 2018). Sistema de Gestión de Calidad . (G. Rivera, Entrevistador)

Walpole, R. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Pearson.

Zaráte, M. (2018). *CTP con nuevas herramientas para enrumbar a Costa Rica hacia el transporte inteligente*. San Jose.

## Apéndices

### Apéndice 1. Evaluación de las alternativas de transporte e infraestructura

A continuación, se observa el resumen por cada variable de selección, el peso relativo, así como clasificación final obtenida para cada alternativa de medio transporte o infraestructura obtenida del estudio de la voz del cliente, junto con las aspiraciones de la OSG.

Tabla 36. Estudio de alternativas de transporte y de infraestructura. Criterio evaluado: aceptación del usuario

Medios de transportes		
Tipo de transporte	Valor obtenido	Justificación
Bicicletas	3	Se tiene un alto grado de aceptación, en la actividad Design Thinking, la mayoría de las personas concuerdan en que es un medio de transporte alternativo ideal y amigable con el ambiente, además de que promueve el ejercicio.
Bus interno	3	Se tiene un grado alto de aceptación de este medio, en la actividad Design Thinking la mayoría de los participantes afirman utilizar este servicio, sin embargo, también resaltan molestias relacionadas con la saturación del servicio en horas de alta demanda, incumplimiento de horario, frecuencias limitadas y cambios en la cantidad de rutas.
Teleférico	2	Se tiene una aceptación parcial por parte del usuario, ya que, como forma alternativa de movilización, atrae por su contacto con el paisaje urbano. Sin embargo, hay mayor peso, en medios más comunes como bicicletas o <i>scooters</i> , evidenciado en el taller de Design Thinking y encuestas realizadas.
Bus de dos pisos	3	Se considera una aceptación alta, ya que los usuarios tienen inclinación a seguir utilizando los buses como

		medio de transporte entre fincas y el bus de dos pisos daría la posibilidad de transportar más usuarios al mismo tiempo.
Bus eléctrico	3	Se considera una aceptación alta, ya que los usuarios tienen inclinación a seguir utilizando los buses como medio de transporte entre fincas, además de que los buses eléctricos favorecen la sostenibilidad ambiental, lo cual es de interés del usuario, como fue mencionado por los participantes del taller de Design Thinking.
<i>Carpooling</i>	2	Se considera una aceptación media, ya que los participantes del taller de Design Thinking mencionan que les parece interesante aplicar esta modalidad, pero el factor de seguridad les genera una preocupación y el rechazo de la idea.
<i>Segway</i>	2	Se considera una aceptación media por el usuario, ya que es una de las alternativas propuestas por algunos de los participantes del taller de Design Thinking (propuesto por más de un participante).
<i>Hoverboard</i>	2	Se considera una aceptación media por el usuario, ya que es una de las alternativas propuestas por algunos de los participantes del taller de Design Thinking (propuesto por más de un participante).
<i>Scooter eléctrico</i>	1	Se considera una aceptación baja por el usuario, ya que es una alternativa únicamente propuesta por uno de los participantes del taller de Design Thinking.
<b>Infraestructura</b>		
<b>Tipo de transporte</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
Aceras internas	3	Se tiene una alta aceptación por parte del usuario. En la actividad realizada se indicó la importancia para la comunidad de tener infraestructura para los peatones, que se encuentre en buen estado y, sobre todo, considerando las épocas lluviosas, lo ideal sería que fueran techadas.
Puente peatonal	3	Se tiene alta aceptación por parte del usuario. En el taller, se evidencia que otras facilidades de movilización son muy deseables entre ellos.
Ciclovías	3	Se tiene una alta aceptación por parte del usuario. Su interés por las bicicletas se asocia con una infraestructura para el adecuado uso de este medio.
Subterráneo	1	Se tiene una baja aceptación por parte del usuario; no lo considera importante.
Ciclo parqueos	3	Se considera de aceptación alta. Varios participantes mencionaron que hay un déficit de ciclo parqueos.

Paradas de bus interno	3	Se considera alta debido a que los usuarios del servicio de bus interno mencionaron la necesidad de paradas techadas, seguras y bien iluminadas.
Paso peatonal del cruce del Súper Tacho	3	Se considera de alta aceptación, ya que una de las rutas para trasladarse caminando entre las fincas 1 y 2 requiere pasar por el cruce del Súper Tacho, en el cual actualmente no hay ningún paso peatonal; este cruce atenta contra la seguridad de los peatones por la dificultad de paso.
Paso peatonal frente a entrada principal de Finca 2	3	Esta alternativa cuenta con gran aceptación en la actividad de “Presente y futuro” en el taller de Design Thinking.
Reubicación de paradas de bus externo UCR	3	Esta alternativa cuenta con gran aceptación en la actividad de “Presente y futuro” en el estudio de voz del usuario.
Infraestructura tecnológica para bus interno (app)	3	Esta alternativa cuenta con gran aceptación en la actividad de “Presente y futuro” en el estudio de voz del usuario.
Aceras externas	3	Esta alternativa cuenta con gran aceptación por los participantes de la actividad de Design Thinking, quienes consideran que tiene que haber una buena infraestructura de aceras entre las fincas para poder caminar de forma segura.

Tabla 37. Estudio de alternativas de transporte y de infraestructura. Criterio evaluado: factibilidad por normativas

Medios de transportes		
Tipo de transporte	Valor	Justificación
Bicicletas	3	Se tiene una alta factibilidad de normativa; actualmente se rige por regulaciones generales que hasta el momento no se han visto restringidas.
Bus interno	3	Se tiene una alta factibilidad de normativa, debido a que se rige por el reglamento de transportes interno de la Universidad y hasta el momento no se ha visto restringido el servicio.
Teleférico	1	Se tiene una baja factibilidad de normativa, debido a que su infraestructura es aérea por lo

		que habría que solicitar autorización a la Municipalidad.
Bus de dos pisos	3	Se tiene una alta factibilidad, se tendría que cumplir la misma normativa que rige el servicio de bus interno actual, ya que no se encontró normativa específica referente a este tipo de buses.
Bus eléctrico	3	Es alta. Se tendría que cumplir la misma normativa que rige al servicio de bus interno actual ya que no se encontró normativa específica referente a este tipo de buses.
<i>Carpooling</i>	3	Alta factibilidad de implementación, ya que no existe normativa que restrinja la aplicación de esta modalidad de transporte.
<i>Segway</i>	3	Esta alternativa no cuenta con restricción de normativa para su uso en aceras.
<i>Hoverboard</i>	3	Esta alternativa no cuenta con restricción de normativa para su uso en aceras.
<i>Scooter eléctrico</i>	3	Esta alternativa no cuenta con restricción de normativa para su uso en aceras.
<b>Infraestructura</b>		
<b>Tipo de transporte</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
Aceras internas	3	Se tiene una alta factibilidad en cuanto a normativa debido a que se han construido y mejorado las aceras en Finca 1 y 2. Se tiene prevista la construcción de la acera al frente de la Lanamme, con apego a la regulación nacional; hasta el momento no se han tenido problemas durante el proceso, por lo que la construcción de otras aceras internas a futuro debe de ser factible.
Puente peatonal	3	Su alta factibilidad normativa radica en la premisa de que es un proyecto nuevo y aprobado por la OSG, y se dará inicio a su construcción, por lo que a nivel normativo, cumple con las regulaciones vigentes hasta el momento, según lo menciona el director de la OSG.
Ciclovías	3	Tiene alta factibilidad normativa debido a que actualmente se tiene una en Finca 1 y cumple con la regulación correspondiente.
Subterráneo	1	Debe apegarse fuertemente al Reglamento de Construcciones de Costa Rica y al reglamento

		de la Ley Reguladora de Estacionamientos Públicos (ley no. 7717), incluso de acuerdo a la naturaleza de su construcción no se recomienda iniciarla en estructuras ya existentes.
Cicloparqueos	3	Es alta, la OSG cuenta con la potestad para realizar construcciones de ciclo parqueos dentro de las fincas universitarias sin restricciones normativas.
Paradas de bus interno	3	Es alta, el diseño de las nuevas paradas ya considera la normativa de construcción aplicable.
Paso peatonal del cruce del Súper Tacho	1	Baja factibilidad, la normativa de la Municipalidad de Montes de Oca y el MOPT es restrictiva, ya que este paso peatonal estaría en vía pública.
Paso peatonal frente a entrada principal de Finca 2	1	Baja factibilidad, debido a que esta propuesta implica el uso del espacio físico entre las fincas, por donde pasan carreteras municipales. Se debe contar con todos los permisos municipales y del MOPT.
Reubicación de paradas de bus externo UCR	3	La UCR cuenta con la potestad de reubicar las paradas.
Infraestructura tecnológica para bus interno (app)	3	No existe limitación.
Aceras externas	1	Baja factibilidad debido a que esta propuesta implica el uso del espacio físico entre las fincas, por donde pasan carreteras municipales. Se debe contar con todos los permisos municipales y del MOPT.

Tabla 38. Estudio de alternativas de transporte y de infraestructura. Criterio evaluado: interés de la OSG

Medios de transportes		
Tipo de transporte	Valor	Justificación
Bicicletas	3	Alto interés, la Universidad ha invertido en infraestructura como los cicloparqueos ubicados en distintas partes de las fincas y en el establecimiento de la vía compartida en los alrededores de la Universidad. Se evidencia que el interés de la OSG es alto e incluso su director aspira a aumentar prácticas sanas de movilización mediante el uso de la bicicleta.

Bus interno	3	El interés por parte de la OSG es alto, porque no se quiere erradicar este medio de transporte. Si bien cierto no se desea aumentar la flotilla, hay mucho interés en mejorar el servicio que se brinda actualmente a la comunidad universitaria.
Teleférico	1	El interés es bajo, no se menciona entre sus proyectos de construcción a futuro, ni entre sus aspiraciones. Hay proyectos más maduros que se irán realizando primero.
Bus de dos pisos	1	Se considera de interés bajo, ya que en los últimos tres años la OSG ha realizado una inversión en 6 autobuses nuevos por lo que no tiene presupuestado renovar la flotilla y según lo comentado por el director de esta unidad, tampoco se busca un crecimiento de la flotilla de autobuses.
Bus eléctrico	2	Se considera de interés intermedio, ya que en los últimos tres años la OSG ha realizado una inversión en 6 autobuses nuevos por lo que no tiene presupuestado renovar la flotilla y según lo comentado por el director de esta unidad, tampoco se busca un crecimiento de la flotilla de autobuses. Sin embargo, se toma en cuenta que los buses con esta tecnología son más amigables que los que se tienen actualmente y esto se alinea con las políticas ambientales de la Universidad.
<i>Carpooling</i>	2	Se considera de interés intermedio ya que la OSG no puede ir más allá de la creación del <i>app</i> y el fomento de esta modalidad de transporte debido a que los vehículos son de propiedad de los usuarios que quieran ofrecer libremente el transporte a otros.
<i>Segway</i>	2	La OSG está anuente a incluir nuevas opciones de transporte.
<i>Hoverboard</i>	2	La OSG está anuente a incluir nuevas opciones de transporte.
<i>Scooter</i> eléctrico	2	La OSG está anuente a incluir nuevas opciones de transporte.
Infraestructura		
Tipo de transporte	Valor	Justificación

Aceras internas	3	Se han realizado varias mejoras con líneas guías para personas no videntes, e incluso se tiene previsto hacerla al frente de la LANAMME. El interés de la OSG en velar por el estado adecuado de las aceras se ve plasmado en estos proyectos.
Puente peatonal	3	Se tiene aprobado con el grupo de directores y arquitectos de la UCR y ya se considera de impacto positivo en la comunidad universitaria.
Ciclovías	3	Al haber interés por prácticas sanas dentro de la Universidad, corresponde a la OSG encargarse de infraestructura necesaria para su puesta en marcha.
Subterráneo	1	No hay interés en esta alternativa.
Cicloparqueos	3	Se considera de interés alto debido a que la OSG se propone fomentar el uso de la bicicleta como medio de transporte alternativo al bus interno y está en la disposición de generar la infraestructura requerida para los ciclo parqueos en los distintos proyectos en construcción dentro de la Sede Rodrigo Facio.
Paradas de bus interno	3	Se considera que hay un alto interés, ya que actualmente la OSG cuenta con planos aprobados para la construcción de cinco nuevas paradas de autobús con infraestructura techada, iluminación y dispositivos de seguridad (monitoreo con cámaras de seguridad) en los mismos lugares que las principales paradas existentes cuya infraestructura son toldos.
Paso peatonal del cruce del Súper Tacho	1	Se considera de bajo interés para la OSG, ya que actualmente está desarrollando el proyecto de un puente peatonal que interconecte las fincas 1 y 2, por lo que el usuario podría utilizarlo en lugar de pasar por el cruce del Súper Tacho.
Paso peatonal frente a entrada principal de Finca 2	1	En reuniones realizadas con la OSG se comentó que no existe interés en invertir en obras que no estén dentro de su alcance, y este tramo está bajo la responsabilidad de la Municipalidad de Montes de Oca.



Reubicación de paradas de bus externo UCR	3	La OSG realizó a inicios del 2017 un estudio del bus externo para evaluar la ubicación de esas paradas y tarifas; está anuente a realizar cambios.
Infraestructura tecnológica para bus interno (app)	3	Está trabajando en la integración del GPS con una aplicación donde se cuente con toda la información relevante para el transporte.
Aceras externas	1	En reuniones realizadas con la OSG se comentó que no existe interés en invertir en obras que no estén dentro de su alcance, y este tramo está bajo la responsabilidad de la Municipalidad de Montes de Oca.

Tabla 39. Estudio de alternativas de transporte y de infraestructura. Criterio evaluado: factibilidad técnica según el contexto

Medios de transportes		
Tipo de transporte	Valor	Justificación
Bicicletas	3	Es de alta factibilidad técnica debido a que las bicicletas son ideales para ser utilizadas en campus abiertos. La infraestructura para su uso ya se encuentra diseñada tanto en la vía compartida en Finca 1, como en el puente peatonal que se realizará. En cuanto a su mantenimiento por unidad, según el Manual de Bicicleta, supone un coste 30-40 veces inferior a un vehículo privado o autobús (DFG, 2006).
Bus interno	3	Es de alta factibilidad técnica, debido a que desde el 2002, la OSG tiene el servicio de bus interno y se ha evidenciado que, no ha habido problemas de índole técnica. La estructura de costos se tiene bien establecida y se ha cubierto hasta el momento.
Teleférico	1	Es de baja factibilidad técnica, debido a que usualmente como especificación se deben adquirir ciertos estudios de: Condiciones topográficas • Distancia de recorrido • Altura del recorrido • Infraestructura de sus alrededores (Santiago*, 2011). Incluso su costo estimado varía según la distancia, y el costo de mantenimiento varía en torno a lo anterior.
Bus de dos pisos	2	Se considera que hay una factibilidad técnica intermedia, puesto que un bus de este tipo

		puede contribuir para transportar más personas en las horas pico, sin embargo, en las horas de menor demanda se desaprovecharía este aumento de capacidad.
Bus eléctrico	2	Se considera de factibilidad intermedia, puesto que por políticas ambientales universitarias es de interés la disminución de la contaminación del ambiente y esto puede lograrse a partir del remplazo de los combustibles fósiles a tecnología eléctrica.
<i>Carpooling</i>	3	Se considera que hay una factibilidad técnica alta, ya que la OSG podría apoyar esta oferta de transporte por medio de la creación de una infraestructura tecnológica ( <i>app</i> ) que fomente y facilite el uso compartido del transporte privado.
<i>Segway</i>	1	Debido a las condiciones ambientales y climáticas no es adecuado el uso de medios de transporte individuales eléctricos.
<i>Hoverboard</i>	1	Debido a las condiciones ambientales y climáticas no es adecuado el uso de medios de transporte individuales eléctricos.
<i>Scooter eléctrico</i>	1	Debido a las condiciones ambientales y climáticas no es adecuado el uso de medios de transporte individuales eléctricos.
<b>Infraestructura</b>		
<b>Tipo de transporte</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificación</b>
Aceras internas	3	Se tiene alta factibilidad técnica. Actualmente la Universidad ha realizado proyectos en temas afines.
Puente peatonal	3	Se tiene alta factibilidad técnica. Actualmente la universidad ha concretado un proyecto para la construcción del puente peatonal.
Ciclovías	3	Se tiene alta factibilidad técnica. Actualmente la universidad ha concretado el proyecto del plan de mejoramiento de la milla universitaria para la construcción de la vía compartida.
Subterráneo	1	Baja factibilidad técnica; se descarta la posibilidad de la construcción de parqueos subterráneos.
Cicloparqueos	3	Hay una alta factibilidad en proyecto para mejorar la infraestructura y aumentar el espacio de los cicloparqueos porque la

		Universidad ya cuenta con espacios destinados para este fin en las diferentes facultades, y en los proyectos de expansión se han considerado nuevos espacios de este tipo.
Paradas de bus interno	3	Hay una alta factibilidad de mejorar la infraestructura de las paradas internas, ya que la OSG cuenta con un plan aprobado de construcción de cinco paradas de autobús y el presupuesto para esto. Actualmente se está desarrollando la concesión de estas obras.
Paso peatonal del cruce del Súper Tacho	1	Baja factibilidad, en conversaciones con Gillio Francesa, director de Planificación Urbana de la Municipalidad de Montes de Oca, en 2 años no se tiene previsto ningún proyecto para las inmediaciones de la UCR.
Paso peatonal frente a entrada principal de Finca 2	1	Baja factibilidad, en conversaciones con Gillio Francesa, director de Planificación Urbana de la Municipalidad de Montes de Oca, en 2 años no se tiene previsto ningún proyecto para las inmediaciones de la UCR.
Reubicación de paradas de bus externo UCR	2	A pesar de que la potestad para cambiar las paradas recae en la OSG, se debe acordar con la Municipalidad el lugar donde estarán, por eso obtiene una puntuación media
Infraestructura tecnológica para bus interno ( <i>app</i> )	3	No existe limitación técnica, puesto que se está trabajando en esto.
Aceras externas	1	Baja factibilidad, en conversaciones con Gillio Francesa, director de Planificación Urbana de la Municipalidad de Montes de Oca, en 2 años no se tiene previsto ningún proyecto para las inmediaciones de la UCR.

Tabla 40. Estudio de alternativas y de infraestructura. Criterio evaluado: alcance del proyecto

Medios de transportes		
Tipo de transporte	Valor	Justificación
Bicicletas	3	Es aceptable; está dentro de lo que el equipo de proyecto desea realizar de acuerdo a los objetivos que se desean alcanzar.
Bus interno	3	Es aceptable; está dentro de lo que el equipo de proyecto desea realizar de acuerdo a los objetivos que se desean alcanzar.

Teleférico	1	Es bajo, el alcance del proyecto integra otros proyectos que a la OSG le interesan y son factibles.
Bus de dos pisos	2	Es medio; está dentro de lo que el equipo de proyecto podría realizar de acuerdo a los objetivos que se desea alcanzar.
Bus eléctrico	3	Es alto; está dentro de lo que el equipo de proyecto podría realizar de acuerdo a los objetivos que se desea alcanzar.
<i>Carpooling</i>	1	Es medio; el equipo de proyecto podría considerarlo dentro de su alcance como una modalidad opcional de transporte.
<i>Segway</i>	3	El proyecto explora opciones de movilización que sean factibles, por esto no encuentra limitaciones en esta opción.
<i>Hoverboard</i>	3	El proyecto explora opciones de movilidad factibles, por esto no encuentra limitación en esta opción.
<i>Scooter eléctrico</i>	3	El proyecto explora opciones de movilidad factibles, por esto no encuentra limitaciones en esta opción.
<b>Infraestructura</b>		
Tipo de transporte	Valor	Justificación
Aceras internas	3	Es aceptable; está dentro de lo que el equipo de proyecto desea realizar de acuerdo a los objetivos que se desean alcanzar.
Puente peatonal	3	Es aceptable; está dentro de lo que el equipo de proyecto desea realizar de acuerdo a los objetivos que se desean alcanzar.
Ciclovías	3	Es aceptable; está dentro de lo que el equipo de proyecto desea realizar de acuerdo a los objetivos que se desean alcanzar.
Subterráneo	1	Es bajo; el alcance del proyecto integra proyectos que, a la OSG, le interesan y son factibles.
Ciclo parqueos	3	Es alto; está dentro de lo que el equipo de proyecto desea incluir en su diseño de acuerdo a los objetivos que se desean alcanzar.
Paradas de bus interno	3	Es alto; está dentro de lo que el equipo de proyecto desea incluir en su diseño de acuerdo a los objetivos que se desean alcanzar.

Paso peatonal del cruce del Súper Tacho	2	Bajo, debido a que esta propuesta requiere diseño y trabajo conjunto con la Municipalidad de Montes de Oca debido a que se estaría interviniendo en infraestructura que no es de la UCR; tiene una puntuación media.
Paso peatonal frente a entrada principal de Finca 2	2	Bajo, debido a que esta propuesta requiere diseño y trabajo conjunto con la Municipalidad de Montes de Oca debido a que se estaría interviniendo en infraestructura que no es de la UCR; tiene una puntuación media.
Reubicación de paradas de bus externo UCR	3	El proyecto explora opciones en cuanto al tema de movilidad. La ubicación de las paradas del bus externo afecta el comportamiento del uso del bus interno, por esto se considera una puntuación alta.
Infraestructura tecnológica para bus interno (app)	3	La infraestructura tecnológica es un apoyo a los servicios ofrecidos por la OSG, por ende su relación es directa con ellos y es importante dentro del alcance del presente proyecto
Aceras externas	2	Bajo, debido a que esta propuesta requiere diseño trabajo conjunto con la Municipalidad de Montes de Oca debido a que se estaría interviniendo en infraestructura que no es de la UCR; tiene una puntuación media.

**Apéndice 2. Sondeo estructurado de movilidad realizada entre la comunidad universitaria**

Se realizó un sondeo estructurado entre la población universitaria para conocer la forma en que las personas se movilizan dentro de la sede Rodrigo Facio. Para ello se aplicó un cuestionario con preguntas donde se buscaba conocer cuáles son las características que describen la forma en que se mueven las personas que son parte de la comunidad universitaria. Para la realización de este sondeo se determinaron siete poblaciones de interés, las cuales se seleccionaron según la ubicación física donde realizan sus actividades dentro de la Universidad y según el tipo de usuario; de este modo se tuvieron estudiantes de (ingeniería, ciencias sociales y de odontología), funcionarios de (ingeniería, ciencias sociales y de odontología) y los funcionarios de los centros de investigación. Este estudio fue realizado entre el 21 de mayo y el 3 de junio del 2018, en total se recibieron 371 respuestas, de las cuales el 57,4% fueron personas del género masculino y 41,5% del femenino, las restantes personas prefirieron no detallar su género. Entre estas personas el 74,9% son estudiantes regulares, 15,9% son funcionarios administrativos y 11,3% docentes. La Universidad cuenta con 39 635 estudiantes regulares, 3 630 funcionarios administrativos y 1 521 docentes (UCR, 2017), lo que representa porcentualmente 88%, 8% y 3% correspondientemente. El comportamiento muestreado y el teórico es el mismo en cuanto al orden del porcentaje que representan, por lo cual se puede inferir que efectivamente la población que usaba más el servicio en el momento del sondeo eran los estudiantes

Cabe destacar que este sondeo estructurado corresponde a una muestra no estadística generada por conveniencia, de manera que las personas consultadas fueron aquellas que aceptaron participar en él. Al no ser este un estudio con una metodología de aplicación estadísticamente confiable no se puede asumir que sus resultados sean representativos del comportamiento de toda la población universitaria, sin embargo esta información sirve como referencia estructurada para estimar cómo se mueven las personas dentro de la Sede Rodrigo Facio.

**Resultados obtenidos más significativos**

**Pregunta 1: Indique las fincas de la sede Rodrigo Facio que visita usualmente**

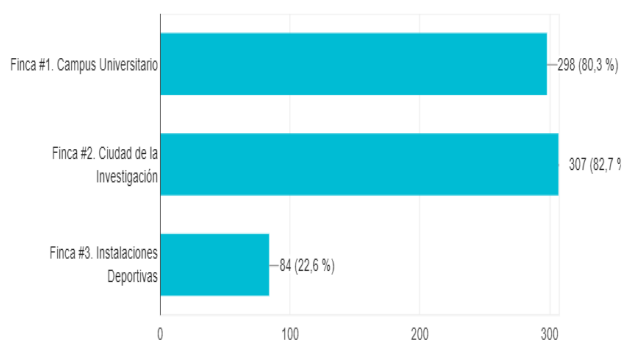


Figura 80. Respuesta pregunta 1

**Pregunta 2: ¿Utiliza regularmente el servicio de transporte interno de la universidad (bus interno)?**

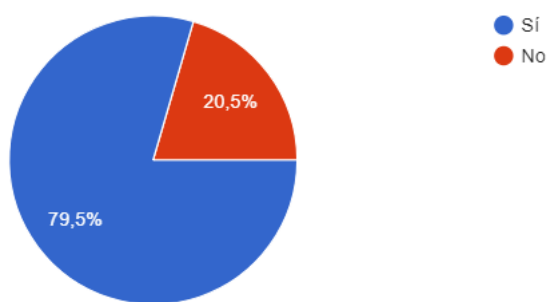


Figura 81. Respuesta pregunta 2

**Pregunta 3: ¿Por qué utiliza el servicio de transporte interno de la universidad?**

A	Tengo clases distribuidas en varias fincas de la Universidad
B	Tengo que realizar actividades adicionales (Comer, fotocopia o imprimir, socializar, utilizar cajero, otro)
C	Tengo que trasladarme desde y hacia las paradas de bus externo de ruta UCR (Ej.: UCR-Heredia, UCR-Escazú)
D	Tengo que trasladarme desde y hacia las paradas de bus externo de ruta regular (Ej.: Periférica, San Pedro-San José)
E	Tengo que estacionar en una finca y transportarme a otra
F	Tengo que trasladarme desde y hacia la parada de tren
G	Tengo que trasladarme desde y hacia la parada de taxis

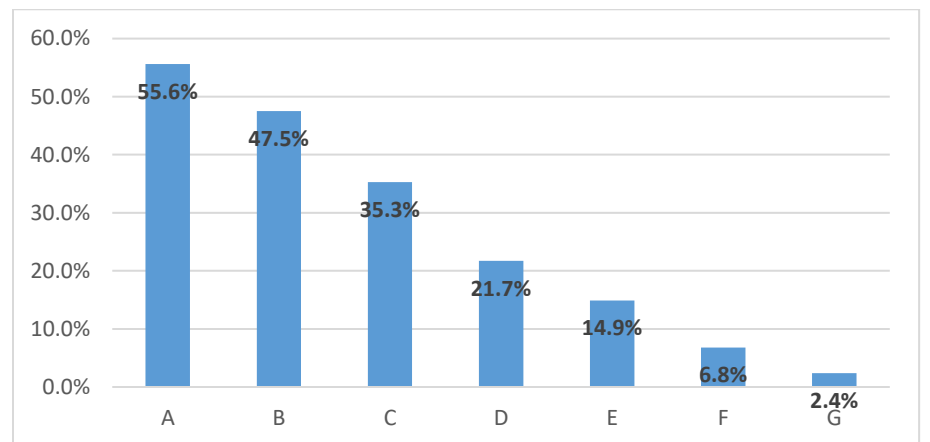


Figura 82. Respuesta pregunta 3

**Pregunta 4: Seleccione los principales motivos por los cuales ha utilizado otra alternativa de transporte en vez del bus interno**

A	He perdido el autobús y el tiempo de espera de la siguiente ruta es muy largo
B	Los horarios de los buses no coinciden con mis horarios de clases, entonces "llego más rápido caminando"
C	El bus se encuentra lleno la mayoría de tiempo y no logro conseguir espacio
D	Prefiero caminar para realizar actividad física
E	Prefiero trasladarme en mi vehículo o bicicleta propia

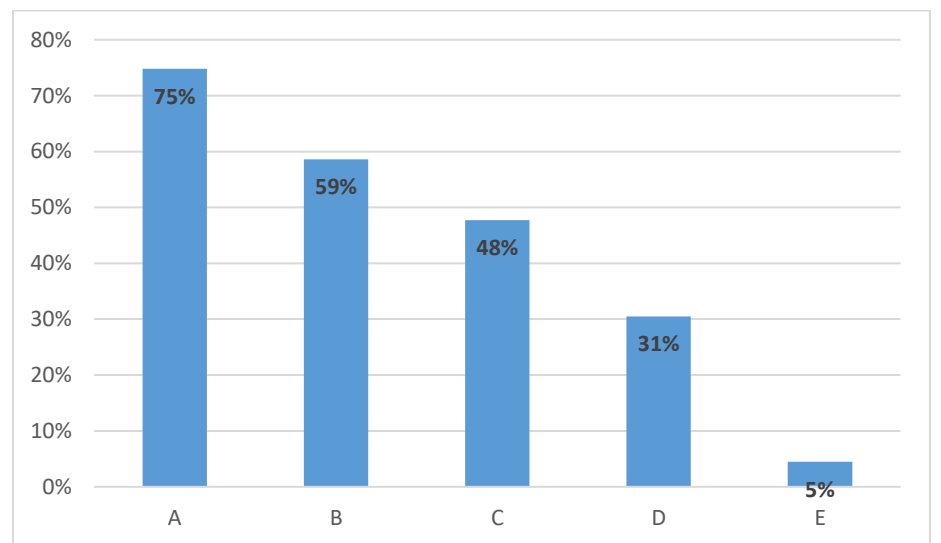


Figura 83. Principales razones por las cuales los usuarios han tenido que buscar otras alternativas

**Pregunta 5: Indique cuáles recorridos realiza con mayor frecuencia**

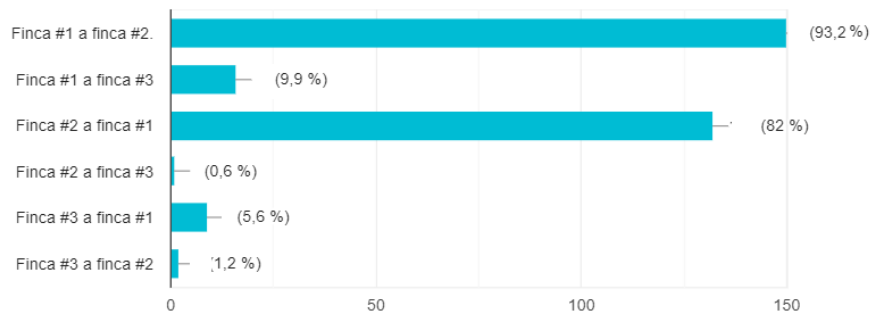


Figura 84. Respuesta pregunta 5

### Apéndice 3. Análisis de demanda y capacidad del servicio de bus interno

Para el análisis de demanda potencial del servicio, este se limitó a las poblaciones estudiantiles que recibían cursos en los edificios de la Facultad de Ciencias Sociales, Ingeniería, Odontología y las Instalaciones Deportivas, ya que estas poblaciones en específico tienen una necesidad mayor de trasladarse debido a la ubicación de las instalaciones. Para ello se utilizó la “Guía de Cursos y Horarios del I Ciclo 2018” proporcionada por la ORI, en donde se mencionan los grupos que recibían cursos en cada una de las facultades anteriormente mencionadas. Al tener la limitación de conocimiento certero de la cantidad de estudiantes matriculados en cada grupo, se establecieron tres escenarios con una cantidad mínima, un promedio y una máxima de estudiantes matriculados por grupo, respectivamente 15, 20 y 25, de forma que se pudiera evaluar si el cambio en la demanda potencial afecta al sistema de acuerdo a la capacidad instalada. Además, se aplicó un filtro a esta demanda, considerando únicamente los estudiantes de Ciencias Sociales, Ingeniería y Odontología que sí utilizan frecuentemente el servicio de bus interno, y que corresponden a un 93,02%, 83,90% y 86,84% respectivamente.

Cabe destacar que para este análisis se omitieron los funcionarios administrativos y docentes de las facultades anteriormente mencionadas al igual que los investigadores y funcionarios de los centros de investigación ubicados en Finca 2. Ciudad de la Investigación.

Con respecto a la capacidad instalada se tomó la cantidad de asientos con los que cuentan los autobuses; además se consideró que estos pueden transportar 30 personas de pie según lo establecido en (CTP, 2016) y se calculó sumando la totalidad de rutas que se realizaban por cada hora. Para realizar una comparación válida se contemplaron únicamente los horarios de las rutas de la hora previa a la hora de inicio del curso, tomando el supuesto de que los estudiantes que recibían clases a una hora en específico utilizarían el servicio en este tiempo (Ejemplo: un estudiante que tiene un curso a las 9 a.m. utilizaría el servicio en los horarios entre 8:00 a.m. y 9:00 a.m.; no lo utilizaría antes ni después de este rango). En la tabla se detalla la oferta de transporte por hora, cabe destacar que se tomaron dos tipos de valores: el primero es la cantidad de asientos, de modo que todos los pasajeros viajaban sentados y la segunda corresponde al cupo de los que viajaban sentados y una cantidad máxima de 30 pasajeros de pie. Cabe destacar que actualmente estos buses no cuentan con el permiso de CTP para transportar pasajeros de pie, puesto que es un servicio no remunerado, lo cual expone a la OSG a una multa por parte de la policía de tránsito, sin embargo, en la Organización están dispuestos a asumir este riesgo debido a la alta demanda del servicio.

Tabla 41. Capacidad de transporte de los buses

Hora	Ruta Rodrigo Facio- Ciudad de la investigación		Ruta Rodrigo Facio- Instalaciones Deportivas	
	Capacidad sentados	Capacidad todos sentados y de pie	Capacidad sentados	Capacidad todos sentados y de pie
7	128	218	94	154
8	169	289	188	308
9	169	289	94	154
10	174	294	188	308
11	169	289	141	231
12	174	294	94	154
13	215	365	188	308
14	164	284	94	154
15	174	294	141	231
16	210	360	94	154
17	128	218	141	231
18	215	365	141	231
19	169	289	141	231
20	82	142	94	154

A continuación se observa el comportamiento de la demanda de las poblaciones de estudiantes de Ciencias Sociales e Ingeniería y la capacidad de acuerdo a los distintos escenarios, ya que estas poblaciones pueden utilizar ambas rutas, a diferencia de las poblaciones de estudiantes que visitan Finca 3.

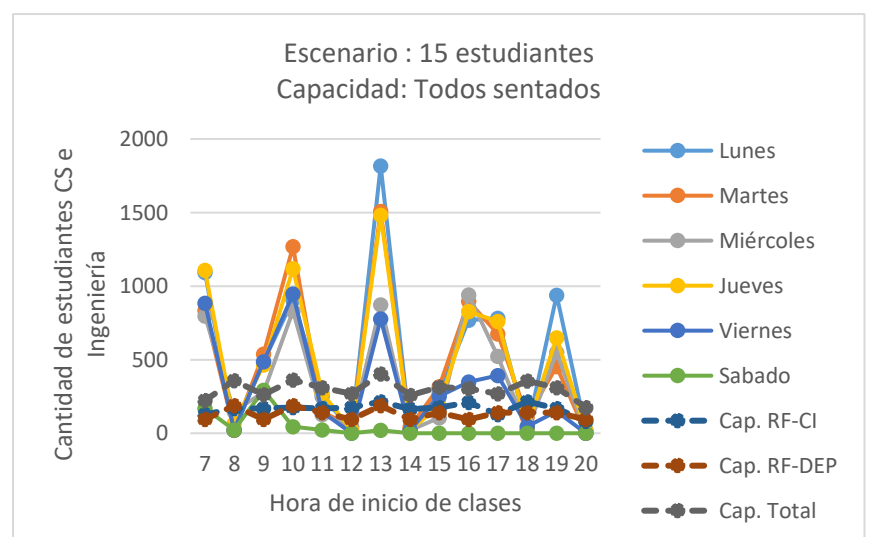


Figura 85. Gráfico de demanda vs. capacidad

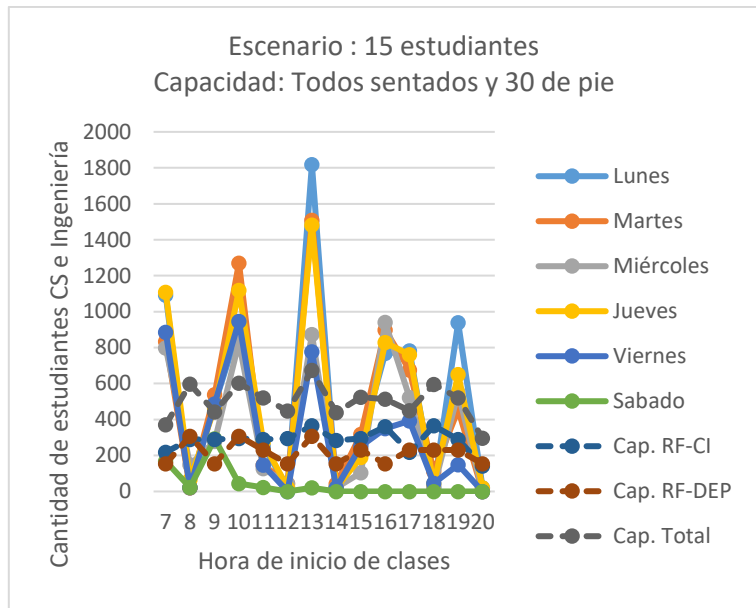


Figura 86. Gráfico de demanda vs. capacidad

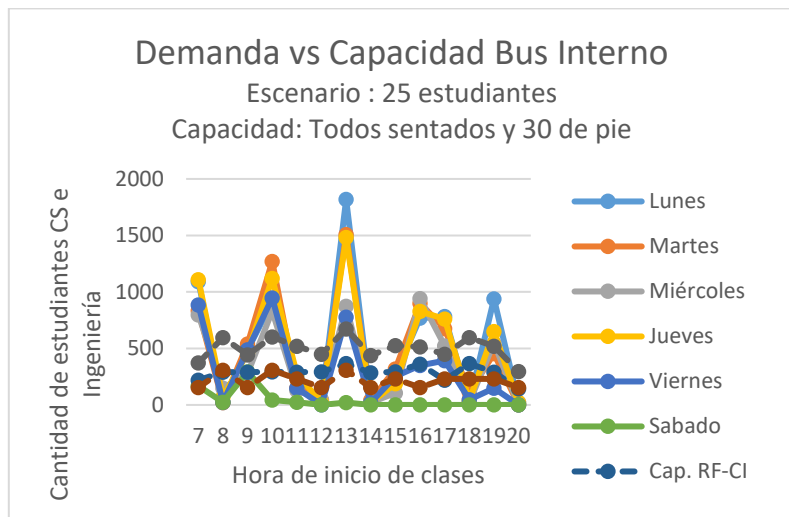


Figura 87. Gráfico de demanda vs. capacidad

A continuación se presenta la demanda de los estudiantes de Odontología e Instalaciones Deportivas, ya que estas poblaciones pueden utilizar únicamente los buses de la ruta Rodrigo Facio-Instalaciones Deportivas porque es la única ruta que viaja hasta Finca 3.

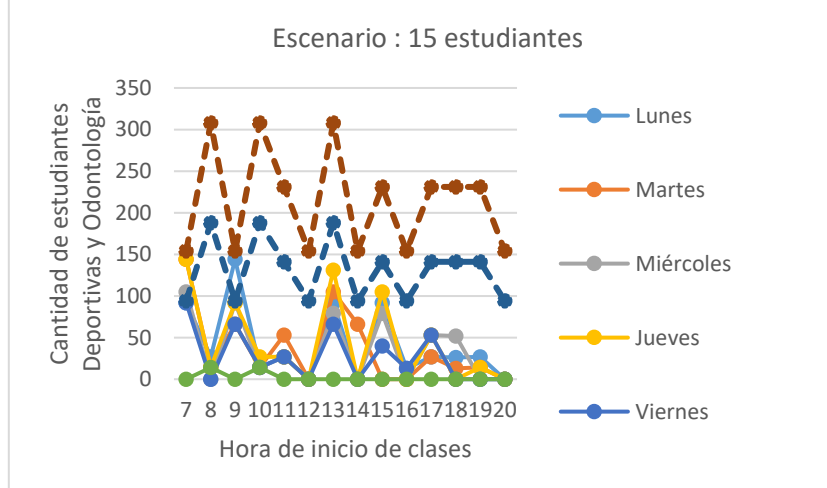


Figura 88. Gráfico de demanda vs. capacidad

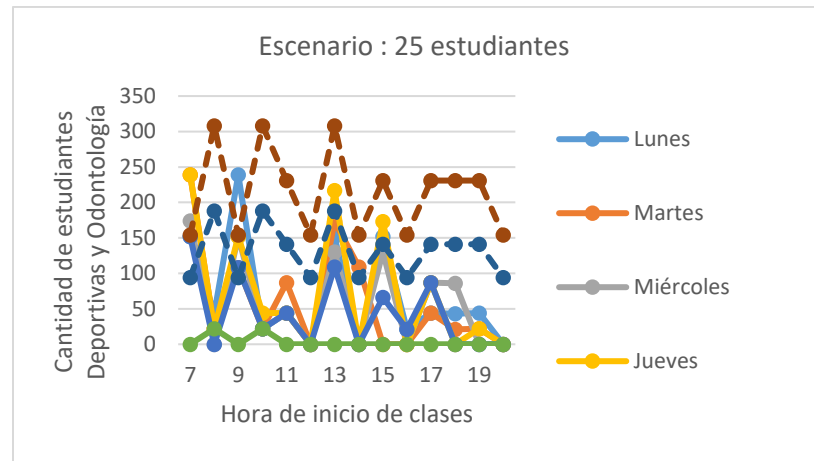


Figura 89. Gráfico de demanda vs. capacidad

Al analizar el promedio de la demanda por horario y la capacidad instalada se obtiene.

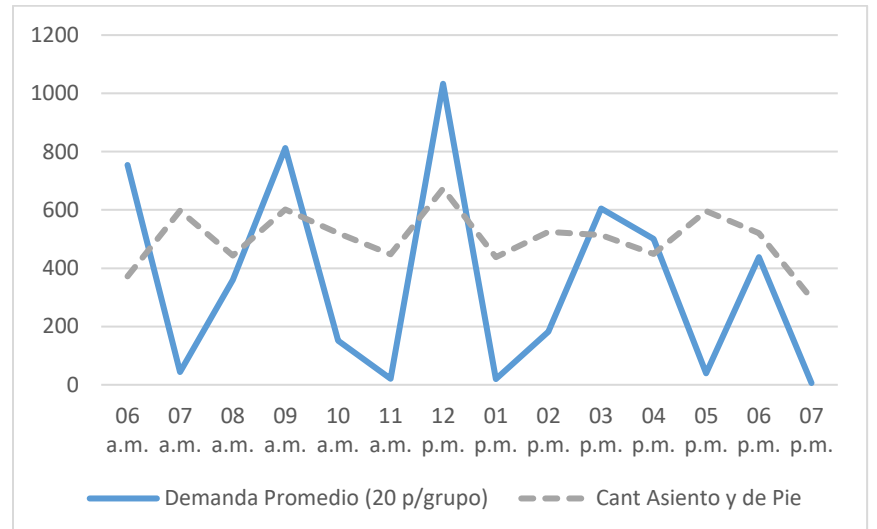


Figura 90. Gráfico de promedio de la demanda por hora

Como se observa en la figura anterior, existen 4 picos de demanda en donde la capacidad no puede satisfacer las necesidades; por esto que se analiza de manera teórica cual debe ser el incremento del servicio para obtener un 100% de cumplimiento. En la ruta Finca 1 – Finca 2 el tiempo de ciclo es de 20 minutos, con 5 minutos de holgura en cada punto se tiene que el ciclo total se completa en 30 minutos, por lo que la máxima cantidad de rutas de Finca 1 – Finca 2 que se puede realizar en una hora es de 2. Al tener una 5 buses para ofrecer el servicio, la capacidad máxima es de 10 rutas por hora, lo que se resume en una oferta aproximada de 450 personas/hora.



Tabla 42. Aumento de buses con capacidad de asientos

Horario	Rutas	Demanda Promedio (20 p/grupo)	Cantidad de asientos	Demanda insatisfecha	Aumento de rutas	Necesidad de buses
06 a.m.	5	754	222	532	11	3
07 a.m.	8	44	357	0	0	0
08 a.m.	6	360	263	97	2	0
09 a.m.	8	812	362	450	10	4
10 a.m.	7	151	310	0	0	0
11 a.m.	6	21	268	0	0	0
12 p.m.	9	1033	403	630	14	7
01 p.m.	6	20	258	0	0	0
02 p.m.	7	182	315	0	0	0
03 p.m.	7	605	304	301	6	2
04 p.m.	6	501	269	232	5	1
05 p.m.	8	39	356	0	0	0
06 p.m.	7	438	310	128	2	0
07 p.m.	4	6	176	0	0	0

Tabla 43. Aumento de buses con capacidad de asientos y personas de pie

Horario	Rutas	Demanda Promedio (20 p/grupo)	Cantidad de asientos	Demanda insatisfecha	Aumento de rutas	Necesidad de buses
06 a.m.	5	754	372	382	8	2
07 a.m.	8	44	597	0	0	0
08 a.m.	6	360	443	0	0	0
09 a.m.	8	812	602	210	4	1
10 a.m.	7	151	520	0	0	0
11 a.m.	6	21	448	0	0	0
12 p.m.	9	1033	673	360	8	4
01 p.m.	6	20	438	0	0	0
02 p.m.	7	182	525	0	0	0
03 p.m.	7	605	514	91	2	0
04 p.m.	6	501	449	52	1	0
05 p.m.	8	39	596	0	0	0
06 p.m.	7	438	520	0	0	0
07 p.m.	4	6	296	0	0	0

#### ***Apéndice 4. Análisis de muestreo realizado en rutas Finca 1 – Finca 2***

El muestro aplicado consiste en la visita de campo de las rutas de los buses en el sentido Finca 1 – Finca 2. Durante dos semanas en los diferentes horarios, los investigadores hacen uso del servicio, toman datos de la cantidad de personas que abordan el autobús en la Finca 1, así sucesivamente en los diferentes horarios. Se observa insatisfacción de la demanda debido a que en varias ocasiones no se permite el ingreso de personas ya que se excedan la capacidad de usuarios de pie. A continuación, se muestran los datos obtenidos:

*Tabla 44. Muestreo de personas abordadas en diferentes horarios*

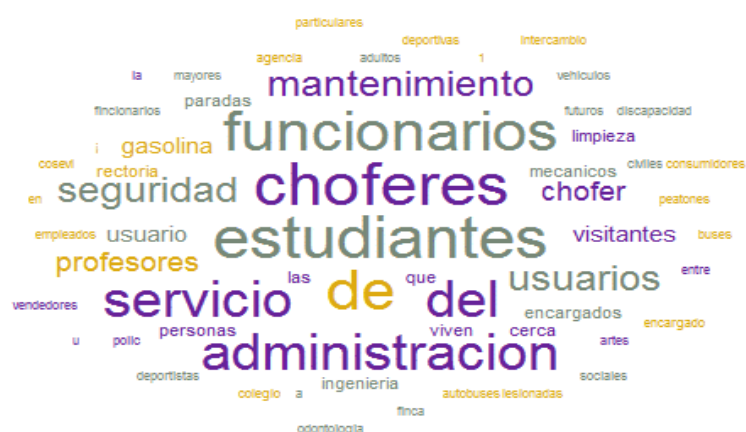
Horario	Personas	Utilización	Horario	Personas	Utilización
06:25	50	100%	09:50	74	161%
06:35	20	49%	09:55	89	178%
06:40	27	54%	11:15	57	124%
06:45	70	171%	11:30	68	166%
06:55	73	159%	11:35	38	76%
07:00	40	80%	11:45	84	183%
07:15	15	30%	12:00	88	215%
07:25	51	124%	12:05	74	148%
07:35	15	33%	12:15	68	166%
07:45	31	76%	12:20	70	140%
08:05	33	80%	12:20	55	120%
08:15	23	50%	12:40	74	180%
08:25	62	124%	12:45	61	122%
08:40	55	110%	12:50	76	165%
08:50	78	190%	12:55	63	126%
08:55	65	159%	13:10	45	110%
09:00	40	80%	13:20	23	56%
09:10	57	124%	13:40	30	73%
09:15	63	126%	13:50	27	66%
09:30	70	171%	14:10	25	50%
09:35	68	136%	14:15	37	80%

#### ***Apéndice 5. Resultados obtenidos tras la aplicación de las herramientas de Design Thinking***

##### ***Mapeo de actores***

Se deben mapear los actores que interviene en el proceso, para ellos los usuarios identifican poblaciones que consideran que se deben de tomar en cuenta a la hora de hacer un diseño. Esta práctica es esencial ya que el equipo de trabajo tiene una visión general de quiénes pueden llegar a

intervenir; sin embargo, con el apoyo de los usuarios se evitar caer en el riesgo de dejar por fuera a poblaciones que pueden llegar a ser importantes a la hora de diseñar el/los servicio(s).



### Mapa del presente y del futuro

Figura 90.. Mapeo de actores del servicio de transporte interno

Esta herramienta es utilizada para mapear la percepción actual del usuario y sus expectativas en relación con cada una de las dimensiones de la pirámide de movilidad. En primer lugar se evaluó la movilidad peatonal; el usuario comentó que existe una falta de aceras en ambos lados de las vías, partes sin iluminación, los conductores no respetan a los peatones, los accesos hacia la ciudad de la investigación son angostos; por otra parte como aspectos positivos mencionó que caminar es saludable, que la prioridad peatonal en el campus es favorables. Con lo anterior se puede decir que el usuario percibe la movilidad peatonal como algo bueno, sin embargo, no está satisfecho con la infraestructura actual. A futuro comentó que espera aceras más anchas con menos obstáculos y techadas, puentes peatonales que conecten las fincas y mejores cruces entre fincas.

En cuanto a la movilidad por medio de bicicletas los usuarios comentaron que no se promueve el uso, no se cuenta con visibilidad, los cruces son inseguros y no hay ciclovías entre las fincas. Esperan que se promueva el uso de bicicletas, rutas separadas y delimitadas con mayor cobertura de parqueos para las bicicletas. En general se observa que los usuarios sienten que no se da la promoción adecuada de este medio de movilización y de manera similar con el medio peatonal, no se cuenta con la infraestructura requerida. Por otra parte, sobre el uso del vehículo los participantes comentaron que es poco ecológico, el aumento de los espacios de parqueos provoca un aumento en la demanda de uso de vehículos, el sistema implementado en el segundo semestre genera presas en la entrada de Finca 2. Por otra parte, en el futuro les gustaría servicio de *carpooling*, reducción del uso de vehículos por medios más amigables con el ambiente, campañas para compartir el vehículo. En resumen se observa que el uso de carro dentro del campus no es muy aceptable, y que el usuario está anuente utilizar servicios compartidos.

### Mapa de empatía

Esta herramienta permite conocer la percepción del sistema de movilidad desde el punto de vista de dos sentidos y un criterio. Se consultó qué oyen sobre el sistema, pues se pretendía conocer lo que recibe el usuario del entorno. En este caso las observaciones fueron que el servicio era impuntual, los estudiantes llegaban tarde a las clases, las personas preferían caminar para no llegar tarde a clases.

Esto deja en evidencia que los usuarios recibían comentarios negativos del sistema de transporte. Por otra parte los entrevistados observaron que los buses estaban saturados, había poco uso de bicicletas, las filas eran largas, los vehículos circulaban a altas velocidades, las rutas eran muy largas. Y por último, manifestaron que piensan que se debería ampliar el horario de los buses, mejorar la infraestructura para que las personas puedan caminar. Con lo anterior, se puede inferir que la percepción del servicio tanto en lo que se observó como en lo que se comentaba era negativa, a pesar de los esfuerzos que ha hecho la OSG para aumentar la frecuencia de los buses.

#### *Comprando características*

Con el fin de cuantificar las variables importantes según el usuario para el diseño de futuros servicios o el rediseño del actual se realizó la actividad “Comprando características”, donde se le presentaron al usuario una serie de características, (priorizadas según los índices de calidad realizados en la propuesta del presente proyecto, y se asigna una puntuación a cada una. La variable más importante resultó ser el cumplimiento de horario, seguida por seguridad y disponibilidad.

## *Apéndice 6. Política del nivel de servicio de la OSG*



### **POLITICA DE NIVEL DE SERVICIO OFRECIDO POR EL BUS INTERNO DE LA UCR**

#### **I. Introducción**

##### **a. Alcance y objetivo**

Mediante este acuerdo el proveedor establece los términos y condiciones en conformidad de los cuales brindará el servicio de transporte entre fincas de la Sede Rodrigo Facio al usuario del servicio, esto por medio de autobuses, al que en lo sucesivo se le denominará **“servicio del bus interno”**.

##### **b. Partes**

A continuación, se identifican las partes que suscriben el presente acuerdo:

La **Sección de Transportes de la Oficina de Servicios Generales de la Universidad de Costa Rica** a la que en lo sucesivo se le denominará **“proveedor”** y la **Comunidad Universitaria de la Sede Rodrigo Facio** a la que en lo sucesivo se le denominará **“usuario”**.

##### **c. Duración**

El presente acuerdo de nivel de servicio entra en vigencia el día /mes/año y se actualiza cada vez que la dirección de la sección de transportes considere oportuno.

#### **II. Sobre el servicio ofrecido**

El acuerdo ofrecido busca que su servicio tenga un enfoque basado en estos tres pilares fundamentales:

- i. Enfoque basado en el usuario
- ii. Enfoque basado en la gestión de recursos de la OSG
- iii. Enfoque basado en indicadores de monitoreo y control

#### **Aspectos técnicos**

Con el fin de dar cumplimiento a estos tres pilares, el proveedor se compromete a responder las necesidades de cada uno de estos enfoques. En cuanto a:

**i. Enfoque basado en el usuario**

El proveedor se compromete a considerar aquellos aspectos mínimos que para los usuarios son importantes en cuanto a la calidad del servicio. Para responder a este requerimiento el proveedor debe de realizar una encuesta de satisfacción al usuario, al menos dos veces al año, para seleccionar aquellos elementos de servicio que los usuarios están considerando de mayor importancia y que pasan a ser elementos críticos, necesarios a evaluar y a medir.

Encuesta de satisfacción	Periodicidad	Canal
	Dos semanas antes de la finalización del ciclo lectivo.	Correo institucional
	Código QR	
	Facebook	

**ii. Enfoque basado en los recursos de la OSG**

El proveedor se compromete a poner a disposición todos los recursos que permitan la operación del servicio del bus interno. Para ello, se acuerda tener como mínimo para operar lo siguiente:

**a. Cumplimiento del horario**

Las salidas de los buses deben de cumplir con el horario establecido, en caso de retraso, se considera incumplimiento después de dos minutos de la hora establecida.

**b. Paradas autorizadas**

Los choferes del servicio de bus interno tienen autorización para detenerse y abordar o desabordar pasajeros exclusivamente en las siguientes paradas en cada una de las rutas.

**c. Frecuencia**

El proveedor ofrece al usuario frecuencias variables a lo largo del día, alineado al nivel del servicio que se ofrece.

Nivel de servicio	Condición
<b>A</b>	Intervalos menores a 5 minutos
<b>B</b>	Intervalos entre 5-15 minutos
<b>C</b>	Intervalos entre 15-35 minutos
<b>D</b>	Intervalos entre 35-60 minutos
<b>E</b>	Intervalos mayores a 60 minutos

**d. Capacidad**

El proveedor ofrece el servicio a una cantidad máxima de usuarios por ruta la cual se relaciona con la capacidad de pasajeros sentados según la cantidad de asientos de cada unidad mas un máximo de 30 pasajeros de pie.

**e. Seguridad del servicio**

El proveedor ofrece como medidas de seguridad para el usuario lo siguiente:

1. Cámaras de vigilancia internas y el uso de GPS, dentro del bus	
2. El usuario cuenta con dos pólizas que lo amparan en caso de que suceda algún accidente al utilizar el servicio de bus interno:	
2.1 Póliza de responsabilidad civil extracontractual por <u>lesión y/o muerte de personas</u>	2.2 Póliza de responsabilidad civil extracontractual por <u>daños a la propiedad de terceros</u>

**f. Costo del uso del servicio**

El proveedor ofrece el servicio de bus interno de forma gratuita al usuario en todas sus rutas y horarios vigentes.

**g. Capacidad de respuesta**

En caso de presentar algún fallo mecánico o avería durante la prestación del servicio, el proveedor debe de brindar información inmediata a sus usuarios para informarles del retraso en el mismo y, puedan optar por otros medios de movilización para llegar al destino final.

*Queda a decisión del usuario esperar la reanudación del mismo.*

**h. Quejas y reclamos**

El proveedor pone a disposición del usuario la plataforma de buzón de quejas de forma en que se pueda recibir retroalimentación para mejorar continuamente el servicio de bus interno, la cual puede ser accesada en el siguiente enlace <https://buzon.ucr.ac.cr/>.

**iii. Enfoque basado en indicadores de gestión**

El proveedor se compromete que el cumplimiento de este acuerdo tenga resultados satisfactorios. Para ello, se debe de tomar en cuenta indicadores que evalúen el rendimiento del mismo, en busca de 1) mejora continua del mismo y 2) en el balance en lo que se debe y se puede ofrecer.

Los indicadores que ayudan a monitorear el desempeño de las actividades de la operación son los siguientes.

Nombre de la dimensión de calidad	Descripción	Indicador
<i>Puntualidad en el servicio</i>	Garantizar que se cumpla con los horarios establecidos brindando confiabilidad en los mismos.	$\text{Porcentaje de cumplimiento de horario} = \frac{\text{Cantidad de salidas a tiempo}}{\text{Total de salidas}}$
<i>Disponibilidad del servicio</i>	Garantizar el cumplimiento de la cobertura y frecuencia de los buses definida en esta política.	$\text{Utilización del servicio} = \frac{\text{Cantidad de usuarios transportados}}{\text{Capacidad del servicio}}$
<i>Cobertura con el menor costo posible</i>	Garantizar que la cobertura dada satisfaga con costos mínimos de operación.	$\text{Costo por pasajero} = \frac{\text{Costo global del transporte}}{\text{Cantidad de usuarios transportados}}$
<i>Mejora continua</i>	Evaluar de manera periódica la perspectiva del usuario ante el servicio del bus interno	$\text{Índice de calidad del servicio} = \text{Importancia} * (\text{Percepciones} - \text{Expectativas})$

*Nota: Estos indicadores quedan sujetos a modificarse/eliminarse/mantenerse, según se considere.*

Otras consideraciones del servicio importantes a considerar:

1. *Infraestructura y seguridad de las paradas:* Garantizar la disponibilidad de paradas formales contando con infraestructura adecuada, cámaras de seguridad e iluminación en cada una de ellas.
2. *Información disponible y actualizada:* Disponer de información actualizada de los horarios en puntos estratégicos (paradas formales, página web, aplicación digital) al alcance de los usuarios.
3. *Otros indicadores de desempeño:* Existen otros indicadores secundarios incluidos en el cuadro de mando integral que permiten robustecer el análisis del rendimiento del servicio.



### III. Restricciones políticas

Para la ejecución de este servicio y para el manejo de los recursos, el proveedor debe acogerse a las restricciones políticas que se manejan internamente. Por lo tanto, el servicio se ve restringido por:

- a. Términos de no-exclusividad: En caso de que se requiera modificar las rutas, se debe cerciorar que ninguna finca quede desabastecida, es decir todas las fincas deben contar con servicio para transportarse, con la salvedad que su frecuencia puede verse aumentada o reducida, dependiendo de la zona horaria, pero en todas las ocasiones debe ser abastecida.
- b. Términos de operación del servicio: El servicio debe responder de manera adecuada para que su tiempo de espera máxima para los usuarios sea de 10 minutos, según indicaciones de alta dirección (*queda sujeta a cambios*)

### IV. Reanudación del acuerdo de servicio

El presente acuerdo podrá ser modificado y reanudado en cualquier momento en función a disposiciones que el proveedor convenga para la mejora del servicio o en función de necesidades operativas. Los cambios a este acuerdo deben ser aprobados por el director de la Oficina de Servicios Generales y comunicados públicamente a las partes interesadas.

El presente acuerdo es aprobado por,

## Apéndice 7. Evaluación de las diferentes alternativas tecnológicas

Para poder asignar un valor cuantitativo a las variables de selección se propone la utilización de la siguiente escala Likert.

Tabla 45. Escala de Likert para evaluación de la herramienta tecnológica

Escala Likert	
Alto	5
Medio	3
Bajo	1

Tabla 46. Comparación de las herramientas tecnológicas según escala de Likert

Variables de selección	Alternativas tecnológicas						
	Cámaras	Sensor de infrarrojo	Sensor PIR	Sensor ultrasónico	Sensor fotoeléctrico (haz de luz)	Sensor de presión	Sensor térmico
Costo del <i>hardware</i>	5	1	1	1	1	1	1
Riesgo de error de medición debido al entorno de operación del bus	1	3	5	3	5	5	5
Dificultad de programación y procesamiento computacional	5	1	1	1	1	1	1
Dificultad de implementación por alcance del proyecto	5	1	1	1	1	3	3
Total	16	6	8	6	8	10	10

Según el análisis realizado y la asignación de calificaciones a cada una de las variables de selección, las opciones factibles de implementar corresponden a los sensores de infrarrojo, PIR, ultrasónico y fotoeléctrico.

Se descartaron como opciones 1) el sensor fotoeléctrico por medio de haz de luz y 2) el sensor PIR. El primero porque aunque su calificación en la matriz multicriterio es de las mejores, es de conocimiento que hay un alto riesgo y posibilidad de error en la medición, debido al desfase que puede suceder entre el emisor y receptor de luz, esto ocasionado por las condiciones de operación del autobús, donde se conoce que hay movimiento constante. El segundo, debido a que los sensores disponibles en el mercado cuentan con un ángulo de visión de 110° de amplitud, por lo cual hay una

alta probabilidad de que movimientos en el ambiente afecten la precisión de medición, y al conocer que el autobús no cuenta con un ambiente controlado de movimiento se considera que esta alternativa no es factible de implementar.

Al tener dos opciones viables para el desarrollo del prototipo final, se realizaron pruebas de funcionamiento operativo de cada una de ellas, por lo cual se construyó un producto mínimo viable para cada tipo de alternativa, con el cual se tomaron mediciones de conteo de pasajeros. Para la evaluación y selección de la mejor alternativa se utilizaron como indicadores el error de medición de conteo de pasajeros y el error de medición del sentido del movimiento. Cabe destacar que la OSG considera un error de medición máximo permisible el 10% para ambos tipos de indicadores.

*Error de medición del dispositivo*

$$= \frac{\text{Cantidad de pasajeros real} - \text{Cantidad de pasajeros medidos}}{\text{Cantidad de pasajeros real}}$$

Para la determinación de los errores se realizó un estudio estructurado, en el cual se ejecutaron 30 muestras de mediciones de detección de personas en un ambiente controlado.

Para la alternativa utilizando el sensor ultrasónico, se obtuvo un error de medición en conteo de pasajeros de 6,67% y en sentido de movimiento de 46,67%. Al analizar estos resultados se observa que esta alternativa tecnológica contabiliza bien la cantidad de personas que pasan frente al campo de visión (apertura de ángulo de 15°), sin embargo, no es capaz de determinar con precisión el sentido de dicho movimiento. Al investigar las causas posibles de este error se halló que el reflejo de la señal del sensor (eco) no es captado adecuadamente, ya que el sonido se expande como una onda circular. Por otro lado, en el caso de la alternativa con el infrarrojo se obtuvo un error de medición en conteo de pasajeros de 3,33% y en sentido de movimiento de 6,67%.

### ***Apéndice 8. Operación y mantenimiento del sistema automatizado de conteo de pasajeros***

El diseño final del dispositivo contempla gomas para sujetarlo a la estructura actual del autobús, de forma que pueda instalarse o desinstalarse en cualquier momento.

Para la operación diaria, el chofer del autobús debe encargarse de encender y apagar el dispositivo por medio del botón de la batería que lo alimenta. Por otro lado, para el ingreso de los datos de demanda a la herramienta, el analista de datos se debe encargar de extraer la tarjeta micro SD y posteriormente colocarla en el adaptador para computadora, para descargar la información en la herramienta. En la figura 91 se presentan las instrucciones para la utilización del dispositivo.

*Figura 91. Instrucciones para la utilización del dispositivo*



Para el mantenimiento preventivo se recomiendan las siguientes medidas:

1. Realizar una revisión cada seis meses del funcionamiento de las baterías, ya que dependiendo del uso intensivo que se le dé al dispositivo, la carga podría acabarse antes del año de uso.
2. Para el cambio de batería del Arduino se debe adquirir una batería cuadrada de 9V y para el RTC una batería circular de 3V, según la especificación de componentes previamente expuesta en este documento.
3. Se recomienda mantener el dispositivo fuera del contacto con humedad para evitar daños en los componentes electrónicos.

Para el mantenimiento correctivo, en caso de que el dispositivo presente algún daño y no realice la contabilización de los pasajeros, se recomienda realizar los siguientes pasos:

1. Verificar que las baterías del dispositivo cuenten con carga.
2. Revisar que los sensores de infrarrojos se encuentren en la posición respectiva.
3. Verificar que no haya cables sueltos y las conexiones se encuentren como se presenta en el plano de conexión del dispositivo. En caso de que haya cables sueltos se recomienda solicitar asistencia a un técnico en robótica para que realice el arreglo de las conexiones.
4. En caso de que no se detecte cuál es el daño, se recomienda solicitar asistencia a un técnico en robótica, además, visitar la página oficial de Arduino <https://www.arduino.cc/en/Main/ContactUs> donde se pueden realizar consultas al fabricante. Los Arduinos cuentan con una garantía de un año con el fabricante.

### ***Apéndice 9. Resultado de medición de cobertura de la demanda***

A continuación, se presenta el resultado de la demanda total por parada por hora, estimado según la muestra tomada el día 10 de setiembre del 2019.

Tabla 47. Resultado de demanda por hora en sentido F1-F3

Hora	Facultad de Bellas Artes	Facultad de Ingeniería	Facultad de Odontología	LANAMME	Facultad Ciencias Sociales	Facultad Educación	Demanda total
6	130	20	0	10	5	75	240
7	85	115	0	0	0	115	315
8	32	0	0	0	8	276	316
9	143	5	50	0	7	259	464
10	130	20	0	10	5	75	240
11	75	50	15	0	30	220	390
12	105	70	21	0	42	308	546
13	32	0	0	0	20	60	112
14	155	25	10	0	5	130	325
15	124	20	8	0	4	104	260
16	68	64	12	0	12	156	312
17	40	21	29	0	38	29	157
18	54	39	39	0	107	64	303
19	89	29	1	0	21	87	227
20	21	25	4	1	44	41	136
21	7	24	1	1	41	40	114

Tabla 48. Resultado de demanda por hora en sentido F3-F1

	Facultad de Bellas Artes	Facultad de Ingeniería	Facultad de Odontología	LANAMME	Facultad Ciencias Sociales	Facultad Educación	Demanda total
6	0	28	24	0	128	8	<b>188</b>
7	0	20	5	0	90	10	<b>125</b>
8	0	60	12	0	68	8	<b>148</b>
9	0	48	12	0	78	0	<b>138</b>
10	0	0	115	0	165	0	<b>280</b>
11	0	76	46	0	254	0	<b>376</b>
12	0	109	9	0	213	11	<b>342</b>
13	0	47	12	0	79	4	<b>142</b>
14	0	56	12	0	84	0	<b>152</b>
15	0	84	18	0	210	0	<b>312</b>
16	0	57	18	0	125	0	<b>200</b>
17	0	75	45	0	100	0	<b>220</b>
18	0	51	61	0	160	0	<b>272</b>
19	0	36	42	0	100	0	<b>178</b>
20	0	18	16	0	30	0	<b>64</b>
21	0	27	24	0	45	0	<b>96</b>

### **Apéndice 10. Reporte de asignación de buses y choferes a los roles de trabajo**

A continuación, se presenta el detalle de la asignación de los buses y choferes a cada uno de los roles de trabajo. Hay que aclarar que los roles 1 y 2 tienen horarios de servicio durante todo el día, por lo cual para poder realizar la programación lineal, fue necesario dividirlos en dos jornadas cada uno, es decir que el rol 1, por ejemplo, en la jornada de la mañana se indica en la herramienta como rol 1.1 y en la de la tarde como rol 1.2

*Tabla 49. Reporte de asignación de roles, autobuses y choferes generado por la herramienta programada*

<b>Rol</b>	<b>Bus</b>	<b>Chofer</b>	<b>Hora</b>	<b>Sentido</b>
1.1	299922	7	6:00	F1-F3
1.1	299922	7	6:40	F3-F1
1.1	299922	7	7:15	F1-F3
1.1	299922	7	8:00	F3-F1
1.1	299922	7	8:30	F1-F3
1.1	299922	7	9:30	F1-F3
1.1	299922	7	10:15	F3-F1
1.1	299922	7	10:45	F1-F3
1.1	299922	7	11:15	F3-F1
1.1	299922	7	11:45	F1-F3
1.1	299922	7	12:15	F3-F1
1.1	299922	7	12:45	F3-F1
1.1	299922	7	13:10	F1-F3
1.1	299922	7	13:30	F3-F1
1.2	299922	1	14:00	F1-F3
1.2	299922	1	14:30	F3-F1
1.2	299922	1	14:60	F1-F3
1.2	299922	1	15:30	F3-F1
1.2	299922	1	16:00	F1-F3
1.2	299922	1	16:40	F3-F1
1.2	299922	1	17:20	F1-F3
1.2	299922	1	18:00	F3-F1
1.2	299922	1	18:30	F1-F3
1.2	299922	1	19:00	F3-F1
1.2	299922	1	19:40	F1-F3
1.2	299922	1	20:30	F1-F3
1.2	299922	1	21:00	F3-F1
1.2	299922	1	21:30	F1-F3
2.1	299987	3	6:00	F3-F1

<b>Rol</b>	<b>Bus</b>	<b>Chofer</b>	<b>Hora</b>	<b>Sentido</b>
2.1	299987	3	6:30	F1-F3
2.1	299987	3	7:00	F3-F1
2.1	299987	3	7:30	F1-F3
2.1	299987	3	8:30	F3-F1
2.1	299987	3	8:60	F1-F3
2.1	299987	3	10:00	F1-F3
2.1	299987	3	10:30	F3-F1
2.1	299987	3	11:00	F1-F3
2.1	299987	3	11:30	F3-F1
2.1	299987	3	11:60	F1-F3
2.1	299987	3	12:30	F3-F1
2.1	299987	3	12:55	F1-F3
2.2	299987	9	14:00	F3-F1
2.2	299987	9	14:30	F1-F3
2.2	299987	9	15:00	F3-F1
2.2	299987	9	15:30	F1-F3
2.2	299987	9	16:00	F3-F1
2.2	299987	9	16:30	F1-F3
2.2	299987	9	17:00	F3-F1
2.2	299987	9	17:40	F1-F3
2.2	299987	9	18:15	F3-F1
2.2	299987	9	18:45	F1-F3
2.2	299987	9	19:20	F3-F1
2.2	299987	9	20:00	F1-F3
2.2	299987	9	21:00	F1-F3
2.2	299987	9	21:30	F3-F1
3.0	299988	8	6:15	F1-F3
3.0	299988	8	7:30	F3-F1
3.0	299988	8	7:60	F1-F3
3.0	299988	8	9:00	F1-F3
3.0	299988	8	10:00	F3-F1
3.0	299988	8	10:30	F1-F3
3.0	299988	8	11:00	F3-F1
3.0	299988	8	11:30	F1-F3
3.0	299988	8	11:60	F3-F1
3.0	299988	8	12:30	F1-F3
3.0	299988	8	13:30	F1-F3
3.0	299988	8	14:15	F1-F3
3.0	299988	8	15:15	F1-F3

<b>Rol</b>	<b>Bus</b>	<b>Chofer</b>	<b>Hora</b>	<b>Sentido</b>
3.0	299988	8	15:45	F3-F1
3.0	299988	8	16:15	F1-F3
3.0	299988	8	17:20	F3-F1
3.0	299988	8	18:00	F1-F3
3.0	299988	8	18:30	F3-F1
3.0	299988	8	19:00	F1-F3
3.0	299988	8	19:40	F3-F1
4.0	299921	2	6:20	F3-F1
4.0	299921	2	6:45	F1-F3
4.0	299921	2	7:45	F1-F3
4.0	299921	2	8:45	F1-F3
4.0	299921	2	9:30	F3-F1
4.0	299921	2	9:50	F1-F3
4.0	299921	2	10:45	F3-F1
4.0	299921	2	11:15	F1-F3
4.0	299921	2	11:45	F3-F1
4.0	299921	2	12:20	F1-F3
4.0	299921	2	12:60	F3-F1
4.0	299921	2	14:45	F1-F3
4.0	299921	2	15:15	F3-F1
4.0	299921	2	15:45	F1-F3
4.0	299921	2	16:20	F3-F1
4.0	299921	2	16:45	F1-F3
4.0	299921	2	17:40	F3-F1
4.0	299921	2	18:15	F1-F3
4.0	299921	2	18:45	F3-F1
4.0	299921	2	19:20	F1-F3
4.0	299921	2	20:00	F3-F1
5.0	2991014	5	7:00	F1-F3
5.0	2991014	5	8:00	F1-F3
5.0	2991014	5	9:00	F3-F1
5.0	2991014	5	9:20	F1-F3
5.0	2991014	5	10:15	F1-F3
5.0	2991014	5	12:00	F1-F3
5.0	2991014	5	12:60	F1-F3
5.0	2991014	5	15:00	F1-F3
5.0	2991014	5	17:00	F1-F3
6.0	2991015	6	8:15	F1-F3
6.0	2991015	6	9:10	F1-F3



Rol	Bus	Chofer	Hora	Sentido
6.0	2991015	6	12:00	F3-F1
6.0	2991015	6	12:40	F1-F3
7.0	299604	4	9:40	F1-F3
7.0	299604	4	12:10	F1-F3
7.0	299604	4	13:00	F3-F1

### *Apéndice 11. Cuadro de mando Integral*

Con los datos obtenidos se actualizan las bases de datos que alimentan el reporte de Tableau, teniendo como resultado el siguiente cuadro de mando integral que se puede consultar en el enlace <https://public.tableau.com/profile/luis.adri.n.jim.nez#!/vizhome/CuadrodeMandoIntegralOSG/Dashboard1>

*Figura 92. Cuadro de mando integral Tableau*

PERSPECTIVA FINANCIERA						
Costo total diario (colones)	Costo por autobus diario (colones)		Costo por pasajero diario			
703,958	Bus			Hour of Hora	Escenario	
					Actual	Propuesto
	299604	55,746	06:00	75.09	33.79	
			07:00	71.43	40.17	
			08:00	59.69	25.58	
	299921	28,674	09:00	63.19	25.26	
			10:00	56.73	29.82	
			11:00	49.62	27.13	
			12:00	53.50	27.00	
	299922	26,727	13:00	115.66	90.47	
			14:00	69.59	25.86	
			15:00	53.44	27.79	
	2991014	39,043	16:00	63.13	36.64	
			17:00	95.16	43.56	
			18:00	65.25	36.37	
			19:00	65.74	37.02	
	2991015	36,748	20:00	113.67	34.30	
			21:00	82.36	37.48	

PERSPECTIVA DEL CLIENTE			
Puntualidad	Indicador de atención de usuarios	Atención de paradas	
Hour of Hora		Hour of Hora	
6:00:00 AM	89%	6:00:00 AM	88.89%
7:00:00 AM	80%	7:00:00 AM	91.67%
8:00:00 AM	75%	8:00:00 AM	100.00%
9:00:00 AM	75%	9:00:00 AM	100.00%
10:00:00 AM	60%	10:00:00 AM	100.00%
11:00:00 AM	73%	11:00:00 AM	90.91%
12:00:00 PM	85%	12:00:00 PM	93.59%
1:00:00 PM	75%	1:00:00 PM	89.58%
2:00:00 PM	89%	2:00:00 PM	94.44%
3:00:00 PM	80%	3:00:00 PM	98.33%
4:00:00 PM	63%	4:00:00 PM	97.92%
5:00:00 PM	60%	5:00:00 PM	100.00%
6:00:00 PM	70%	6:00:00 PM	100.00%
7:00:00 PM	75%	7:00:00 PM	100.00%
8:00:00 PM	83%	8:00:00 PM	100.00%
9:00:00 PM	100%	9:00:00 PM	100.00%
	20.0%		

PERSPECTIVA DEL PROCESO INTERNO				
Tasa de generació (kgCO2/km)	kgCO2 generados	Utilización del servicio		Utilización
1.53	Bus	Hour of Hora		
		6:00:00 AM	52%	Facultad de Bellas Artes
	299604	7:00:00 AM	52%	Facultad de Ingeniería
		8:00:00 AM	71%	Facultad de Odontología
		9:00:00 AM	52%	LANAMME
	299921	10:00:00 AM	65%	Microbiología
		11:00:00 AM	87%	Odontología antiguo
		12:00:00 PM	78%	Parada Facultad Ciencias Sociales
	299922	1:00:00 PM	38%	Parada Facultad Educación
		2:00:00 PM	57%	
		3:00:00 PM	70%	
		4:00:00 PM	68%	
	2991014	5:00:00 PM	39%	
		6:00:00 PM	57%	
		7:00:00 PM	63%	
	2991015	8:00:00 PM	42%	
		9:00:00 PM	38%	

## Apéndice 12. Manual de uso de herramienta de demanda y asignación de recursos

### Menú principal de la herramienta

Con el fin de ubicar los diferentes módulos de la herramienta se crea un panel en el que se detalla cada uno de los pasos a seguir para su uso, cuenta con 3 principales interfases, el ingreso de datos requeridos por el sistema, la visualización de los datos de salida del sistema y el algoritmo diseñado para la asignación de recursos y creación de roles de trabajo.

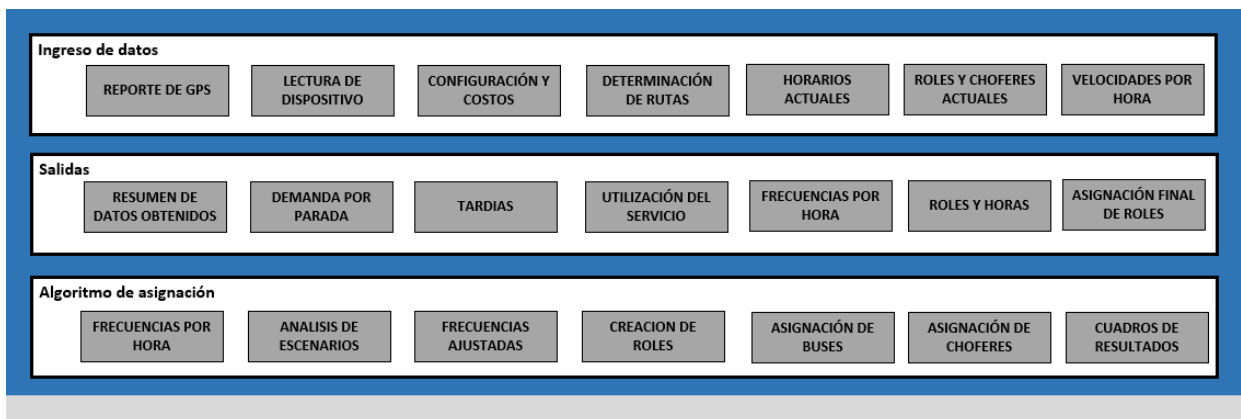


Figura 93. Menú principal de navegación.

### Entrada de datos

La herramienta de demanda y asignación de recursos requiere de diferentes datos que debe proveer un analista de la OSG, para su funcionamiento. A continuación, se detallan las instrucciones para el ingreso de datos al sistema ya sea de variables necesarias, así como del dispositivo de medición de pasajeros.

### Variables del sistema

Para la asignación de choferes a los datos de entrada se requiere contar con la asignación actual de roles de trabajo, se ingresa la placa del bus la fecha y las horas a las que lo tuvo cada chofer.

Bus	Fecha	Hora	Chofer
299-922	16-04-19	6:00 AM	Chofer 1
299-605	16-04-19	7:00 AM	Chofer 2
299-988	16-04-19	8:00 AM	Chofer 3
299-604	16-04-19	9:00 AM	Chofer 4
299-987	16-04-19	10:00 AM	Chofer 5
299-921	16-04-19	11:00 AM	Chofer 6
299-1014	16-04-19	12:00 PM	Chofer 7
299-1015	16-04-19	1:00 PM	Chofer 8

Figura 94. Registro de asignación de choferes por día según placa de autobús.

La herramienta requiere diferentes valores para la realización de sus cálculos, para estas variables se dispone la siguiente figura, en donde se ingresa la flexibilidad de la puntualidad definida por la gerencia de la OSG, el tiempo que dura cada pasajero subiendo al autobús en una parada determinada, el tiempo de contingencia, la capacidad promedio de pasajeros por autobús, el costo por kilómetro y por hora de los choferes, entre otros.

Variable	Datos
Flexibilidad puntualidad (min)	5
Tiempo de parada por pasajero (min)	0.05
Tiempo de contingencia (min)	5
Emisiones de KCO2/ Kilometro	10
Capacidad promedio de pasajeros	70
Costo de km promedio (colones/km)	3500
Costo de hora promedio (colones/hora)	2000

Figura 95. Variables requeridas para la asignación de recursos

En el módulo de asignación de buses a cada rol de debe ingresar el costo por kilómetro de cada uno de los autobuses, esto se realiza manual en la siguiente figura.

Buses	Costo (Colones/Kms)
1	4,000.00
2	3,600.00
3	4,100.00
4	3,700.00
5	4,500.00
NUEVO BUS	
NUEVO BUS	

Figura 96. Costos por kilómetro por autobús.

De manera similar que la asignación de beses a roles, para la asignación de profesores se debe ingresar el valor del salario por hora de cada chofer, y en caso de choferes nuevos ingresarlo en la parte inferior.

Chofer	Costo (Colones/hora)	Costo (Colones/hora)
1	2,405.00	3,607.50
2	2,997.00	4,495.50
3	2,473.00	3,709.50
4	1,831.00	2,746.50
5	1,668.00	2,502.00
6	1,586.00	2,379.00
7	1,590.00	2,385.00
8	2,450.00	3,675.00
9	1,570.00	2,355.00
10	1,644.00	2,466.00
NUEVO CHOFER		
NUEVO CHOFER		

Figura 97. Salario por hora de cada chofer.

Para determinar la puntualidad de cada una de las salidas se debe comparar las salidas de las paradas con el horario teórico, para esto se debe ingresar los horarios, salidas y sentidos en el cuadro que se muestra en la siguiente figura.

Salida	Horario	Sentido
Salida Ciencias Sociales	6:25	F2-F1
Salida Ciencias Sociales	6:35	F2-F1
Salida Ciencias Sociales	6:45	F2-F1
Salida Ciencias Sociales	7:00	F2-F1
Salida Ciencias Sociales	7:05	F2-F1
Salida Ciencias Sociales	7:15	F2-F1
Salida Ciencias Sociales	7:25	F2-F1
Salida Ciencias Sociales	7:35	F2-F1
Salida Ciencias Sociales	7:50	F2-F1
Salida Ciencias Sociales	8:00	F2-F1
Salida Ciencias Sociales	8:05	F2-F1
Salida Ciencias Sociales	8:10	F2-F1

Figura 98. Horarios establecidos.

Los datos del dispositivo de medición de pasajeros se unen el reporte de GPS, el cual se debe extraer de la plataforma de RACSA en donde se alocan los datos, el reporte debe ingresarse a la herramienta.

Zona	Placa	Flota	T. en Zo	Fecha Entrada	Fecha Salida
Parada Facultad de Ingeniería	299-921	Seccion de Transportes	00:00:16	21-02-19 6:38	2019-02-21 06:38:49
Campus UCR	299-921	Seccion de Transportes	00:10:08	2019-02-21 06:40:53	2019-02-21 06:51:01
Parada Lanamme	299-921	Seccion de Transportes	00:00:51	2019-02-21 06:53:01	2019-02-21 06:53:52
Parada Facultad de Ingeniería	299-921	Seccion de Transportes	00:00:36	2019-02-21 06:54:25	2019-02-21 06:55:01

Figura 99. Reporte de GPS

El cálculo de tiempo de rutas se realiza multiplicado la velocidad promedio del tramo en cada hora, por la distancia que debe recorrer, para eso se debe ingresar las velocidades promedias en la figura que se muestra a continuación.

Hora	Finca 1 (Kms/h)	Tramo Super Tacho(Kms/h)	Tramo Salida Sociales (Kms/h)	Finca 3 (Kms/h)	Finca 2(Kms/h)
6:00:00 AM	47	7	25	31	39
7:00:00 AM	46	14	17	35	47
8:00:00 AM	42	8	15	50	39
9:00:00 AM	38	10	14	44	32
10:00:00 AM	39	5	10	31	39
11:00:00 AM	40	11	24	32	42
12:00:00 PM	42	11	11	34	37
1:00:00 PM	32	12	12	43	31
2:00:00 PM	42	5	18	37	46
3:00:00 PM	46	13	11	48	42
4:00:00 PM	47	9	15	42	40
5:00:00 PM	41	9	22	49	40
6:00:00 PM	36	11	12	42	30
7:00:00 PM	40	14	23	40	36
8:00:00 PM	31	14	18	41	50
9:00:00 PM	46	14	17	35	47

Figura 100. Velocidades por tramo

Las rutas deben ser predeterminadas por el analista, debe indicar cada parada con un uno y detallar la distancia total por tramo.

Rutas F1-F2	Facultad de Educación	NUEVA PARADA	Distancia Total	Finca 1	Tramo Super Tacho	Tramo Salida Sociales
1	1.00		5.10	1.50	0.46	1.10
2	1.00		4.31	0.49	0.46	1.10
3	1.00		4.39	0.57	0.46	1.10
NUEVA RUTA						

Figura 101. Ingreso de rutas al sistema.

### Datos del dispositivo de medición de pasajeros

El dispositivo de medición de pasajeros cuenta con una tarjeta micro SD, una vez que los datos son capturados se debe retirar la tarjeta de memoria, insertarla en un adaptador para proceder a ingresarla en una computadora. Una vez que la memoria es leída por la computadora se debe ingresar al equipo y ahí buscar la memoria externa, aparecerá un archivo llamado “Datos.txt”, este archivo deberá ser abierto en un software de hojas de cálculo y convertido a una tabla delimitada por comas. Una vez extraído los datos se ingresan en el cuadro que se muestra en la siguiente figura, se debe seleccionar cual bus es y en cual puerta estaba instalado.

Bus	Puerta	FECHA	HORA	ESTADO
299-922	Trasera	2019/4/16	20:32:49	Sube
		2019/4/16	20:32:57	Sube
		2019/4/16	20:33:3	Baja
		2019/4/16	20:33:6	Baja
		2019/4/16	20:33:8	Baja
		2019/4/16	20:33:11	Baja

Figura 102. Ingreso de datos de dispositivo.

#### 4.2.1. Análisis de demanda

Este módulo agrupa los datos del dispositivo de medición de pasajeros, el GPS y otros datos de entrada, en la primera parte de la tabla se concatenan y unen los datos requeridos para el cálculo de las tardías, todos los campos están formulados, es importante verificar las formulas y ajustar los campos de ser necesario.

Tipo de Parada	Descripción	Salida para puntualic	Según horario	Sentido	Diferencia	¿Tardía?
Salida	Salida Educación	No	8:30:00 AM	F1-F2		
Ruta	NA	No	8:15:00 PM	F1-F3		
Ruta	NA	No	8:15:00 PM	F1-F3		
Ruta	NA	No	8:15:00 PM	F1-F3		
Ruta	NA	No	8:15:00 PM	F1-F3		
Ruta	NA	No	8:15:00 PM	F1-F3		
Ruta	NA	No	8:15:00 PM	F1-F3		
Ruta	NA	No	8:15:00 PM	F1-F3		
Ruta	NA	No	8:15:00 PM	F1-F3		
Ruta	NA	No	8:15:00 PM	F1-F3		
Salida	Salida Educación	Si	8:15:00 PM	F1-F3	-19.00	Tardía

Figura 103. Cálculo de llegadas tardías

En cuando al cálculo de la utilización, la tabla cuenta con la columna de “Personas en el bus”, la cual va contando las personas que suben y bajan del bus, se debe verificar que la cuenta de datos inicie con “Subir”, ya que de no ser así se asignarían valor negativos al contador de personas en el autobús.

Parada para Utilización	Personas en el bus	Indicador de capacidad	Utilización
Si	42		70% Utilizado
Si	44		68% Utilizado
Si	43		72% Utilizado
Si	44		68% Utilizado
Si	45		69% Utilizado
Si	44		68% Utilizado
Si	44		68% Utilizado
Si	43		72% Utilizado
Si	43		72% Utilizado
Si	42		70% Utilizado
Si	42		70% Utilizado

Figura 104. Cálculo de utilización

#### 4.2.2. Asignación de recursos

##### Selección de rutas

El módulo de selección de rutas está configurado para que al cambiar la hora se cambie las velocidades entre tramos y las demandas por parada, esto se realiza por medio de un macro que va cambiando el valor en la celda “A17” que automáticamente cambia la hora. Se debe activar el macro y se calcularán todas las rutas.

16

9:00:00 PM	Tiempo de Parada	Tiempo total	D/T	kgCO2	Razon general	Mejor	Demanda de la ruta	Distancia de Ruta	Tiempo de Ruta
1	8.50	24.58	6.92	51.00	7.37	2.00	170.00	4.31	23.27
2	8.50	23.27	7.31	43.10	5.90				
3	8.40	23.27	7.22	43.90	6.08				
NUEVA RUTA									
NUEVA RUTA									

Figura 105. Selección de ruta.

##### Determinación de frecuencias

En la pestaña de determinación de frecuencias se debe actualizar las formulas oprimiendo F9, de ese modo se actualizará y la herramienta realizará los cálculos respectivos. Además de debe correr la última columna de ser necesario para horas en las que se requieran más de cuatro frecuencias.

Sentido	F1-F2	Programación de salidas								
Hora	Ruta	Demanda de la ruta	Distancia de ruta (Km)	Frecuencias requeridas	Tiempo de ciclo (min)	Buses Requeridos	1	2	3	4
6:00:00 AM	3	175	4.39	3	41.49	3.00	0.00	20.00	40.00	
7:00:00 AM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00		
8:00:00 AM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00		
9:00:00 AM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00		
10:00:00 AM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00		
11:00:00 AM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00		
12:00:00 PM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00		
1:00:00 PM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00		
2:00:00 PM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00		
3:00:00 PM	2	114	4.31	2	37.53	2.00	0.00	30.00		
4:00:00 PM	2	182	4.31	3	45.60	3.00	0.00	20.00	40.00	
5:00:00 PM	0	0	-	0	18.32	-	0.00			
6:00:00 PM	2	107	4.31	2	52.39	2.00	0.00	30.00		
7:00:00 PM	2	171	4.31	3	38.21	2.00	0.00	20.00	40.00	
8:00:00 PM	2	57	4.31	1	33.69	1.00	0.00			
9:00:00 PM	2	170	4.31	3	41.38	3.00	0.00	20.00	40.00	

Figura 106. Determinación de frecuencias



### Creación de roles

Una vez que se conoce cuantas frecuencias se debe realizar en cada uno de los sentidos, la herramienta genera la tabla que se observa en la siguiente figura, en la cual el analista deberá asignar el bus que realizará el recorrido, en este punto se es necesario especificar el número de placa, simplemente debe asignar las diferencias entre los buses que pueden hacer a una hora y observando en las columnas de “Llega a F2” o “Llega a F1”, analizar el bus ha llevado y puede realizar el recorrido o si se requiere de otro para que realice el recorrido.

Hora	Sentido	Tiempo de ruta (min)	Tiempo entre frecuencia (min)	Tiempo de ciclo (min)	Salida	Llega a F2	Llega a F1	Bus	Turno
10:00:00 AM	F2-F1	17.06	60	37.53	0.00		17.06	3	Mañana
11:00:00 AM	F1-F2	20.47	30	37.53	0.00	20.47		1	Mañana
11:00:00 AM	F1-F2	20.47	30	37.53	30.00	50.47		3	Mañana
11:00:00 AM	F2-F1	17.06	60	37.53	0.00		17.06	1	Mañana
12:00:00 PM	F1-F2	20.47	30	37.53	0.00	20.47		2	Mañana
12:00:00 PM	F1-F2	20.47	30	37.53	30.00	50.47		1	Mañana
12:00:00 PM	F2-F1	17.06	60	37.53	0.00		17.06	2	Mañana
1:00:00 PM	F1-F2	20.47	30	37.53	0.00	20.47		2	Tarde
1:00:00 PM	F1-F2	20.47	30	37.53	30.00	50.47		3	Tarde
1:00:00 PM	F2-F1	17.06	60	37.53	0.00		17.06	2	Tarde
2:00:00 PM	F1-F2	20.47	30	37.53	0.00	20.47		1	Tarde
2:00:00 PM	F1-F2	20.47	30	37.53	30.00	50.47		2	Tarde

Figura 107. Determinación de roles requeridos

### Ajusto manual para la asignación de horas de descanso

Una limitante de la herramienta es la asignación automática de los tiempos de descanso y almuerzo, esto debido al alcance del proyecto y el sistema en el cual se realiza la herramienta no se contempla una variable para reservar el tiempo de descanso, sin embargo, se visualiza todos los tiempos muertos con los que cuenta cada rol creado de este modo el analista encargado de la creación de roles puede asignar de manera manual, apoyándose en la información brindada cada uno de los turnos libros que tendrá el chofer.

Rol	Ruta	Salida de F1	Salida de F2	Llegada destino	Proxima Salida	Salida F1	Salida F2	Tiempo Libre (min)
3	F1-F2	6:15		6:44	F2-F1		7:30	46
3	F2-F1		7:30	7:49	F1-F2	7:60		11
3	F1-F2	7:60		8:28	F1-F2	9:00		13
3	F1-F2	9:00		9:33	F2-F1		10:00	27
3	F2-F1		10:00	10:23	F1-F2	10:30		7
3	F1-F2	10:30		10:54	F2-F1		11:00	6
3	F2-F1		11:00	11:27	F1-F2	11:30		3
3	F1-F2	11:30		11:60	F2-F1		11:60	0
3	F2-F1		11:60	12:27	F1-F2	12:30		3
3	F1-F2	12:30		13:04	F1-F2	13:30		2
3	F1-F2	13:30		13:51	F1-F2	14:15		2
3	F1-F2	14:15		14:44	F1-F2	15:15		10
3	F1-F2	15:15		15:41	F2-F1		15:45	4
3	F2-F1		15:45	16:11	F1-F2	16:15		4
3	F1-F2	16:15		16:43	F2-F1		17:20	37
3	F2-F1		17:20	17:42	F1-F2	18:00		18
3	F1-F2	18:00		18:28	F2-F1		18:30	2
3	F2-F1		18:30	18:54	F1-F2	19:00		6
3	F1-F2	19:00		19:25	F2-F1		19:40	15
3	F2-F1		19:40	20:01				

Figura 108. Tiempos libres entre cada frecuencia realizada por rol

*Asignación de buses y choferes.*

Una vez ingresado los costos por kilómetro de cada uno de los autobuses y el salario por hora de cada chofer, se debe plantear el modelo de programación lineal, el cual consiste de tres principales puntos. El primero es la función objetivo, en la siguiente figura se muestra al módulo en el cual se encuentra formulados los diferentes campos, la celda verde corresponde a la función de costo que se desea minimizar, las celdas en rojo son las variables que se deben modificar en el modelo, las cuales a su vez también son restricciones tipo binarios, estas junto con las celdas en celeste a la izquierda de la figura son las restricciones del modelo.

Buses/Roles	1	2	3	4	5	NUEVO BUS	NUEVO BUS	Asignar un bus a cada rol
1	1	0	0	0	0			1
2	0	0	1	0	0			1
3	0	1	0	0	0			1
4	0	0	0	0	1			1
5	0	0	0	1	0			1
6	0	0	1	0	0			1
7	0	1	0	0	0			1
8	1	0	0	0	0			1
9	0	0	0	0	1			1
10	0	0	0	1	0			1
NUEVO ROL								0
NUEVO ROL								0
<b>Costo</b>	308,000.00	343,800.00	305,040.00	337,070.00	311,400.00	-	-	<b>Total</b> 1,605,310.00

Figura 109. Variables del modelo de programación lineal para asignación de buses a roles

Para realizar el modelo se debe ingresar a la herramienta solver, la cual se encuentra en la barra de herramientas en el submenú de datos, una vez que se ingrese se despliega la siguiente pantalla, en la cual de ingresa de primero la celda que se desea minimizar o maximizar, seguido de las celdas que van a variables y se determinan las restricciones oprimiendo en el botón “Add”. Se debe asegurar que el modelo a resolver sea “Simplex LP”, y se procede a resolver el modelo.

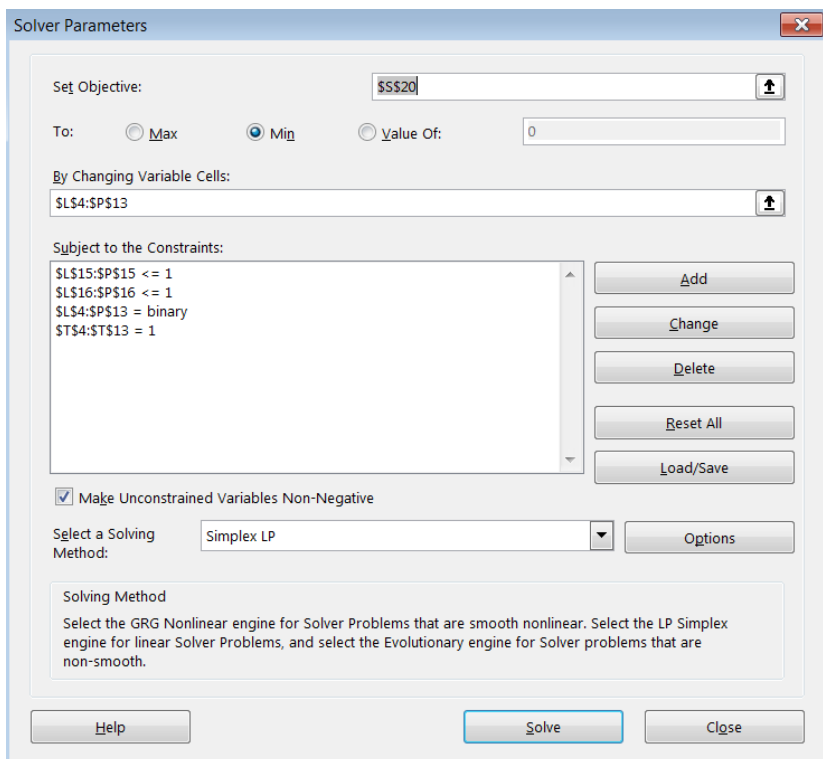


Figura 110. Configuración de herramienta solver

### Análisis de escenarios.

Una vez que se determinadas las frecuencias recomendadas por hora, es importante poder analizar los diferentes escenarios al aumentar o disminuir la cantidad de frecuencias, para eso el analista debe ingresar un en la columna “Aumento/disminución de frecuencia”, si desea aumentar las frecuencias debe ser un número positivo, si lo que desea es disminuir deberá ingresar un número negativo no mayor a las frecuencias actuales.

Sentido		F1-F2					
Hora	Frecuencias actuales	Capacidad actual	Distancia de ruta total (Km)	Costo promedio	Kg CO2 promedio	Aumento/disminución de frecuencia	
6:00:00 AM	3	210	6.79	77,295.00	203.70	0	
7:00:00 AM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	0	
8:00:00 AM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	0	
9:00:00 AM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	0	
10:00:00 AM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	0	
11:00:00 AM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	0	
12:00:00 PM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	-1	
1:00:00 PM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	5	
2:00:00 PM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	0	
3:00:00 PM	2	140	6.71	50,970.00	134.20	0	
4:00:00 PM	3	210	6.71	76,455.00	201.30	0	
5:00:00 PM	0	0	2.40	-	-	0	
6:00:00 PM	2	140	7.81	58,670.00	156.20	0	
7:00:00 PM	3	210	6.71	74,455.00	201.30	0	
8:00:00 PM	1	70	6.71	25,485.00	67.10	4	
9:00:00 PM	3	210	6.71	76,455.00	201.30	0	

Figura 111. Módulo de análisis de escenarios.

### 4.2.3. Salida de datos

#### Base de datos maestra

El módulo de análisis de la demanda tiene como su principal salida la base de datos maestra de la cantidad de personas que suben y bajan del autobús, por hora, parada, chofer, y según frecuencia.

Esta base de datos cuenta con 20 columnas, en la siguiente imagen se muestra un resumen de la misma, la base de datos sirve para alimentar el cuadro de mando integral, ya que este se realiza en la plataforma Tableau, la cual admite hojas de cálculo para la creación de sus cuadros de mando.

Fecha Contable	Fecha con Formato	Parada	Ciudad	Tipo de Parada	Descripción	Salida para puntual	Según horario	Serbio	Diferencia	¿Tardo?	Parada para Utilización	Personas en el bus	Indicador de capacidad	Utilización
43571 0.586805555555556		Parada Facultad de Ingeniería	Chofer 2	Ruta	NA	No	7:55:00 PM F1-F3			Si	Si	42		70% Utilizado
43571 0.833333333333333		Parada Facultad de Microbiología	Chofer 4	Ruta	NA	No	7:55:00 PM F1-F3			Si	Si	44		68% Utilizado
43571 0.586805555555556		Parada Facultad Ciencias Sociales	Chofer 2	Ruta	NA	No	7:55:00 PM F1-F3			Si	Si	43		72% Utilizado

Figura 112. Tabla de datos maestra.

#### Reportes de análisis de demanda

La herramienta cuenta con tres reportes dinámicos (subidas por parada, tardías, utilización), sin embargo, se pueden realizar más y cambiar su configuración. Lo primero que debe realizarse es generar una tabla dinámica a partir de la base de datos maestra, una vez que se genera se procede a crear una gráfica dinámica que se alimenta de la tabla como se observa en la siguiente .

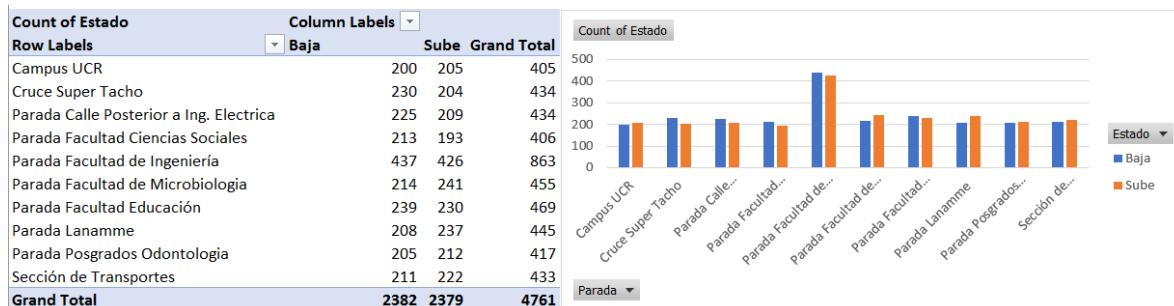


Figura 113. Reportes dinámicos.

Para modificar la tabla se debe desplegar la lista de campos de la tabla dinámica, para eso se presiona el clic derecho sobre la misma y se selecciona la opción “Mostrar lista de campos”, se visualizará la siguiente figura, en la cual se puede agregar filtros, para eso se presiona clic derecho sobre la variable que se desea filtrar y se oprime la opción de segmentación de datos “Slicer” en la versión en inglés, de este modo se puede contar con los filtros de las variables requeridas.

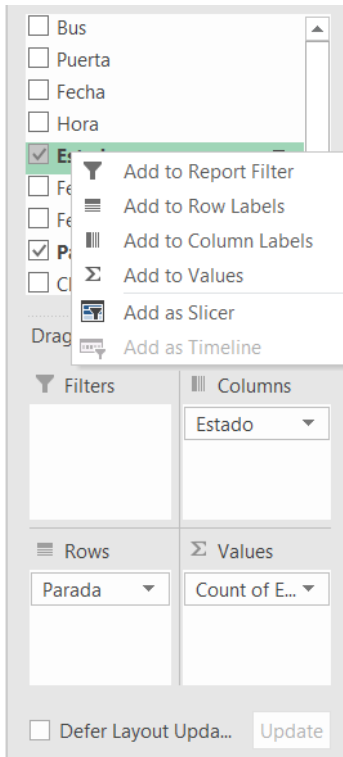


Figura 114. Panel de creación de tabla dinámica.

### Roles de trabajo

Por ultimo una vez realizadas las dos programaciones lineales para la definición de buses y choferes, se genera el cuadro resumen que se muestra a continuación.

Roles	Buses	Chofer
1	1	3
2	3	2
3	2	1
4	5	9
5	4	5
6	3	8
7	2	7
8	1	4
9	5	6
10	4	10

Figura 115. Resumen de asignación de roles a cada bus y chofer.

En el cual se muestra el resultado final y la combinación de bus y chofer que implicarían el mejor costo para la OSG, conociendo las rutas y frecuencias que debe realizar cada rol de trabajo es posible unir este cuadro resumen con los horarios y de este modo contar con la asignación final de rutas, roles, buses y choferes.

Hora	Sentido	Ruta	Salida	Llega a F2	Llega a F1	Rol	Bus	Chofer
6:00:00 AM	F1-F2	3	0.00	24.89		1	1	3
6:00:00 AM	F1-F2	3	20.00	44.89		2	3	2
6:00:00 AM	F1-F2	3	40.00	64.89		3	2	1
6:00:00 AM	F2-F1	3	0.00		16.60	2	3	2
7:00:00 AM	F1-F2	2	0.00	20.47		2	3	2
7:00:00 AM	F1-F2	2	30.00	50.47		1	1	3
7:00:00 AM	F2-F1	3	0.00		17.06	1	1	3
8:00:00 AM	F1-F2	2	0.00	20.47		2	3	2
8:00:00 AM	F1-F2	2	30.00	50.47		3	2	1
8:00:00 AM	F2-F1	3	0.00		17.06	2	3	2
9:00:00 AM	F1-F2	2	0.00	20.47		2	3	2

Figura 116. Roles de trabajo final.

### Costos del servicio

Según la asignación realizada utilizando como función objetivo la disminución del costo de operación, es posible obtener el costo estimado del servicio bajo los roles propuestos, se muestra el costo variable debido al autobús, chofer y el resultado por pasajero según cada hora en la que se presta el servicio.

Hora	Demanda Estimada	Propuesto			
		Costo variable de autobus	Costo variable de chofer	Costo total	Costo por pasajero
6	428	₺ 5,206	₺ 9,752	₺ 14,958	₺ 35
7	440	₺ 4,708	₺ 12,508	₺ 17,216	₺ 39
8	464	₺ 5,595	₺ 16,999	₺ 22,594	₺ 49
9	602	₺ 8,014	₺ 20,132	₺ 28,147	₺ 47
10	520	₺ 6,190	₺ 20,132	₺ 26,323	₺ 51
11	766	₺ 6,014	₺ 20,132	₺ 26,146	₺ 34
12	888	₺ 10,239	₺ 20,132	₺ 30,372	₺ 34
13	254	₺ 5,250	₺ 12,683	₺ 17,933	₺ 71
14	477	₺ 4,433	₺ 21,966	₺ 26,398	₺ 55
15	572	₺ 6,964	₺ 23,344	₺ 30,307	₺ 53
16	512	₺ 5,206	₺ 23,344	₺ 28,550	₺ 56
17	377	₺ 4,708	₺ 23,344	₺ 28,052	₺ 74
18	575	₺ 6,014	₺ 19,210	₺ 25,224	₺ 44
19	405	₺ 4,489	₺ 19,210	₺ 23,699	₺ 59
20	200	₺ 2,199	₺ 15,077	₺ 17,276	₺ 86
21	210	₺ 2,851	₺ 12,143	₺ 14,994	₺ 71
<b>Total</b>	<b>7,690</b>	<b>₺ 88,080</b>	<b>₺ 290,108</b>	<b>₺ 378,188</b>	<b>₺ 49</b>

Figura 117. Costos totales y por pasajero por hora

### *Precisión de la oferta propuesta en comparación a la demanda estimada*

Debido a que el modelo para la determinación de la cantidad de frecuencia se realiza bajo la metodología de persecución de la demanda, la herramienta muestra la precisión de la oferta que se brindará dada la propuesta de roles en comparación con la demanda estimada en el estudio previo, en todos los casos la cantidad de espacios en el autobús disponibles debe ser mayor o igual que el flujo que se espera.

Hora	Demanda estimada	Actual		Propuesto	
		Oferta Brindada	Precisión de la oferta	Oferta Brindada	Precisión de la oferta
6	428	720	● 168%	560	● 131%
7	440	800	● 182%	560	● 127%
8	464	640	● 138%	560	● 121%
9	602	960	● 159%	640	● 106%
10	520	800	● 154%	640	● 123%
11	766	880	● 115%	800	● 104%
12	888	1,040	● 117%	960	● 108%
13	254	640	● 252%	320	● 126%
14	477	720	● 151%	560	● 117%
15	572	800	● 140%	640	● 112%
16	512	640	● 125%	560	● 109%
17	377	800	● 212%	480	● 127%
18	575	800	● 139%	640	● 111%
19	405	640	● 158%	480	● 119%
20	200	480	● 240%	240	● 120%
21	210	560	● 267%	320	● 152%
Total	7,690	11,920	● 170%	8,960	● 120%

Figura 118. Precisión de la oferta brindada con respecto a la demanda estimada

### **Apéndice 13. Cuestionario de satisfacción al usuario**

Para acceder al cuestionario de satisfacción al usuario se puede utilizar en el siguiente enlace:

<https://docs.google.com/forms/d/1SzOGdcOm7FPBgpTkpCdSVYHsIESkgGEA5UJfgcFc>