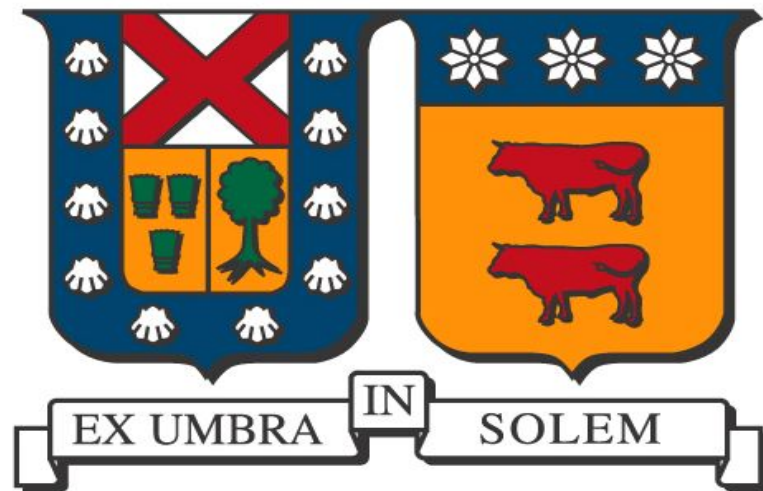


**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA  
CASA CENTRAL**



# **Algoritmo de conteo de pasajeros por medio de sensores infrarrojos para el transporte público metropolitano**

---

**Ricardo Sebastián Valencia Luna**

**Memoria de Titulación para optar al título de:**

**INGENIERO CIVIL EN TELEMÁTICA**

**Profesor Guía: Marcos Zuñiga Barraza**

**Profesor Correferente: Cecilia Reyes Covarrubias**

**Agosto 2018**

*“En memoria de mi compañero y amigo Vicente Lara”*

# Agradecimientos

Agradezco a mi familia por apoyarme cuando mi camino estuvo difícil y las adversidades que me puso la vida afectaron mi salud. Mis padres Ricardo y Rossana, por su cariño incondicional, animarme a seguir adelante y darme un gran ejemplo de esfuerzo y perseverancia. A mis hermanas Irene y Cecilia, por apoyarme en todo y ayudarme cuando estuve en la lucha contra mi enfermedad.

A mi compañera y pareja Carolina, por apoyarme incondicionalmente y hacerme ver que todo se puede, por ser parte fundamental de mi vida, por ser mi complemento, gracias.

A mis amigos incondicionales, por darme fuerzas y alegrías. Me hacen reír cuando las cosas no son favorables, son lo mejor chicos del CDT.

A mi profesor guía Marcos Zúñiga, por brindarme su apoyo y conocimiento no sólo en la memoria, también cuando mi salud estaba afectada.

A mi equipo de trabajo de memoria Guillermo, José y Eduardo, con los cuales formamos una buena amistad y un gran grupo de trabajo.

A mis compañeros de carrera, y todas aquellas personas que me han acompañado en estos años de estudios.

A todos ellos muchas gracias.

## Resumen

En base al desafío planteado al Programa de Memorias Multidisciplinarias de la Universidad Técnica Federico Santa María, por la Unidad de Ciudades Inteligentes del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones de Chile: ¿Cómo saber en tiempo real el número de pasajeros que suben y bajan del transporte público?, surge la presente memoria.

La solución propuesta se basa en instalar en los buses, una red de sensores que contabiliza de manera clara y precisa, los pasajeros que circulan bidireccionalmente a través de sus puertas. Estos datos son recolectados y enviados mediante un *gateway* a un servidor central, quien se encarga de almacenarlos en una base de datos *NoSQL*. Este tipo de base de datos posee poderosas características de lectura y escritura de grandes volúmenes de datos. Esta información es esencial para diseñar un modelo estocástico predictivo en base a la correlación de los datos tomados en tiempo real. Esto para que un usuario pueda tomar decisiones oportunas orientadas a mejorar la planificación, mediante un *dashboard* intuitivo y fácil de usar.

## Abstract

The following challenge and question was posed to the program, Multidisciplinary Memories of the Technical University Federico Santa Maria, by the Unit for Intelligent Cities of the Ministry of Transport and Telecommunications of Chile: How can the number of passengers using public transport in real time be calculated?

The proposed solution is based on the installation of a network of sensors on transport buses that clearly and accurately counts the number of passengers that circulate bidirectionally through their doors. This data is collected and sent through a gateway to a central server, which is responsible for storing them in a NoSQL database. This database has the power to read and write characteristics of large volumes of data, essential for designing a predictive stochastic model based on the correlation of data taken in real time. With this knowledge, a user can make timely decisions aimed at improving planning, using an intuitive and easy to use dashboard.

# Glosario

<b>ADC</b>	Analog Digital Converter (Convertor análogo digital)
<b>AFT</b>	Administrador Financiero de Transantiago
<b>CIG</b>	Central de Información y Gestión
<b>COF</b>	Centro de Operación de Flota
<b>Dashboard</b>	Tablero de Control
<b>DTPM</b>	Directorio de Transporte Público Metropolitano
<b>GPIO</b>	General Purpose Input/Output
<b>GPS</b>	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
<b>MTT</b>	Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones
<b>RFID</b>	Radio Frequency Identification (Identificación por Radiofrecuencia)
<b>UCI</b>	Unidad de Ciudades Inteligentes
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>SECTRA</b>	Secretaría de Transporte

# Índice

<b>Introducción</b>	<b>9</b>
1.1 Propósito	9
1.2 Alcance	9
1.3 Contexto	11
1.3.1 Definición del Problema	11
1.3.1.1 Antecedentes del Transantiago	11
1.3.1.2 Reforma del Transantiago	12
1.3.1.3 Situación Actual del Transantiago (2016)	16
1.3.1.4 Sondeo ciudadano respecto al Transantiago	17
1.3.1.5 Actual Método de Planificación del Transporte	18
1.4 Objetivos de la Solución	20
1.4.1 Objetivos Generales	20
1.4.2 Objetivos Específicos	20
1.5 Metodología de Desarrollo	21
1.6 Estructura del Documento	23
<b>Estado del Arte</b>	<b>24</b>
2.1 Soluciones Existentes	24
2.1.1 Contexto Nacional	24
2.1.2 Contexto Internacional	25
2.1.3 Conclusiones de las soluciones existentes	29
2.2 Propuesta de solución	29
2.3 Alternativas Tecnológicas a evaluar	31
2.3.1 Cámara	31
2.3.2 Sensor de presión	32
2.3.3 Infrarrojo Activo	32
2.3.4 Infrarrojo Pasivo	32
2.3.5 Detector térmico	33
2.3.6 Haces de Luz	33
2.3.7 Tabla resumen	34
2.4 Modelo a desarrollar	35
<b>Definición general del sistema</b>	<b>36</b>
3.1 Diagrama de Contexto	36
3.1.1 Toma de Datos (TD)	37
3.1.2 Recepción de Datos (RD)	37
3.1.3 Modelo Predictivo de Flujo (MPF)	37
3.1.4 Procesamiento de Datos (PD)	38

3.1.5	Mostrar Datos de Interés (MDI)	38
3.2	Modelo de Negocios	38
3.3	Identificación de Requerimientos	39
3.3.1	Requerimientos Funcionales	39
3.3.2	Requerimientos No Funcionales	39
3.4	Diseño de Módulos del Sistema	40
3.4.1	Red de Sensores	41
3.4.2	Procesar Datos	42
3.4.3	Envío de Información y Almacenamiento	42
3.4.4	Modelo Predictivo	42
3.4.5	Visualización de Información	43
<b>Desarrollo</b>		<b>44</b>
4.1	Diagrama de la solución	44
4.1.1	Diseño de la red de sensores	44
4.1.2	Convertor análogo digital	46
4.1.3	Raspberry Pi 3	47
4.2	Instalaciones y recursos utilizados	48
4.2.1	Preparación de Arduino	48
4.2.1	Preparación de Raspberry Pi 3	50
4.3	Desarrollo del algoritmo de reconocimiento	50
4.3.1	Posicionamiento de sensores	50
4.3.2	Reconocimiento del paso de un objeto	51
4.3.3	Reconocimiento de silueta	55
4.4	Modelo desarrollado	55
4.4.1	Pruebas del sistema	55
4.4.2	Resultados	58
<b>Conclusiones</b>		<b>62</b>
5.1	Conclusiones Generales	62
5.2	Conclusiones específicas	63
5.3	Trabajo a Futuro	64
<b>Bibliografía</b>		<b>66</b>

## Índice de Figuras

Figura 1. Lámina incluida en la presentación powerpoint de Gibran Harcha	15
Figura 2. Sectores de Santiago divididos por líneas de buses	17
Figura 3. Encuesta Adimark - Mayo 2016	18
Figura 4. Zona donde se realiza la encuesta Origen Destino	19
Figura 5. Mapa conceptual del sistema	30
Figura 6. Modelo 3D sensores infrarrojos	35
Figura 7. Diagrama de contexto	36
Figura 8. Módulo del sistema	37
Figura 9. Modelo Canvas	38
Figura 10. Diagrama de flujo del flujo del sistema	41
Figura 11. Diagrama de contexto	44
Figura 12. Tapa superior de la cubierta (madera)	45
Figura 13. Tapa inferior de la cubierta (acrílico)	45
Figura 14. Gráfico de voltaje vs distancia obtenida de un sensor	46
Figura 15. Diagrama de conexión de Arduino con sensor infrarrojo	46
Figura 16. Comunicación serial entre Arduino y Raspberry Pi	47
Figura 17. Arduino IDE en centro de software Ubuntu	48
Figura 18. Sketch de Arduino utilizado	49
Figura 19. Estructura inferior, redes de sensores	51
Figura 20. Máquina de estados entrada de un objeto	51
Figura 21. Máquina de estados salida de un objeto	52
Figura 22. Máquina de estados entrada primera modificación	53
Figura 23. Máquina de estados salida primera modificación	53
Figura 24. Máquina de estados entrada y salida segunda modificación	54
Figura 25. Silueta original	59
Figura 26. Silueta con 1% de error	59
Figura 27. Silueta con 5% de error	59
Figura 28. Silueta con 10% de error	60
Figura 29. Silueta con 20% de error	60
Figura 30. Silueta con 30% de error	61
Figura 31. Silueta con 30% de error	61
Figura 32. Logo de la Empresa Raisklu	64

## Índice de Tablas

Tabla 1. Calificación promedio en diversos aspectos del sistema de locomoción	16
Tabla 2. Concesionarias del Transantiago (2016)	17
Tabla 3. Resumen de sensores	34
Tabla 4. Dataset umbral vacío	56
Tabla 5. Dataset, corte de entrada	56
Tabla 6. Dataset, persona bajo el umbral	57
Tabla 7. Dataset, corte de salida	57

# Capítulo 1

## Introducción

A través del programa de Memorias Multidisciplinarias [1], se analizó e implementó una solución técnica del desafío propuesto por la Unidad de Ciudades Inteligentes del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones de Chile [2], el cual consiste en ¿Cómo medir en tiempo real el número de personas que suben y bajan del transporte público?. Para abordarlo se formó un equipo multidisciplinario de memoristas de las carreras Ingeniería Civil Informática, Matemática y Telemática, todos procedentes de la Universidad Técnica Federico Santa María.

### 1.1 Propósito

El propósito de esta memoria es realizar cambios tecnológicos que permitan obtener información de subida y bajada de pasajeros, la cual ayudarán a realizar una reformulación operacional y estratégica, teniendo un alto impacto en la planificación a corto y largo plazo del sistema de transporte metropolitano, información que podrá ser reflejada en ajustes de recorridos, paraderos e inyección de buses en situación de congestión. Esto se realizará mediante un sistema de conteo de pasajeros con sensores de proximidad ubicados sobre cada puerta del bus. Estos datos serán enviados a un servidor que almacena y estructura la información. Finalmente, para que el operario del transporte, obtenga información descriptiva y predictiva, con el fin de tomar decisiones oportunas mediante un *dashboard*.

El presente trabajo abordó el desafío de desarrollar un sistema de conteo de personas, integrando *hardware* y *software*. Se estudiaron diversos casos exitosos a nivel nacional e internacional, identificando ventajas y desventajas que entrega cada solución. Se diseñó y programó un algoritmo, que sea capaz de identificar el paso de una persona por un umbral (puerta de oficina), respondiendo a la pregunta ¿es posible desarrollar un sistema de bajo costo para reconocer el paso de una persona que sube o baja del transporte público?.

## 1.2 Alcance

El desarrollo de esta memoria, comprende ocho meses de trabajo y considera las siguientes fases:

- Investigación de las alternativas tecnológicas de la solución.
- Diseño del sistema de la solución planteada.
- Realización de prototipo funcional a baja escala.

El alcance del prototipo funcional que se genera como resultado, abarca un sistema que entrega información en tiempo real y de tipo predictiva del flujo de pasajeros de los diferentes recorridos de la ciudad de Santiago. Los sensores que se utilizan, proveen de un sistema de detección de siluetas para determinar el paso de una persona. Estos son colocados en forma de zig zag mediante dos líneas paralelas para discernir la dirección del pasajero. La información de los sensores es almacenada en una base de datos con características adecuadas para las necesidades de escritura y lectura. Luego, es analizada mediante modelos matemáticos predictivos para obtener información de alta calidad, relevante para la toma de decisiones. Finalmente, la información se visualiza mediante un *dashboard* interactivo y de fácil uso para el potencial cliente.

La solución se sustenta en varios pilares. Los encargados de cada pilar son presentados a continuación:

- **Ricardo Valencia** encargado de la investigación, desarrollo e implementación de la captura de datos mediante sensores. (Ingeniero Civil Telemática).
- **Eduardo Hitschfeld** encargado de realizar la interconectividad de la red de sensores con la base de datos no relacional. (Ingeniero Civil Telemática).
- **Guillermo Briceño** encargado del almacenamiento eficiente de los datos obtenidos (Base de Datos de tipo *NoSQL*) y posterior visualización de la información. (Ingeniero Civil Informática).

- **José Poblete** encargado de investigar y asociar un modelo predictivo espacio-temporal a los datos. Simulación y análisis de resultado, principalmente enfocado al error de predicción. (Ingeniero Civil Matemática).

A futuro, gracias a las tecnologías utilizadas, el servicio es altamente escalable a las diferentes instituciones y/o empresas dedicadas al rubro del transporte público o privado de Chile, indistintamente de la ciudad o región.

## **1.3 Contexto**

### **1.3.1 Definición del Problema**

Para conocer de mejor manera el desafío planteado es necesario precisar el por qué se origina el presente problema de la Subsecretaría de Transporte.

#### **1.3.1.1 Antecedentes del Transantiago**

En la década de los 80's, el sistema de transporte público en Santiago se regía en base al libre mercado y contemplaba una flota de alrededor de 5.000 buses. Sin embargo, 10 años después, la flota aumentó a los 13.000 buses llevando consigo que la ocupación media disminuyera alrededor de un 40%. Esto produjo que la ciudad tuviese un colapso de buses de mala calidad, vacíos y con altas tarifas, generando graves problemas de congestión y contaminación.

La razón de esto, es que los pasajeros estaban dispuestos a pagar una tarifa más elevada si esto se asociaba a un menor tiempo de espera, por lo que las empresas no presentaban un incentivo adecuado para competir. Dado esto, se concluyó que la liberación del mercado no era la solución. Esto se debe a que en el transporte público urbano, las empresas no compiten por precios, sino que por frecuencias, aumentando el costo paulatinamente, densificando innecesariamente la flota de buses y congestionando la ciudad.

En el año 1991, se introdujo un sistema de licitaciones de contratos de concesión, mediante el cual se retiraron los buses más antiguos, se redujo la tarifa y aumentó la eficiencia, pero esto no fue suficiente. Posteriormente, para el año 2005, existía una flota de alrededor de 8.000 buses, operada por 289 servicios concesionados. El 80% pasaba por una de las grandes arterias más importantes de la ciudad: Gran Avenida, Independencia, Recoleta, Santa Rosa, Vicuña Mackenna, San Pablo, Pajaritos, Alameda, Apoquindo e Irrazábal, generando graves problemas de congestión.

Los choferes recibían un porcentaje de comisión por el boleto de cada pasajero, que motivaba a manejar agresivamente con el fin de buscar más pasajeros. Ocasionalmente que en promedio cada 3 días fallecía una persona, producto de un accidente de locomoción pública.

Además, el sistema no gozaba de ningún mecanismo de integración tarifaria, por lo que el recorrido de los buses era exageradamente largo. El Metro, por otro lado, no estaba funcionando en conjunto con el sistema de buses, por ende, estaba siendo subutilizado.

La flota de buses en ese momento, era uno de los principales emisores de contaminación en Santiago, debido a la ausencia de incentivos en la renovación de éstos. Dados los problemas mencionados anteriormente, era necesaria una reforma en el transporte público. [3]

### **1.3.1.2 Reforma del Transantiago**

Es parte del sistema de transporte público de la ciudad de Santiago. Tiene como objetivos principales: aumentar el número de usuarios del transporte público, reducir los niveles de contaminación del aire, disminuir el número de vehículos en el centro, aumentar la seguridad y confiabilidad del sistema de transporte público en Santiago.

Transantiago comenzó en una primera etapa de planificación. Su comienzo fue el 22 de octubre de 2005 siendo completada el 10 de febrero de 2007, fecha en que se realizó la transición definitiva al nuevo sistema.

Este sistema de transporte reformó por completo la malla de recorridos de las antiguas micros amarillas, diseñando un sistema basado en el uso de servicios alimentadores y troncales, en conjunto con el Metro de Santiago. Para ello, se creó una nueva infraestructura y flota vehicular, y además se estableció el uso de una tarjeta inteligente con el fin de establecer un sistema tarifario integrado, la tarjeta *Bip!*.

Transantiago tiene varios pilares básicos que garantizan su funcionamiento y sustentabilidad en el tiempo. Estos son:

#### **1.- Nuevo sistema de recorridos**

Transantiago impulsó una reforma completa a la malla de recorridos, los cuales atraviesan la ciudad de Santiago. Los nuevos recorridos están diferenciados en locales y troncales, con el fin de optimizar los viajes.

Los recorridos locales, también denominados como alimentadores, corresponden a líneas de microbuses que realizan viajes cortos en zonas específicas de la ciudad y su

objetivo es servir como alimentadores de los sistemas troncales. Se caracterizan por estar pintados del color de acuerdo a la unidad de negocio u operador de transporte.

Los recorridos troncales corresponden a los servicios que realizan largos viajes cruzando diversas zonas de la ciudad. Dentro de los servicios troncales se encuentra el Metro de Santiago y sus cinco líneas operativas en la actualidad.

Dentro de los buses troncales y locales, se establecieron algunas variantes: los denominados servicios cortos y expresos. Los servicios expresos recorren (en general) la misma ruta que su variante normal, pero se detienen en sólo algunos paraderos.

Dentro de los primeros meses de funcionamiento se integraron dos nuevos tipos de recorridos troncales. Los llamados buses clones con recorridos que imitan la trayectoria de las principales líneas del Metro de Santiago como forma de descongestionar al ferrocarril urbano. Los denominados súper-expresos, con recorridos de largo trayecto y que se detienen únicamente en los paraderos terminales.

## **2.- Sistema de pago y administración financiera**

Con el fin de permitir el sistema de integración tarifaria, se diseñó un método de pago a través de una tarjeta inteligente denominada tarjeta *Bip!*. Esta fue diseñada de forma similar a la antigua tarjeta Multivía (con tecnología RFID), puesta en operación por el Metro en 2003.

Los usuarios de Transantiago deben usarla cada vez que abordan alguno de los buses o acceden a los andenes del Metro.

El Administrador Financiero Transantiago (AFT) está a cargo de administrar financieramente el Transantiago. Es un consorcio privado que está compuesto por: Banco Estado (21% de participación), Banco de Chile (20% de participación), Banco de Crédito e Inversiones (20% de participación), Banco Santander Chile (20% de participación), Promotora CMR Falabella (9,5% de participación), Sonda S.A. (9,5% de participación).

## **3.- Servicio de información y atención al usuario de Transantiago**

Otro componente relevante es el denominado Sistema de Información al Usuario de Transantiago. Sus principales funciones son entregar al público información del nuevo sistema tanto antes de su implementación como a lo largo de todo su funcionamiento, ofrecer atención a usuarios (como consultas y reclamos), además de entregar información

de la ubicación de los buses a los operadores y coordinar contingencias con los organismos correspondientes.

La primera tarea del sistema comenzó en octubre de 2006, con la puesta en marcha de la campaña informativa "Transantiago informa", que buscaba informar a la ciudadanía de la correcta utilización del nuevo sistema, además de permitir que las personas conocieran los cambios que se producirían en febrero de 2007, cuando Transantiago comenzaría a operar completamente.

Para esto se colocaron oficinas de atención al público y oficinas móviles donde se entregó información, además de puntos de información en lugares de gran afluencia de público como centros comerciales y supermercados. También se habilitó una línea telefónica para consultas, además de visitas a organizaciones sociales, colegios, universidades y empresas para informar del plan. [4]

Desde días previos al inicio de la puesta en marcha de Transantiago, cientos de monitores fueron instalados en paraderos para informar a los usuarios del sistema. Además, se distribuyó una guía informativa a todos los hogares de la Región Metropolitana de Santiago, estimándose cerca de 1,5 millones de mapas y 2,5 millones de volantes repartidos. [5]

#### **4.- Tecnologías contempladas en los inicios del Transantiago**

En la propuesta inicial del Transantiago, el año 2007 el AFT tenía a su cargo: cobro sobre los buses (tarjeta *Bip!*), recaudo de las tarifas de usuarios del Transantiago, distribución de fondos entre los operadores y proveer de equipos de monitoreo (*GPS* y centrales de control). La gestión de flota no estaba dentro de las tareas de AFT, ya que esta entidad debió proveer equipos y software de apoyo para que cada operador de transporte tuviera su propio Centro de Operación de Flota (COF), y mediante estas tecnologías pudiera implementar una Central de Información y Gestión (CIG), para monitorear y fiscalizar el sistema de transporte.

La incorporación de nuevas tecnologías a los buses, no tuvo buena acogida por parte de los operadores, ya que se incurrió en malas prácticas. Estas consistieron en desconectar los sistemas de geolocalización, para ocultar el número real de buses que estaban circulando o malas prácticas como llevarse los buses al hogar.

El Sistema Global de Posicionamiento (*GPS*) no pudo codificar las rutas de buena manera, pues hubo diversos cambios en los recorridos. En el 2007 no hubo implementación de un COF, ni un CIG de parte de los operadores. Este último, se puede observar en la

Figura 1, destacando la gran relevancia de la puesta en marcha del sistema para el buen funcionamiento del sistema.

La tecnología utilizada en la tarjeta *Bip!* según contrato de los operadores del AFT debía entregar la información de venta de cada bus cada 8 horas. Sin embargo, estos datos fueron entregados hasta con 60 días de retraso.

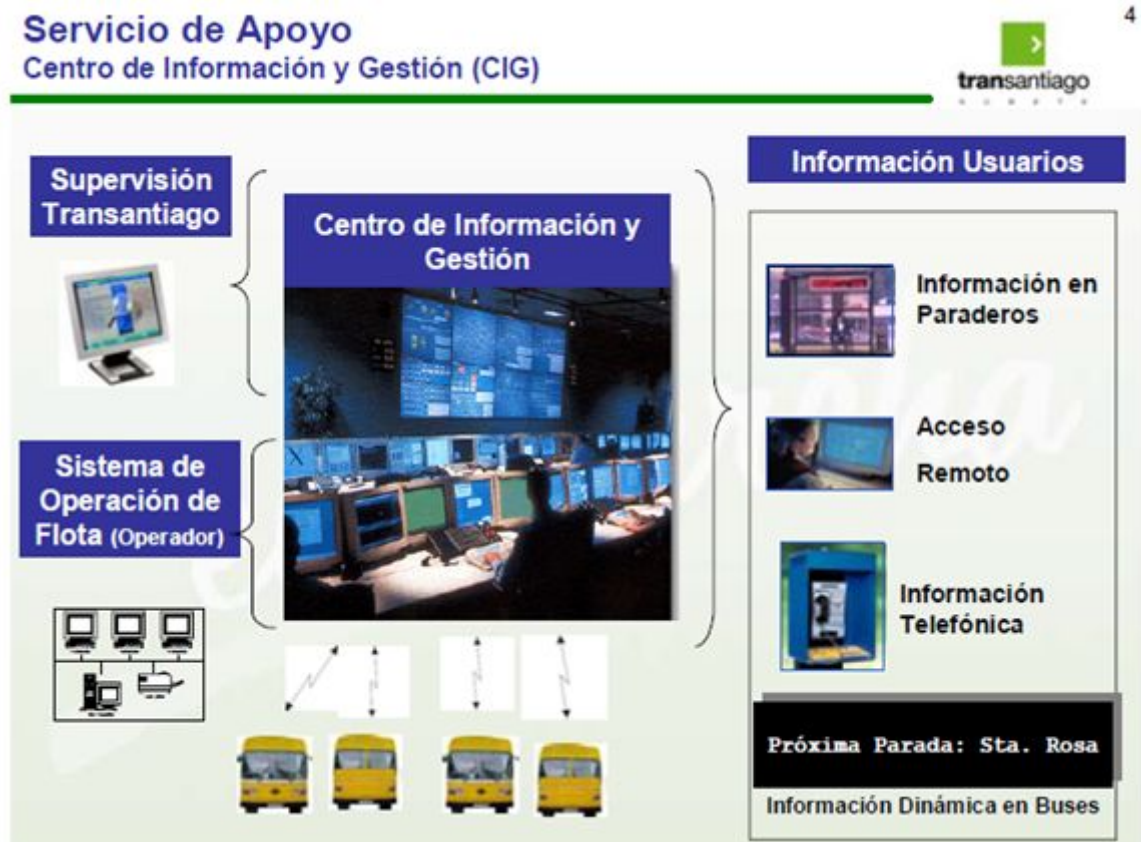


Figura 1. Lámina incluida en la presentación powerpoint de Gibran Harcha, asesor del Ministro Etcheberry, en el desayuno con prensa del 10 nov 2004. Fuente: [6]

Actualmente se utiliza un sistema de *GPS* en línea junto a un reloj satelital. De esta forma es posible monitorear la frecuencia, puntualidad y regularidad de los buses. Pese a su existencia, aún no se ha implementado un sistema de control de flujo de personas en el transporte público, que proporcione un método dinámico para su planificación, mejorando los resultados arrojados por el Observatorio del Transporte Público de Santiago. En este estudio se muestra que uno de los puntos más bajos del Transantiago es el tiempo de espera en los paraderos, esto se puede observar en la Tabla 1.

Indicador	oct-06	mar-07	oct-07	mar-08	oct-08	may-11	may-15
Bus o metro cerca de origen y destino	5,3	4,2	4,4	4,6	4,6	4,9	4,3
Tiempo de espera en paraderos	4,4	3,4	3,6	3,9	3,8	4,1	3,6
Sistema de pago	4,8	5,3	5,4	5,6	5,4	5,3	4,9
Número de transbordos	4,7	3,7	3,9	4,1	4,2	4,4	3,9
Precio	4,3	4,7	4,9	5,1	4,9	3,3	3,3
Tiempo de viaje en el vehículo	4,9	4,2	4,3	4,6	4,7	4,7	4,0
Comodidad del viaje	4,7	3,1	3,5	3,9	3,8	3,9	3,4
Calidad de los buses	4,9	4,0	4,1	4,3	4,0	4,0	3,6
Seguridad de la conducción	4,9	4,6	4,6	4,7	4,4	4,3	3,7
Seguridad personas (en paraderos y dentro del bus o metro)	4,7	3,7	4,1	4,4	4,1	4,0	3,6
Calificación promedio	4,7	4,1	4,3	4,5	4,4	4,3	3,8
Su experiencia como usuario	-	-	-	-	-	-	4,1

Tabla 1. Calificación promedio en diversos aspectos del sistema de locomoción (nota 1 al 7). Fuente: [7]

## 5.- Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM)

El DTPM nace en reemplazo del Comité de Ministros del Transporte Urbano de la Ciudad de Santiago. Dentro de las tareas de esta entidad destacan: coordinar, articular y hacer seguimiento de acciones, programas y medidas dedicadas a gestionar el transporte público de la ciudad de Santiago.

Dadas las características de esta institución, le es de gran importancia conocer el flujo de pasajeros en tiempo real del Transantiago. Esta información puede ayudar potencialmente a la planificación de recorridos, gestión de flota de microbuses y ubicación de paraderos y así ofrecer un mejor servicio por parte del sistema, satisfaciendo de mejor manera la demanda de usuarios. Por esto, DTPM se posiciona como un potencial cliente del sistema realizado en esta memoria.

### 1.3.1.3 Situación Actual del Transantiago (2016)

Actualmente cubre alrededor de 6,2 millones de usuarios de las 32 comunas que forman parte de Santiago, más Puente Alto y San Bernardo, en un área geográfica de

alrededor de 680 km<sup>2</sup> en zonas urbanas. En un día laboral, se efectúan más de tres millones de transacciones en buses de Transantiago. [8]

El sistema de buses es operado por 7 empresas concesionarias, las cuales se pueden observar en la Tabla 2 y cuyos recorridos quedan reflejados en la Figura 2.

Concesionaria	Nombre	Servicios
Unidad 1	Alsacia	100, 408, 408e, 410, 410e
Unidad 2	SuBus Chile	200 y G
Unidad 3	Buses Vule	300, E , H e I
Unidad 4	Express de Santiago Uno	400 y D
Unidad 5	Metbus	500 y J
Unidad 6	Veolia RedBus Urbano	B y C
Unidad 7	S.T.P Santiago	F y 213

Tabla 2. Concesionarias del Transantiago (2016). Fuente: [9]



Figura 2. Sectores de Santiago divididos por líneas de buses. Fuente: [10]

#### 1.3.1.4 Sondeo ciudadano respecto al Transantiago

Adimark, es una empresa investigadora de mercado y opinión pública más antigua del país, con más de 40 años de existencia. Esta realiza sondeos principalmente sobre las instituciones públicas y temas de interés en la sociedad. Además realiza encuestas todos

los meses, poniendo énfasis en Mayo del 2016 al tema del Transantiago, arrojando como resultado una desaprobación superior al 80%, demostrando así el descontento en la ciudadanía. En la Figura 3 se puede observar dicha cifra junto con otros tópicos, donde sólo es superado por temas como la delincuencia y la corrupción en los organismos del Estado.

## Áreas de gestión

Independiente de su posición política,  
¿Usted aprueba o desaprueba la forma como  
Michelle Bachelet y su equipo de gobierno están  
manejando los siguientes temas?

Mayo 2016

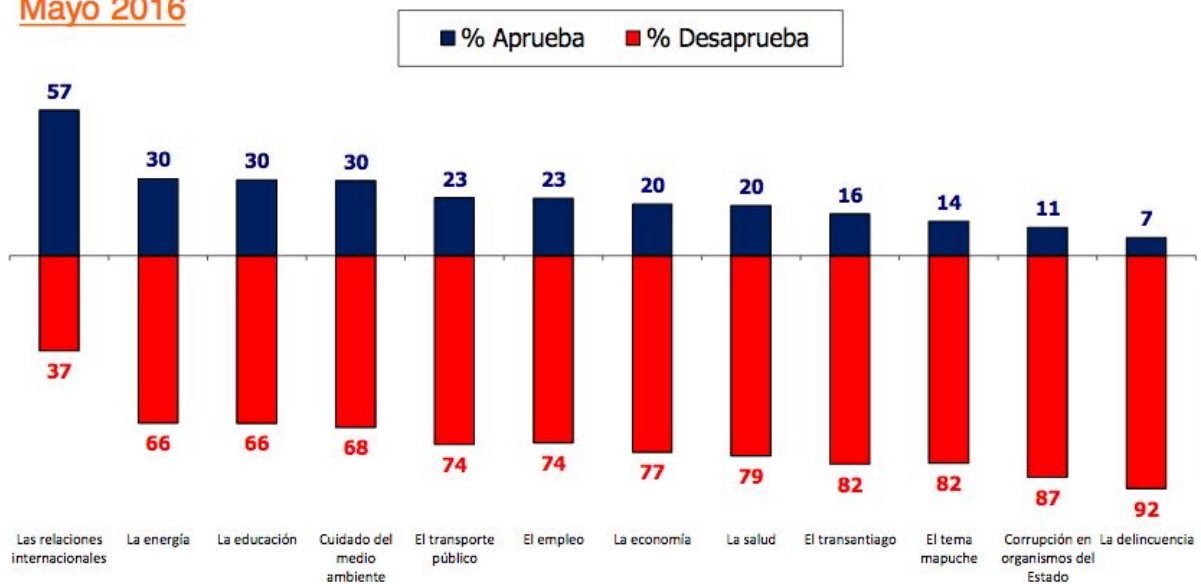


Figura 3. Encuesta Adimark - Mayo 2016. Fuente: [11]

### 1.3.1.5 Actual Método de Planificación del Transporte

Según conversaciones con encargados de la Unidad de Ciudades Inteligentes, actualmente no existe un conteo de pasajeros que permita conocer en tiempo real, el flujo de pasajeros en cada paradero. Lo que se utiliza para este caso, es la Encuesta Origen-Destino de viajes realizada en hogares del Gran Santiago [12].

Su versión más reciente está comprendida entre Julio de 2012 y Noviembre de 2013 y fue desarrollada por el Observatorio Social de la Universidad Alberto Hurtado. La muestra comprende 18.000 hogares, escogidos al azar en 45 comunas de la Región Metropolitana; el mapa se visualiza de mejor manera en la Figura 4.

Es considerado uno de los estudios más relevantes en materia de transporte, que se realiza en Santiago cada 10 años.

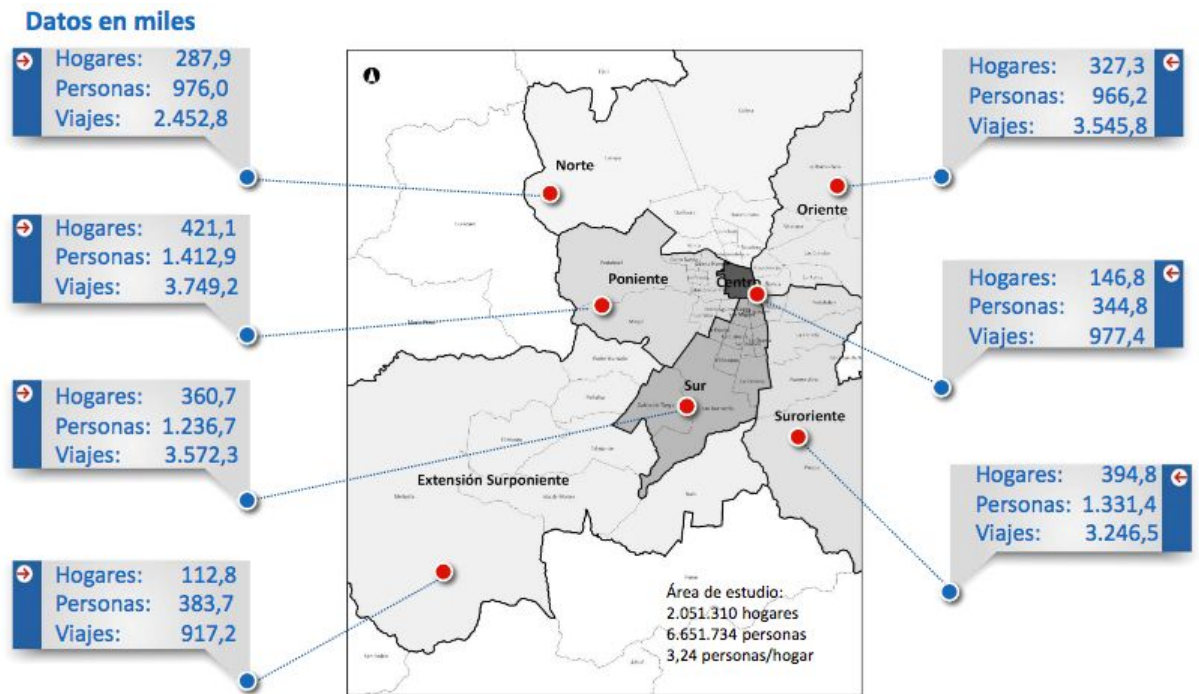


Figura 4. Zonas donde se realiza la Encuesta Origen Destino. Fuente: [13]

Entre sus funciones destacan que permite conocer los patrones de viaje de la ciudad de Santiago y alrededores: qué viajes se realizan, desde dónde hasta qué lugar recorren, en qué modos de transporte, con qué tiempos de viaje percibido, entre otros. La información recogida sirve de base para la planificación de los futuros proyectos, y con ello mejorar los sistemas de transporte en la ciudad.

A pesar de ser un buen indicador para tomar decisiones, la lenta entrega de resultados no permite realizar acciones inmediatas. Esto se debe a que es necesario esperar casi dos años su liberación, por lo que es necesario utilizar un método más robusto y preciso para realizar planificación de recorridos, que mejore el sistema de transporte ante problemas de congestión.

## 1.4 Objetivos de la Solución

### 1.4.1 Objetivos Generales

1. Diseñar un prototipo funcional que determine la cantidad de pasajeros que sube y baja de los buses del Transantiago.
2. Proveer información mediante un *dashboard* para que el potencial cliente realice la planificación de los recorridos en base a información en tiempo real y futura.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Clasificar y estudiar las diversas opciones de soluciones existentes y tecnologías asociadas al conteo de pasajeros.
- Escoger una alternativa apropiada a los requerimientos de la contraparte.
- Implementar un posicionamiento estratégico del sistema de conteo, el cual sea indistinguible al usuario promedio del sistema de transporte público.
- Seleccionar un microcontrolador que pueda relacionar, analizar y enviar información recopilada.
- Programar, analizar y testear un algoritmo capaz de discernir dirección y reconocimiento del paso de una persona.

## 1.5 Metodología de Desarrollo

Al ser un grupo de cuatro personas esto propició a utilizar una metodología ágil de desarrollo. La metodología usada en el desarrollo de este proyecto es el denominado modelo SCRUM.

Entre los objetivos claves de SCRUM destacan:

- Empleo de una estrategia de desarrollo incremental, en vez de una ejecución completa del producto.
- La calidad del resultado se basa más en el conocimiento tácito de las personas en equipos auto organizados, que en la calidad de los procesos empleados.
- Realización del conjunto de las diferentes fases del desarrollo, en lugar de realizarlas una tras otra en un ciclo secuencial o en cascada.

La aplicación de esta metodología en la presente memoria fue de la siguiente manera, con fecha de inicio en abril y para culminar en noviembre del año 2016:

### **Ciclo Scrum**

El equipo se reúne con alta frecuencia (scrum) de aproximadamente cada 3 días, para reportar el progreso, impedimentos e intenciones. Siempre actualizando la tabla de tareas a ser realizadas durante cada semana (utilizando la herramienta Trello). Cada estudiante tiene asociado un profesor guía de su departamento quien se hace cargo de la validación de las bitácoras que daban cuenta de las tareas realizadas cada dos semanas por el estudiante y de las tareas que realizó en el equipo.

### **Ciclo Sprint**

Ciclo más largo (mensual) donde se revisaban requerimientos, se replanifican las actividades del proyecto para la resolución de estos requerimientos. En esta reunión estaba presente el representante de la organización proponente del desafío para velar los avances realizados. Generalmente se realizaba en las Oficinas de SECTRA, en la ciudad de Santiago.

Se realizaron seis informes que dieron cuenta del avance del año, contabilizado como 8 meses de trabajo continuo.

## Hitos de entrega

1. **Definición Técnica del Problema** (duración: 1.5 meses): Se entregó el *Documento de Análisis Técnico del Problema*, consistente en mostrar las alternativas de desarrollo.
2. **Diseño del Producto o Anteproyecto** (duración: 1.5 meses): Se entregó el *Documento de Diseño Preliminar*, dedicado a mostrar la solución técnica de la alternativa elegida.
3. **Desarrollo de Prototipo o Proyecto 1:** (duración: 1 mes) Se entregó el *Documento de Prototipo o Proyecto – primer avance*, correspondiente a la primera aproximación del prototipo.
4. **Desarrollo de Avance de Prototipo o Avance de Proyecto** (duración: 1.5 meses): Se entregó el *Documento de Prototipo o Proyecto – segundo avance*, el cual consistió en la entrega de un prototipo funcional con mejoras sustanciales del anterior.
5. **Desarrollo de Prototipo Final o Proyecto Final** (duración: 1.5 meses): Se entregó el *Documento de Prototipo o Proyecto – versión final*, correspondiente en entrega el producto/servicio funcionando completamente.
6. **Desarrollo de la Memoria** (duración: 1 mes): Se depura el prototipo/proyecto y se redacta la memoria individualmente en base a los informes grupales entregados y focalizados en las bitácoras desarrolladas por cada uno. Culminando con la entrega de la Memoria de Título y la Defensa del trabajo de Título.

Cabe destacar que de los puntos 1 al 5 fueron expuestos individualmente a los profesores guías. El resultado del equipo de los hitos más importantes se presentó en un evento con las autoridades correspondientes celebrado en el iF Valparaíso del 3IE.

De esta manera se pudo obtener beneficios como:

- **Flexibilidad a cambios:** Mayor capacidad de reacción ante cambios repentinos generados por la necesidad del cliente o lo ocurrido a lo largo del semestre.

- **Mayor calidad del producto:** El trabajo sistemático y la necesidad de obtener una versión de trabajo funcional luego de cada iteración, ayuda a obtener una mayor calidad del producto.
- **Mayor productividad:** Como el equipo se organizó de manera autónoma, se eliminó la burocracia.
- **Predicción de tiempo:** En esta forma de trabajo se puede tener una noción de la velocidad del desarrollo de éste, hay una mayor facilidad de estimar el tiempo que emplea una actividad determinada.
- **Reducción de riesgos:** Debido a que se desarrollan primero las funcionalidades de mayor valor y se tiene conocimiento de la velocidad en que el equipo avanza en el proyecto, permite disipar los riesgos de manera anticipada. [14]

## 1.6 Estructura del Documento

Esta memoria está organizada de la siguiente manera: El capítulo 2 corresponde al Estado del Arte. En él se realiza un estudio de las soluciones existentes en el mercado, tanto nacional como internacional, se analizan diversas tecnologías asociadas y se propone un sistema de solución. En el capítulo 3 se encuentra todo lo relacionado con el sistema realizado por el equipo multidisciplinario de memoristas. Este se encuentra estructurado en diferentes diagramas para facilitar su entendimiento. Se pone énfasis en la interacción del usuario con el sistema, como casos de uso, requerimientos funcionales y no funcionales, entre otros. El capítulo 4 está orientado al desarrollo y testing del algoritmo de reconocimiento de personas, realizando pruebas de simulación de datos en los diversos escenarios propuestos. Más adelante, en el capítulo 5 se presentan las conclusiones obtenidas a partir de los análisis y resultados previos. Finalmente, se presenta el trabajo a futuro planteado por el equipo y el autor.

# Capítulo 2

## Estado del Arte

En este capítulo se darán conocer las diferentes alternativas disponibles en el mercado, tanto nacional como internacional, empresas que tienen una solución al conteo de pasajeros en transportes, ya sea privado o público. Luego, se realizarán comparaciones de diversas tecnologías con potencial impacto en el desarrollo de la solución a la problemática propuesta en el presente desafío.

### 2.1 Soluciones Existentes

En el ámbito nacional e internacional destacan las soluciones que se describen a continuación.

#### 2.1.1 Contexto Nacional

##### **Caso Roberto Sonne**

Durante el año 2006, dentro de la licitación del Transantiago se contemplaba la implementación de un conteo de personas. Sin embargo, la empresa asociada a prestar este servicio tecnológico al Transantiago, se vió envuelta en una demanda por más de US\$ 40 millones en su contra. Esto fue debido, al uso de material confidencial y propiedad intelectual e industrial. En efecto, se tuvo que retirar los sensores diseñados para el conteo de personas de 5.100 buses del Transantiago, lo cual hasta hoy (2016) no se ha solucionado. [15]

##### **Geminis**

Geminis es una empresa nacida en el norte de Chile el año 1965 y su crecimiento ha sido en torno a la segunda región, específicamente en la provincia de El Loa, ciudad de Calama. Ha creado una red de sensores que están ubicados sobre la puerta del bus. Cada sensor contiene dos sistemas de detección independientes, dispuestos en secuencia, de modo que detectan la dirección del movimiento. Mediante un analizador proporciona una

interfaz para la transmisión de datos a una impresora o *POS* de a bordo. Sin embargo, su público objetivo es netamente la minería. [16]

### **Gigroup**

Cuentan con sistemas de contadores de personas, pero no con el rubro asociado al transporte, sino a los espacios abiertos como centros comerciales, supermercados, entre otros. Actualmente poseen tres productos: GateCounter, PubliCount y Contador Simple, donde su uso varía dependiendo del lugar.

A simple vista ninguno de los modelos de esta empresa es replicable para utilizar en el transporte público. [17]

## 2.1.2 Contexto Internacional

### **España**

La empresa Visual Counter posee un control inteligente de pasajeros en el transporte. Esto se logra mediante sensores infrarrojos para tener una visualización en 3D de los pasajeros. Gracias a esto y mediante una red neuronal se realiza un conteo bidireccional de pasajeros.

Este sistema usa una red de sensores que tiene un alto costo computacional, que eleva el costo del hardware. También aumenta la complejidad del software al utilizar algoritmos genéticos. Por ello su utilización se ha focalizado más como una pared infrarroja, sin realizar medición bidireccional como se proponía en el sistema original. Por ende, genera sólo un tipo de medición, siendo un sistema insuficiente para resolver la problemática expuesta en la presente memoria. [18]

### **Alemania**

IRIS es una empresa alemana que fabrica y brinda el servicio de conteo automático de pasajeros en vehículos de transporte público, mediante una red de sensores de infrarrojo. Su sistema se ha implementado en ciudades como: Munich, Milán, Montreal, Viena, Las Vegas, Berlín, Hamburgo, entre otros. Ha vendido más de 300.000 sensores en todo el mundo y se ha instalado en alrededor de 50.000 vehículos.

Proporcionan datos sobre la utilización efectiva del bus en distintos tramos en función de la hora y el día de la semana. Todos los sensores IRMA constan de un diseño robusto para poder operar en condiciones adversas de temperatura, humedad y vibraciones excesivas. Generalmente estos se instalan en la parte superior de los accesos, al interior de

la carrocería. Con el motivo de evitar conteos erróneos, los sensores sólo operan cuando las puertas se encuentran abiertas.

Ellos ofrecen tres sistemas de sensores con diferentes niveles de precisión y diferentes precios que se señalan a continuación.

- IRMA BASIC: Es un sistema que realiza el conteo de pasajeros a un bajo costo, consta de un máximo de cuatro sensores de proximidad. Entre sus características destacan, conteo de pasajeros con su dirección (subida o bajada), soporte de interfaces estándares (IBIS, RS232, RS485) para la conexión de sistemas integrados como el computador del bus, y son de fácil instalación.
- IRMA 3D: Sistema de conteo más avanzado que el BASIC, garantiza un 96% de precisión. Este producto consta de una matriz de hasta ocho sensores que le permite captar una imagen tridimensional del pasajero que pasa a través de él. Dentro de sus características se encuentran, detección de movimiento de pasajeros, capacidad para distinguir entre personas y objetos, soporte de las interfaces estándar e instalación discreta y sencilla. Dentro de sus aplicaciones está el control de ingresos, el cálculo de la rentabilidad de la ruta y el monitoreo del rendimiento de transporte.
- IRMA MATRIX: Es el sistema de conteo más robusto que provee la empresa, garantiza una precisión del 99%. Consta de un arreglo de 500 sensores de proximidad, que da la capacidad de determinar con exactitud la forma de los objetos y su dirección de movimiento. El sistema consta de una sola pieza que está directamente conectada a un puerto ethernet o utilizando el protocolo *CAN* del bus. Sus características y sus aplicaciones son las mismas que el sistema mencionado anteriormente pero, a diferencia de los sistemas anteriores, provee estos datos en tiempo real. [19]

## **Canadá**

En Quebec, Canadá, se implementó un sistema de conteo de pasajeros en cada bus proporcionado por la empresa del mismo país INFODEV. Este consta con un sensor direccional de proximidad, electro-óptico y un GPS que registra la ubicación. Estos datos son procesados y almacenados por un microcomputador situado al interior del bus, para finalmente visualizarlos conectando una palm o un computador. Se puede inferir que no hay

un protocolo de comunicación para recibir los datos en un servidor en tiempo real, ya que este sistema se implementó para fines de planificación y establecimiento de recorridos. El transporte público de Quebec cuenta con 909 conductores, 622 buses, y su red abarca una extensión de 878 kilómetros y tiene perfecta integración con los metros, taxis y bicicletas públicas. [20]

### **Estados Unidos**

El sistema de transporte en la ciudad de New York, Estados Unidos, se compone de una de las flotas de metro más grande del mundo que abarca una extensión de 1.120 [km], con 26 líneas, 500 paradas y está operativo las 24 horas del día. Su frecuencia aproximadamente es entre 2 y 5 [minutos] en las horas peak y su cobertura abarca casi toda la ciudad.

En cambio la flota de buses no es muy utilizada en la ciudad, por lo que solamente se utiliza para trayectos cortos, las máquinas funcionan con tarjetas inteligentes de tarifa fija mensual o semanal, pero también se puede pagar con monedas. Para el conteo de pasajeros se utiliza mayoritariamente conteo manual, operarios situados en paraderos importantes estiman la carga de los buses en diferentes horarios.

Los pagos son realizados mediante la tarjeta "MetroCard". Estos datos sirven para saber la cantidad de pasajeros que abordan en cada bus. El mecanismo para el conteo se realiza cruzando la información obtenida por los 2 métodos anteriormente mencionados. Esto ha ayudado a la mejora del servicio reduciendo los tiempos de viaje y a identificar la necesidad de reajustes de horarios.

### **Inglaterra**

En la ciudad de Londres se encuentra el sistema de metro más antiguo del mundo. Posee 11 líneas y la frecuencia de éste es aproximadamente entre 2 a 3 minutos. Se considera como una de las redes de metro más grandes del mundo. La red de autobuses está compuesta por alrededor de 400 líneas con más de 15.000 paraderos.

Se dispone de un enorme sistema de transporte, siendo de interés en el desafío propuesto. Sin embargo, no se ha encontrado información de un sistema de medición inteligente de flujo de personas, ya que la planificación del transporte se realiza en base a estudios realizados por autoridades y la evasión de parte de los usuarios es fiscalizada por la policía dedicada al transporte, por lo cual no se necesita un sistema de medición de personas en el transporte para controlar dicha cifra. [21]

## Colombia

A finales de los 90, la ciudad ostentaba una deuda en lo que respecta al sistema de transporte público. Sólo entre el año 1998 y el 2000, hubo 17 paros y no había coordinación entre los operadores privados.

A fines del año 2000, comenzó la marcha del Transmilenio y se implantó la uniformidad de pago con tarjetas y tarifa única.

La infraestructura (vías y estaciones), se desarrolla con recursos públicos, y la administración, planificación y organización del sistema la hace una empresa pública.

En este transporte público se movilizan en promedio 1.926.000 pasajeros diarios cubriendo el 30% de la demanda de transporte público de Bogotá. Consta de 147 estaciones, contempla 12 rutas troncales y 106 alimentadores y su frecuencia por paradero es de 7 minutos en promedio, con una flota de alrededor de 2.027 buses articulados y 947 buses alimentadores. Los vehículos son de propiedad privada, y así mismo la recaudación es efectuada por la empresa "Recaudo Bogotá" para la todas las fases de TransMilenio y el SITP. El Distrito de Bogotá recibe parte de las utilidades, con las que debe mantener la infraestructura del sistema.

El 90% de los ingresos es para operadores, el 5 % para los recaudadores y el 5 % para el Distrito. El Distrito cubre los gastos de mantenimiento de losas y estaciones. Los operadores, se encargan del mantenimiento, reparación, lavado y operación de buses, y de la contratación de conductores y compra de flota.

Las estaciones son accesibles para las personas con movilidad reducida, por su elevación y rampas de ingreso, y cuentan con zonas demarcadas en los vagones. Los buses cuentan con sillas especiales para estas personas, las cuales son de color azul, diferenciándose del resto que son de color rojo.

Para el acceso a las estaciones, los usuarios cuentan con puentes peatonales que permiten el ingreso a ellas, por simple cruce de la calle, a través de un semáforo , o mediante el sistema de buses alimentadores a las estaciones cabeceras e intermedias.

Los buses en las troncales cuentan con un carril exclusivo. Estas calzadas también son utilizadas por los vehículos de emergencia y éstas no pueden ser utilizadas por los colectivos o taxis, lo que garantiza que las vías sean expeditas.

La implementación del Transmilenio fue un logro a nivel país y una referencia a nivel mundial. Sin embargo, la demanda de usuarios ha crecido de manera significativa, pero la oferta de buses no ha crecido de la misma manera, por lo que actualmente presenta una alta congestión. [22]

### 2.1.3 Conclusiones de las soluciones existentes

De los sistemas estudiados previamente, se puede observar que fueron implementados exitosamente en países que tienen una realidad distinta a la observada en nuestro país. El equipo de memoristas, en conversaciones con representantes de la empresa City Móvil [23], en el congreso de transporte realizado en Estación Mapocho (Santiago de Chile), el día jueves 8 de septiembre del presente año (2016), conocieron de la existencia de un sistema de conteo de pasajeros basado en cámaras de vigilancia en el transporte público. No quedó de manera clara si este proceso está siendo supervisado por un operario que monitoreaba la entrada del bus o se aplicaba un algoritmo de procesamiento de imágenes. Esto se evidenció al preguntar sobre los problemas de ocultamiento o alto flujo de personas, donde no dieron una respuesta clara.

Replicar un sistema extranjero con todos sus componentes es inviable, pues es necesario adaptarse a los requerimientos de la realidad del transporte nacional. Sin embargo, es importante destacar que en los sistemas exitosos de conteo de pasajeros se implementa un sistema de sensores no visibles a los usuarios, lo cual es muy provechoso para el transporte público de Santiago, porque aumenta la vida útil de los dispositivos al evitar que sean manipulados y alterados por algún agente externo.

## 2.2 Propuesta de solución

En este trabajo se responderá la pregunta ¿Cómo saber, en tiempo real, el número de personas que suben y bajan de los buses del transporte público?. Por ello a raíz de esto y la problemática descrita anteriormente, se plantea diseñar una solución que permita integrar tecnología que entregue información precisa a los usuarios del transporte público, buses, empresas concesionarias y potenciales clientes.

Dicha solución se centrará en dos aspectos fundamentales. El primero comprende la planificación del transporte público con información en tiempo real del flujo de pasajeros. La segunda apunta a la realización de predicciones del flujo de personas o usuarios del transporte público, a partir de los datos recabados.

Entre los meses de Abril y Noviembre de 2016, se desarrolló una plataforma que gestione información del flujo de personas [28], entregando estudios de monitoreo y predicción principalmente a planificadores o empresas que requieran dicha información, como por ejemplo inmobiliarias, empresas de transporte interurbano, entre otras.

El principal motivo para desarrollar esta solución radica en abordar una mayor cantidad de variables para la planificación del transporte, implementando un sistema de medición de pasajeros que suben y bajan del bus en tiempo real, obteniendo así control del flujo de personas. De esta forma se puede realizar una planificación dinámica, es decir, que varía dependiendo del flujo de pasajeros, además de un sistema predictivo que apoye a la gestión, ofreciendo en definitiva un mayor alcance al sistema existente, que contempla el control sobre la posición de los buses (por tecnología GPS), excluyendo a los usuarios del sistema.

La propuesta de solución comprende la implementación de un sistema de sensores de bajo costo que mide el flujo de pasajeros en los buses, cuya principal misión es la recolección de datos para luego ser enviados a servidores (vía GPRS, 3G u otra tecnología adecuada) donde se localiza una base de datos utilizando tecnología del tipo Big Data que permite almacenar los datos recolectados. El siguiente paso es el análisis de datos, tanto para entregar información en tiempo real como para realizar predicciones del flujo de personas a futuro. Toda esta información ya depurada se visualiza mediante una plataforma o dashboard que permite a clientes acceder a la información con una sencilla interfaz.

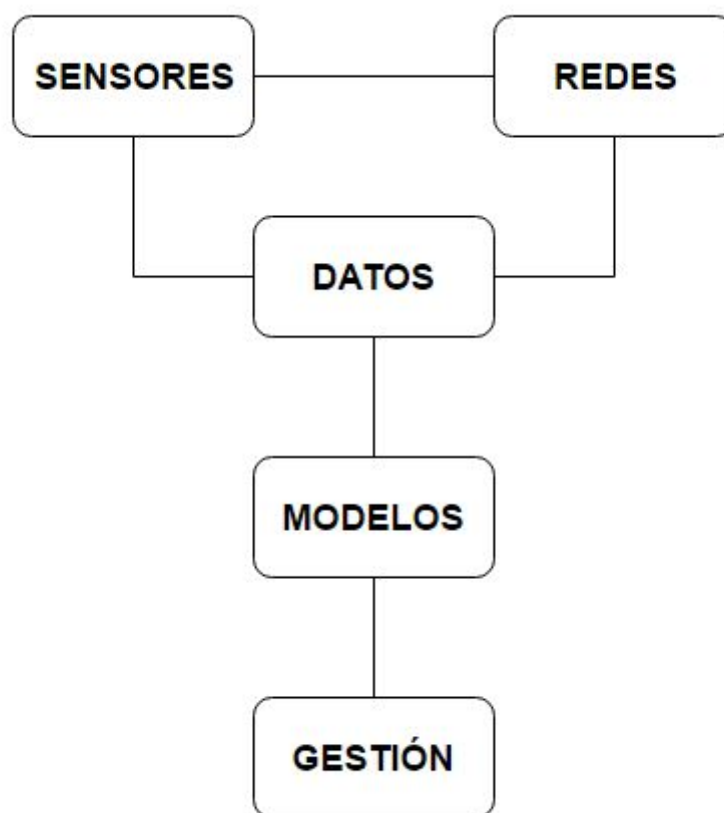


Figura 5. Mapa conceptual del sistema. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los roles de cada memorista del equipo.

- **Ricardo Valencia** encargado de la red sensores y desarrollo de algoritmo de reconocimiento de personas.
- **Eduardo Hitschfeld** encargado del área de redes, conexión de la red de sensores a la base de datos.
- **Guillermo Briceño** encargado del almacenamiento de datos obtenidos y desarrollo de un dashboard de gestión.
- **José Poblete** encargado de desarrollar un modelo matemático predictivo, con los datos almacenados.

## 2.3 Alternativas Tecnológicas a evaluar

La tecnología para la captura de datos de flujo de pasajeros a utilizar en la presente memoria, debe ser no visible al usuario promedio del transporte. También se sugiere que el conductor del bus no tenga conocimiento de ésta, dado que los antecedentes recopilados indican que en la puesta en marcha del Transantiago, fueron los mismo choferes quienes impidieron el buen funcionamiento del sistema de GPS, por lo que se desea evitar que ocurra una situación similar. Por esta razón es fundamental la colocación y la elección de los sensores a utilizar.

### 2.3.1 Cámara

Utilizando una cámara se puede realizar medición de flujo por medio de la detección de personas, a través del procesamiento digital de imágenes. De esta forma, se puede segmentar cada pasajero, indicando qué dirección toma cada persona. Esta tecnología tiene buena tolerancia con alto flujo de personas cuando se sitúan en lugares de altura. Posee gran costo computacional dado a los algoritmos de reconocimiento de personas, lo que condiciona un hardware de alto rendimiento, aumentando el costo monetario de esta alternativa; ocultamiento producido por un pasajero que bloquea el foco de la cámara (de manera intencional) bloqueando toda la medición, o producido por un persona de alta estatura, lo cual puede cubrir a otras personas o bloquear la cámara provocando el efecto antes mencionado.

### 2.3.2 Sensor de presión

Se realiza el conteo de pasajeros mediante una medición de diferencias de peso percibidas por este sensor, de esta forma se reconoce un aumento de peso como la subida de una persona, y la disminución de peso como la bajada de una persona del bus. Este tipo de sensor posee bajo costo computacional y de mantenimiento, pero como no están diseñados para contabilizar flujo de personas, son imprecisos para realizar conteos en situaciones de alta demanda, ni son capaces de diferenciar entre personas de diversos pesos, solo permitirían calcular un promedio de pasajeros que suben o bajan del bus. También se evidencia problemas de posicionamiento de los sensores, ya que si se sitúan en los sistema de amortiguación de los buses, se verán expuestos a múltiples golpes producto del movimiento de éstos.

### 2.3.3 Infrarrojo Activo

Si se realiza la medición de flujo mediante un conjunto de sensores de proximidad, se detecta la distancia que atraviesa un objeto calculando el tiempo de retardo del reflejo del haz de luz infrarrojo previamente emitido. Esto tiene un menor procesamiento algorítmico, lo que simplifica la elección de hardware de bajo costo. Pero se hace complejo de programar ante situaciones excepcionales y de alto flujo, por lo que sin duda es indispensable la contemplación de cada situación excepcional.

### 2.3.4 Infrarrojo Pasivo

El sensor infrarrojo pasivo realiza el conteo de pasajeros detectando el cambio de luminosidad en el campo de visión cuando algún objeto pasa a través de él. Si el cambio de contraste está dentro de los parámetros, se detecta (en el caso de la propuesta, la persona) con su dirección determinada.

Si un objeto, como una maleta con ruedas pasa a través del campo de visión del sensor, podría ser contado como pasajero, pero los parámetros de detección permiten ajustar la sensibilidad del sensor para sólo identificar personas.

Este tipo de sensor es sencillo de programar y de bajo costo computacional. Sin embargo, también inducen una alta posibilidad de cuantificar flujo erróneamente en presencia de cambios bruscos de luminosidad como ocurre al interior de un bus.

### 2.3.5 Detector térmico

Este sensor se encarga de recibir la señal generada por un objeto, en este caso, un cuerpo humano. La señal es luz infrarroja emitida por un cuerpo a una cierta temperatura debido al fenómeno físico “radiación de cuerpos negros”. La intensidad de la radiación térmica emitida, no solo se ve incrementada con la temperatura del cuerpo, sino que también es afectada por el tipo de material y la textura de superficie del objeto.

Cuando el cuerpo entra en el campo de visión del sensor, primero hay una reducción del fondo causada por la opacidad de la persona y enseguida, entra la nueva fuente de radiación del cuerpo proveniente.

Debido a que la temperatura es generalmente mayor que el ambiente circundante, el resultado es un aumento de la luz infrarroja capturada por el detector, notándose una diferencia entre la temperatura de un cuerpo y su fondo.

Este tipo de sensor es sencillo de programar y de bajo costo computacional. Sin embargo, son incapaces de funcionar en situaciones en que la temperatura corporal promedio de cada pasajero, es similar a la del ambiente; o bien si un grupo de personas se sitúa durante un tiempo bajo el sensor, éste no es capaz de diferenciar a cada uno por separado. Los cambios bruscos de temperatura y luz solar intensa pueden inducir a errores en la medición.

### 2.3.6 Haces de Luz

Este tipo de detector actúa como un sensor de presencia que se puede instalar vertical u horizontalmente. El haz de luz emitido es captado por el receptor.

La interrupción del haz de luz por un objeto, indica que hay algo o alguien entre la fuente de luz y el detector. Una persona es detectada cuando ésta cruza a través de él.

Este tipo de dispositivos tienen una programación sencilla y un nulo costo computacional. Posee una limitada zona de detección; requiere de una trayectoria sin obstrucciones entre el transmisor y el receptor para poder operar; el patrón de tráfico es aleatorio, una persona puede caminar a través de una entrada, pero no en la visión directa del sensor o ésta puede estar obstruida por otra persona que circula a la vez.

### 2.3.7 Tabla resumen

Como se observa en la siguiente tabla, se han realizado 3 calificaciones (bajo, medio y alto), para evaluar 4 características fundamentales de la red de sensores que se debe elegir dado el contexto y el sistema que se desea implementar. Se busca una tecnología que tenga una alta evaluación en los dos primeros puntos, alto flujo y ocultamiento, en donde este último se refiere a la no visibilidad para el usuario común del sistema de transporte, y una baja evaluación en los costos de mantención y hardware.

	<b>Funcionamiento con alto flujo</b>	<b>Ocultamiento</b>	<b>Costo de mantención</b>	<b>Costo de hardware</b>
<b>Cámara</b>	Medio	Medio	Alto	Alto
<b>Infrarrojo Activo</b>	Medio	Alto	Medio	Medio
<b>Sensores de Presión</b>	Bajo	Alto	Bajo	Bajo
<b>Infrarrojo Pasivo</b>	Bajo	Alto	Medio	Bajo
<b>Haz de luz</b>	Bajo	Alto	Medio	Bajo
<b>Sensor Térmico</b>	Bajo	Alto	Medio	Medio

Tabla 3. Resumen de sensores. Fuente: elaboración propia.

## 2.4 Modelo a desarrollar

Dadas las especificaciones técnicas antes mencionadas de cada una de las tecnologías evaluadas que tienen gran potencial para el conteo de personas, se llega a la conclusión de que cada una de éstas no es suficiente para resolver la problemática latente que el Ministerio de Transporte ha propuesto, por lo tanto se necesita una red de sensores mixta, conformando ésta de sensores de variados tipos: proximidad, peso e imágenes. Junto a esto, se debe contar un computador con la capacidad de recibir variados y diversos datos, los cuales serán enviados a un servidor para ser analizados.

En este trabajo memoria, se implementará un sistema desarrollado por medio de una Raspberry Pi 3 modelo B, que se conectará una red de sensores de infrarrojo activo que miden proximidad de un objeto. Dicha red de sensores se dispone en forma de “zigzag” en la parte superior de las puertas de cada bus, conformando mediante esta disposición dos barreras infrarrojas, las cuales se utilizarán para discernir la dirección del paso de una persona. Para el modelo mínimo viable, esta red se implementará sobre la puerta de una oficina, en una estructura de madera, como se muestra en la figura 6.

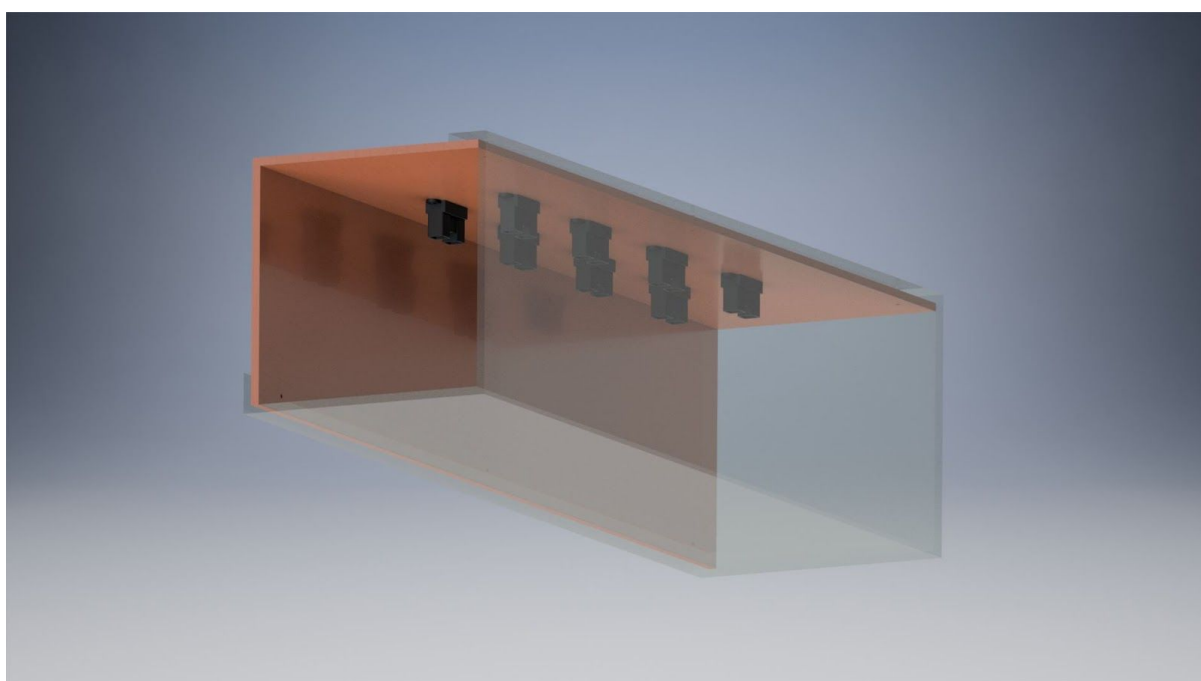


Figura 6: Modelo 3D sensores infrarrojos. Fuente: Elaboración Propia.

# Capítulo 3

## Definición general del sistema

### 3.1 Diagrama de Contexto

El contexto que rodea la operación del proyecto depende de los siguientes componentes:

- **Red de sensores:** Es el conjunto de redes que realizan las mediciones de conteo de pasajeros.
- **Gateway:** Encargado de enviar la información de los sensores al servidor.
- **Servidor (Big Data):** Es el encargado de almacenar y analizar la información.
- **Interfaz de usuario:** Es el sistema mediante el cual se despliega la información al usuario.

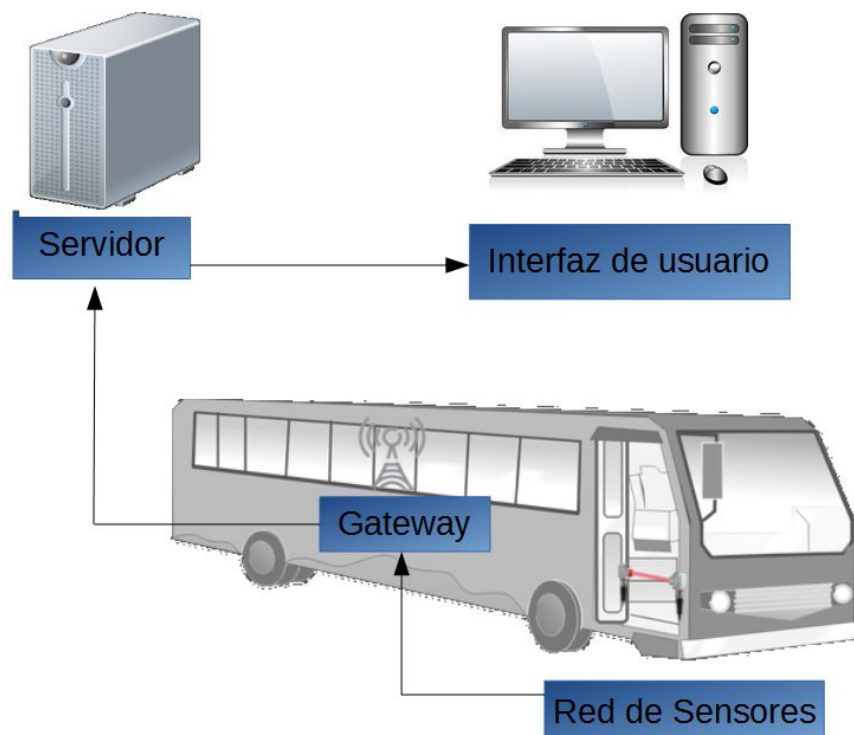


Figura 7: Diagrama de contexto. Fuente: Elaboración Propia.

Los principales módulos del sistema se muestran en la figura 8 y se describen a continuación.

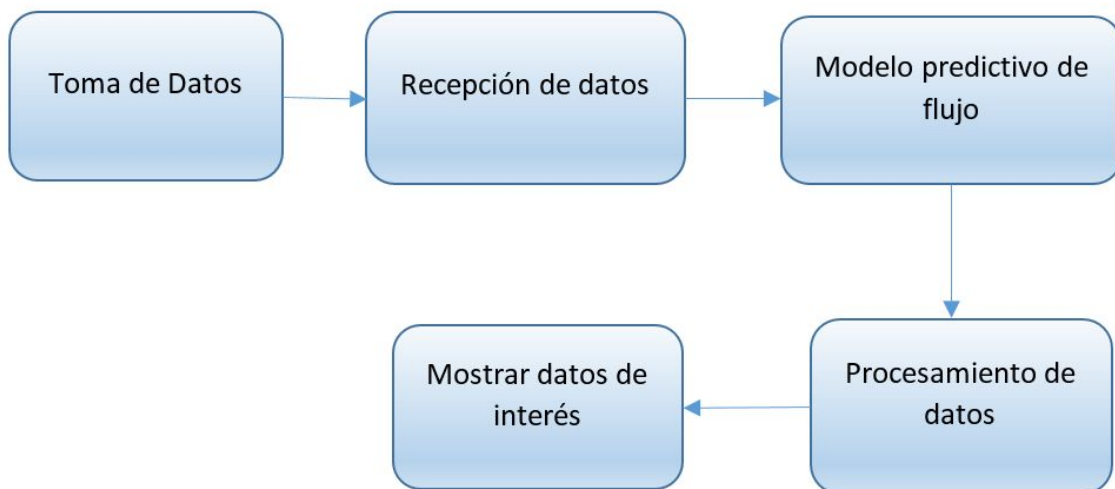


Figura 8: Módulo del sistema. Fuente: Elaboración Propia.

### 3.1.1 Toma de Datos (TD)

Consiste en realizar la lectura de los sensores considerando el tipo de bus (cada bus cuenta con diferentes capacidades) para realizar el conteo. Por ejemplo, los datos recibidos por el sensor infrarrojo activo (sensor de proximidad) constan de una señal, cuya magnitud de voltaje captada, es inversamente proporcional al valor de la distancia detectada. Gracias a esta forma de cómo varía la señal, se puede diseñar un algoritmo para realizar conteo de pasajeros.

### 3.1.2 Recepción de Datos (RD)

Los datos de flujo de pasajeros proveniente de los múltiples buses son recibidos en el servidor, mediante el protocolo TCP/IP, el cual está orientado a la conexión y posee mecanismos para evitar pérdida y corrupción de datos.

Debido a la gran cantidad de datos que el sistema almacena, surge la necesidad del uso de base de datos no relacionales, dado que éstas poseen un mejor rendimiento para grandes volúmenes de datos.

### 3.1.3 Modelo Predictivo de Flujo (MPF)

Los datos de flujo almacenados en la base de datos, podrán ser utilizados para diseñar modelos predictivos. Estos sirven para determinar el comportamiento del flujo de pasajeros en diferentes lugares y tiempos, en base a los requerimientos del cliente.

### 3.1.4 Procesamiento de Datos (PD)

Para que los datos sean fiables, es fundamental depurar dicha información. Luego, se realiza una selección, con el motivo de que la información obtenida sea de interés para el potencial cliente.

### 3.1.5 Mostrar Datos de Interés (MDI)

Los datos de interés, previamente procesados, serán desplegados de una manera intuitiva. Esto para que el potencial cliente mediante una página web, visualice información de tipo descriptiva y predictiva. Esta información agilizará la toma de decisiones ante posibles contingencias, como por ejemplo, si se estima que la cantidad de pasajeros que suben en un determinado paradero es mayor a la capacidad del bus, alertará al personal para optimizar las diferentes rutas.

## 3.2 Modelo de Negocios

El modelo de negocios del sistema de conteo de pasajeros se explicita en el Canvas, mostrado en la Figura 9. Allí se identifican los aspectos más relevantes que tiene el servicio.







<p><b>Asociaciones clave</b> </p> <p>Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones          Directorio de Transporte Público Metropolitano          Ciudad Inteligente</p>	<p><b>Actividades clave</b> </p> <p>Instalación correcta de los sensores.          Recolección de datos apta para la generación de la base de datos.          Generar una comunicación estable entre el bus y el servidor</p> <p><b>Recursos clave</b> </p> <p>Mano de obra altamente capacitada, personal de emergencia, insumos que cumplan con estándares de calidad previamente definidos.</p>	<p><b>Propuestas de valor</b> </p> <p>Sistema de detección de pasajeros en los buses, que cuenta de manera precisa, automática y en tiempo real el flujo de pasajeros, para luego realizar predicciones y cuyos resultados serán visualizados en una plataforma o página web, permitiendo a los clientes tomar decisiones oportunas en base a un dashboard.</p>	<p><b>Relaciones con clientes</b></p> <p>Atención personalizada con cada cliente a través de reuniones informativas sobre el servicio. Posteriormente reuniones sobre el estado, funcionamiento y nuevos requerimientos.</p> <p><b>Canales</b></p> <p>Canal directo a través de negociaciones con clientes.</p>	<p><b>Segmentos de mercado</b></p> <p>Segmento objetivo:          Empresas concesionarias del Transantiago.          Inversiones Alsacia S.A.          Buses Vule S.A.          Subus Chile S.A.          Express de Santiago Uno S.A.          Metbus S.A.          Redbus Urbano S.A          Servicio de Transporte de Personas</p> <p>Segmentos potenciales:          Empresas de transporte en regiones.</p>
<p><b>Estructura</b> </p> <p>Mano de obra: jefe de instalación, monitoreo y logística. Administrador de base de datos, técnico en electrónica e informática.          Insumos: sensores, raspberry, modelo físico, circuito impreso, convertidor análogo digital, ensamblajes.          Infraestructura: oficinas y bodegas. Otros: servidores y dominio.</p>		<p><b>Fuentes de ingresos</b> </p> <p>Ingresos a través de la venta del servicio y postulación a fondos concursables para financiar parte de la inversión inicial y financiamiento para futuras mejoras.</p>		

Figura 9: Modelo Canvas. Fuente: Elaboración Propia.

## 3.3 Identificación de Requerimientos

Los diversos requisitos del sistema, se pueden dividir en dos tipos: funcionales y no funcionales.

### 3.3.1 Requerimientos Funcionales

- El sistema de sensores deberá proporcionar mediciones adecuadas y en tiempo real para luego enviarlos a un servidor central.
- El sistema de sensores realizará un procesamiento de datos para disminuir posibles errores de medición.
- El servidor central será capaz de almacenar y procesar una gran cantidad de información.
- El sistema central deberá realizar análisis estocástico predictivos a las mediciones para obtener información valiosa para el usuario final.
- El usuario deberá tener la posibilidad de visualizar información recogida por los sensores, mediante un *dashboard*.

### 3.3.2 Requerimientos No Funcionales

#### **Eficiencia**

- El sistema debe ser capaz de operar adecuadamente con 6.500 mediciones recurrentes, definidas como buses.
- El sistema debe ser capaz de encolar 10 envíos simultáneos.
- Toda funcionalidad del sistema y transacción de visualización debe responder al usuario en menos de 5 segundos.
- El error en la medición de datos de los sensores, no puede sobrepasar el 5%.
- El envío de información desde los sensores al servidor, no debe ser mayor a 20 segundos.

#### **Seguridad lógica y de datos**

- Los permisos de acceso al sistema podrán ser cambiados solamente por el administrador encargado por el cliente.

### **Seguridad industrial**

- El sistema no continuará operando en caso de alguna emergencia en el bus (incendio, choque, etc).
- El sistema no operará si se encuentra fuera del rango de temperatura óptimo (-40 y 70 grados celsius).

### **Usabilidad**

- El sistema debe contar con manuales de usuario estructurados adecuadamente.
- El sistema debe proporcionar mensajes de error que sean informativos y orientados a usuario final.
- El tiempo de aprendizaje del sistema (*dashboard*) por un usuario deberá ser menor a 4 horas.

### **Disponibilidad**

- El sistema debe tener una disponibilidad del 99,99% de las veces en que un usuario intente acceder al *dashboard*.
- La tasa de tiempos de falla del sistema, no podrá ser mayor al 2% del tiempo de operación total.

## **3.4 Diseño de Módulos del Sistema**

Los módulos del sistema se presentan a continuación en la Figura 10, mediante un diagrama de flujo que muestra la interacción requerida para el buen funcionamiento.

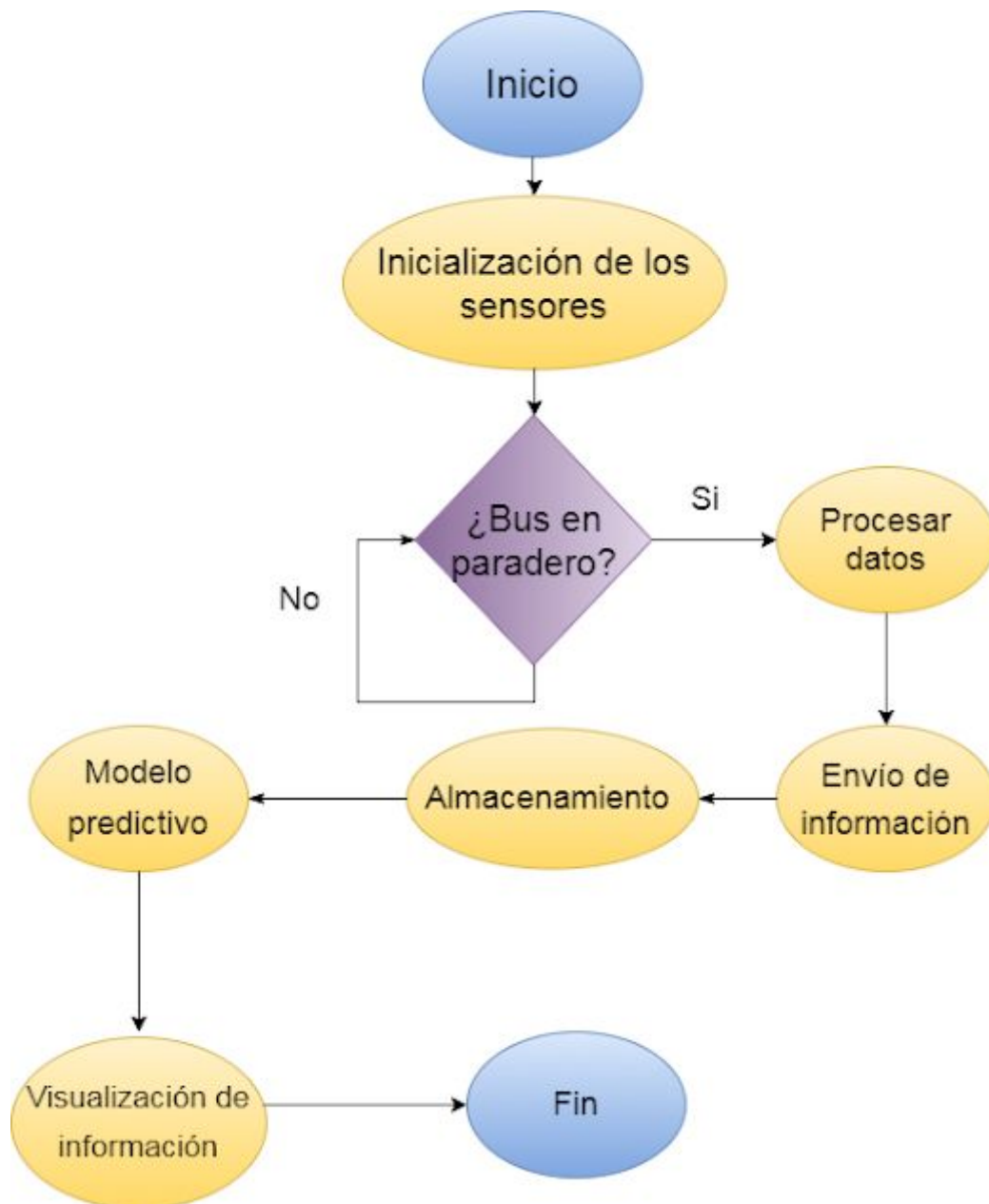


Figura 10: Diagrama de flujo de datos del sistema. Fuente: Elaboración Propia.

### 3.4.1 Red de Sensores

La red de sensores es implementada para realizar la medición y posteriormente enviar datos del flujo de personas. Se deben instalar en el interior de cada bus del transporte público, de tal forma que no sea visible para el usuario. Los datos son medidos cuando el bus está detenido y con las puertas abiertas (así se excluyen falsos positivos provocado por los pasajeros que estén utilizando el servicio de transporte).

Este sistema está diseñado en base a sensores infrarrojos posicionados en las partes superiores de cada una de las puertas de los buses junto a una *Raspberry Pi*, la cual controla la detección de personas. De esta forma se hace indetectable para el usuario del transporte, reduciendo errores provocados por mediciones alteradas por agentes externos.

### 3.4.2 Procesar Datos

Esta tarea es realizada por la *Raspberry Pi*, la cual procesa los datos recibidos por la red de sensores. Existe un algoritmo de reconocimiento de personas que suben y bajan. Dado al reducido espacio que utiliza este microcomputador, será posicionado junto a los sensores en la parte superior de las puertas de los buses.

### 3.4.3 Envío de Información y Almacenamiento

Luego de ser procesados por el algoritmo de reconocimiento de personas, se realiza el envío y recepción de los datos mediante el protocolo *TCP* por la *Raspberry Pi*. El sistema almacena información en una base de datos *NoSQL*. Por lo tanto, cada bus será un cliente atendido por el servidor que recopila los datos.

### 3.4.4 Modelo Predictivo

Según los requerimientos de los potenciales clientes y la problemática propuesta en este desafío, se llegó a concluir que hay que mejorar el sistema de planificación de la red de servicios, rutas, paraderos, inyecciones de buses y apoyo en situación de emergencia o eventos masivos en el transporte público.

Para realizar una mejora considerable, se ha propuesto un sistema predictivo de flujo, el cual toma los datos recopilados para realizar un estimativo espacial de cómo se comporta el flujo de pasajeros en cada bus. Dicho modelo estará implementado en un algoritmo computacional, el cual será un *script* que genere un proceso continuo en la base de datos, teniendo datos predictivos a medida que el usuario haga las consultas en el *dashboard*.

### 3.4.5 Visualización de Información

Para finalizar el proceso, ya con los datos recopilados y procesados, se procede a visualizar la información mediante un *dashboard*.

Este muestra tendencias de alza o bajada, valores de posibles flujos en distintos paraderos y a diferentes horas. También se agrega una visualización de los promedios de colas en cada paradero, generado por distintos buses y recorridos.

Esta información será mostrada mediante una página web donde se entregará la información (requerida por el cliente) que apoye a la planificación y control del transporte.

# Capítulo 4

## Desarrollo

### 4.1 Diagrama de la solución

Se presenta un diagrama de la estructura del diseño de solución a desarrollar. La solución consta de 3 partes esenciales, la red de sensores, unidas a un conversor análogo digital (ADC) el cual enviará la información recopilada por la red a una Raspberry Pi 3.



Figura 11: Diagrama de contexto. Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.1.1 Diseño de la red de sensores

Dados los requerimientos identificados anteriormente, la red no debe ser visible al usuario del transporte público, y si es posible, tampoco el conductor debe saber de su existencia. Por lo tanto, se ubicará en un sitio que no esté expuesto a alguna manipulación de un tercero, que pueda realizar una alteración de los datos medidos. Para esto, se ha elegido la parte superior de cada puerta, ya que los costados de éstas son tapados por las mismas al abrirse, y la parte inferior, está expuesta a mucho daño por parte del pasajero que sube o baja.

También se podrá diferenciar entre una entrada o salida de una persona mediante un sistema de barreras, las cuales se posicionarán como dos líneas paralelas de sensores. De esta forma se podrá discriminar la dirección del movimiento.

Se escogieron sensores de infrarrojo, dado a que se pueden ocultar bajo un armazón de acrílico sin alterar considerablemente sus mediciones y pasan inadvertido a una persona que desconoce su existencia.

A continuación, se muestra la cobertura del diseño del primer prototipo funcional del ensamble de la red de sensores, la cual será instalada en la parte superior de madera.

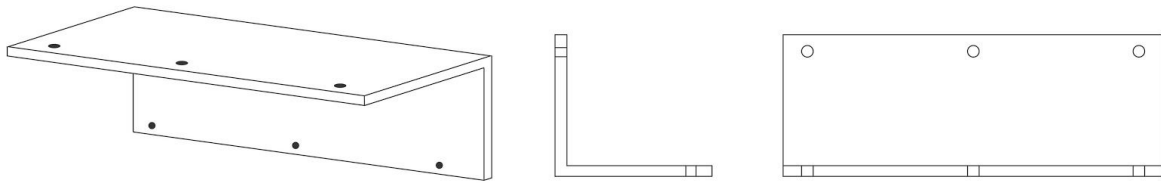


Figura 12. Tapa superior de la cubierta (madera). Fuente: Elaboración propia.

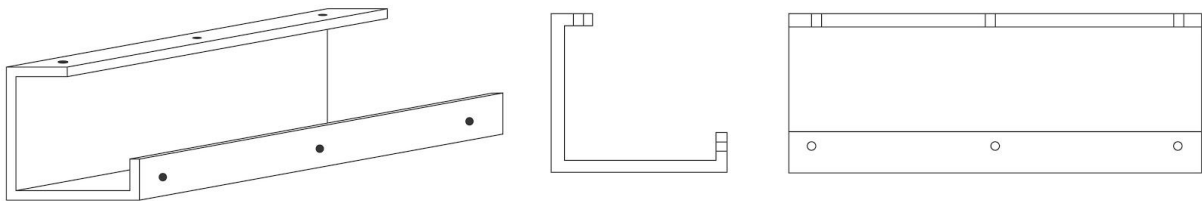


Figura 13. Tapa inferior de la cubierta (acrílico). Fuente: Elaboración propia.

Este sistema fué montado en la oficina “B-211” ubicada en las dependencias de la Universidad. Mediante este modelo se realizará la elaboración de un algoritmo detector de personas que entren o salgan de dicha oficina.

El modelo de los sensores utilizados es “sharp 2y0a02” los cuales constan de un sistema de medición de dos señales, un transmisor y un receptor infrarrojo, el cual devuelve una señal de voltaje asociado a una distancia específica dada por el fabricante. Cabe destacar que se trata de señales análogas, por lo cual se requiere un conversor para que la Raspberry Pi pueda interpretar los datos recibidos.

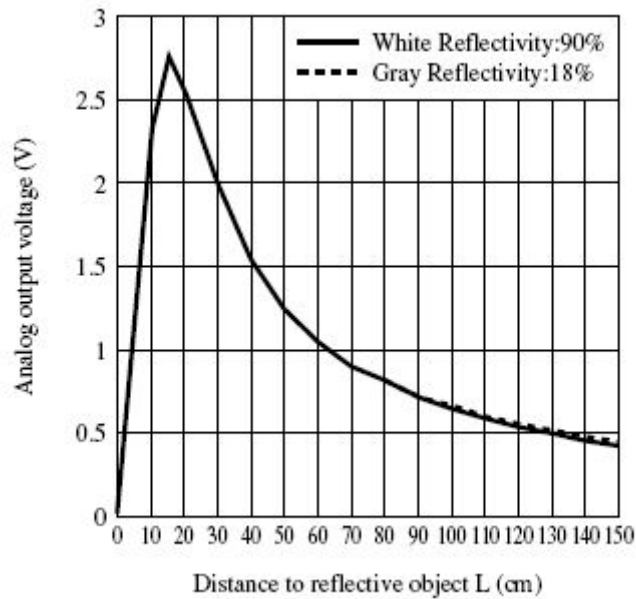


Figura 14. Gráfico de voltaje vs distancia obtenida de un sensor. Fuente: [24]

#### 4.1.2 Conversor análogo digital

Los sensores antes descritos necesitan un intérprete análogo. Por la disponibilidad inmediata que tiene el equipo, se utiliza un “arduino uno”, el cual posee diversas entradas análogas a las cuales conectar los sensores. A continuación, se presenta un diagrama ilustrativo del ensamblaje del sistema.

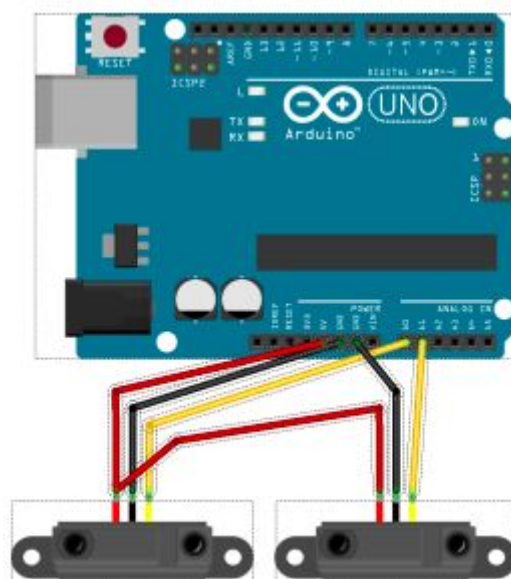


Figura 15. Diagrama de conexión de Arduino con sensor infrarrojo. Fuente: [25]

Mediante este sistema, es posible enviar la información recopilada de la red hacia la Raspberry Pi 3, a través de la comunicación serial que posee el Arduino, la cual le permite enviar información que puede ser recibida por el puerto USB del microcomputador, en el que posteriormente se realizará el reconocimiento del paso de una persona. A continuación, se presenta un diagrama ilustrativo de la comunicación serial entre estos dispositivos.

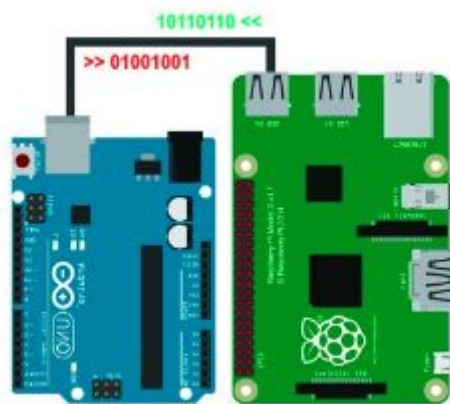


Figura 16. Comunicación serial entre Arduino y Raspberry Pi. Fuente: [26]

### 4.1.3 Raspberry Pi 3

Es un microcomputador o computador de tamaño reducido. Fue desarrollado por la Fundación Raspberry Pi en Reino Unido, cuya finalidad es estimular la computación en las escuelas. Posee un procesador Broadcom de 1,2 [GHz] Quad-Core, con 1 [Gb] de RAM con 40 pines GPIO, incorporando a diferencia de los modelos previos LAN inalámbrica 802.11 b/g/n (WiFi) y Bluetooth 4.1 (de bajo consumo). Su software es de libre distribución, su sistema operativo oficial es Raspbian, el cual es una adaptación de Debian, aunque también es compatible con otros tipos de sistemas operativos que se mencionan a continuación.

- Fedora
- Arch Linux
- Kano OS
- Windows IoT Core
- OSMC
- OpenElec
- Pi MusicBox
- RetroPie

Mediante este dispositivo se realizará reconocimiento de los datos recibidos desde el Arduino, en el cual se programará un algoritmo de reconocimiento del paso de una persona, el que será detallado posteriormente.

## 4.2 Instalaciones y recursos utilizados

Para que el sistema anteriormente descrito funcione de manera correcta, es necesario seguir una serie de procedimientos explicados a continuación, para de esta forma poder comenzar con la programación y desarrollo del algoritmo deseado.

### 4.2.1 Preparación de Arduino

Es necesario instalar el IDE de Arduino para poder programar el microcontrolador. Se utilizará el sistema operativo Ubuntu versión 14.04 LTS para realizar esto. Se debe acceder al “centro de software de Ubuntu”, que se muestra a continuación.

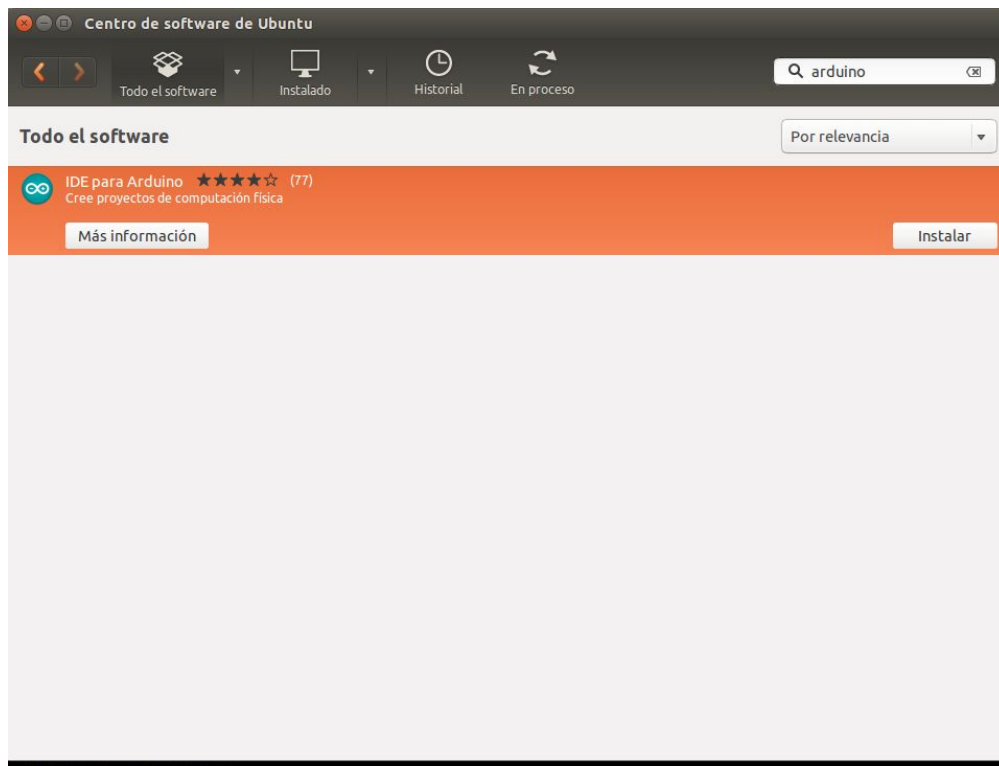
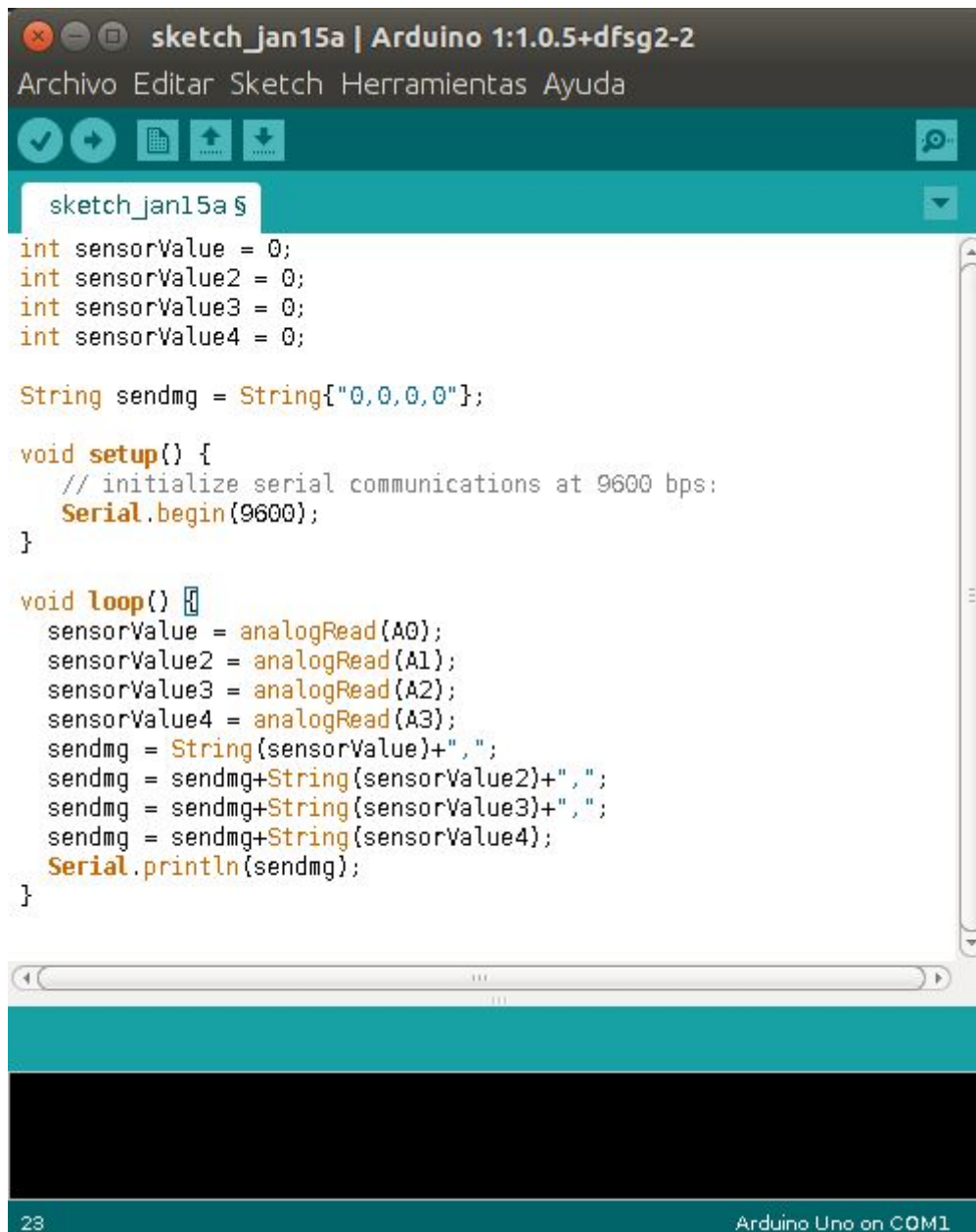


Figura 17. Arduino IDE en centro de software Ubuntu. Fuente: Elaboración Propia.

Luego de ser instalado se procede a escribir el código que será utilizado para la lectura de los sensores análogos, para luego ser enviados los datos recopilados a través de la comunicación serial.



```
sketch_jan15a $
int sensorValue = 0;
int sensorValue2 = 0;
int sensorValue3 = 0;
int sensorValue4 = 0;

String sendmg = String{"0,0,0,0"};

void setup() {
  // initialize serial communications at 9600 bps:
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  sensorValue = analogRead(A0);
  sensorValue2 = analogRead(A1);
  sensorValue3 = analogRead(A2);
  sensorValue4 = analogRead(A3);
  sendmg = String(sensorValue)+",";
  sendmg = sendmg+String(sensorValue2)+",";
  sendmg = sendmg+String(sensorValue3)+",";
  sendmg = sendmg+String(sensorValue4);
  Serial.println(sendmg);
}
```

23 Arduino Uno on COM1

Figura 18. Sketch de Arduino utilizado. Fuente: Elaboración Propia.

Mediante este código se obtiene las lecturas de cuatro sensores, los cuales son enviados mediante un string por el puerto serial, el que será recibido por la Raspberry Pi, para posteriormente ser analizados por un algoritmo de reconocimiento del paso de una

persona. Gracias a esto el sistema depende únicamente del desarrollo en el microcomputador.

Para desarrollos futuros y nuevas versiones de este sistema, se puede reemplazar de manera sencilla este Arduino por un ADC, el cual posee un menor valor en el mercado, lo que aumenta la plusvalía del presente prototipo.

Este sketch debe ser subido al Arduino solo una vez. Aunque posteriormente se desconecte de la Raspberry, el código funcionará cuando se vuelva a conectar al sistema.

#### 4.2.1 Preparación de Raspberry Pi 3

De igual manera como se explicó anteriormente se debe preparar la Raspberry para ser utilizada para la programación de la red de sensores.

Para trabajar con este dispositivo, se debe tener una tarjeta microSD, la cual funcionará como un pseudo “*disco duro*”, en donde se aloja el sistema operativo a utilizar, así como toda la información que en éste se aloje, incluyendo el código desarrollado. Se utilizará Raspbian, dado a que es el sistema operativo oficial de Raspberry, el cual viene con Python 2.6 por defecto, lenguaje utilizado para el desarrollo del presente algoritmo, ya que posee bibliotecas dedicadas para controlar los puertos GPIO, los cuales serán usados en versiones futuras del proyecto cuando se agregue un ADC o se incorporen sensores digitales.

### 4.3 Desarrollo del algoritmo de reconocimiento

#### 4.3.1 Posicionamiento de sensores

En un primer momento se desea realizar sólo el reconocimiento del paso de algún objeto. Esto se realiza mediante un sistema de doble barrera, el cual es diseñado mediante 4 sensores en cada barrera, ubicados uno detrás de otro. Esto fue modificado, luego de considerar que se pierden demasiados datos de relevancia, por lo tanto, la disposición de los sensores es en *zig zag*. De esta forma se tiene la ventaja de conservar la funcionalidad de la doble barrera, pero con mayor cantidad de datos a analizar.

Para el primer prototipo, la instalación de la red de sensores se puede observar a continuación.

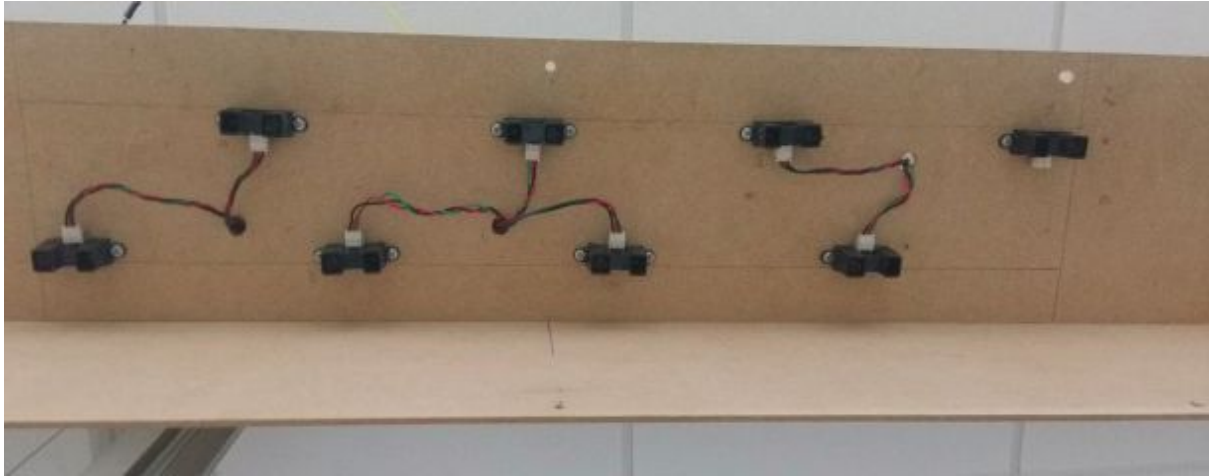


Figura 19. Estructura inferior, redes de sensores. Fuente: Elaboración Propia.

### 4.3.2 Reconocimiento del paso de un objeto

Para reconocer si algo pasa por el umbral instalado se debe reconocer la secuencia que se describe a continuación. Primero, es necesario diferenciar cuál barrera es cortada primero. Luego, cuándo el objeto está cortando las dos barreras al mismo tiempo (está justo debajo de la puerta). Después, cuándo el objeto deja de cortar la barrera que cortó en un principio. Finaliza cuando ya no existe nada obstaculizando. Por lo tanto, se diseñan tres estados posibles más un estado inicial. A continuación, se presentan las máquinas de estados que rigen la secuencia descrita para la entrada y salida de un objeto.

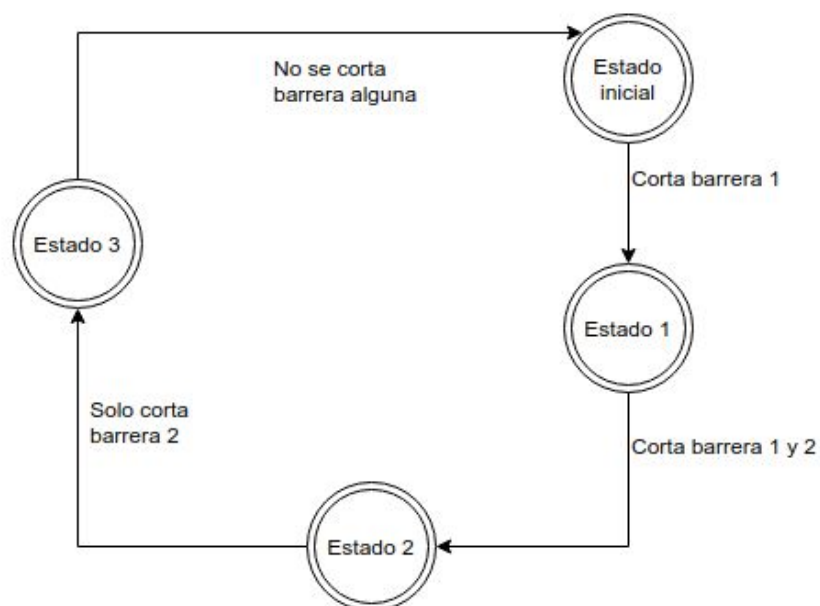


Figura 20. Máquina de estados entrada de un objeto. Fuente: Elaboración Propia.

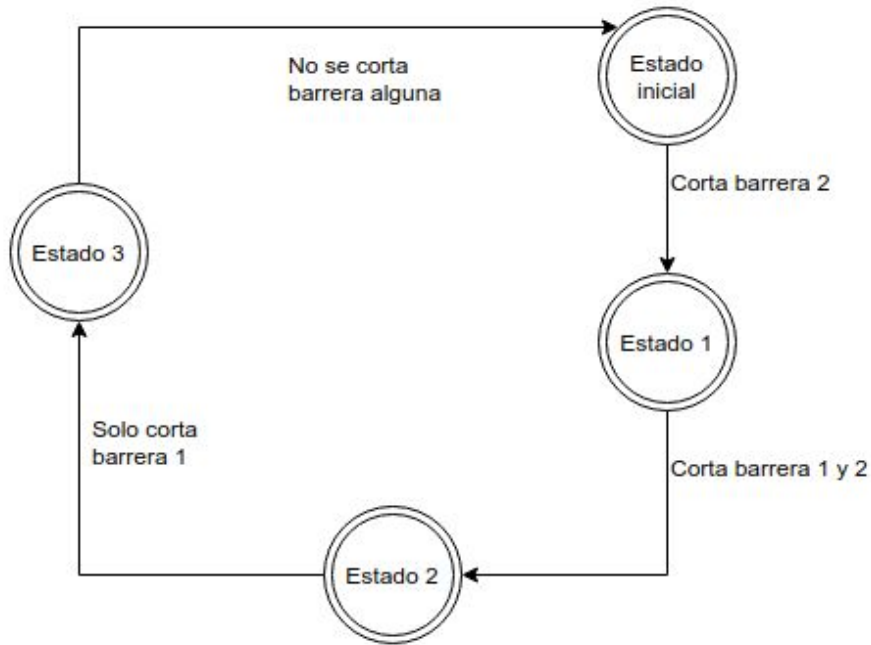


Figura 21. Máquina de estados salida de un objeto. Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar, en esta configuración de estados no es posible reconocer si una persona se devuelve antes de pasar por todas las etapas del sistema, quedando el sistema detenido en cualquier estado, sin avanzar y deteniendo la detección (independiente de cual de los dos diagramas se analice). Por lo tanto, se deben modificar los diagramas para que cubran este estado no deseado.

A continuación, se presentan las modificaciones realizadas a los diagramas, las cuales consideran la salida repentina de una persona antes de pasar por todas las etapas del sistema.

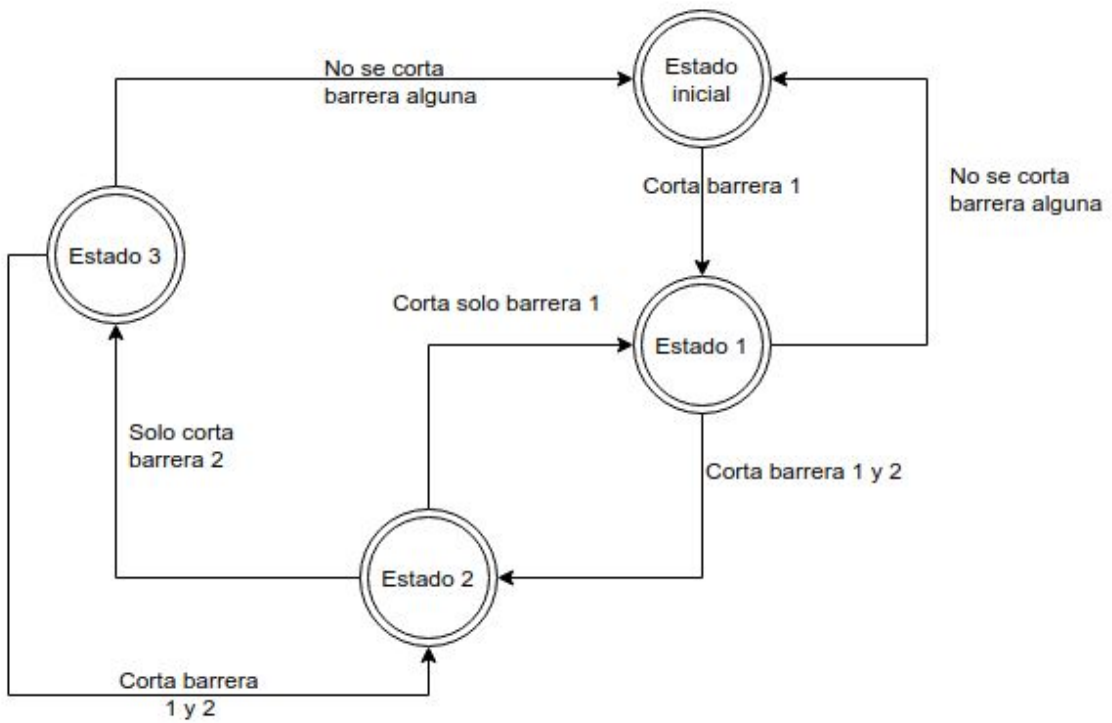


Figura 22. Máquina de estados entrada primera modificación. Fuente: Elaboración Propia.

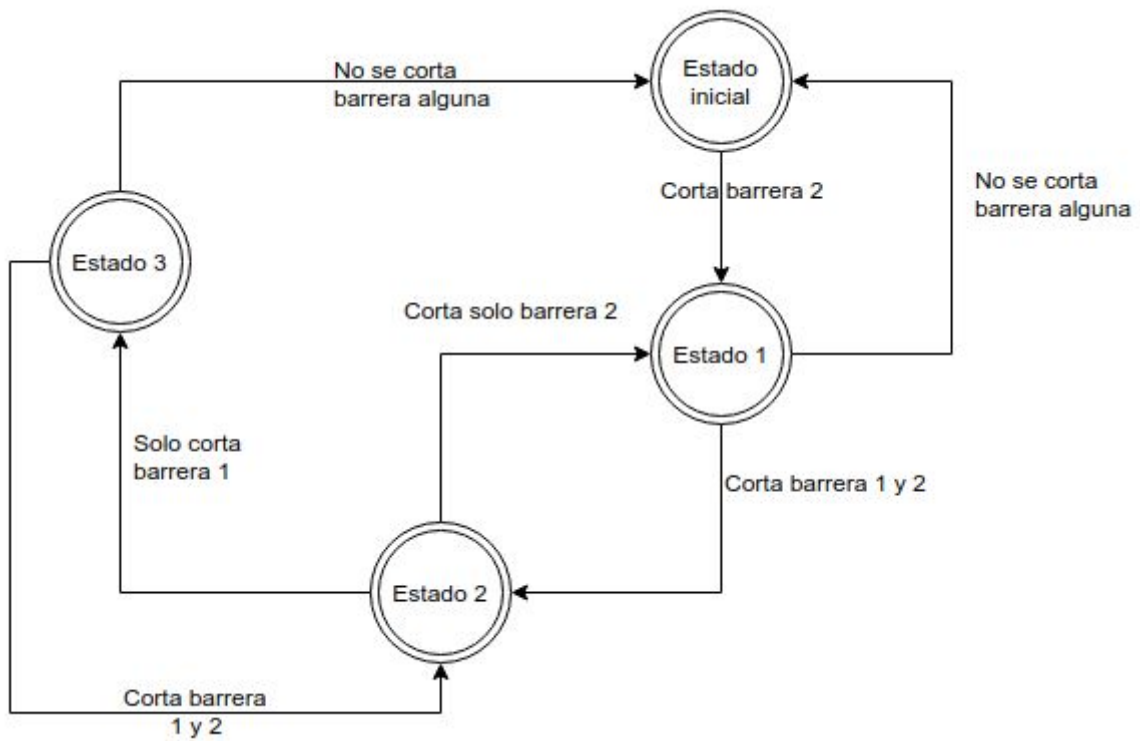


Figura 23. Máquina de estados salida primera modificación. Fuente: Elaboración Propia.

Mediante las modificaciones realizadas se pueden cubrir los casos posibles para una correcta medición de los sensores. Sin embargo, cabe la posibilidad de que debido al retardo en las lecturas no realice la secuencia descrita de forma correcta. Por lo tanto, el sistema tiene problema en el “estado 2”, ya que si los sensores presentan este problema, la persona puede salir del sistema (volver al “estado inicial”) sin pasar por los estado 1 o 3, lo que lleva a volver a modificar el sistema.

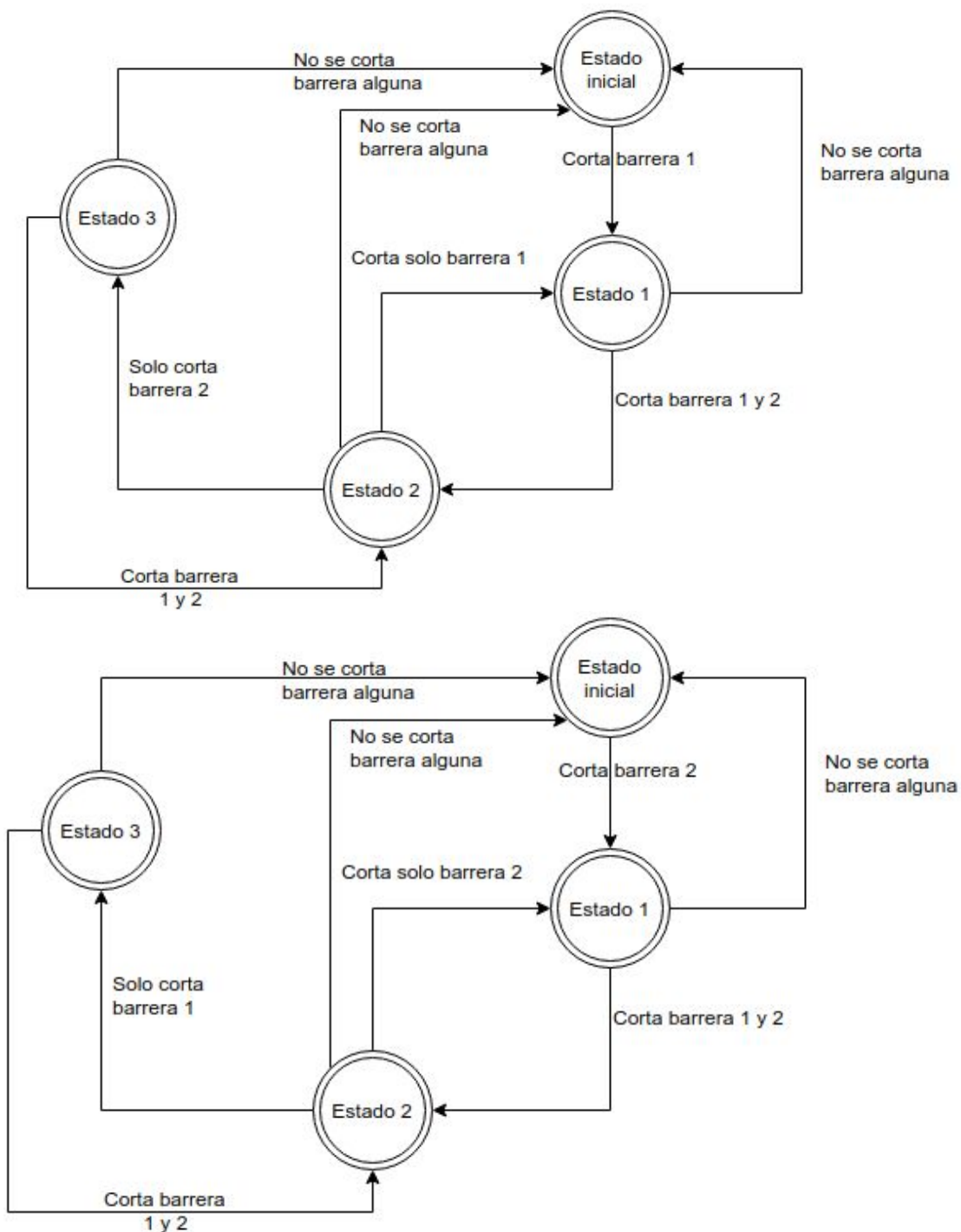


Figura 24. Máquina de estados entrada y salida segunda modificación. Fuente: Elaboración Propia.

De esta forma se pueden cubrir todos los casos posibles para la red de sensores. Cabe mencionar que se considera que corta cada una de las barreras, cuando se interfiere desde un metro medido de la red de sensores.

### 4.3.3 Reconocimiento de silueta

Luego de reconocer el paso de un objeto, el sistema debe diferenciar si este es o no una persona. Dado a que los sensores están situados en la parte superior de la puerta, se debe reconocer la silueta de la parte superior de una persona, la cual consta de la cabeza y hombros.

Se debe identificar el patrón hombro-cabeza-hombro de forma que se pueda reconocer la silueta de una persona mediante las mediciones recopiladas por los sensores. Por lo que se debe en primer lugar reconocer la cabeza, la cual es la medición más cercana a la red, para luego ver si las mediciones próximas a ésta, corresponde a la distancia acorde a una persona.

## 4.4 Modelo desarrollado

El modelo final se desarrolla para realizar reconocimiento del paso de una persona de forma bidireccional en una puerta. Se desarrolla juntando en un solo sistema, el reconocedor de siluetas con la máquina de estados.

Para lograr esto queda agregar el reconocedor de silueta en el “estado 2” de cada diagrama de estados. Si la respuesta es positiva, guardar el valor hasta que la persona salga del sistema (pase del “estado 3” al “estado inicial”). Luego de esto, es agregada al total.

### 4.4.1 Pruebas del sistema

El sistema de sensores presentó mediciones con demasiado ruido, esto debido a que se usaron sensores análogos, los cuales presentan un alto grado de interferencia que no se tenía previsto. Por lo tanto, se procede a probar el sistema mediante un *dataset*, de esta forma se puede probar el algoritmo utilizando mediciones reales realizadas a 20 alumnos de ingeniería civil telemática que miden entre 1.55 a 1.86 metros, los cuales fueron medidos en posición vertical contra una pizarra simulando la distancia de los puntos de medición desde la red de sensores.

Los datos recopilados son guardados en un archivo csv, el cual contiene ocho columnas (una para cada sensor), las cuales inicialmente, sólo se tienen mediciones del umbral vacío (1 metro). Las columnas pares del archivo (comenzando en cero) corresponden a los datos de la barrera de salida, mientras que el resto corresponde a la barrera de entrada.

S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 4. Dataset umbral vacío . Fuente: elaboración propia.

Las mediciones se insertan en una de las dos barreras infrarrojas, simulando la entrada o salida de una persona.

S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100
100	74	100	38	100	63	100	100
100	74	100	38	100	63	100	100
100	74	100	38	100	63	100	100
100	74	100	38	100	63	100	100

Tabla 5. Dataset, corte de entrada . Fuente: elaboración propia.

Luego, se cortan las dos barreras, simulando a una persona bajo el umbral.

S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
100	74	100	38	100	63	100	100
100	74	100	38	100	63	100	100
100	74	48	38	48	63	72	100
100	74	48	38	48	63	72	100
100	74	48	38	48	63	72	100
100	74	48	38	48	63	72	100

Tabla 6. Dataset, persona bajo el umbral . Fuente: elaboración propia.

Finalmente, solo se corta la barrera segunda barrera, para dar paso a las mediciones del umbral vacío.

S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
100	74	48	38	48	63	72	100
100	74	48	38	48	63	72	100
100	100	48	100	48	100	72	100
100	100	48	100	48	100	72	100
100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 7. Dataset, corte de salida . Fuente: elaboración propia.

Gracias a estas mediciones, se pudo modificar el reconocedor de silueta de acuerdo a los datos medidos, teniendo éxito en reconocer todos los datos de manera correcta.

Se procede a alterar los datos medidos para probar el algoritmo, bajo el escenario de que no todas las mediciones de los cuatro sensores centrales son capturados de manera correcta. Bajo esta condicionante, se ve una disminución en la efectividad del reconocedor. Se observa, que sólo reconoce a 85% de los datos ingresados.

#### 4.4.2 Resultados

Se elaboró un *dataset* con los datos antes mencionados. Mediante esto se modificó el reconocedor de siluetas de forma iterativa a medida que se agregaban los datos simulados al algoritmo. Gracias a esta metodología se pudo completar un sistema que mide el paso de una persona de frente por el umbral de una puerta.

Se obtiene una buena respuesta por parte del algoritmo diseñado, discriminando de buena forma las personas que entran y salen de frente por el umbral. Mediante los datos recopilados, no se pudieron realizar pruebas para el paso de costado de una persona. El sistema no detecta a pasajeros con una estatura inferior a 1.15 metros, con lo cual quedan excluidos los niños menores de 12 años (aproximadamente), los cuales no pagan pasaje en el transporte público, por lo que no son considerados por el sistema.

La red de sensores no reconoce a personas que pasen encogiendo sus hombros o usando algún tipo de sombrero que los cubran, escondiendo la silueta de la parte superior de su cuerpo. Se reconoce el paso de dos personas que entren o salgan al unísono, pero si una persona entra mientras otra sale en un mismo instante, la medición no se realiza de manera correcta. Estos inconvenientes causados por las personas que entren y salgan por un umbral en un mismo instante, puede ser resuelto con la utilización de “*multi threads*”, dejando la medición individual de cada suceso en una hebra distinta.

Para probar la efectividad y los límites de operación del buen funcionamiento del sistema desarrollado, se han agregado valores erróneos aleatorios con los siguientes porcentajes de error: 1%, 5%, 10%, 20%, 30% y 40% a las mediciones originales, simulando un escenario más cercano a la realidad. A continuación, se presentan gráficos ilustrativos en los cuales se aprecia la diferencia de las siluetas generadas para los distintos porcentajes de error.

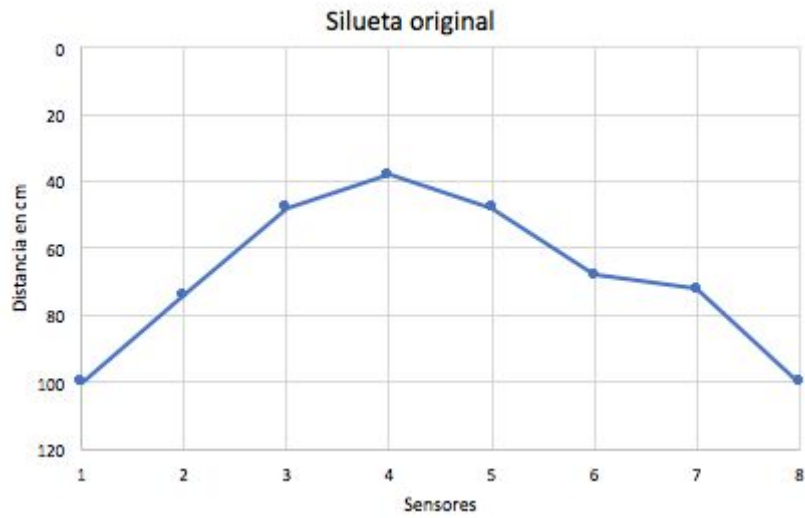


Figura 25. Silueta original. Fuente: Elaboración Propia.

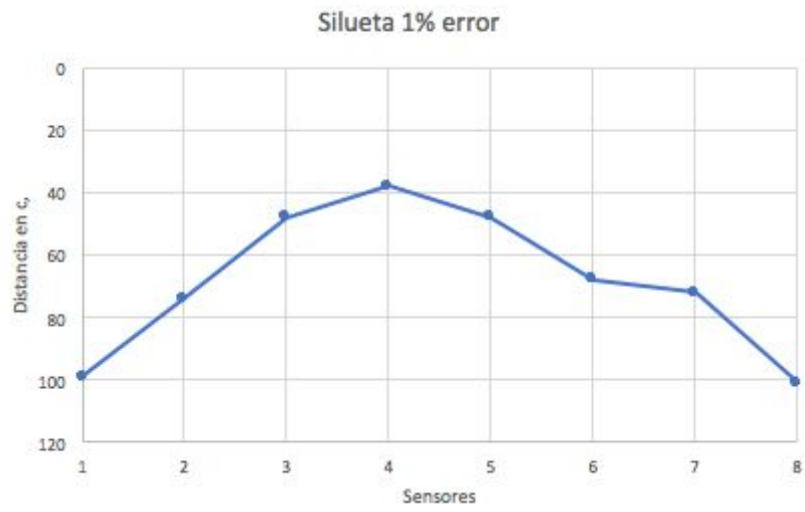


Figura 26. Silueta con 1% de error. Fuente: Elaboración Propia.

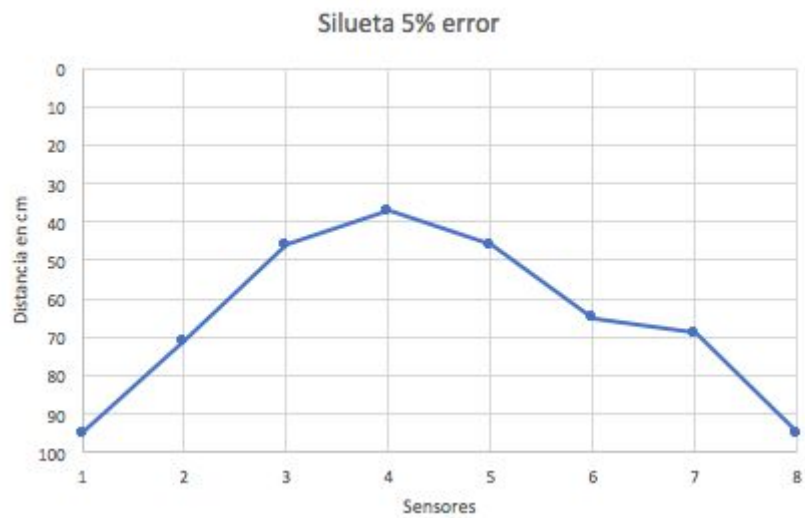


Figura 27. Silueta con 5% de error. Fuente: Elaboración Propia.

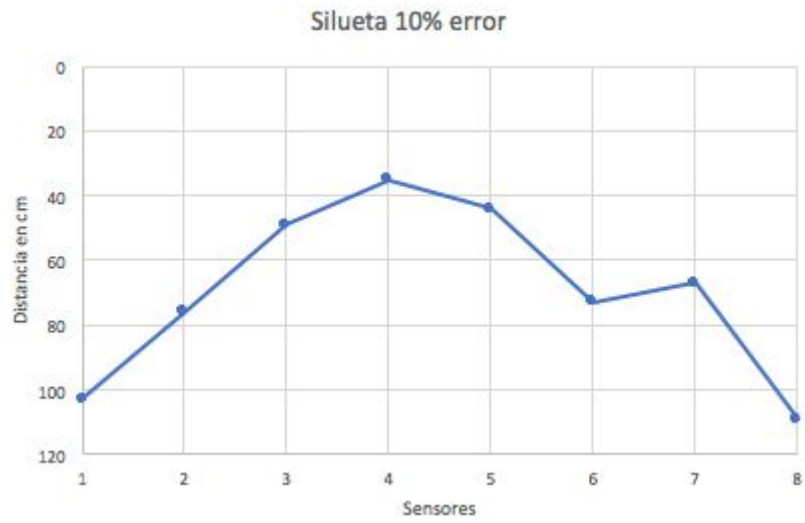


Figura 28. Silueta con 10% de error. Fuente: Elaboración Propia.

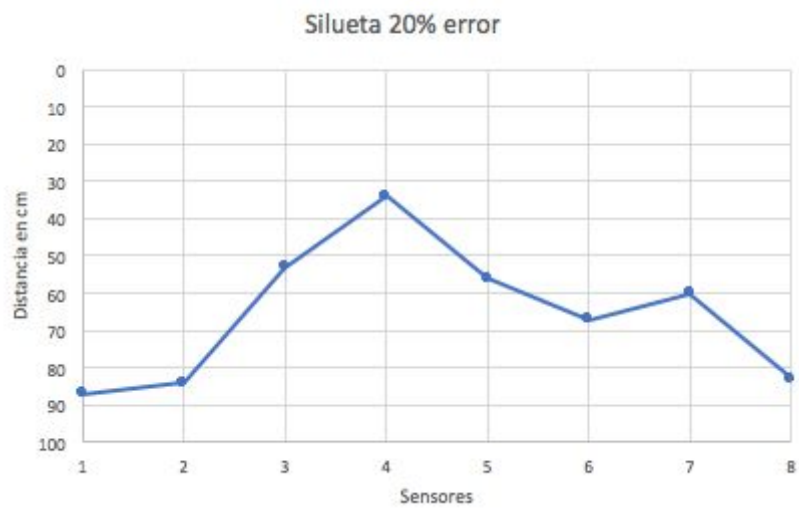


Figura 29. Silueta con 20% de error. Fuente: Elaboración Propia.

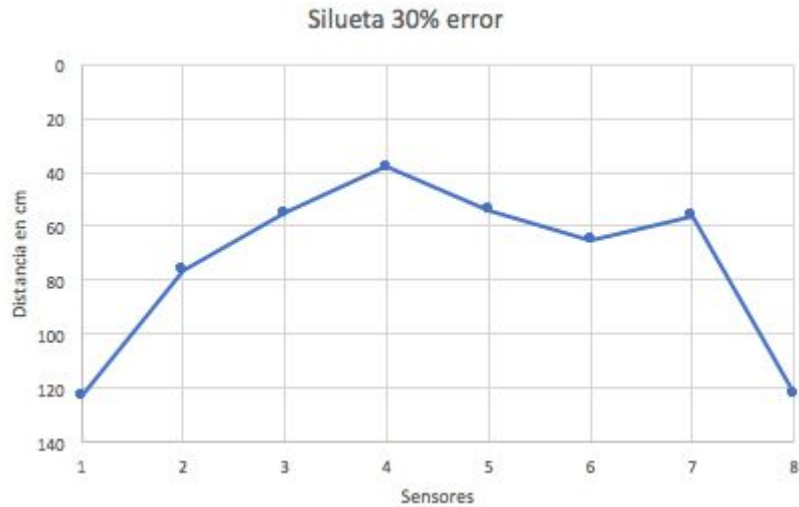


Figura 30. Silueta con 30% de error. Fuente: Elaboración Propia.

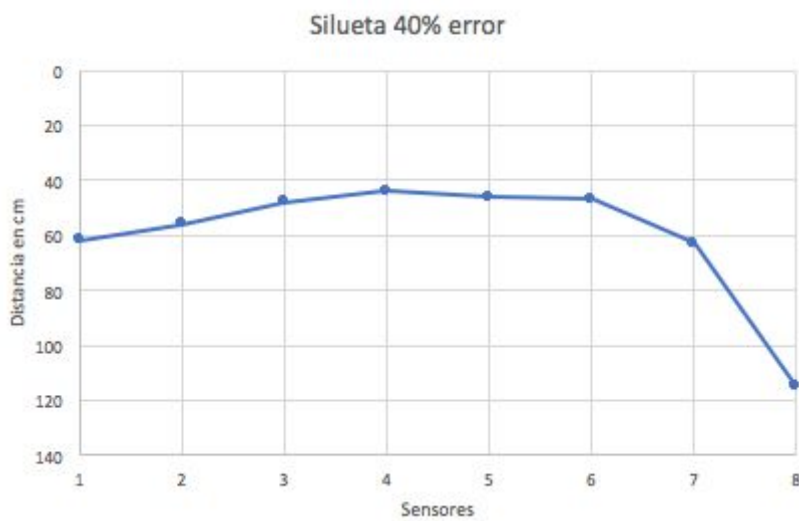


Figura 31. Silueta con 40% de error. Fuente: Elaboración Propia.

Para un umbral de medición de 100 cm, el algoritmo reconoce las siluetas hasta con un 5% de error introducido. Para un buen funcionamiento, a medida que crece la tasa de error hasta un 30%, se debe disminuir el umbral de medición. Este comportamiento refleja de manera cercana la realidad de trabajar con sensores infrarrojos, ya que a medida que se detecta un objeto a mayor distancia, se aumenta el porcentaje de error de los datos medidos.

Superando un error del 30% el sistema mide falsos positivos, por lo que el algoritmo desarrollado no es confiable para estos casos.

# Capítulo 5

## Conclusiones

### 5.1 Conclusiones Generales

Al concluir el desarrollo de este proceso de memoria multidisciplinaria, se revisan los objetivos propuestos inicialmente. Es posible evidenciar que se ha cumplido cada uno de ellos, junto a otros que no se tenían previstos.

- Se logró identificar el principal dolor de la Unidad de Ciudades de Inteligente y el por qué plantearon el desafío de determinar el flujo de pasajeros en tiempo real. En base a esto se realizó un profundo estudio que quedó plasmado en el primer capítulo. Donde se explicó el proceso antes y durante del Transantiago, las tecnologías que ha implementado a lo largo de los años y el método de planificación que se utiliza actualmente.
- El objetivo principal de la memoria no se cumplió, debido a que los sensores utilizados no son de la calidad esperada, por lo que un prototipo funcional de bajo costo no es solución para la problemática propuesta. Sin embargo, se pudo elaborar un algoritmo de reconocimiento del paso de una persona, mediante un *dataset* elaborado con mediciones reales. Este script, permite medir el flujo de personas que pasan a través de una puerta (simulando una red de sensores), esto pudiendo discernir la dirección de entrada o salida. A pesar de no estar operativo, el sistema físico existente, se encuentra instalado físicamente en la oficina B-211 de la Universidad Técnica Federico Santa María. Luego, se logró enviar y almacenar dicha información en una base de datos no relacional. A partir de esto, se obtuvo información de tipo descriptiva y predictiva mediante modelos matemáticos como  $\text{Var}(p)$  y Random Forest. Posteriormente se visualiza la información en el *dashboard* implementado con *frameworks*, facilitando la gestión de planificación a los operarios del transporte. por lo que en un prototipo de producción se deben considerar sensores digitales.

- La fortaleza de este tipo de investigación radica en las distintas perspectivas de los miembros del equipo multidisciplinario, lo cual aparte de profundizar cada uno en su tema de la especialidad, sirve como instancia para aprender de otras áreas como la informática y matemática. Además se considera un gran paso al futuro laboral, por el intensivo trabajo en equipo que se vive en este tipo de experiencia.

## 5.2 Conclusiones específicas

- De las opciones tecnológicas de medición de flujo de personas analizadas en el presente proyecto, se optó por la utilización de sensores de infrarrojo. Estos poseen la gran ventaja de que se pueden ocultar de la vista del pasajero en el transporte público, así como del mismo chofer de cada máquina. Gracias a esta, se puede ofrecer un sistema de medición fidedigno, con mínimas intervenciones de terceros que puedan afectar los datos medidos, reduciendo de esta manera la tasa de error externa del sistema.
- La elección del microcomputador fué Raspberry Pi, dado a su gran poder de procesamiento y tamaño reducido, por lo que es posible posicionarlo en la estructura de la puerta de cada bus. También, se pueden conectar diversos dispositivos a parte de la red descrita en este trabajo, los cuales pueden ayudar al usuario a tener una mejor experiencia de viaje. Se hace indispensable incorporar un computador a bordo en cada microbús, de esta forma se puede obtener y recopilar información acerca de otros factores que puedan ser de interés para mejorar el servicio, ya sea datos de temperatura, avisos de parada o publicidad mediante pantallas led.
- Se ha elegido Python como lenguaje de programación para desarrollar el algoritmo reconocedor de siluetas. Esto debido a que posee bibliotecas para trabajar con el puerto serial, sensores y dispositivos externos a la Raspberry Pi, lo que facilita la programación y el desarrollo del sistema. También se considera la gran documentación y ejemplos que tiene para basarse en éstos.
- En la implementación de la red de sensores se han detectado errores de mediciones no previstos, los cuales son a causa del ruido producido por los sensores analógicos. Dado esto, se procede a confeccionar un “*dataset*” con mediciones reales, con el que se realizan simulaciones del paso de personas por el umbral de la puerta. Con estos datos, se desarrolló el algoritmo de reconocimiento de personas.

Luego, fue puesto a prueba con datos erróneos con diversos porcentajes de error, de esta forma se pudo analizar el alcance y límites del buen funcionamiento del sistema, todo esto explicado en el capítulo anterior.

- Dado los problemas de ruido presentados por los sensores infrarrojos, queda evidenciado que no se puede tener un contador de personas de bajo costo, ya que es necesario tener hardware de mejor calidad para mejorar las pruebas y el algoritmo desarrollado.

### 5.3 Trabajo a Futuro

Dado al gran trabajo en equipo realizado, se ha decidido a futuro crear una empresa, de nombre Raisklu, proveniente de las palabras en alemán Raise Klug que significa Viaje Inteligente. El principal producto de este emprendimiento, es el desarrollado en la presente memoria, con el cual se desea participar en la próxima licitación del transantiago.



*Figura 25: Logo de la Empresa Raisklu. Fuente: Elaboración Propia.*

Como está contemplado en el plan de memorias multidisciplinarias, en el cual están inmersos variados módulos de emprendimientos. Se pretende ofrecer un servicio a los operarios del transporte, de manera que puedan tomar decisiones más acertadas en base a la planificación de sus recorridos y de flota, en tiempo real.

Las grandes aristas a mejorar son:

- **Medición de los sensores:** Robustez en la medición de la siluetas de las personas, cubriendo todos los casos posibles, implementación de multi hebras e instalación de sensores digitales de mayor precisión.
- **Base de datos NoSQL:** Implementar un cluster de varios nodos, para realizar balanceo de carga para mejorar aún más las tasas de lectura/escritura.
- **Modelo Predictivo:** En lo posible implementar el servicio en máquinas de buses para obtener información real y permitir predecir con un menor porcentaje de error al que hay actualmente, con los datos generados aleatoriamente.
- **Dashboard:** Lograr la sinergia entre los diferentes gráficos para que el cliente pueda visualizarlos de mejor manera.

# Bibliografía

[1] Memorias Multidisciplinarias. Fortalecimiento del Desarrollo de Competencias Transversales en la Formación del Profesional USM - Foco Q1 Q2

<http://competenciastransversales.usm.cl/>

[Consultado 04/06/16]

[2] Unidad de ciudades inteligentes, perteneciente a la Subsecretaría de Transporte de Chile

<http://www.ciudadesinteligentes.cl/>

[Consultado 04/06/16]

[3] Trabajo de investigación en políticas públicas, Departamento de economía U. de Chile.

[www.icei.uchile.cl/documentos/ver-tips-n4\\_41874\\_0.pdf](http://www.icei.uchile.cl/documentos/ver-tips-n4_41874_0.pdf)

[Consultado 04/06/16]

[4] Qué es el Transantiago

[http://transantiago.cl/corporativo/index.php?option=com\\_content&view=article&id=131&Itemid=32](http://transantiago.cl/corporativo/index.php?option=com_content&view=article&id=131&Itemid=32)

[Consultado 04/06/16]

[5] Número de Personas Transportadas

<http://www.transantiago.cl/acerca-de-transantiago/informacion-del-sistema>

[Consultado 04/06/16]

[6] Investigación al Transantiago: Sistematización de Declaraciones hechas ante la Comisión Investigadora, Resumen de Contenidos de los Principales Informes Técnicos, Información de Documentos Públicos Adicionales y Comentarios Críticos.

[http://ciperchile.cl/wp-content/uploads/Reporte\\_Transantiago.pdf](http://ciperchile.cl/wp-content/uploads/Reporte_Transantiago.pdf)

[Consultado 07/06/16]

[7] Resultados del Observatorio del Transporte Público de Santiago LyD 2015

<http://lyd.org/centro-de-prensa/noticias/2015/06/resultados-del-observatorio-del-transporte-publico-de-santiago-lyd-2015/>

[Consultado 07/06/16]

[8] Número de Personas Transportadas

<http://www.transantiago.cl/acerca-de-transantiago/informacion-del-sistema>

[Consultado 04/06/16]

[9] Concesionarias Transantiago (2016)

<http://www.transantiago.cl/acerca-de-transantiago/detalle-de-empresas>

[Consultado 04/06/16]

[10] Sectores de Santiago divididos por líneas de los buses

<https://es.wikipedia.org/wiki/Transantiago>

[Consultado 04/06/16]

[11] Encuesta: Evaluación Gestión de Gobierno de Adimark.

[http://www.adimark.cl/es/estudios/documentos/27\\_eval%20gobierno%20may\\_2016.pdf](http://www.adimark.cl/es/estudios/documentos/27_eval%20gobierno%20may_2016.pdf) [Con

sultado 09/06/16]

[12] Dataset de la Encuesta Origen Destino de Viajes 2012

<http://datos.gob.cl/dataset/31616>

[Consultado 12/10/16]

[13] Presentación de la Encuesta Origen Destino de Viajes 2012

[http://cdn.plataformaurbana.cl/wp-content/uploads/2015/03/presentacion\\_eodstgo\\_2012\\_fin  
al.pdf](http://cdn.plataformaurbana.cl/wp-content/uploads/2015/03/presentacion_eodstgo_2012_final.pdf)

[Consultado 12/10/16]

[14] Metodología SCRUM

[http://web.archive.org/web/20080516073429/http://members.cox.net/rising11/Articles/IEEESc  
rum.pdf](http://web.archive.org/web/20080516073429/http://members.cox.net/rising11/Articles/IEEEScrum.pdf)

[Consultado 23/10/16]

[15] Transantiago - Problemas de patente en el sistema de conteo

[http://www.lainsignia.org/2007/mayo/ibe\\_014.htm](http://www.lainsignia.org/2007/mayo/ibe_014.htm)

[Consultado 12/10/16]

[16] Geminis

<http://www.geminis.cl/contador-de-pasajeros/>

[Consultado 07/11/16]

[17] Glgrou

<http://glgroup.cl/categoria-producto/gestion-comercial-y-operacional/contador-de-personas/>

[Consultado 07/11/16]

[18] Visual Counter - España

<http://www.visualcounter.com.es/web/products/vctransit/>

[Consultado 12/10/16]

[19] IRIS - Alemania

<http://www.irisgmbh.de/>

[Consultado 12/10/16]

[20] Infodev - Canadá

<http://www.infodev.ca/vehicles/products-and-passenger-counters/products/data-collectors/dl-10b.html>

[Consultado 12/10/16]

[21] Registro de sistemas de conteo

[http://ntl.bts.gov/lib/23000/23600/23620/psgr\\_ctg\\_svc\\_mon.pdf](http://ntl.bts.gov/lib/23000/23600/23620/psgr_ctg_svc_mon.pdf)

Consultado 12/10/16

[22] Transmilenium - Colombia

<http://www.poyry.com/latin/projects/transmilenio-bogota-colombia-sistema-de-transporte-rapido-de-buses-nqs>

[http://web.archive.org/web/20130810063348/http://transmilenio.gov.co/WebSite/Contenido.aspx?ID=TransmilenioSA\\_TransmilenioEnCifras\\_EstadisticasGenerales](http://web.archive.org/web/20130810063348/http://transmilenio.gov.co/WebSite/Contenido.aspx?ID=TransmilenioSA_TransmilenioEnCifras_EstadisticasGenerales)

<http://habitat.aq.upm.es/bpal/onu02/bp129.html>

[http://www.transmilenio.gov.co/trans-noticias/one\\_news.asp-IDNews=168.htm](http://www.transmilenio.gov.co/trans-noticias/one_news.asp-IDNews=168.htm)

<http://www.transmilenio.gov.co/trans-noticias/comment.asp-IDNews=268.htm>

Consultado 12/10/16

[23] City Móvil - Diario el Mercurio 9 de mayo 2016

<http://impresa.elmercurio.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2016-05-09&dtB=09-05-2016%200:00:00&PaginaId=9&bodyid=2>

Consultado 07/06/16

[24] Datasheet sensor de proximidad infrarrojo sharp 2y0a02

<https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/1031/GP2Y0A02YK-DATA-SHEET.PDF>

Consultado 14/01/18

[25] Utilización del sensor de distancia

<https://minibots.wordpress.com/2013/11/30/utilizacion-del-sensor-de-distancia-sharp-2y0a21>

Consultado 14/01/18

[26] Raspberry Pi - Arduino Serial Communication

[https://www.google.cl/search?client=ubuntu&hs=5LI&biw=650&bih=650&tbm=isch&sa=1&ei=chhcWvDbA8TywAS3i7XQCA&q=arduino+%2B+raspberry&oq=arduino+%2B+ras&gs\\_l=p sy-ab.3.0.0j0i30k1l2j0i8i30k1l6j0i30k1.387226.396943.0.398146.21.13.5.3.4.0.162.1000.12j 1.13.0....0...1c.1.64.psy-ab..0.20.984...0i67k1.0.J-ed7g0iDfQ#imgdii=VS0I0HVYaMIBbM:&imgrc=HF14IrxQLab0PM:](https://www.google.cl/search?client=ubuntu&hs=5LI&biw=650&bih=650&tbm=isch&sa=1&ei=chhcWvDbA8TywAS3i7XQCA&q=arduino+%2B+raspberry&oq=arduino+%2B+ras&gs_l=p sy-ab.3.0.0j0i30k1l2j0i8i30k1l6j0i30k1.387226.396943.0.398146.21.13.5.3.4.0.162.1000.12j 1.13.0....0...1c.1.64.psy-ab..0.20.984...0i67k1.0.J-ed7g0iDfQ#imgdii=VS0I0HVYaMIBbM:&imgrc=HF14IrxQLab0PM:)

Consultado 14/01/18

[27] Página oficial Raspberry Pi

<https://www.raspberrypi.org/>

Consultado 14/01/18

[28] Sistema de planificación de recorridos para el transporte público apoyado en una base de datos NoSQL

Autor: Guillermo Briceño Valerdi

Publicación: Diciembre 2016