



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN**  
**COMPUTACIÓN**

**Análisis de la movilidad en entornos urbanos**  
**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

PRESENTA

**Ing. Morquecho Nuñez Rosa Isela**

ASESORES:

**Dr. Miguel Jesús Torres Ruiz**

**Dr. Marco Antonio Moreno Ibarra**





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 10:00 horas del día 13 del mes de noviembre de 2013 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del

**Centro de Investigación en Computación**

para examinar la tesis titulada:

**"Análisis de la movilidad en entornos urbanos"**

Presentada por el alumno:

**MORQUECHO**

Apellido paterno

**NÚÑEZ**

Apellido materno

**ROSA ISELA**

Nombre(s)

Con registro:

B	1	1	0	8	3	0
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

**LA COMISIÓN REVISORA**

Directores de Tesis

  
Dr. Marco Antonio Moreno Ibarra

  
Dr. Miguel Jesús Torres Ruiz

  
Dr. Cleddy Pogrebruk

  
Dr. Rolando Cuñero Telez

  
Dr. José Giovanni Guzmán Lugo

  
Dr. Rolando Merchaca Méndez

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

  
Dr. Alonso Villa Vargas

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN  
EN COMPUTACIÓN  
DIRECCIÓN



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA CESIÓN DE DERECHOS*

En la Ciudad de México el día 22 del mes Noviembre del año 2013, el (la) que suscribe Rosa Isela Marquedo Nuñez alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencias de la Computación con número de registro B110830, adscrito a Centro de Investigación en Computación, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Miguel J. Torres Ruiz y Dr. Marco A. Moreno Barco y cede los derechos del trabajo intitulado Análisis de la movilidad en entornos urbanos, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección isela\_escam@gmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

  
Rosa Isela Marquedo Nuñez

Nombre y firma

# Resumen

Hoy en día, existen diversos estudios para la medición de la movilidad en distintos entornos, utilizando desde encuestas escritas hasta dispositivos RFID. Sin embargo, estos estudios resultan ser costosos en cuanto a equipamiento, implantación, o recolección, ocasionando que su puesta en marcha no escale más allá del caso de estudio, o que la frecuencia de aplicación sea de varios años, ocasionando pérdida de información entre estos.

En este trabajo se propone una metodología para obtener datos de movilidad de las personas en entornos urbanos, así como el análisis de los mismos. La metodología se basa en el uso de las tecnologías móviles para la obtención de los datos, lo cual disminuye el costo de implantación y mantiene una recolección de datos constante, reduciendo la pérdida de datos por periodos prolongados. Para ello, se proponen cuatro etapas: a) Adquisición, la cual consiste en la obtención de los datos referentes a los recorridos de los usuarios a través de dispositivos móviles; b) Integración, encargada de transformar los datos obtenidos en la etapa de adquisición en información geo-referenciada; c) Análisis, en donde se realiza el análisis espacial y estadístico de dicha información, añadiendo capas temáticas de la zona de estudio; y d) Presentación, donde se visualizan los resultados a través de un sistema WebGIS.

Como caso de estudio, se obtienen y analizan trazas representativas de la movilidad de los usuarios dentro de la delegación Gustavo A. Madero, del Distrito Federal de la Ciudad de México, mediante una aplicación móvil desarrollada para este propósito. La aplicación permite la captura de datos que conforman la componente descriptiva de las trazas a sensar, además cuenta con módulo de sensado el cuál es el encargado de obtener y almacenar los puntos por los que pasa el usuario en formato <latitud, longitud>. Respecto al análisis, se añaden capas temáticas de los servicios de transporte y calles de la zona de estudio.

# Abstract

Nowadays there are several studies to measure mobility in different environments, by using written polls or RFID devices. However, these studies use to be costly in terms of equipment, installation, or gathering, causing a limited implementation that does not scale beyond the case of study, or the frequency of application takes several years, causing loss of information between one study and other.

In this document we are proposing a methodology for mobility data acquiring of people in urban environments, and the analysis of them. The methodology is based on the use of mobile technologies for data collection, which reduces the cost of implementing and maintaining a constant data collection, reducing periods of data loss. To do this, four steps are proposed: a) Acquisition, that consists about obtaining data from the routes of users through mobile devices; b) Integration, responsible for transforming the data obtained in the acquisition stage to geo-referenced information, c) Analysis, where the spatial and statistical analysis of this information is performed, adding thematic layers of the study area, and d) Presentation, which presents the results through a Web-GIS system.

As a case study, the representative trace amounts of user mobility collected and analyzed were taken from the Gustavo A. Madero delegation, at Distrito Federal in Mexico City, through a mobile application developed for this purpose. The application allows data capturing forming the descriptive component of the traces to be sensed, it also features the sensing module which is responsible for obtaining and storing the points where the user crosses in <length,latitude> format. Regarding to analysis, thematic transport services and streets layers are added to the study area.



## **gradecimientos**

**Dios, por permitirme llegar a este punto de mi vida, por haberme dado las herramientas y la fortaleza para afrontar los retos.**

A mi hija Aline Ximena, por ser mi motor y llenarme de vida con cada sonrisa, cada mirada, cada palabrita. Te amo, esto es por ti y para ti.

A mis profesores y directores de tesis, Marco y Miguel, gracias por apoyarme y confiar en mí.

A mi madre, por darme las mejores lecciones de vida, y ser de ejemplo y motivación en la misma.

A mi tía Laura, sin tu apoyo no podría haber sacado este proyecto adelante, gracias por quererme y gracias por querer a mi hija.

A Juan Manuel, por escucharme, motivarme, apoyarme pero sobre todo por amarme en todas mis facetas.

Un agradecimiento especial al IPN (mi segundo hogar), al CIC y al CONACyT, por brindarme las herramientas y el apoyo para la realización de este trabajo.

## Índice

---

1. Introducción.....	14
1.1 Antecedentes .....	15
1.2 Planteamiento del problema .....	16
1.3 Objetivos .....	17
1.3.1 Objetivo General.....	17
1.3.2 Objetivos Específicos.....	17
1.4 Alcances y limitaciones.....	17
1.5 Información sustentable .....	17
1.5.1 Impactos del desarrollo urbano en la movilidad .....	18
1.5.2 Telefonía móvil en México .....	19
1.5.3 Movilidad Cotidiana en la Zona Metropolitana .....	20
1.5.4 Crecimiento y densidad de la población en la Zona Metropolitana.....	20
1.5.5 Movilidad residencial (1995-2000) en la Zona Metropolitana .....	21
1.5.6 Movilidad cotidiana (2000 y 2007) en la Zona Metropolitana .....	21
1.6 Organización de la Tesis .....	23
2. Estado del Arte .....	24
3. Marco teórico .....	28
3.1 Sistemas de Información Geográfica.....	28
3.2 GPS.....	30
3.3 Análisis espacial .....	31
3.3.1 Etapas del análisis espacial .....	31
3.3.2 Tipos de análisis espacial.....	32
3.3.3 Patrones espaciales.....	34
3.3.4 Análisis de patrones de puntos.....	35
3.4 Interpolación.....	36
3.5 Estadística espacial.....	37
3.5.1 Probabilidad espacial .....	37
3.6 Movilidad .....	38
3.7 Datos geográficos .....	38
3.7.1 La componente espacial .....	38
3.7.2 La componente atributiva.....	40
3.7.3 La componente temporal.....	41
3.8 Bases de datos espaciales .....	41
4. Metodología.....	42

4.1 Etapa de adquisición.....	43
4.1.1 Tipificación de usuarios .....	44
4.1.2 Sensado .....	45
4.1.3 Almacenamiento .....	46
4.1.4 Envío .....	47
4.2 Etapa de integración .....	49
4.3 Etapa de análisis .....	55
4.3.1 Análisis espacial.....	57
4.3.2 Análisis estadístico .....	61
4.4 Etapa de presentación de resultados .....	61
4.5 Diseño del prototipo .....	61
4.5.1 Arquitectura del sistema.....	62
4.5.2 Arquitectura móvil .....	63
4.5.3 Arquitectura del servidor .....	65
4.5.4 Flujo de la aplicación .....	65
4.5.5 Pantallas de la aplicación .....	67
4.5.6 Herramientas de implementación .....	70
5. Resultados.....	71
5.1 Módulo GIS de escritorio.....	71
5.1.1 Capa Gustavo A. Madero .....	71
5.1.2 Capas Líneas y Estaciones del Metro .....	73
5.1.3 Capa Plazas y Monumentos .....	74
5.1.4 Capa Rutas RTP .....	75
5.1.5 Capa Rutas Setravi .....	76
5.1.6 Capa Líneas del trolebús .....	77
5.1.7 Capa Taxis.....	78
5.1.8 Capa Rejilla 300 y 600 metros.....	79
5.1.9 Capas de datos sensados .....	80
5.2 Densidad de movilidad basada en puntos .....	81
5.3 Densidad de movilidad basada en trazas .....	87
5.4 Caracterización de movilidad por sitios de interés .....	90
5.4.1Caracterización de movilidad en el Sistema Colectivo Metro .....	91
5.4.2 Caracterización de movilidad en el Metrobus .....	92
5.4.3 Caracterización de movilidad en Sitios de Taxis .....	94
5.4.4 Caracterización de movilidad en Plazas y Monumentos .....	95



5.5 Análisis estadístico .....	97
5.5.1 Género .....	97
5.5.2 Tipo de Transporte.....	98
5.5.3 Origen.....	98
5.5.4 Destino .....	99
5.5.5 Edad .....	99
5.5.6 Horario .....	100
5.5.7 Fecha .....	101
6. Conclusiones .....	102
6.1 Conclusiones.....	102
6.2 Limitaciones.....	103
6.3 Trabajo futuro .....	103
Referencias .....	104

## Índice de Figuras

---

Figura 1. 1 Inversión en telecomunicaciones 2010 .....	19
Figura 1. 2 Participación porcentual de suscripción 2010 .....	19
Figura 3. 1 Partes de un SIG .....	28
Figura 4. 1 Esquema del marco de trabajo.....	42
Figura 4. 2 Etapa de Adquisición .....	43
Figura 4. 3 Diseño lógico de la <i>base de datos local</i> .....	46
Figura 4. 4 Etapa de Integración .....	49
Figura 4. 5 Etapa de Análisis.....	55
Figura 4. 6 Análisis.....	56
Figura 4. 7 Análisis de densidad de movilidad basada en puntos.....	58
Figura 4. 8 Análisis de densidad de movilidad basada en trazas .....	59
Figura 4. 9 Frecuencia de movilidad por sitios de interés.....	60
Figura 4. 10 Modelo de la arquitectura del sistema .....	62
Figura 4. 11 Representación del sistema .....	62
Figura 4. 12 Arquitectura móvil.....	64
Figura 4. 13 Arquitectura del servidor .....	65
Figura 4. 14 Diagrama de secuencia de la aplicación móvil .....	66
Figura 4. 15 Pantalla tipificación de usuarios.....	67
Figura 4. 16 Pantalla sensado de datos.....	68
Figura 4. 17 Pantalla de resultados .....	68
Figura 4. 18 Vista 1 mapa .....	69
Figura 4. 19 Vista 2 mapa .....	69
Figura 5. 1 Delegación GAM.....	72
Figura 5. 2 Líneas y Estaciones del metro .....	73
Figura 5. 3 Plazas y monumentos.....	74
Figura 5. 4 Rutas RTP .....	75
Figura 5. 5 Rutas Setravi.....	76
Figura 5. 6 Líneas trolebús .....	77
Figura 5. 7 Sitios de taxis oficiales.....	78
Figura 5. 8 Rejilla 300 metros.....	79
Figura 5. 9 Rejilla 600 metros.....	79
Figura 5. 10 Trazas sensadas .....	80
Figura 5. 11 Puntos sensados .....	81
Figura 5. 12 Salida de la operación corte .....	82
Figura 5. 13 Frecuencia de puntos cada 300 metros .....	82
Figura 5. 14 Frecuencia de puntos cada 600 metros .....	83
Figura 5. 15 Centroides de polígonos 300 metros .....	83
Figura 5. 16 Centroides de polígonos 600 metros .....	84
Figura 5. 17 Interpolación a 300 metros (1).....	84
Figura 5. 18 Interpolación a 600 metros (1).....	85
Figura 5. 19 Longitud de líneas rejilla 300.....	87
Figura 5. 20 Longitud de Líneas rejilla 600.....	87
Figura 5. 21 Centroides longitud de líneas rejilla 300.....	88

Figura 5. 22 Centroides longitud de líneas rejilla 600 .....	88
Figura 5. 23 Densidad de movilidad basada en trazas a 300 metros.....	89
Figura 5. 24 Densidad de movilidad basada en trazas a 600 metros.....	89
Figura 5. 25 <i>Buffer</i> a la capa Estaciones del Metro .....	91
Figura 5. 26 Consulta <i>buffer</i> Estaciones Metro intersecta trazas .....	91
Figura 5. 27 Consulta espacial trazas cruzan <i>buffer</i> Estaciones Metro .....	92
Figura 5. 28 <i>Buffer</i> Estaciones Metrobus .....	92
Figura 5. 29 Consulta <i>buffer</i> Estaciones Metrobus intersecta trazas.....	93
Figura 5. 30 Consulta trazas cruzan <i>buffer</i> Estaciones Metrobus .....	93
Figura 5. 31 <i>Buffer</i> sitios de taxis .....	94
Figura 5. 32 <i>Buffer</i> sitios taxis intersecta trazas.....	94
Figura 5. 33 Trazas cruzan <i>buffer</i> taxis.....	95
Figura 5. 34 <i>Buffer</i> Plazas y Monumentos .....	95
Figura 5. 35 <i>Buffer</i> Plazas y Monumentos intersecta Trazas .....	96
Figura 5. 36 Trazas cruzan <i>Buffer</i> Plazas y Monumentos.....	96
Figura 5. 37 Estadística por género .....	97
Figura 5. 38 Estadística por tipo de transporte .....	98
Figura 5. 39 Estadística por origen .....	98
Figura 5. 40 Estadística por destino .....	99
Figura 5. 41 Estadística por edad .....	99
Figura 5. 42 Estadística por horario .....	100
Figura 5. 43 Estadísticas por fecha .....	101

## Índice de Tablas

---

Tabla 4. 1 Tipificación de usuarios .....	44
Tabla 4. 2 Descripción de tabla Trazas .....	46
Tabla 4. 3 Descripción de tabla Punto.....	47
Tabla 4. 4 Capas de información temáticas .....	57
Tabla 4. 5 Herramientas de implementación.....	70





# 1. Introducción

Hoy en día, el tener la capacidad de monitorear el estado actual de diversos factores como determinadas partículas, objetos específicos, el flujo de las personas, entre otras, ha tomado importancia para mitigar desastres como terremotos, incendios, control y prevención de epidemias, tránsito y/o congestión vehicular, por mencionar algunos [1]

Centrándose en la planeación urbana, en la actualidad hay un desarrollo considerable en infraestructura vial y en las redes de transporte público urbano. Sin embargo, éstos cada vez están más congestionados y cubren con menor calidad las necesidades de los usuarios, lo anterior se debe, en parte, a la mala planeación urbana y la poca información con la que se cuenta para llevarla a cabo.

Con respecto a México, la expansión urbana de los últimos años, ha originado como consecuencia el crecimiento de la demanda de viajes, pero no la mejoría de la infraestructura de transporte, de esta manera, la movilidad en la Ciudad de México se enfrenta a insuficiencias tanto en los medios de transporte como en la red vial disponible.

De acuerdo a un análisis realizado en 2008 [2], el estudio de la movilidad cotidiana de la población en México es poco abordado, esto debido a la poca información y la dificultad de generación de la misma.

Es de interés entonces, utilizar los recursos tecnológicos actuales y al alcance de la mayoría de la población, para ahorrar recursos económicos y temporales en la obtención y procesamiento de datos de valor que puedan sustentar una mejor planeación urbana.

En el presente trabajo, se propone el desarrollo de una metodología basada en la recolección y análisis de datos de movilidad obtenidos vía dispositivos móviles, con lo cual se pretende concluir información de valor para una planeación urbana de calidad en la zona de estudio, por medio de un análisis espacial.



### 1.1 Antecedentes

---

En México se distinguen dos fuentes de información principales sobre movilidad, la generada por instituciones oficiales gubernamentales, y la integrada a fin de responder investigaciones específicas. En estas destacan las encuestas origen-destino (EOD), cuya finalidad es analizar el tránsito intraurbano/intrametropolitano recopilando información relativa al volumen y dirección de los flujos, considerando el modo de transportación, horarios, fines del desplazamiento, entre otros. Sin embargo tienen un alto costo de elaboración y aplicación, ocasionando que no sean aplicadas a todas las ciudades o áreas metropolitanas y no contando con una muestra lo suficientemente importante para análisis futuros.

Existen también las publicaciones del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) respecto a la Encuesta nacional sobre el uso del tiempo, que estudian la importancia del tiempo destinado al transporte en relación con otras actividades.

Como parte del esfuerzo por obtener información actualizada sobre el flujo de las personas que utilizan la infraestructura vial, diversos países como Italia, Estados Unidos y Japón han utilizado diversos tipos de sensores, los cuales pueden ser estáticos o dinámicos.

Dentro de los sensores estáticos se puede mencionar los colocados en semáforos, cámaras de circuito cerrado, sensores instalados en entradas o salidas de transportes, etc.

Por otra parte, el trabajo con los sensores dinámicos incluyen el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), telefonía móvil, sensores de objetos móviles, etc. En los teléfonos inteligentes, se puede encontrar diversos sensores como GPS (localización), Acelerómetro (movimiento), Micrófono (audio), Cámara (imágenes), Brújula (orientación), Bluetooth/WiFi (localización), Proximidad y Luz (iluminación).

Por tanto, obtener datos actuales y variados sobre movilidad, permitiría realizar un mejor análisis y una planeación sustentada en información confiable y actual para planificar la infraestructura vial de los entornos urbanos.



### 1.2 Planteamiento del problema

---

En la Ciudad de México se concentran actividades económicas, de infraestructura, servicios urbanos, grandes zonas de vivienda de tipo social y popular ubicadas en delegaciones periféricas y municipios del Estado de México que no cuentan con los servicios urbanos, de comercio, salud, educativos, además de fuentes de empleo lejanas, ocasionando un incremento en los desplazamientos diarios de los habitantes de las zonas.

Los problemas generados a causa de la mala planeación urbana se pueden englobar en los siguientes:

- Mayor inversión de tiempo en transporte
- Poca, nula o insuficiente integración entre las redes de transporte
- Déficit de administración, control y regulación del tránsito

Algunos de los obstáculos para una la elaboración de una planeación urbana suficiente son:

- Escasas y costosas fuentes de información
- Información poco actualizada

La movilidad de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) tiene una estructura modal distorsionada, su mayor potencial de traslado está en transportes de baja capacidad (colectivos, taxis y particulares), además de la poca integración con la infraestructura de transporte de alta capacidad (Metro, RTP, Metrobus, STE).

De acuerdo con lo anterior, el aprovechamiento de los recursos que brindan las nuevas tecnologías permite acercarse cada vez más al objetivo de contar con información actualizada constantemente. Las nuevas tecnologías permiten un cambio importante en la recolección de información, pues ahora, una persona con acceso a una aplicación desde un dispositivo móvil puede estar enviando datos que sirvan a una aplicación más robusta con un fin en específico. Esta participación puede ser mediante cómputo ubicuo o convencional.

Derivado de lo anterior, el presente trabajo pretende ser de aportación en la obtención de información actualizada y poco costosa que sea de base para el análisis de la movilidad en entornos urbanos, mediante la utilización de las nuevas tecnologías de comunicación y dispositivos móviles, todo esto integrado con información base sobre redes de transporte y sitios de interés en la zona de estudio.





### 1.3 Objetivos

---

#### 1.3.1 Objetivo General

---

Desarrollar una metodología para obtener, procesar y analizar datos sobre el flujo de las personas en entornos urbanos previamente limitados, con la finalidad de generar información actualizada, útil y sustentada que permita realizar una mejor planeación urbana en dicho entorno, mediante la aplicación de técnicas de análisis espacial en un sistema de información geográfica.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

---

- Diseñar y desarrollar una aplicación en la plataforma Android que permita capturar la trayectoria recorrida por la persona que porta el dispositivo móvil y representarla en un mapa.
- Diseñar una *base de datos espacial* que permita almacenar las rutas capturadas por los dispositivos móviles.
- Aplicar técnicas de análisis espacial que permitan obtener conclusiones sustentadas sobre la movilidad de las personas en determinada zona geográfica.
- Crear una interfaz gráfica que despliegue en un mapa las rutas recolectadas y almacenadas en la *base de datos espacial*.
- 

### 1.4 Alcances y limitaciones

---

El presente trabajo presente se limitará a la movilidad cotidiana en la delegación Gustavo A. Madero del Distrito Federal de la Ciudad de México. Las rutas se obtendrán mediante una aplicación para la plataforma Android 2.3.3 y superiores, instalada en dispositivos móviles personales que soporten dicha plataforma.

### 1.5 Información sustentable

---

En el presente apartado, se presenta información sobre telefonía móvil en México y el uso de los teléfonos inteligentes. De igual manera, se muestran los resultados de estudios sobre movilidad en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, algunos datos relevantes sobre movimientos en municipios y delegaciones.



Lo anterior con la finalidad de brindar un panorama general del estado de la movilidad en la zona de estudio, al mismo tiempo que se refleje la factibilidad del uso de los dispositivos móviles para el caso de estudio.

### 1.5.1 Impactos del desarrollo urbano en la movilidad

Las distintas maneras a través de las cuales el desarrollo urbano ocurrió originalmente en los países en desarrollo han traído consecuencias de gran impacto en las condiciones de movilidad de las personas.

La más significativa es la ubicación de las personas en relación con sus necesidades de trabajo, educación y tiempo destinado al ocio. En la mayor parte de las grandes ciudades, la población de bajos ingresos ocupa regiones periféricas, donde el valor de la tierra o la posibilidad de adquisición de áreas libres y sin costo ha permitido la construcción de un hogar. En dichas áreas, la oferta de servicios públicos como escuelas, centros de salud y transporte colectivo es precaria y a ello se suma una limitada oferta de oportunidades de trabajo, tanto en cantidad como en variedad.

Este escenario implica una reducción en la accesibilidad a los equipos y servicios que necesitan las personas, lo cual afecta a los residentes de altos ingresos como a quienes perciben escasos recursos, pues todos ellos podrían llegar a los destinos si hubiese a su disposición una amplia oferta de servicios públicos. Otra implicación es que las personas se vean obligadas a recorrer grandes distancias a diario sólo para llegar a su lugar de trabajo y por otra parte, largos trayectos provocan un considerable aumento en el costo del sistema de transporte público, situación que deriva en el cobro de tarifas más altas. Como consecuencia, para quienes dependen del transporte público estas condiciones pueden representar un costo muy elevado en tiempo y comodidad. Dicho problema se agrava debido a la precariedad del sistema vial en las áreas periféricas y a la baja calidad en el transporte público.

Otra consecuencia importante está relacionada con la falta de control en el uso y la ocupación del suelo en áreas más estructuradas de las ciudades, donde viven las personas de ingresos más altos con acceso a un automóvil. La falta de compatibilidad entre la densidad ocupacional del suelo y la creciente cantidad de viajes de los usuarios ha llevado a la constitución de áreas con gran cantidad de vehículos que, a su vez, causan elevados índices de congestión.

## 1.5.2 Telefonía móvil en México

Según estadísticas de COFETEL [3] , a Junio de 2010 existían en México alrededor de 89.8 millones de teléfonos celulares. Entre éstos aproximadamente el 10% se pueden clasificar como teléfonos inteligentes (Smartphones). Esto significa que actualmente hay más de 9 millones, los cuales interconectados se convierten en una fuente de información importante.

En la Figura 1.1, se observa la inversión en telecomunicaciones del año 2010 y se aprecia como la telefonía móvil tiene el 52.1% sobre las demás.

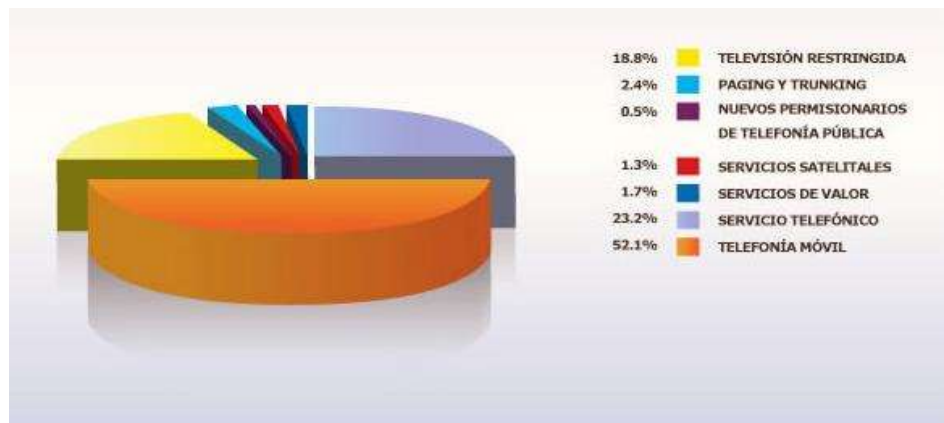


Figura 1. 1 Inversión en telecomunicaciones 2010

En la Figura 1.2, se tiene la participación porcentual de suscripciones en las principales ciudades en el año 2010, se puede apreciar que la participación de la Ciudad de México destaca con un 22.59% sobre el resto.

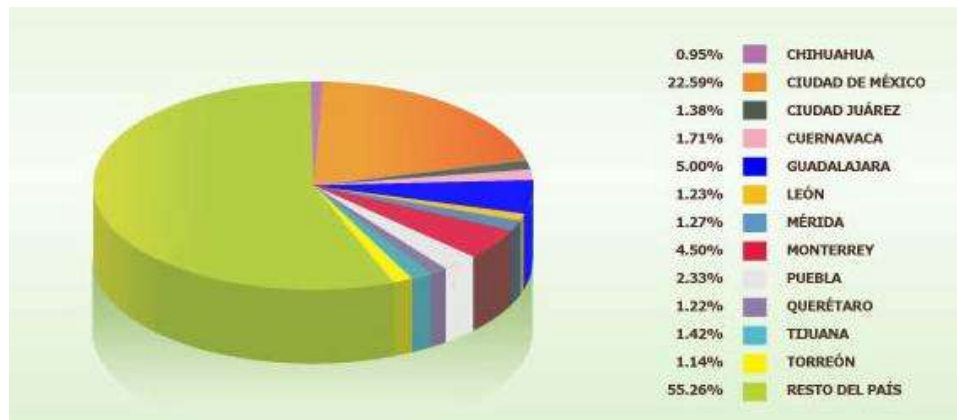


Figura 1. 2 Participación porcentual de suscripción 2010



### 1.5.3 Movilidad Cotidiana en la Zona Metropolitana

En el año 2000, la movilidad cotidiana laboral ascendió a 6.8 millones de desplazamientos, de los que más de la mitad (3.8 millones) correspondieron a movimientos de la población que vive y trabaja en una misma jurisdicción. Por ejemplo, en Iztapalapa y Ecatepec los movimientos de la población al interior de la misma jurisdicción ascendieron a más de 300,000 personas, y en Nezahualcóyotl, Naucalpan y Gustavo A. Madero oscilaron entre 215,000 y 250,000.

En cuanto a los 3.0 millones de personas que sí se desplazaron a otra jurisdicción distinta a la de su residencia, los valores más elevados se registraron en las delegaciones Cuauhtémoc, con cerca de 450,000 desplazamientos; Miguel Hidalgo, 240,000; Benito Juárez, 192,000; Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Tlalnepantla y Coyoacán, con un poco más de 160,000; y Álvaro Obregón, Naucalpan, Venustiano Carranza, Azcapotzalco y Tlalpan con más de 100,000.

### 1.5.4 Crecimiento y densidad de la población en la Zona Metropolitana

- La población de la Zona Metropolitana se multiplicó casi por cuatro entre los años 1960 y 2005.
- La distribución de la población en el DF y en los municipios conurbados cambió por completo: en 1960 el 94% de la población se concentraba en el DF y los municipios conurbados contaban sólo con el 6%; a partir del año 2000 los municipios conurbados concentran más del 50% de la población de la Zona Metropolitana y el DF continúa reduciendo su importancia dentro de esta zona
- Para 2005 el decremento de población en las delegaciones centrales redujo su densidad poblacional, de manera que en Venustiano Carranza y Cuauhtémoc es la mitad de lo que fue en 1970. En Iztacalco hay una baja en la densidad poblacional, pero todavía es significativa y en 2005 es la delegación con mayor densidad de población (17,086 habitantes por Km<sup>2</sup>). Le siguen Nezahualcóyotl, Cuauhtémoc, Iztapalapa, Gustavo A Madero, Benito Juárez, Venustiano Carranza, Azcapotzalco, Coyoacán y Ecatepec, con densidades que oscilan entre 10,700 y 16,500 personas por Km<sup>2</sup>.



### 1.5.5 Movilidad residencial (1995-2000) en la Zona Metropolitana

---

- Para el año 2000 la población de la ZMVM tuvo 1.5 millones de movimientos residenciales.
- La movilidad residencial representó el 9% de la población total residente en la Zona Metropolitana, aunque hay algunas jurisdicciones como Ixtapaluca, donde la población que se ha cambiado a este municipio representa el 32% del total de sus residentes, o en Chimalhuacán y Tultitlán donde representan un 20%.
- El saldo neto de estos movimientos indica que Venustiano Carranza, Azcapotzalco, Iztacalco, Miguel Hidalgo, Nezahualcóyotl se han transformado en jurisdicciones expulsoras de población al ser negativo el saldo de salidas y llegadas de población. En el otro extremo están las jurisdicciones que reciben más población que la que sale de ellas. Ahí encontramos a Ixtapaluca, Chimalhuacán, Tultitlán, Tláhuac y Atizapán de Zaragoza, entre las principales.

### 1.5.6 Movilidad cotidiana (2000 y 2007) en la Zona Metropolitana

---

- En el año 2000, la movilidad cotidiana laboral ascendió a 6.8 millones de desplazamientos, de los cuales, más de la mitad (3.8 millones) correspondieron a movimientos de la población que vive y trabaja en una misma jurisdicción (En Iztapalapa y Ecatepec los movimientos de la población al interior de la misma jurisdicción ascendieron a más de 300,000 personas, y en Nezahualcóyotl, Naucalpan y Gustavo A. Madero oscilaron entre 215,000 y 250,000).
- En cuanto a los 3.0 millones de personas que sí se desplazaron a otra jurisdicción distinta a la de su residencia, los valores más elevados se registraron en las delegaciones Cuauhtémoc, con cerca de 450,000 desplazamientos; Miguel Hidalgo, 240,000; Benito Juárez, 192,000; Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Tlalnepantla y Coyoacán, con un poco más de 160,000; y Álvaro Obregón, Naucalpan, Venustiano Carranza, Azcapotzalco y Tlalpan con más de 100,000.
- Si se compara el índice de presencia de la movilidad laboral con el saldo neto migratorio de la movilidad residencial, se observa que las jurisdicciones de expulsión de población presentan los valores más acentuados de llegada de trabajadores y ocurre lo contrario en las zonas de atracción.



- Por otro lado, la Encuesta Origen Destino 2007 (EOD-2007) muestra que la población de la Zona Metropolitana realizó en promedio 21.9 millones de viajes diarios en ese año. Estas cifras toman en cuenta el total de movimientos, incluyendo los viajes dentro de cada municipio o delegación, que no implican cambio de jurisdicción. Al descontar los viajes internos, la movilidad de personas dentro de la ZMVM entre pares de delegaciones/municipios, se reduce a 7.2 millones de viajes diarios, equivalentes a una tercera parte de la movilidad cotidiana total.
- El balance entre las salidas y las llegadas, muestra a la delegación Cuauhtémoc como la de mayor saldo positivo, seguida de Miguel Hidalgo, Benito Juárez y Coyoacán. Con un saldo negativo elevado están las jurisdicciones de Ecatepec, Iztapalapa, Nezahualcóyotl, Atizapán de Zaragoza, Tultitlán, Ixtapaluca y Chimalhuacán, consideradas como municipios dormitorio o bien con fuerte actividad económica, pero carente de otros servicios.
- En lo que concierne a los viajes por motivo de trabajo, la EOD-2007 reporta que el 54% del total de movimientos diarios en la Zona Metropolitana, que implican el cruce de una jurisdicción, son de carácter laboral. Comparando la cantidad de desplazamientos ocurridos en el 2000 con el 2007, se aprecia un incremento de casi un millón de movimientos en el último año.
- Los saldos netos positivos más importantes de la movilidad cotidiana laboral se tienen en Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Benito Juárez. Además, en Cuauhtémoc, la relación del saldo neto con la población residente es de 114%; en Miguel Hidalgo de 86% y en Benito Juárez de 62%. Comparando esta información con la que resultó para el año 2000 se tiene que hay un número mayor de jurisdicciones con saldos positivos o en otras palabras hay un número mayor de llegadas que de salidas, situación que pudiera deberse a una combinación de mayores oportunidades laborales que retienen a la población de la jurisdicción, pero al mismo tiempo atraen a habitantes de otras jurisdicciones que no encuentran empleo en donde viven.
- Los saldos netos negativos más relevante se observan en Chimalhuacán (-18.5%), Ixtapaluca, Atizapán de Zaragoza y Nezahualcóyotl (-15% en promedio). En general, en el 2007 se aprecia un panorama similar al observado en los movimientos cotidianos laborales en el año 2000



### 1.6 Organización de la Tesis

---

Con base en los objetivos descritos, la presente tesis está compuesta por la siguiente estructura:

- En el capítulo 1 se describe la problemática que se aborda en este trabajo, dentro del contexto de la planeación urbana, así como los objetivos y los antecedentes a este trabajo.
- En el capítulo 2 se presenta el estado del arte sobre patrones de movilidad, sensado de la movilidad, así como lo relativo a diferentes trabajos que persiguen objetivos en común, realizados en diversas partes del mundo.
- En el capítulo 3 se presentan los fundamentos teóricos (conceptos y definiciones) que fueron empleados durante el desarrollo de la metodología, enfocada en el análisis de la movilidad en entornos urbanos.
- En el capítulo 4 se describe de manera detallada la metodología desarrollada para el Análisis de la movilidad en entornos urbanos.
- En el capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos aplicando la metodología propuesta sobre un caso de estudio.
- Finalmente en el capítulo 6 se presentan las conclusiones derivadas de los resultados obtenidos, así como trabajos futuros





## 2. Estado del Arte

A nivel internacional se han realizado trabajos para poder medir o identificar patrones en la movilidad de las personas, algunos enfocados de manera individual y otros a medios de transporte en específico.

Se ha trabajado utilizando dispositivos como RFID integrados con GIS, como en el caso del trabajo [4], en el que monitorean autobuses en 16 diferentes estaciones equipadas y 26 autobuses del campo UKM, como principales desventajas están el costo de los dispositivos RFID, el costo de los equipos TAG's para los autobuses, sin mencionar los costos de instalación y mantenimiento en puntos fijos pre determinados.

Con respecto a los sistemas GPS, el trabajo [5] presenta una aproximación en tiempo real del monitoreo del tráfico urbano a través de vehículos equipados con estos sistemas, para dicho estudio se equipó un determinado número de taxis, teniendo como principal inconveniente la necesidad de los vehículos de contar con este equipamiento.

Un estudio más basado en este sistema es el descrito en [6], donde se obtiene información sobre el recorrido de autobuses en determinadas rutas, con la finalidad de determinar puntos de congestión en las paradas de los mismos, puntos más transitados a determinadas horas y tiempos entre las paradas de cada autobús, sin embargo, requiere del establecimiento de variables conocidas (ubicación de las paradas, número de paradas, rutas determinadas) limitándose entonces al transporte terrestre por autobús.

Considerando dispositivos más pequeños y de mayor alcance a la gente, se tienen los trabajos desarrollados con dispositivos móviles personales, tal es el caso de [7], donde se colocaron antenas alrededor de un pueblo cubriendo un radio de 5 millas, sin embargo, la gran desventaja del trabajo es que su funcionalidad solo se activa cuando el celular está en alguna llamada o SMS.

Un trabajo similar es el descrito en [8], en el cual se utilizan los teléfonos móviles para estimar el flujo de la gente en términos de orígenes y destinos individuales, enfocándose en la extracción de los datos para la estimación de matrices Origen-Destino, sin embargo solo obtiene datos en únicamente tres momentos: cuando realiza o recibe una llamada, cuando se envía o recibe un mensaje de texto y cuándo se conecta a una red de Internet.





En [9] se utilizan sensores de los dispositivos móviles como GPS y Wi-Fi para responder a consultas 2D y 3D respecto a sitios de interés, aspectos a destacar es el trabajo con localización, orientación y dirección, sin embargo este se centra únicamente en responder consultas de usuario respecto a sitios de interés.

Un proyecto más estructurado es “MobEyes” [10], el cual consiste en el monitoreo urbano proactivo, el cual se enfoca en explotar la movilidad de los vehículos de manera oportunista y difusa, para ello cuenta con “colectores” que filtran la información de los vehículos cercanos para enviar datos relevantes dependiendo del propósito y las instancias que lo requieran. Sin embargo, para que un vehículo sea colector, debe de formar parte de una VSN (Vehicular Sensor Networks) trabajando solo en el filtrado de la información.

Con respecto a estudios de investigación básica, se encontró el llamado PFlow [11] que se basa en la colección de datos en Tokyo y Hanoi y que muestra cómo reconstruir el flujo de la gente de ubicaciones fragmentadas en tiempo y espacio, mostrando que el uso oportunista de los datos de individuos puede derivar en patrones de movilidad mediante la recuperación de datos perdidos en el sensado de los flujos de las personas y la aproximación de los datos perdidos a la infraestructura de datos base.

En lo que concierne a los métodos y modelos del procesamiento, estimación y predicción de los datos del tráfico, se tiene el estudio [12], que además demuestra y promueve herramientas inteligentes para lograr sistemas de control de tráfico fiables y robustos.

Continuando con el tránsito, se tiene el trabajo [13], donde destacan que muchos de los problemas de transporte urbano que afectan el desarrollo de países son hoy en día una combinación de deficiencias históricas y las tendencias mundiales recientes. Mientras que las deficiencias históricas son principalmente una consecuencia de la falta de recursos humanos y financieros, los problemas recientes son esencialmente una extensión de la fuerte dependencia del automóvil como el principal medio de transporte alternativo para proporcionar movilidad a los ciudadanos. En dicho estudio, también se menciona que el principal problema que enfrentaron los planificadores de transporte era el suministro de infraestructura contra la demanda de transporte, tanto para mercancías como para pasajeros. Además, el enfoque de planificación en ese momento se caracterizaba por: un énfasis en el transporte por carretera, una prioridad para el transporte privado y no para el público, esfuerzos limitados para promover los modos no motorizados y una separación frecuente entre el urbanismo y el transporte. Sin embargo, en las últimas décadas se consideró que el



nuevo concepto se centra en la mejora de las condiciones de movilidad y accesibilidad con el objetivo en una mejor calidad de vida para los habitantes de las ciudades, y por lo tanto en la búsqueda de lo que actualmente se llama movilidad urbana sostenible.

Por otra parte, en México, diversos trabajos han abordado el tema de la movilidad cotidiana, como el que muestra un análisis de la movilidad cotidiana en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México [14], planteando un análisis con base en diversas fuentes como las Encuestas Origen-Destino y resultados obtenidos por INEGI, aunque no especifica cómo se obtienen los valores de movilidad utilizados.

Continuando con México, se distinguen dos métodos principales de extracción de información relacionados con la movilidad: las Encuestas Origen-Destino cuya principal desventaja es ser costosa en tiempo y personal, provocando una diferencia temporal considerable entre una y otra; los censos organizacionales, cuyos resultados son para los particulares que los elaboraron; los Circuitos Cerrados de Televisión (CCTV) que tienen un costo inicial de adquisición del equipo y costo constante de mantenimiento del mismo; los censos en pasajeros, los cuales tienen huecos de información pues no toda la gente utiliza transporte público y el equipamiento del transporte provocaría un aumento en los costos del servicio ocasionando, probablemente, inconformidad en la población afectada.

Un estudio realizado en México que involucra la movilidad es [15], en el cual la movilidad es considerada un parámetro o variable cuantitativa que mide la cantidad de desplazamientos que las personas o mercancías efectúan en un determinado sistema o ámbito socioeconómico. En el mismo destaca que el análisis de la movilidad cotidiana ha sido abordado principalmente desde el transporte urbano y la vialidad. En ese proyecto se consideraron además otras características que permitieron contar con un análisis más viable; como es la ubicación de los lugares de arribo y descenso de los pasajeros para generar vectores de movilidad que se puedan correlacionar con la red de transporte, y el cálculo de las densidades de población estática (dónde viven las personas) y dinámica (hacia dónde se transportan las personas), considerando para ello alguna información que está descrita en los metadatos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), elaborado por el INEGI. De acuerdo con lo anterior, entonces la movilidad cotidiana se refiere directamente a los desplazamientos de alta frecuencia y dentro del espacio de frecuentación cotidiana; la movilidad residencial se refiere a los desplazamientos de baja frecuencia y dentro del espacio de frecuentación cotidiana; los viajes hacen referencia a los desplazamientos de frecuencia alta y larga distancia; y la migración a los desplazamientos de baja frecuencia y larga distancia.



Se han llevado a cabo otro tipo de estudios, como el descrito en [16] donde se estudia la relación entre los diferentes patrones de expansión urbana y el costo ambiental y social, se establece que el consumo del suelo depende directamente de la relación de los asentamientos humanos y la densidad residencial, mientras que el consumo de energía depende indirectamente de las mismas variables a través de su vinculación con los patrones de movilidad: distancia y medios de transporte públicos y privados.

Otro enfoque de la movilidad se refiere a los estudios de las ubicaciones de las personas, conocido como *check-in*, para tales menciona el trabajo [17], la importancia de la ubicación a través de los dispositivos móviles trae datos de interés para empresas, comercios y para la gente que está en una red social. La ubicación permite entonces, encontrar datos como: qué tipo de lugares se frecuenta, a qué hora, cuales son los sitios más visitados, entre otros. Además destaca la importancia de crear las aplicaciones móviles con enfoque de juegos, en dónde entre más información se proporcione a la aplicación, se obtengan mayores beneficios o premios, esto provoca que las personas estén más interesadas en utilizarlas y en compartirlas en sus redes sociales.

Respecto a los modelos de movilidad, se han realizado estudios con modelos creados a base de algoritmos, como el realizado [18], su algoritmo define el movimiento basado en el Modelo de entorno de Voronoi, los requisitos que se tienen que cumplir son: distribución de nodos de manera uniforme; movimiento, iniciando con una velocidad y un ángulo dado, que continúan por un tiempo dado  $t$ , si ocurre una colisión, el movimiento continuará con un ángulo de reflexión; transición. De esta forma se genera el modelo de movilidad aleatorio.

Un trabajo más de simulaciones es abordado en [19], SUMO es una simulación de tráfico donde cada vehículo está dado explícitamente, definido por un identificador, la hora de salir, y la ruta del vehículo a través de la red. Si se desea, cada vehículo puede ser descrito más detalladamente. Las propiedades de salida y llegada, tales como carril a utilizar, velocidad o posición pueden ser definidos, cada vehículo puede asignarse a uno de los contaminantes o de emisión de ruido disponibles, con esto utilizan matrices de origen-destino, las rutas se calculan por lo general mediante el rendimiento del tráfico asignado empleando un procedimiento de enrutamiento tales como trayectoria más corta.

### 3. Marco teórico

Este capítulo habla de los requerimientos teóricos necesarios que se utilizaron en el desarrollo del presente trabajo.

#### 3.1 Sistemas de Información Geográfica

El tipo de aplicación a desarrollar cae en la clasificación de un Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual tiene una característica particular, los datos que se utilizan tienen dos componentes: una espacial (localización) y una descriptiva (información atributiva).

Para definir un SIG, Tomlinson se apoya de un modelo holístico de un sistema de información geográfica, el cual convierte datos en información útil mediante un análisis. Ver Figura 3.1

En el centro puede verse que el SIG almacena datos espaciales, llenos de la información de sus atributos vinculada lógicamente, en una base de datos de almacenamiento del SIG, donde las funciones analíticas están controladas de manera interactiva por un operario con el fin de generar los productos informativos necesarios [20].

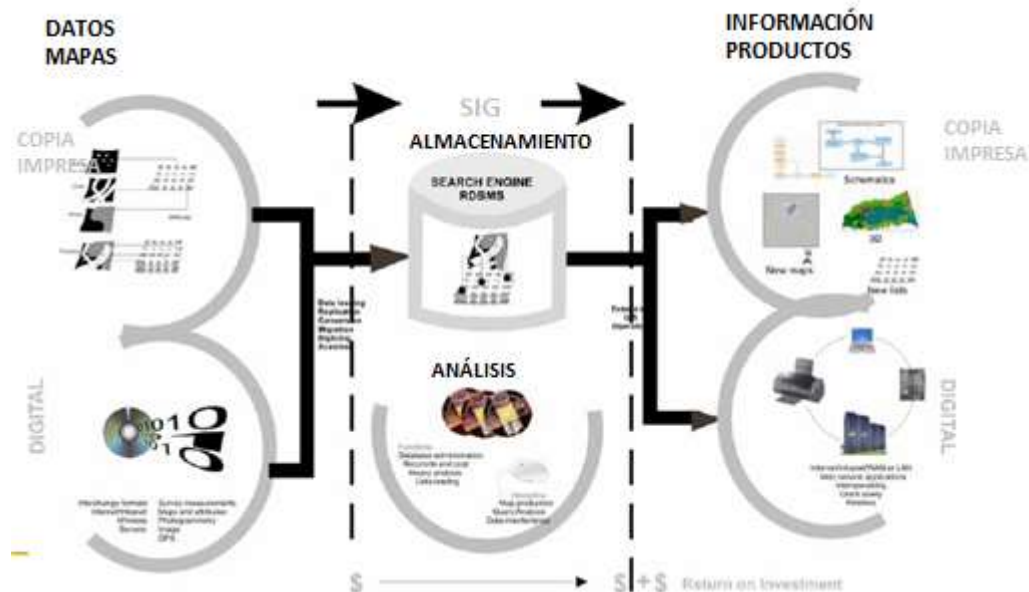


Figura 3. 1 Partes de un SIG



### Rasgos característicos de SIG

Información geográfica en general:

- ❖ Referente a mapas
  - Analógico
    - Mapas en papel
    - Todo lo impreso respecto a la Cartografía
  - Digital
    - Mapas en formato digital
    - Bases de datos
    - Textos digitales
    - Imágenes digitales
    - Todo lo que sea digital con respecto a la cartografía
- ❖ Descripción de objetos
  - Discretos
    - Límites bien definidos
      - Ríos
      - Edificios
      - Carreteras
      - Etc.
  - Continuos
    - No tienen límites definidos
      - Temperatura
      - Presión atmosférica
      - Elevaciones
      - Etc.
  - Todos los objetos que se encuentran en el espacio
- ❖ Relación con el espacio
  - La relación que existe en cada parte del espacio
  - Espaciales
    - Propiedades
      - Coordenadas
      - Distancias
      - Áreas
      - Etc.
  - No-espacial
    - Atributos
    - Temas



- Etc.
- ❖ Datos geométricos
  - Datos exactos
  - Dimensiones
  - Distancias
  - Etc.

Los SIG integran la información a través de capas o coberturas de datos, las cuales pueden ser sobrepuestas, según las necesidades y análisis a cubrir [21].

En la actualidad los SIG son una herramienta muy utilizada en muchos ámbitos, pues permiten elaborar cartografía temática sobre cualquier aspecto de la superficie terrestre. Son muy útiles para el conocimiento de mapas, para buscar direcciones con sistemas móviles, entre otros. Para trabajar con un SIS se debe disponer de:

- Hardware
- Software
- Datos geográficos
- Usuarios

### 3.2 GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de satélites usado en navegación que permite determinar la posición las 24 horas del día, en cualquier lugar del globo y en cualquier condición climatológica. Este sistema consiste en un conjunto de 24 satélites que circundan la Tierra y envían señales de radio a su superficie.

Un receptor GPS es un aparato electrónico pequeño, que permite recibir las señales de los satélites. Este receptor utiliza las señales de radio para calcular su posición, que es facilitada como un grupo de números y letras que corresponden a un punto sobre un mapa.

El cálculo de la propia posición, usando señales GPS, se realiza por triangulación, lo que significa que sabiendo la distancia a tres puntos fijados, podemos obtener la propia posición.

El receptor mide la distancia desde el satélite 1, lo que representa que el navegante está en algún lugar del círculo que rodea el satélite 1. A continuación, el satélite mide la distancia al satélite 2. El receptor está en algún lugar de los dos círculos que rodean a los satélites 1 y 2.



Sólo hay dos posiciones en las que el receptor puede estar y son donde los dos círculos intersectan. A continuación, el receptor mide la distancia del satélite 3 y, del mismo modo que antes, sabe que su posición está donde los tres círculos intersecta, y esto ocurre en un solo punto [22] .

### 3.3 Análisis espacial

Los datos espaciales contienen información sobre la localización, así como atributos diversos, hay datos que para los que algunos atributos son almacenados en diferentes localizaciones y esas localizaciones son codificadas como parte del dato.

El análisis espacial es en general un término que describe una técnica que utiliza la información de localización para entender mejor los procesos que generan los valores de los atributos observados.

Ejemplos comunes de análisis espacial incluyen: censos de datos, tránsito, localización de servicios, distribuciones de fenómenos o eventos, etc. Algunos datos son recolectados manualmente, mientras que otros pueden ser recolectados por diferentes tipos de sensores, la localización por ejemplo, es cada vez más recolectada por diferentes tecnologías como: GPS, WiMAX, LiDAR y RFID.

A menudo el objetivo de un sistema de información geográfica es el análisis espacial, dentro del cual se pueden listar los siguientes puntos.

#### 3.3.1 Etapas del análisis espacial

Como tal, el proceso de análisis espacial sigue una serie de etapas bien definidas: formulación del problema, planificación, recopilación de datos, análisis exploratorio, formulación de hipótesis, modelos y pruebas, la consulta y la revisión y presentación de informes en última instancia y/o aplicación de los resultados [23] .

Después de haber identificado y formulado el problema a resolver, la primera tarea por lo general es la obtención de datos que han de ser objeto de análisis.

La segunda etapa, una vez que los datos se han obtenido y aceptado como aptos para el propósito, es a menudo exploratoria. Esto puede implicar: simple mapeo de los datos, puntos, líneas, regiones, redes, superficies, cálculo de tasas, índices, densidades, pendientes, tendencias direccionales, etc., o de exploración más compleja y dinámica de los datos.





La tercera etapa dependerá del objetivo del análisis. En muchos casos, la presentación de los resultados de análisis exploratorio en forma de comentarios, mapas, estadísticas descriptivas y documentos asociados, completa el proceso.

En otros, implicará el desarrollo y pruebas de hipótesis sobre los patrones observados, y/o el modelado de los datos con el fin de realizar un poco de ejercicio predictivo u optimización. Con frecuencia, el resultado de este proceso es una serie de resultados (posibles escenarios) que a su vez deben ser resumidos y presentados para el análisis final y la toma de decisiones por parte de grupos de interés. El proceso puede entonces iterar hasta que se consiga un flujo estable y robusto.

### 3.3.2 Tipos de análisis espacial

Las siguientes son algunas de las familias principales en las que englobar los procedimientos de análisis: [20]

#### **Representación gráfica superpuesta**

Capacidad de superponer un mapa sobre otro y visualizar el resultado en la pantalla o como una representación gráfica para ver la intersección de los conjuntos de datos. Cuando se usa una representación gráfica superpuesta, los conjuntos de datos no se integran en la base de datos y no se crean nuevos conjuntos de datos. Esta función sólo produce una impresión visual de las interrelaciones entre dos (o más) conjuntos de datos.

La superposición de gráficos suele usarse para combinar capas temáticas de datos a fin de ofrecer un contexto que ayude a la interpretación. Un conjunto de datos de uso del suelo podría superponerse en la superficie de un paisaje para proporcionar una visualización tridimensional de los cambios ocurridos en el uso del suelo en un área de estudio

#### **Superposición topológica**

La superposición topológica de un mapa sobre otro producirá nuevos datos como resultado de la combinación de dos capas de datos de entrada. Los atributos de las dos capas de entrada se combinarán en un nuevo conjunto de atributos para producir una capa de salida complementaria.

Se suelen usar tres tipos e superposición topológica:

##### **a) Punto en polígono**

La superposición de punto en polígono permite superponer un conjunto de puntos en un conjunto de polígonos, para determinar qué polígono (si hay





alguno) contiene cada punto, y añadir los resultados a la base de datos como atributos de los puntos. Si un punto queda dentro de un polígono, los atributos de ese polígono se añaden al punto.

### **b) Línea en polígono**

La superposición de línea en polígono permite superponer un conjunto de líneas en un conjunto de polígonos. Las líneas se cortan en intersecciones con los límites del polígono, y los atributos del polígono que cruza cada segmento de la línea se añaden a los atributos de ese segmento.

### **c) Polígono en polígono**

La superposición de polígono en polígono le permite superponer dos conjuntos de datos de polígonos. El resultado es una versión topológicamente integrada de los dos conjuntos de datos de entrada que pueden usarse para crear un nuevo mapa de salida o para algún análisis adicional. Los polígonos del mapa de salida tendrán los atributos de los dos mapas de entrada.

### **Análisis de adyacencia**

Capacidad de identificar áreas que están próximas (o adyacentes) entre sí, en particular aquellas que comparten un límite en común.

### **Análisis de conectividad**

Capacidad de identificar áreas o puntos que están (o no están) conectados a otras áreas o puntos mediante el trazado de rutas a lo largo de los elementos lineales.

### **Búsqueda de vecinos más cercanos**

Capacidad de identificar puntos o conjuntos de puntos, líneas o áreas que están más cercanas a otros puntos, líneas o áreas especificadas por lugar o atributos.

### **Análisis de correlación**

Capacidad de comparar mapas que muestran una misma área, pero que representan condiciones existentes en diferentes períodos. La correlación puede ser una herramienta de administración muy útil. La cuantificación y explicación de las diferencias que hay entre dos mapas requiere la determinación y comparación de las diferencias entre ellos. La correlación es un método que sirve para hacer esto, y puede implicar el uso de técnicas de superposición y funciones estadísticas.



### **Consulta espacial**

Consultas directas de la información que contienen los datos espaciales, proporciona información inmediata a partir de una simple observación de los datos. La propiedad fundamental que se emplea es la posición de cada elemento geográfico.

### **Análisis topológico**

Consultas hechas a las capas de datos espaciales que pueden tener relación no solo con su posición sino con la relación con otros elementos de la misma capa.

### **Medición**

La existencia de una referencia espacial para cada uno de los elementos con los que se trabaja en el análisis dentro de un SIG hace posible la cuantificación de otra serie de parámetros también espaciales. Algunos parámetros son: distancia, área, perímetro, longitud de un recorrido no lineal, factores de forma, entre otros.

### **Análisis de superficies**

Conjunto de operaciones aplicadas a la superficie terrestre para obtener parámetros como pendientes, orientación, etc.

### **Estadística descriptiva**

Permiten calificar cuantitativamente los datos con los que se trabaja, se incluyen descriptores de centralidad y dispersión, de dependencia espacial o el estudio de patrones espaciales, entre otros.

### **Inferencia**

Es un tipo de análisis estadístico de gran importancia en los SIG que permite inferir comportamientos de las distintas variables y estudiar, por ejemplo, la forma en que estas van a evolucionar a lo largo del tiempo.

### **3.3.3 Patrones espaciales**

Un tema recurrente en el análisis espacial es la noción de patrón. Con frecuencia, el objetivo del análisis se describe como la identificación y descripción de los patrones espaciales, lo que lleva a los intentos de comprender y moldear los procesos que han dado lugar a los patrones observados. Por desgracia, la palabra “patrón” tiene una amplia gama de significados e interpretaciones.

Una manera de definir si un conjunto de observaciones constituyen un patrón espacial



es determinarlo en sentido inverso, es decir, concluir si es un no patrón, lo que se traduce en un conjunto de objetos o un arreglo que no proporciona ninguna información para el observador.

La identificación de patrones está estrechamente ligada con una serie de supuestos o pre-condiciones:

1. La definición de lo que no constituye un modelo para los efectos de la investigación
2. La definición del conjunto de datos en estudio (eventos/observaciones) y la extensión espacial (y temporal) o escala de las observaciones
3. La forma en que se hicieron, modelaron y registraron las observaciones

Los patrones observados pueden sugerir una relación causal con uno o más procesos principales, pero no proporcionan un medio seguro de inferencia sobre el proceso.

Por otro lado, los procesos estocásticos ayudan a generar patrones espaciales particulares, estos patrones son realizaciones concretas de los modelos utilizados aunque no hay ninguna garantía de que el mismo patrón no podría haber sido generado por un proceso completamente diferente.

### 3.3.4 Análisis de patrones de puntos

Las coordenadas de un conjunto de puntos no solo representan una información individual de cada uno de ellos, sino de igual modo para todo el conjunto a través de las relaciones entre ellas. La disposición de una serie de puntos en el espacio conforma lo que se conoce como un *patrón de puntos*, el cual puede aportar información muy valiosa acerca de las variables y procesos recogidos en dichos puntos [20].

La caracterización de un patrón de puntos es, por tanto, de interés para la descripción de estos, y se realiza a través de análisis estadísticos y descriptores que definen la estructura del mismo.

Para llevar a cabo este análisis se asume que la estructura espacial de un patrón dado es el resultado de un proceso puntual. Se entienden por proceso puntual un proceso estocástico que genera tales patrones, compartiendo todos ellos una similar estructura. Los puntos son eventos de dicho proceso. Describiendo el tipo de patrón se obtiene información sobre el proceso puntual que lo ha originado.



Existen tres tipos de patrones que un proceso de puntos puede generar:

- Agregado: la densidad de los puntos es muy elevada en ciertas zonas
- Aleatorio: sin ninguna estructura, las posiciones de los puntos son independientes entre sí.
- Regular: la densidad es constante y los puntos se disponen alejados entre sí.

El análisis de patrones de puntos se fundamenta básicamente en la comparación entre las propiedades de una distribución teórica aleatoria (distribución de Poisson) y las de la distribución observada. Esta distribución teórica aleatoria cumple que se da aleatoriedad espacial completa. De este modo, se puede decidir si esta última es también aleatoria en caso de existir similitud, o bien es de alguno de los dos tipos restantes, según sea la discrepancia existente.

Las propiedades a comparar pueden ser:

- Propiedades de primer orden: la intensidad del proceso definida como la densidad (número de puntos por unidad de área), en general se asume que es una propiedad constante a lo largo de la zona de estudio.
- Distancia entre puntos: relaciones entre cada punto con los de su entorno, basado en las denominadas propiedades de segundo orden.

### 3.4 Interpolación

El muestreo espacial es una manera eficiente de capturar el conocimiento de la variación espacial, por lo tanto, debe haber formas fiables de llenado en la variación desconocida entre los puntos de muestra. La interpolación espacial es una técnica que permite realizar este procedimiento, proporcionando un método para estimar valor de un campo en cualquier lugar a partir de un número limitado de puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos.

El proceso de interpolación espacial consiste en la estimación de los valores que alcanza una variable  $Z$  en un conjunto de puntos definidos por un par de coordenadas  $(X, Y)$ , partiendo de los valores de  $Z$  medios en una muestra de puntos situados en la misma área de estudio.

En los SIG suele utilizarse para obtener capas de datos raster que representan la variable a interpolar, cada celda de la capa raster constituye un punto en el que hay que realizar la interpolación.



Los métodos de interpolación se basan en la presunción lógica de que cuanto más cercanos estén dos puntos sobre la superficie terrestre, los valores de cualquier variable cuantitativa que midamos en ellos serán más parecidos, mostrando así su autocorrelación espacial. La interpolación entonces, permite crear mapas continuos a través de un número de valores discretos [24].

### 3.5 Estadística espacial

---

El término estadística espacial se refiere a la aplicación de conceptos y métodos a los datos que tiene una estructura espacial explícita, la cual es importante para la comprensión de los datos estadísticos.

La estadística espacial es una disciplina en estricto sentido, estrechamente asociada con los métodos estadísticos tradicionales y estadísticas computacionales más modernas, pero con la complejidad adicional de la dependencia espacial.

#### 3.5.1 Probabilidad espacial

---

Los analistas espaciales pueden evitar la virtual imposibilidad de predecir exactamente dónde se producen deslizamientos de tierra mediante la asignación de probabilidades basadas en patrones de causas conocidas, como los suelos arcillosos, la lluvia y los terremotos. Un mapa de probabilidades asigna a cada ubicación un valor entre 0 y 1, la formación de un campo de probabilidad. Dicho mapa sólo considera la probabilidad de un evento solo y aislado, sin embargo, la probabilidad de que dos puntos de una corta distancia entre ambos estarán sujetas a deslizamiento de tierras no es simplemente el producto de las dos probabilidades, como lo sería si los dos resultados fueron independientes, una conclusión que puede ser visto como una manifestación más de la primera ley de Tobler<sup>1</sup>.

Por ejemplo, si la probabilidad de que un deslizamiento de tierra en el punto A es  $\frac{1}{2}$  y en el punto B a poca distancia también es  $\frac{1}{2}$ , la probabilidad de que ambos se verán afectados más de  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ , y posiblemente incluso hasta  $\frac{1}{2}$ . Técnicamente, las probabilidades marginales de eventos aislados pueden no ser tan útiles como las probabilidades conjuntas de eventos relacionados con - y probabilidades conjuntas son propiedades de los pares de puntos y por lo tanto imposible de visualizar en forma de mapa a menos que el número de puntos es muy pequeño.

---

<sup>1</sup> Primera Ley de Tobler "Todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes. "



### 3.6 Movilidad

---

Se distinguen tres tipos de movimientos en cuanto a movilidad espacial de la población [25] :

- *Migración*: desplazamientos de baja frecuencia y cambios de residencia que implican el cruce de fronteras nacionales, estatales o municipales.
- *Movilidad residencial*: desplazamientos de baja frecuencia asociados a cambios de residencia dentro de una misma ciudad.
- *Movilidad cotidiana*: desplazamientos de alta frecuencia dentro de su ámbito geográfico de residencia habitual, asociados a diversas actividades de la vida cotidiana del individuo.

### 3.7 Datos geográficos

---

La información geográfica es información sobre un elemento situado en la superficie de la Tierra, es el conocimiento sobre “dónde” hay algo o “qué hay” en un determinado lugar.

Un SIG por su parte, almacena y gestiona información, entre otras características, por tanto, los datos geográficos son la parte fundamental del SIG mediante la cual representamos la realidad y, a su vez, nos permiten enlazarla con situaciones y aplicaciones específicas. Los datos son una abstracción de la realidad y los almacenamos como códigos digitales en bases de datos.

Por lo tanto, podemos considerar los datos geográficos como valores, cadenas de caracteres o símbolos que proporcionan a quien los use, información sobre la localización geográfica de entidades del mundo real. Los datos geográficos presentan tres tipos de componentes:

- Una componente *espacial* que contiene información asociada sobre la localización,
- Una componente *atributiva* que contiene información temática asociada.
- Una componente *temporal* que lleva asociada información del tiempo.

#### 3.7.1 La componente espacial

---

Se refiere a la localización geográfica, a las propiedades espaciales de los objetos y a las relaciones espaciales que hay entre éstos.



La localización geográfica hace referencia a la posición de los objetos sobre la superficie de la Tierra, utilizando, por ejemplo, coordenadas geográficas o direcciones postales. Además, dependiendo de sus dimensiones espaciales, los objetos pueden tener cierto tamaño: la longitud de una carrera, el área de un bosque o el volumen de una masa de agua.

La localización de los objetos en el espacio se realiza mediante un sistema de coordenadas y varía según el tipo de datos presentados:

- *Modelo vectorial*: representación de las entidades del mundo real mediante puntos, líneas y polígonos
  - Punto: localizado en el espacio por un par de coordenadas X e Y
  - Línea: localizada a partir de las coordenadas de los puntos que la definen
  - Polígono: localizado a partir de las coordenadas de las líneas que lo cierran.
- *Modelo raster*: representación mediante una malla regular de celdas, en este modelo la localización de los objetos se realiza en dos pasos y por medio de filas y columnas
  - **Paso 1.** Primero se localiza la celda (o píxel) de interés mediante las coordenadas x e y
  - **Paso 2.** Los valores de coordenadas x e y se traducen en una terna de números

### Propiedades espaciales

Los elementos que representan la realidad tienen ciertas propiedades espaciales como son la longitud, la forma, la pendiente, la orientación, la superficie y el perímetro.

- *Polígonos*: en el caso de los polígonos, se pueden identificar la superficie, el perímetro, la forma, la pendiente y la orientación.
- *Puntos*: en el caso de los puntos, no presentan ninguna de las propiedades espaciales.

### Relaciones espaciales

Se incluyen relaciones espaciales como:

- *Proximidad*: cercanía en el espacio o en el tiempo
- *Contigüidad*: cercanía entre ambas cosas
- *Conectividad*: es la cualidad de conexión entre dos o más objetos
- *Inclusividad*: cualidad de inclusión



### 3.7.2 La componente atributiva

Se refiere a las características de los objetos presentados en un SIG utilizados para representar el mundo real. Estas características se conocen como los atributos o variables de una base de datos.

Los objetos con los que se representa la variación que se produce en el mundo real poseen unas determinadas características que se conocen como atributos (o variables). Así, cada objeto registra un determinado valor para cada uno de los atributos considerados.

#### **Tipos de variable y escalas de medida**

Las variables que constituyen la información temática de las unidades espaciales pueden ser de distinto tipo y estar medidas a diferentes escalas. Este hecho afecta tanto a la generación cartográfica como al tipo de análisis que se pueden efectuar con esa información. Las variables se pueden tipificar en dos rubros:

- *Variables continuas y discretas:* las variables continuas pueden tomar cualquier valor entre dos valores dados, mientras que en las variables discretas sus valores sólo pueden ser números enteros, pero no decimales.
- *Variables fundamentales y variables derivadas:* la distinción hace referencia al proceso de elaboración de las variables. Las variables fundamentales son obtenidas directamente, mientras que las derivadas son el producto de alguna operación aritmética entre dos o más variables fundamentales.

Por lo que se refiere a las escalas de medida, se pueden diferenciar las siguientes:

- *Escala nominal:* se clasifican las unidades espaciales en categorías o clases. No se trabaja propiamente con valores numéricos, sino nominales, es decir, con nombres. Así, las unidades espaciales que presentan el mismo valor nominal se incluyen en la misma categoría.
- *Escala ordinal:* se establece una diferenciación y una jerarquización entre las distintas unidades espaciales.
- *Escala de intervalo:* se añade, además de la diferenciación y la jerarquización, la distancia existente entre las distintas unidades espaciales. Este tipo de variables se denominan *cuantitativas*.





### 3.7.3 La componente temporal

---

El tiempo juega un papel fundamental en la evolución del territorio, de tal forma que el Mundo real es explicado a través de procesos espacio-temporales.

Las distribuciones espaciales se van modificando con el devenir del tiempo, este cambio puede afectar exclusivamente a la componente temática, sin que se modifique la componente espacial.

La consideración de la dimensión temporal en un SIG supone la necesidad de almacenar y tratar grandes volúmenes de datos, ya que cada estrato de información se debe almacenar tantas veces como momentos temporales se consideren. Además, si lo que interesa es estudiar el cambio, en cada capa se debe almacenar no solo la situación en ese momento, sino también la historia de los cambios acaecidos desde el primer momento temporal.

### 3.8 Bases de datos espaciales

---

Una *Base de datos espacial* es una colección de datos espacialmente referidos que actúan como un modelo de la realidad. Un SIG puede controlar y manejar todas las tareas relacionadas al almacenamiento y procesamiento de la información espacial, por lo tanto su núcleo puede ser visto como un Sistema Manejador de Base de Datos, el cual nos permite interactuar con ellos.

Para su manipulación existen varios SMBD que tienen módulos para procesar y almacenar datos espaciales como Oracle Spatial, Postgres (PostGIS), SQL Server Spatial, entre otros [26].

## 4. Metodología

En este Capítulo se describe el método propuesto para analizar la movilidad en entornos urbanos, con base en datos censados mediante dispositivos móviles. La metodología propuesta se divide principalmente en cuatro etapas: Adquisición, Integración, Análisis y Resultados (véase Fig. 4.1).

La etapa de Adquisición tiene como fin recolectar los datos de movilidad de los usuarios y almacenarlos como trazas, mientras que en la etapa de Integración se procesan, de manera que cubran requisitos predefinidos y puedan almacenarse en una *base de datos espacial* central que almacena las trazas recolectadas en la etapa de Adquisición; una vez que se tienen las trazas procesadas, en la etapa de Análisis se añade información sobre la infraestructura urbana de la zona de estudio como: rutas de metrobus, metro, microbuses, sitios de taxis, y otras que resulten útiles, tal como las capas de información representativas de los datos obtenidos en la etapa de Adquisición, posteriormente se aplican diversas herramientas y operaciones de análisis espacial entre las diversas capas de información, así como el análisis estadístico, para así, obtener datos de valor sobre la movilidad urbana para el caso de estudio; finalmente, en la etapa de Resultados, se utiliza una interfaz Web-GIS para visualizar los resultados.

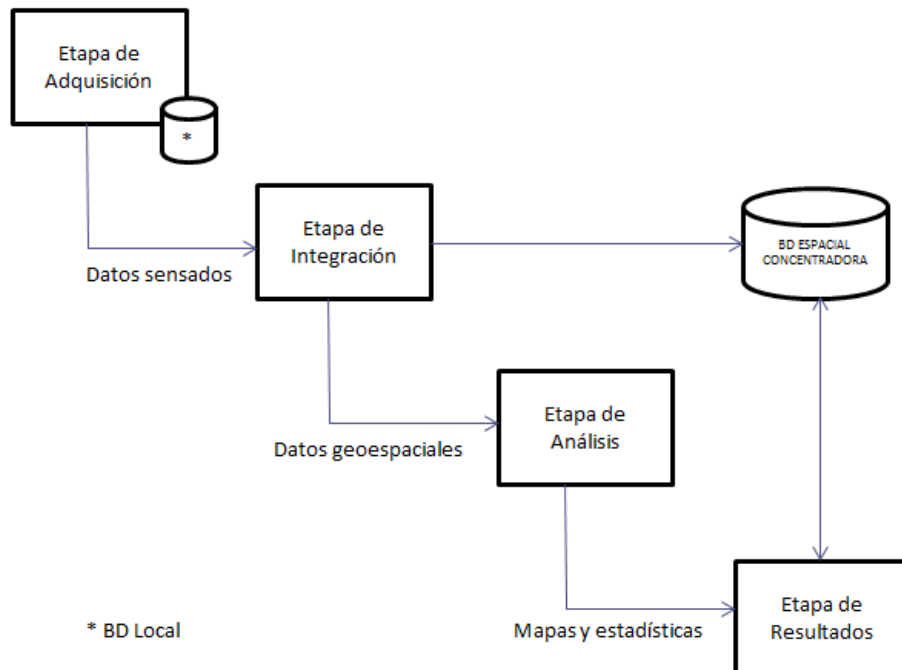


Figura 4. 1 Esquema del marco de trabajo

## 4.1 Etapa de adquisición

Esta etapa tiene como propósito la obtención de los datos referentes a los recorridos de los usuarios, los cuales son representados por: puntos y trazas. Los puntos representan las posiciones sensadas por el dispositivo móvil en formato <latitud, longitud>, las trazas por su parte son una serie ordenada de puntos que simbolizan el recorrido del usuario.

Con el fin de capturar los recorridos de forma más invisible para los usuarios, se optó por el uso de tecnologías móviles, permitiendo al usuario participar en el estudio de manera casi inconsciente, a la vez de obtener datos con una mínima inversión de recursos materiales y humanos, en el mismo sentido que la VGI [27], presentando de este modo un método económico, en comparación con otros métodos similares presentados en el Capítulo 2.

Respecto a los datos, en el contexto de este trabajo se tienen dos orígenes, la primera refiere a fuentes externas y la segunda a obtener los datos como parte del ejercicio de investigación. Para lograr la integración de las fuentes, una cuestión muy importante a considerar es la compatibilidad de los diferentes conjuntos de datos: en los formatos, en la codificación, en la cobertura temporal, geográfica, temática, en calidad e integridad. Los detalles de compatibilidad son en consecuencia, una tarea importante en la Adquisición de datos, así como el lugar y la forma de almacenarlos de forma que se garantice la coherencia y la disponibilidad para el análisis práctico y la presentación de los informes.

Dado lo anterior, en esta etapa deben realizarse las siguientes tareas (Ver Figura 4.2): Tipificación de usuarios, Sensado de datos, Almacenamiento y Envío, las cuales se detallan en las siguientes subsecciones.

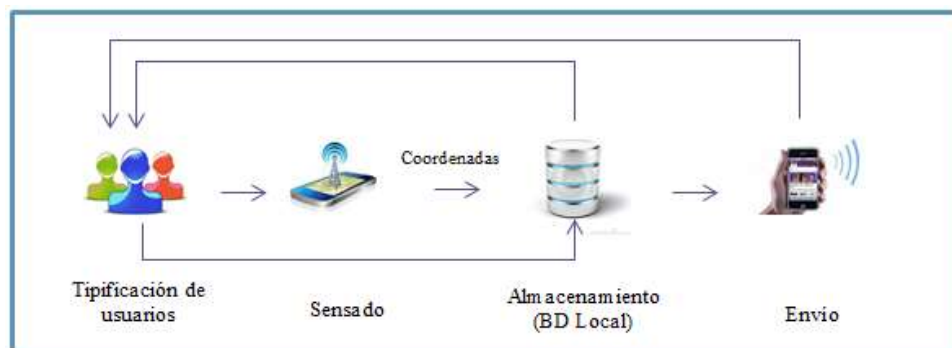


Figura 4. 2 Etapa de Adquisición



### 4.1.1 Tipificación de usuarios

Esta tarea tiene como finalidad caracterizar a los usuarios y las trazas recolectadas, para obtener no sólo datos sobre la movilidad a cierta hora y día o de zonas específicas, sino también incluir características descriptivas de las mismas.

Con esto se pretende identificar los detalles de la movilidad utilizando variables como el género, edad, el motivo de desplazamiento, etc. que permiten detectar áreas de oportunidad para la planeación urbana como: ofrecer transporte especial (mujeres, escolar, etc.), que tipo de transporte transita más por determinada zona para planear obras urbanas (puentes, conexiones entre transportes, autopistas, entre otros) e implementar o aumentar en caso necesario, las medidas de seguridad actuales.

La tipificación propuesta se basa en los atributos presentados en la Tabla 4.1:

Atributo	Significado	Dominio
Género	Permite distinguir a la población por su género respecto a la categoría social que esté implica.	Femenino o masculino
Edad	Permite establecer rangos de edades con determinadas características similares.	$e \leq 10$ : población menor a 10 años $e \geq 65$ : población mayor a 65 años $e = 0$ : población que no proporciona edad en otro caso: conserva su valor
Origen	Refiere al lugar de origen del recorrido, agrupado a los cuatro de mayor interés para este estudio.	Escuela, Trabajo, Hogar, Entretenimiento y Otro
Destino	Es el lugar de destino del recorrido, agrupado en cuatro tipos de mayor interés para este estudio.	Escuela, Trabajo, Hogar, Entretenimiento y Otro
Transporte	Crea una clasificación de tipos de transporte en tres grupos de enfoque para este trabajo.	Público, Privado y Otro

Tabla 4. 1 Tipificación de usuarios

Cabe señalar que el ingreso de los datos mencionados anteriormente (Tabla 4.1) lo realiza explícitamente el usuario, por lo que de forma general, se implementará por medio de un formulario.



### 4.1.2 Sensado

---

Esta tarea tiene como meta realizar la captura de los datos sobre la localización de los usuarios a través del sensor GPS del dispositivo móvil. Dichos datos se refieren a las coordenadas geográficas en formato de <latitud, longitud> así como la componente temporal en formato de día, mes, año y formato de 24 horas.

Al captar las señales de un mínimo de tres satélites, por triangulación el receptor GPS determina la posición que ocupa sobre la superficie de la tierra mediante el valor de las coordenadas de longitud y latitud (dos dimensiones). Dichas coordenadas pueden estar expresadas en grados, minutos y/o segundos o en las unidades de medición utilizadas en otros sistemas geodésicos, por lo cual, se utiliza el sistema de coordenadas geográficas que utiliza la latitud (ángulo formado entre la normal y la superficie y el plano del ecuador) y la longitud (distancia angular entre dos meridianos a lo largo de un paralelo) para representar la localización.

Después de realizar diversas pruebas de sensado, se optó por determinar un intervalo de tiempo de 30 segundos para la lectura de la localización, ese intervalo permite obtener trazas con mayor precisión en el detalle de la traza, como curvas, retornos, etc. a la vez que para un recorrido de tiempo promedio entre 1 y 2 horas no almacena una cantidad de puntos que pudieran saturar el dispositivo móvil.

Respecto a la componente temporal, conviene para los fines del estudio agregar la fecha y hora en la que cada punto es sensado, esto puede ayudar a conocer la velocidad promedio del recorrido, horas de máximo tránsito en determinados puntos, entre otros.



### 4.1.3 Almacenamiento

La tarea de Almacenamiento consiste en guardar en una *base de datos local* residente en el dispositivo móvil, la información respecto a las trazas y a los puntos obtenida en la tarea de Adquisición, para esto se utiliza el diseño lógico mostrado en la Figura 4.3.

Se plantea un diseño relacional y una relación 1 a N entre las tablas Trazas y Puntos con el objetivo de almacenar trazas que se compongan de muchos puntos, a la vez de que se puedan almacenar diferentes trazas y se conserve la asociación de cada punto con su respectiva traza.

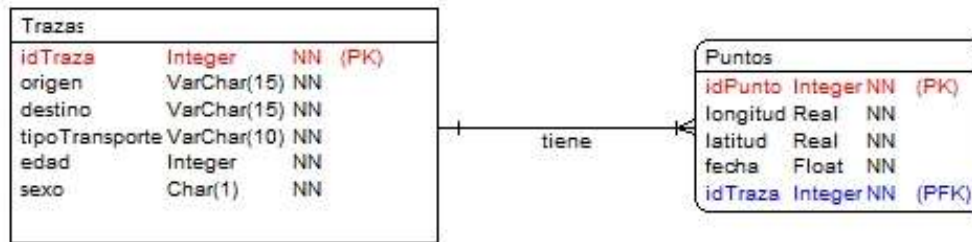


Figura 4. 3 Diseño lógico de la *base de datos local*

La tabla 4.2, describe la estructura de la Tabla Trazas, indicando los tipos de datos de los campos y la descripción de cada uno de ellos.

Campo	Tipo de Dato	Descripción
<b>idRuta</b>	integer	Llave primaria de la tabla Trazas
<b>origen</b>	Varchar	Almacena el origen seleccionado por el usuario
<b>destino</b>	Varchar	Almacena el destino seleccionado por el usuario
<b>tipoTransporte</b>	Varchar	Almacena el tipo de transporte almacenado por el usuario
<b>edad</b>	Integer	Almacena la edad introducida por el usuario
<b>sexo</b>	Char	Almacena el sexo seleccionado por el usuario

Tabla 4. 2 Descripción de tabla Trazas



La tabla 4.3 describe la estructura de la Tabla Puntos, indicando los tipos de datos de los campos y la descripción de cada uno de ellos.

Campo	Tipo de Dato	Descripción
<b>idTraza</b>	integer	Llave foránea de la tabla Puntos que referencia a la tabla Trazas permitiendo la asociación de cada punto con una única ruta, sin impedir que una ruta este asociada a muchos puntos
<b>idPunto</b>	Varchar	Llave primaria de la tabla Puntos
<b>longitud</b>	Varchar	Almacena la longitud obtenida por el sensor GPS del dispositivo móvil
<b>latitud</b>	Varchar	Almacena la latitud obtenida por el sensor GPS del dispositivo móvil
<b>fecha</b>	Integer	Almacena la fecha obtenida a través del dispositivo móvil al momento de sensar la latitud y longitud del punto correspondiente.

Tabla 4. 3 Descripción de tabla Punto

### 4.1.4 Envío

La tarea de envío consiste en migrar la *base de datos local* a una *base de datos espacial* central, puesto que el proceso de análisis espacial requiere de herramientas de software que no son soportadas por los dispositivos móviles.

La base de datos central se encuentra instalada en un servidor que cuenta con las herramientas de gestión bases de datos espaciales y procesamiento de información geoespacial.

Para la migración de la *base de datos local*, se considera el envío de los datos almacenados en el dispositivo móvil en dos momentos:

1. Cuando inicia la aplicación: si ya tiene trazas guardadas las puede enviar sin la necesidad de grabar una nueva.
2. Cuando se terminado de sensar una traza: si ha finalizado el sensado, puede enviar la traza actual así como las que estén almacenadas en la *base de datos local*.



En ambos casos, se revisa la *base de datos local*, en caso de encontrar información, esta es extraída y almacenada en variables que serán enviadas al servidor como cadenas. La cadena *ctrazas* almacena el contenido de la tabla *Trazas*, mientras que la cadena *cpuntos* guarda el contenido de la tabla *Puntos*. La estructura las cadenas es la siguiente:

```
ctrazas= idTraza1 | origen1 | destino1 | tipoTransporte1 | edad1 |  
sexo1 | idTraza2 | origen2 | destino2 | tipoTransporte2 | edad2 | sexo2 |  
... | idTrazan | origenn | destinon | tipoTransporten | edadn | sexon |
```

```
cpuntos= idTraza1 | idPunto1 | longitud1 | latitud1 | fecha1 | idTraza2 |  
idPunto2 | longitud2 | latitud2 | fecha2 | ... | idTrazan | idPunton |  
longitudn | latitudn | fechan |
```

Si las cadenas enviadas son recibidas y el servidor hace su trabajo correctamente, los datos serán borrados de la *base de datos local*, evitando la saturación del dispositivo móvil y la duplicación de datos.



## 4.2 Etapa de integración

La etapa de integración de datos consiste en darle el tratamiento necesario a los datos recibidos de la etapa de Adquisición y así poderlos agregar a la *base de datos espacial* concentradora. Para el cumplimiento de este objetivo, se tiene un servicio web que recibe las cadenas enviadas por el dispositivo móvil, las analiza e inserta los datos en las tablas correspondientes de la *base de datos espacial* concentradora.

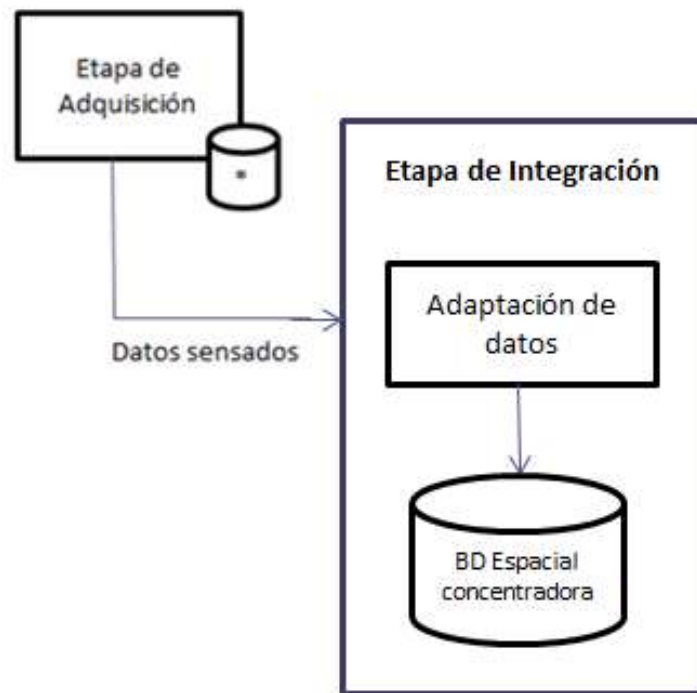


Figura 4. 4 Etapa de Integración

El análisis a los datos provenientes del móvil incluye los siguientes puntos:

1. Se lleva un control de las descargas de datos realizadas, por tal motivo es necesario extraer el identificador de la última descarga y aumentarla en uno para mantener la consistencia.
2. Debido a la estructura de las tablas y las llaves foráneas es necesario insertar primero las Rutas, sin embargo el atributo geométrico de la tabla Ruta depende de los puntos insertados, así que este punto queda vacío en primera instancia.
3. Una vez insertadas las Rutas, los Puntos pueden hacer referencia a la ruta a la



que pertenecen, sin embargo, los puntos son recibidos en un solo bloque, así que para mantener la coherencia de los datos se analizan los siguientes escenarios:

- a. Se recibe un punto y no hay cambio en la ruta, entonces se inserta el punto en la ruta identificada y se siguen recorriendo los puntos recibidos
- b. Se recibe un punto y hay cambio en la ruta, entonces sí:
  - i. Sólo se encontró un punto en la ruta: se duplica el punto para el correcto trazado de la ruta y se actualiza el atributo geométrico de la ruta referenciada por el punto recién insertado
  - ii. Se encontraron más de un punto en la ruta: se actualiza el atributo geométrico de la ruta referenciada por los puntos recién insertados

Cabe destacar que para la actualización del atributo geométrico de las rutas es necesario llevar el control de los puntos que hacen referencia a ellas pues la forma de actualizarlo es a través de una lista de latitud, longitud de cada uno de los puntos que la integran.

A continuación se presenta el pseudocódigo utilizado para la inserción de las trazas y el pseudocódigo utilizado para la inserción de puntos:



## PSEUDOCÓDIGO INSERTAR TRAZAS Y PUNTOS (1)

```
--cTrazas y cPuntos son las cadenas recibidas en el servidor
1.- bd= Conectamos a la BD central
2.- Si conexión exitosa entonces
    2.1 r= bd consulta a la BD por el máximo id de descarga
    2.2 rmax= r+1
    2.3 tTraza= el servidor recibe cadena de trazas
    2.3 arrayTrazas= separa (cTrazas)
    2.4 i=0
    2.5 mientras i< tamaño (arrayTrazas) hacer
        2.5.1 c=1
        2.5.2 mientras c<= 6 hacer
            2.5.2.1 si c>=2 y c<=5 entonces
                insertT=insertT+" ' "+arrayTrazas[i]+" \", "
            Si no entonces
                insertT=insertT+arrayTrazas[i]+", "
        2.5.3 Fin mientras
        2.5.4 insertT= rmax + ", " + insertT
        2.5.5 bd inserta (insertT)
    2.6 Fin mientras
    -- Se terminan de insertar las trazas, ahora se insertan los puntos
3.- arrayPuntos= separa (cPuntos)
4.- npuntos=0
5.- i=0
6.- mientras i< tamaño (arrayPuntos) hacer
    6.1 puntoin2=""
    6.2 j=0
```



## PSEUDOCÓDIGO INSERTAR TRAZAS Y PUNTOS (2)

```
6.3 mientras j<= 5 hacer
    6.3.1 si j= 1 entonces
        tActual = arrayP[j]
        si j+6 <= tamaño(arrayP) entonces
            sigTraza= arrayP[j+5]
        si no entonces
            sigTraza=tActual
    6.3.2 si j=2 entonces
        idp= arrayP[j]
        idp++
        puntoin2=puntoin2+idp+","
    6.3.3 si j=3 entonces
        longitud = arrayP[j]
    6.3.4 si j=4 entonces
        latitud = arrayP[j]
    6.3.5 si j=5 entonces
        puntoin= puntoin + "" + arrayP[j] + ","
        puntoin2= puntoin2 + "" + arrayP[j] + ","
        si no entonces
            puntoin= puntoin + arrayP[j]+","
            puntoin2= puntoin2 + arrayP[j]+","
    6.3.6 j++
6.4 Fin mientras
6.5 si numpuntos=0 entonces
    6.5.1 puntoV=puntoin2
6.6 insertaP= rmax + puntoin + ",ST_GeogFromText('SRID=4326;POINT('||'"
+ longitud+"||' '||'+latitud+"||')'))"
6.7 puntoin= ""
6.8 bd.inserta(insertaP)
6.9 numpuntos + 1
```



### PSEUDOCÓDIGO INSERTAR TRAZAS Y PUNTOS (3)

```
--si cambiamos de rutaa
  6.10 si j= tamaño arrayP o tActual!= sigTraza entonces
    6.10.1 si numpuntos=1
      insertP= rmax + puntoV + ",ST_GeogFromText('SRID=
4326;POINT('||'+longitud+'||' '||'+latitud+'||'))"
      bd.inserta (insertP)
      puntoin2=""
      ptraza=ptraza+longitud+" "+latitud+", "
      ptraza= ptraza + ptraza

    6.10.2 si no entonces
      ptraza= ptraza + longitud + " " + latitud + ","
      ptraza= ptraza + ptraza

    6.10.3 actualizaT= set geom=ST_GeomFromText('LINESTRING( "+ptraza
+")',4326) where idtraza="+tActual+" and descarga="+rmax
    6.10.4 bd.actualiza(actualizaT)
    6.10.5 actualizaT=""
    6.10.6 ptraza=""
    6.10.7 numpuntos=0
    6.10.8 tactual1= tactual
    6.10.9 si no entonces
      ptraza=ptraza + longitud + " " + latitud + ","

  6.11 Fin mientras
7. Cerrar conexión bd
```

Una vez que se insertaron los datos correctamente en la *base de datos espacial* central, se enviará una respuesta al dispositivo móvil para que esté pueda borrar la información local enviada.



A continuación se ejemplifica la tarea de inserción de los Datos sensados en la base de datos local del dispositivo móvil

### **Ejemplo de inserción de Datos**

#### **--Inserción de rutas**

```
Insert into public.rutas
values(10,1,'M','Público','Escuela','Escuela',0)
Insert into public.rutas
values(10,2,'M','Público','Escuela','Escuela',0)
```

#### **-Inserción de puntos**

```
Insert into public.puntos values(10,1,1,-
99.1475,19.5034,1371558672000,ST_GeogFromText('SRID=4326;POINT('||'-
99.1475' || ' ||'19.5034' ||')'))
Insert into public.puntos values(10,1,2,-
99.1475,19.5034,1371558672000,ST_GeogFromText('SRID=4326;POINT('||'-
99.1475' || ' ||'19.5034' ||')'))
```

#### **-Detecta cambio de ruta, actualización ruta anterior**

```
update public.rutas set geom=ST_GeomFromText('LINESTRING( -99.1475
19.5034,-99.1475 19.5034)',4326) where idruta=1 and descarga=10
```

#### **-Inserción de más puntos puntos**

```
Insert into public.puntos values(10,2,1,-
99.1475,19.5034,1371558672000,ST_GeogFromText('SRID=4326;POINT('||'-
99.1475' || ' ||'19.5034' ||')'))
Insert into public.puntos values(10,2,2,-
99.1472,19.5032,1371591891969,ST_GeogFromText('SRID=4326;POINT('||'-
99.1472' || ' ||'19.5032' ||')'))
```

#### **-Detecta fin del arreglo, actualiza ruta anterior**

```
update public.rutas set geom=ST_GeomFromText('LINESTRING( -99.1475
19.5034,-99.1472 19.5032)',4326) where idruta=2 and descarga=10
```

## 4.3 Etapa de análisis

El análisis espacial se caracteriza por el análisis estático, la búsqueda de patrones o anomalías fácilmente visibles u ocultas, dando lugar a nuevas ideas e hipótesis, por lo que en este trabajo se propone una serie de operaciones espaciales y análisis estadístico, con base en la información almacenada en la *base de datos espacial* central y las diversas capas temáticas obtenidas de fuentes externas, lo que va a servir para obtener información de valor para la planeación urbana. Las tareas a realizar se visualizan en la Figura 4.5.

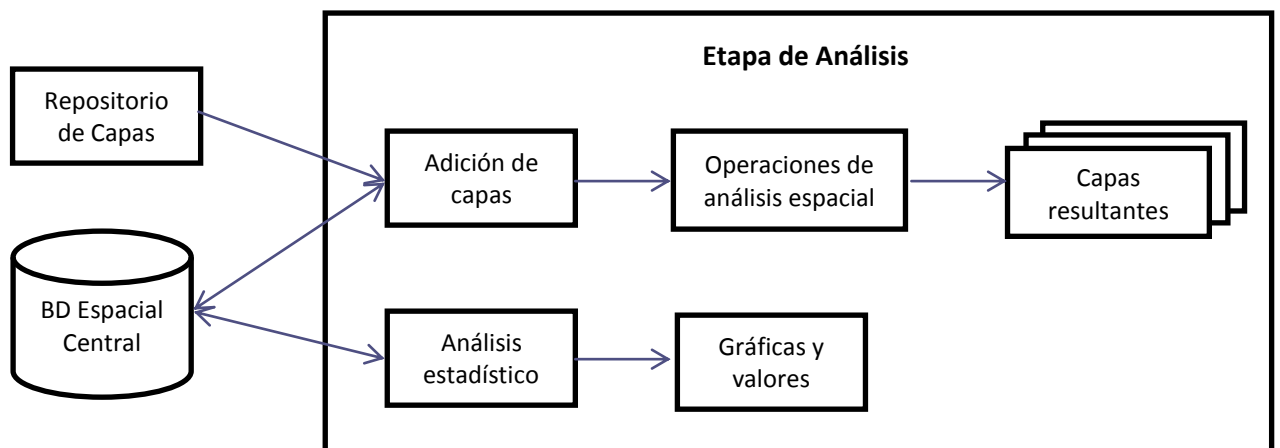


Figura 4. 5 Etapa de Análisis

Por tanto, la etapa de Análisis puede ser vista como un ejercicio de varias partes, se comienza con la revisión de los datos recogidos y la manipulación de los insumos para producir datos consistentes y utilizables, para esto se realiza un filtrado sobre la *base de datos espacial* central, con la finalidad de eliminar la información que no es útil, por ejemplo, si las trazas solo tienen dos puntos: esto implica que el punto fue replicado y como tal no hay información que constituya una traza de valor.



A continuación, se extiende la fase analítica pura, donde los datos se someten a estudio a fin de encontrar información sobre la movilidad urbana. En esta fase se realizarán los estudios mostrados en la Figura 4.6:

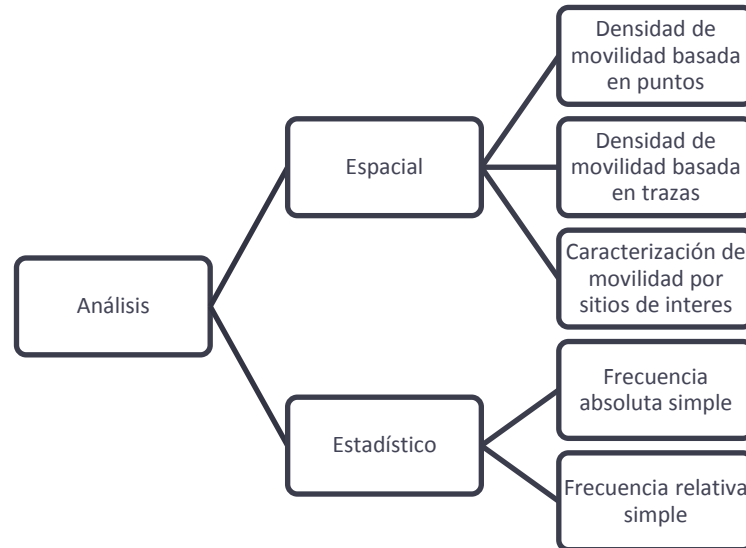


Figura 4. 6 Análisis





### 4.3.1 Análisis espacial

Para comenzar el análisis espacial se adicionan capas de información, esta tarea se lleva a cabo en una herramienta informática que cuenta además con una serie de funciones de análisis espacial, las capas de información temática con que se cuentan, para el caso de estudio se cuentan con las capas descritas en la Tabla 4.4:

Nombre Capa	Descripción	Tipo de geometría
Gustavo A. Madero	Se visualizan las calles de la zona de estudio, con características como el nivel de seguridad, el nombre de la colonia, nombre de calle y longitud.	Línea
Estaciones del metro	Cada punto corresponde con una estación del metro de la Ciudad de México, contiene información como: línea a la que pertenece y promedio de usuarios.	Punto
Plazas y monumentos	Cada punto sitúa una plaza o monumento	Punto
Rutas RTP	Cada línea corresponde a una ruta del servicio RTP, indica el origen, destino, el número de ruta, entre otros datos	Línea
Rutas SETRAVI	Cada línea corresponde a una ruta del servicio de SETRAVI, se indica a que ruta de servicio corresponde.	Línea
Líneas del trolebús	Representan el servicio del trolebús, indicando a que línea corresponde.	Línea
Sitio de taxiss oficiales	Cada punto representa un sitio de taxis oficial dentro de la delegación Gustavo A. Madero	Punto
Rejilla 300 metros	Cada polígono divide la zona de estudio en cuadrados de 300 metros de lado.	Polígono
Rejilla 600 metros	Cada polígono divide la zona de estudio en cuadrados de 600 metros de lado	Polígono
Trazas	Cada línea representa una traza sensada por el dispositivo móvil, incluye información descriptiva de la misma.	Línea
Puntos	Cada punto representa un punto sensado por el dispositivo móvil incluyendo información descriptiva del mismo.	Punto

Tabla 4. 4 Capas de información temáticas

### 4.3.1.1 Densidad de movilidad basada en puntos

El análisis de densidad de movilidad tiene como finalidad encontrar las zonas con mayor concentración de los puntos que han sido recolectados por el dispositivo móvil, consiste en una serie de pasos requeridos para obtener un mapa donde se muestre dicha concentración (ver Figura 4.7).

El primer paso consiste en recortar la capa de los puntos sensados para considerar únicamente aquellos que quedan dentro del área limítrofe de estudio, como resultado obtenemos una capa con puntos. A continuación se contabilizan los puntos que hay dentro de cada cuadrado de la rejilla de N metros, obteniendo una capa de polígonos en el que cada polígono tiene un atributo que representa el número de puntos que contiene.

Posteriormente se obtienen los centroides de los polígonos de la capa anterior, por lo cual se obtiene una representación de puntos para los mismos valores, esta capa resultante es interpolada, obteniendo de esta forma un mapa de densidad en la que se aprecia visualmente la concentración de puntos sensados en la zona de estudio.

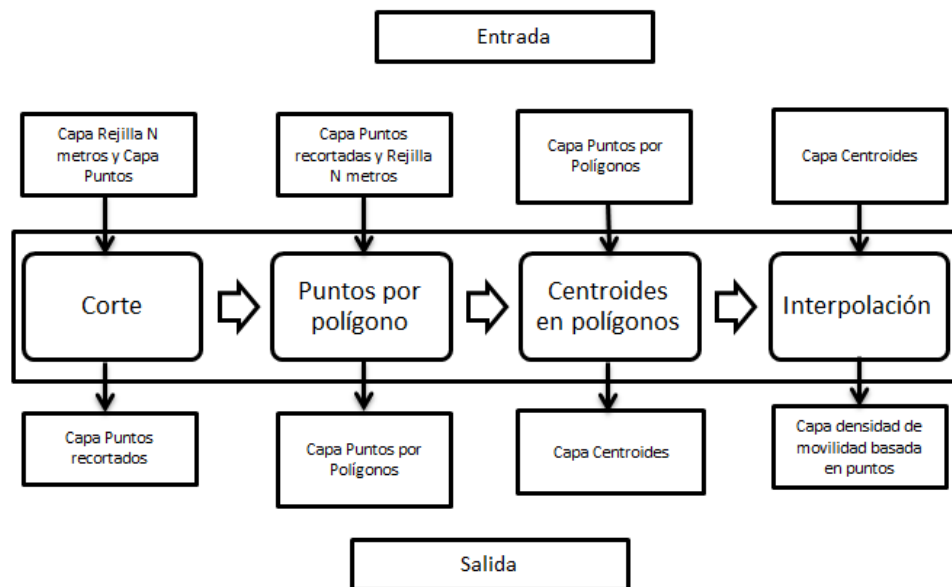


Figura 4. 7 Análisis de densidad de movilidad basada en puntos

### 4.3.1.2 Densidad de movilidad basada en trazas

El análisis de densidad de movilidad basada en trazas tiene como finalidad encontrar las zonas con mayor concentración de las trazas que han sido recolectados por el dispositivo móvil, consiste en una serie de pasos requeridos para obtener un mapa de densidad donde se muestre dicha concentración (ver Figura 4.8).

El primer paso consiste en recortar la capa de las trazas sensadas para considerar únicamente aquellas que quedan dentro del área de estudio, como resultado obtenemos una capa con líneas. A continuación se obtiene la suma de longitudes de línea que hay dentro de cada cuadrado de la rejilla de N metros, obteniendo una capa de polígonos en el que cada polígono tiene un atributo que representa dicha longitud.

Posteriormente se obtienen los centroides de los polígonos de la capa anterior, por lo cual se obtiene una representación de puntos para los mismos valores, esta capa resultante es interpolada, obteniendo de esta forma un mapa de densidad en el que se aprecia visualmente la concentración de trazas en la zona de estudio.

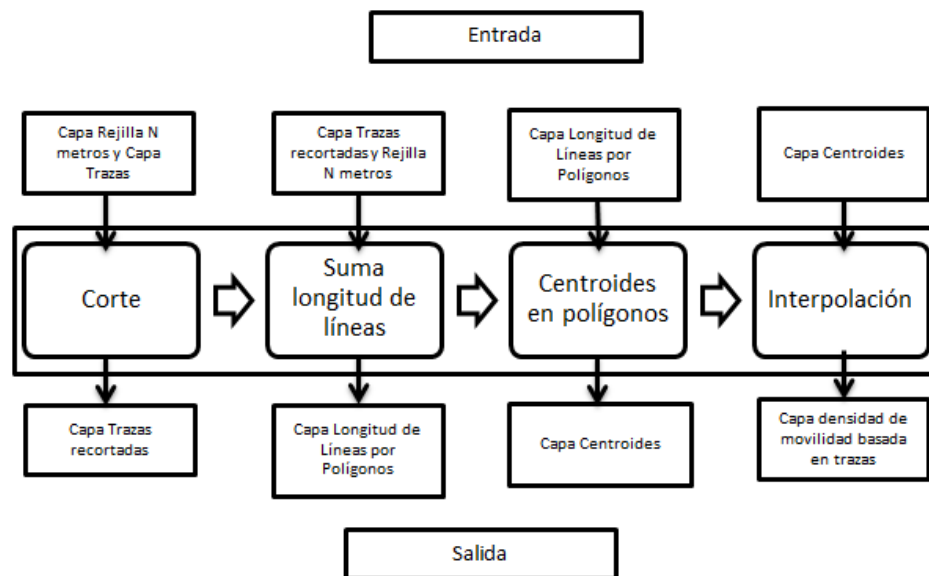


Figura 4. 8 Análisis de densidad de movilidad basada en trazas

### 4.3.1.3 Caracterización de movilidad por sitios de interés

Este análisis se enfoca en encontrar los sitios de interés que fueron visitados (no implica que el sitio fuera el origen o destino de la traza) por las trazas sensadas, y complementar el análisis al encontrar las trazas que tocaron dichos sitios de interés.

El procedimiento consiste en expandir (*buffer*) el radio de accesibilidad  $r$  de las capas con los sitios que nos interese consultar. Esta operación se realiza con la finalidad de expandir el área de los sitios de interés y así poder encontrar las trazas sensadas que lo cruzan, previniendo excluir trazas por errores propios del sensado en cuanto a exactitud. Posteriormente, se realizarán dos operaciones de selección espacial por área, para encontrar los objetos de la Capa A que se encuentre dentro del radio de accesibilidad de la Capa B, y viceversa.

Como resultado se obtiene una lista de objetos que en conjunto reflejan la movilidad en el sitio de interés. Este proceso se aprecia en la Figura 4.9.

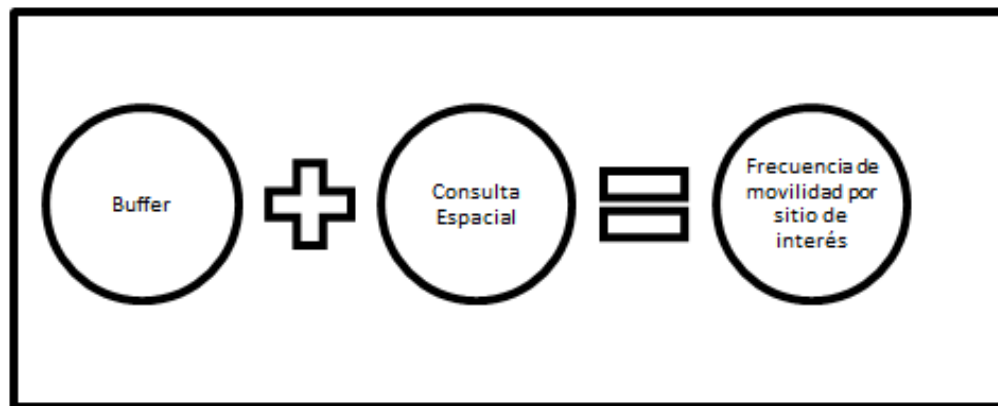


Figura 4. 9 Frecuencia de movilidad por sitios de interés



### 4.3.2 Análisis estadístico

---

Este análisis permitirá conocer la frecuencia de aparición en el estudio de las variables que provienen de la componente descriptiva de los puntos y trazas recolectadas.

Con la frecuencia absoluta simple se puede conocer el número de veces que se presenta un determinado dato entre los diferentes elementos de la población. Se representa por  $n_i$ . Por tanto, indica el número de elementos de la población que tienen el mismo valor o modalidad. La suma total de todas las frecuencias absolutas es el tamaño de la población de elementos observados. Se representa por  $N$ .

Por otro lado, la frecuencia relativa simple permite conocer la proporción de la variable entre el número de veces que se repite un dato y el tamaño de la población, se obtiene dividiendo la frecuencia absoluta de un determinado dato entre la suma de las frecuencias absolutas de todos los datos observados, es decir, entre el tamaño de la población. Se representa por  $f_i = n_i/N$ . En consecuencia, la suma de todas las frecuencias relativas es siempre la unidad.

Las frecuencias relativas se suelen presentar en porcentajes ( $\%f_i$ ) que se obtiene de multiplicar por 100 el valor correspondiente de  $f_i$ . En este caso, la suma total de todas las frecuencias relativas porcentuales será 100.

### 4.4 Etapa de presentación de resultados

---

El objetivo de esta etapa es presentar los resultados de los estudios realizados a través de mapas, o bien, de resúmenes numéricos concisos y gráficos de presentación (tabulaciones, gráficas de pastel etc.). Además, la conclusión ofrece la oportunidad de detectar las fortalezas y debilidades del análisis de los datos.

### 4.5 Diseño del prototipo

---

Para implementar la metodología, se diseñó y desarrolló una aplicación móvil para dispositivos móviles que soportan el sistema operativo Android 2.2.3. Dicha aplicación, arquitectura y funcionamiento son descritos en los apartados siguientes.

## 4.5.1 Arquitectura del sistema

La Figura 4.10 representa la arquitectura general del prototipo; se trata de un modelo Cliente – Servidor, el cual cuenta en el lado del servidor, con un contenedor de aplicaciones tipo Java, en el cual reside un servicio Web que expone una interfaz de comunicación a través de Internet; la interfaz es consumida por dispositivos móviles sin importar la naturaleza de su desarrollo o la plataforma en la cual opere.



Figura 4. 10 Modelo de la arquitectura del sistema

En la Figura 4.11 se aprecia una representación del prototipo, se cuenta con una aplicación móvil desarrollada en el sistema operativo Android, el dispositivo además almacena una *base de datos local*, en la cual se almacenan los datos sensados por el mismo. Dichos datos son enviados a un servidor a través de Internet, el servidor recibe los datos, los procesa y envía un mensaje de estatus de la operación al dispositivo una vez que ha terminado.

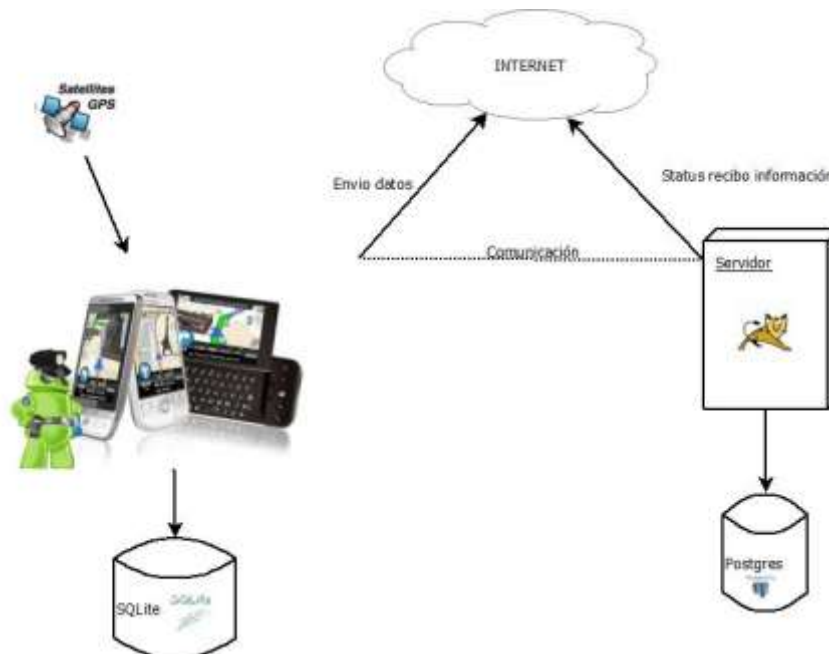


Figura 4. 11 Representación del sistema



### 4.5.2 Arquitectura móvil

Al tratarse de un modelo Cliente-Servidor, es necesario definir ambos componentes de la arquitectura, en este caso, el diagrama de la Figura 4.12, describe la funcionalidad del sistema Cliente, el cual consiste en una aplicación desarrollada en la plataforma de Android y es compatible con dispositivos que tengan instalada la versión 2.3.2 como mínimo.

La aplicación se encuentra dividida funcionalmente en varios módulos, los cuales son:

- **Recolector de información;** Módulo encargado de recopilar los datos del usuario, como son:
  - Edad
  - Sexo
  - Origen
  - Destino
  - Tipo de transporte

Estos datos son relacionados con la traza que se registrará y se solicitan cada vez que la aplicación inicie el sensado de una nueva traza.

- **Monitor de sensado:** encargado de registrar los datos de movilidad de los usuarios con ayuda del sensor GPS integrado en el dispositivo, almacenando la información en la *base de datos local* alojada en el mismo.
- **Administrador de resultados:** es el módulo encargado de recuperar la información almacenada en la base de datos por el monitor de sensado, posteriormente, cumple con 3 funcionalidades:
  - Cambiar entre los diferentes tipos de vista, (Normal, Híbrido, Satelital, Terrenal)
  - Dibujar traza entre el primer punto registrado del recorrido actual y el último del mismo, tomando en cuenta cada punto registrado y almacenado por el monitor de sensado.
  - Enviar al sistema servidor las trazas y puntos capturados, mediante la recuperación de información de la *base de datos local* relacionada a puntos visitados y trazas generadas, organiza los datos de manera que el servidor pueda interpretarlos y posteriormente realiza una consulta al servicio expuesto por el servidor, enviando la información recolectada.



- **Administrador de base de datos;** Módulo encargado de exponer una interfaz mediante la cual se establece comunicación con la base de datos SQLite residente en el dispositivo móvil, de éste modo, se almacena y recupera información relacionada con los puntos y las trazas.

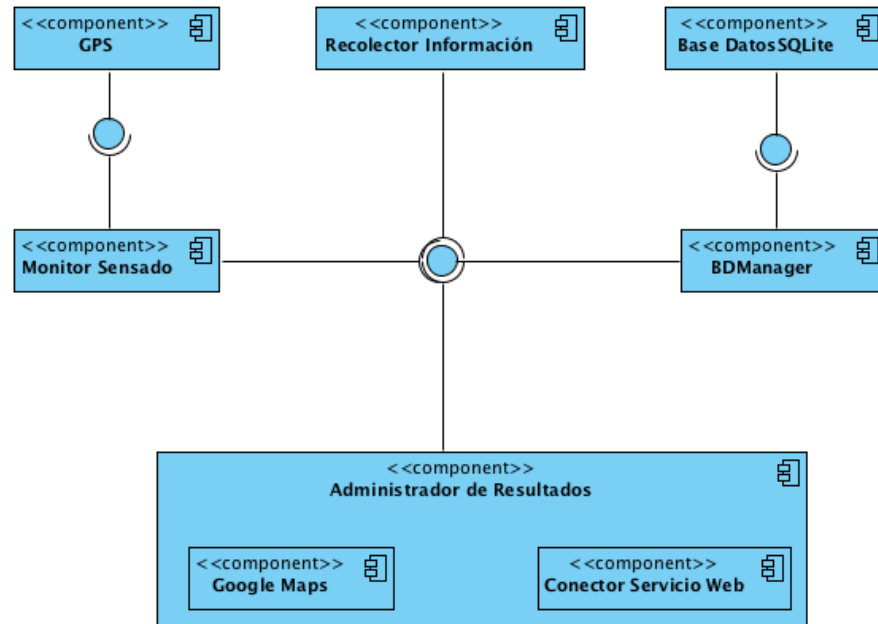


Figura 4. 12 Arquitectura móvil





### 4.5.3 Arquitectura del servidor

El sistema servidor se encuentra dividido en varios módulos, se cuenta con la aplicación que expone el servicio Web por medio de Internet, es el encargado de recopilar información proveniente de los dispositivos móviles que se conectan con él, enviando las trazas y puntos que éstos registren (Ver Figura 4.13).

Una vez recibida una traza, entra en contexto el módulo de administración de base de datos, el cual provee de una interfaz mediante la cual, la aplicación Java residente en el servidor se comunica con el sistema gestor de base de datos espacial, el cual almacena la información y convierte los datos recibidos en datos espaciales que serán interpretados posteriormente. Por último, el módulo GIS de escritorio es el encargado de consultar la base de datos y recuperar la información almacenada en ella, actualizando así las capas de información correspondientes, que en conjunto con las capas de información adicionales (infraestructura urbana) sirven para el análisis espacial.

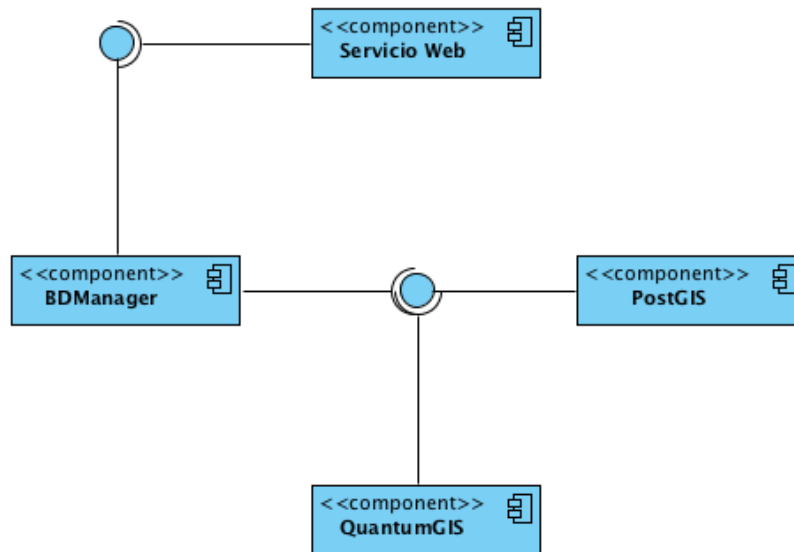


Figura 4. 13 Arquitectura del servidor

### 4.5.4 Flujo de la aplicación

Para explicar el flujo completo de la aplicación, se muestra el siguiente diagrama de flujo en la Figura 4.14.



## 4.5.5 Pantallas de la aplicación

La Figura 4.15 muestra la pantalla inicial de la aplicación, en esta el usuario registra sus datos como género y edad, y se seleccionan los datos del recorrido como son: origen, destino y tipo de transporte. Una vez que el usuario introduce los datos solicitados, pulsa el botón Aceptar para pasar a la siguiente pantalla. De forma automática se registra en la *base de datos local* los datos capturados, perteneciendo a una nueva traza.



Figura 4. 15 Pantalla tipificación de usuarios

En la Figura 4.16 se observan la latitud y longitud de la posición actual del usuario, esta posición se actualiza cada 30 segundos o bien cada 3 metros, la nueva posición se obtiene mediante el sensor GPS incluido en el dispositivo móvil, dicha posición se almacena en la *base de datos local* en la tabla de puntos. Una vez que el usuario detecta que llegó a su destino deberá pulsar el botón de Detener.

Cuando el usuario ha pulsado el botón Detener, la siguiente pantalla es la vista en la Figura 4.17, dicha pantalla mostrará última posición sensada, cuenta con el botón para cambiar la vista del mapa (Figura 4.18 y Figura 4.19), un botón “Ver ruta” (Figura 4.17) que permite ver la última traza sensada y el botón Enviar información, que enviará los datos al servidor.

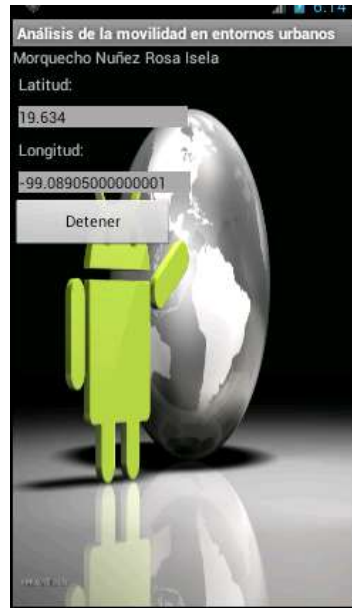


Figura 4. 16 Pantalla sensado de datos



Figura 4. 17 Pantalla de resultados

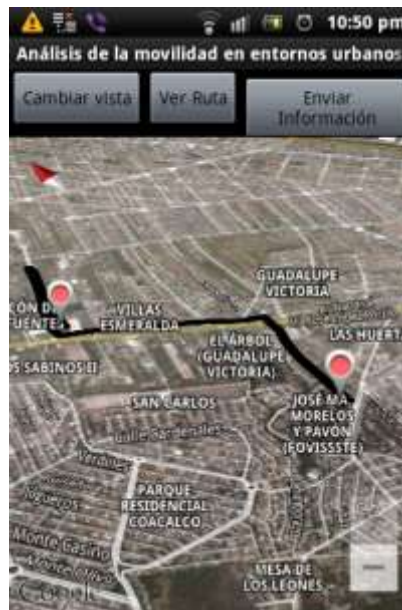


Figura 4. 18 Vista 1 mapa

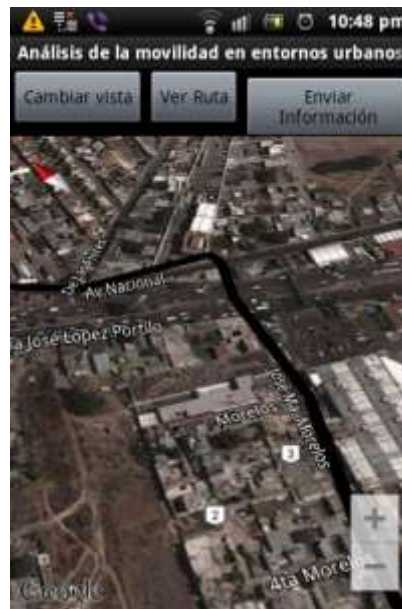


Figura 4. 19 Vista 2 mapa



### 4.5.6 Herramientas de implementación

Para la implementación de la metodología descrita se utilizaron las siguientes herramientas (Ver Tabla 4.5), cabe señalar que todos son de uso libre:

Software	Descripción
PostgreSQL	Gestor de BD relacional orientada a objetos, contiene una extensión para el almacenamiento, análisis y consulta de datos espaciales (PostGIS)
Quantum Gis	Sistema de información Geográfica con soporte para la extensión espacial PostgreSQL, PostGIS, manejo de archivos vectoriales Shapefile, Mapinfo, etc. así como para archivos raster (GRASS GIS, GeoTIFF, TIFF, etc.)
Eclipse (Helios)	IDE multilenguaje compuesto de un workspace y plug-in para personalizar el ambiente. Puede ser usado para desarrollar aplicaciones en Java, Ada, C, C++, COBOL, etc. Cuenta con soporte para desarrollo Android, integración de diferentes APIS, etc.
Apache Tomcat 6.X	Servidor web de código libre y contenedor de servlets desarrollado por Apache Software Foundation. Implementa Java Servlets y Java Server Pages y provee un servidor web HTTP puro de Java.
SQLite	Paquete que proporciona un sistema manejador de bases de datos relacionales que no requiere un sistema separado para operar pues la librería de SQLite accede a sus archivos de almacenamiento directamente.

Tabla 4. 5 Herramientas de implementación



# 5. Resultados

Este capítulo presenta en las siguientes subsecciones los resultados del análisis espacial y estadístico realizado.

El experimento se llevó a cabo al distribuir la aplicación a la población del CIC, se solicitó a los usuarios sensaran en la medida de lo posible sus recorridos, el periodo de sensado fue del día 29 de Septiembre a 26 de Octubre del año en curso. Dado que fue distribución libre no se tiene un registro del número total de participantes.

Para una mejor comprensión se presenta en la subsección 5.1 las capas de información que fueron utilizadas.

### 5.1 Módulo GIS de escritorio

---

Para el análisis espacial se utilizó Quantum GIS, en la cual se construyó un proyecto utilizando las siguientes capas de información:

#### 5.1.1 Capa Gustavo A. Madero

---

La delegación Gustavo A. Madero es una de las 16 delegaciones del Distrito Federal Mexicano. Se encuentra ubicada al norte del mismo, siendo una de las cinco más pobladas del Distrito Federal.

Ocupa una posición estratégica con respecto a varios municipios conurbados del Estado de México; ya que se encuentra atravesada y/o limitada por importantes arterias que conectan la zona central con la zona norte del área metropolitana, tales como son: Insurgentes Norte, que se prolonga hasta la carretera a Pachuca, el Eje 3 Oriente (Avenida Eduardo Molina), el Eje 5 Norte (Calzada San Juan de Aragón); que se conecta con la Avenida Hank González o Avenida Central; en la zona poniente de la delegación se ubican la Calzada Vallejo, el Eje Central Lázaro Cárdenas (Avenida de los Cien Metros) y el Anillo Periférico Norte.





Según el INEGI, en 2010 contaba con aproximadamente 1.185.772 habitantes, tiene una extensión de 95 km<sup>2</sup>, colinda con los municipios de Coacalco de Berriozabal, Tlalnepantla de Baz, Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl y Tultitlán, y con las delegaciones Venustiano Carranza, Cuauhtémoc y Azcapotzalco.

Esta capa se visualiza en la Figura 5.1, es una capa de líneas que entre otros atributos, contiene la colonia y la calle a la que pertenece cada una.



Figura 5. 1 Delegación GAM



## 5.1.2 Capas Líneas y Estaciones del Metro

Como parte del transporte público, México D.F. cuenta con un sistema de Metro (tren subterráneo metropolitano - metro de ciudad de México.) compuesto por 12 líneas y 195 estaciones. Sólo por el sistema de Metro circulan poco más de 1400 millones de pasajeros al año (2010) siendo de los más transitados del mundo.

El sistema se inauguró el 5 de septiembre de 1969, con la línea 1 y un recorrido comprendido entre la estación Zaragoza a Chapultepec (12.6 km). Solo en el año 2010 registro 1410 millones de pasajeros al año con una frecuencia de 2 a 3 minutos en horas pico y de 10 a 15 el resto de la jornada [28].

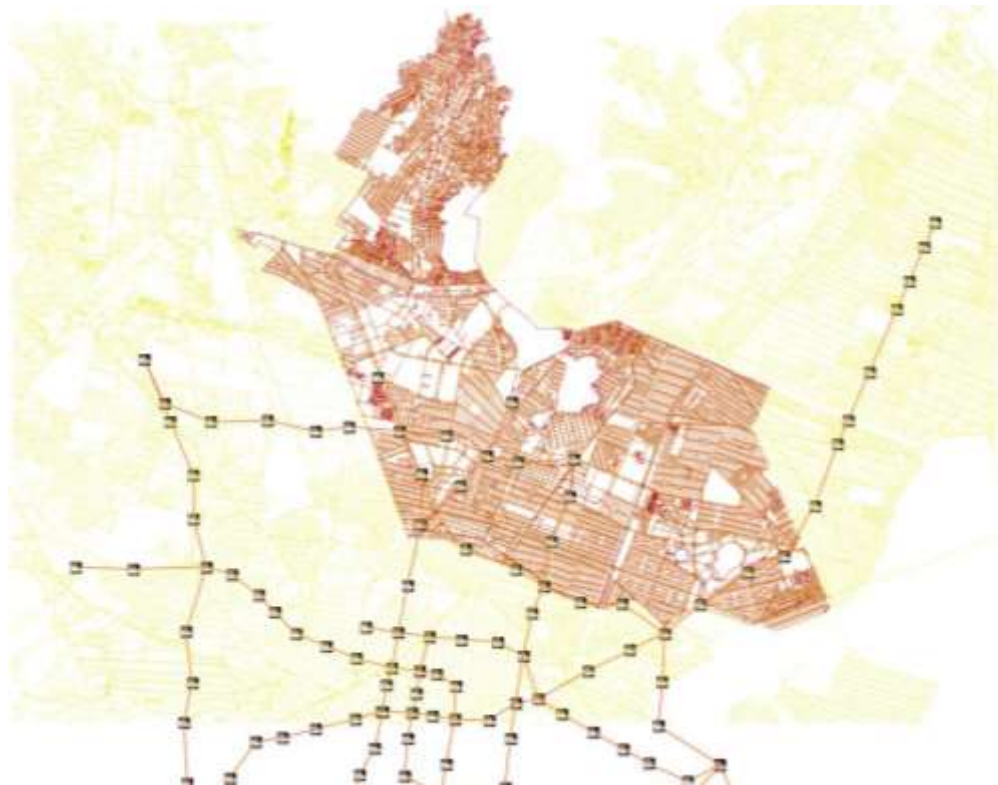


Figura 5. 2 Líneas y Estaciones del metro

## 5.1.3 Capa Plazas y Monumentos

De acuerdo con el INEGI, el Distrito Federal cuenta con 156 museos. Respecto a zonas arqueológicas cuenta con 3: Tlatelolco en la Delegación Cuauhtémoc, el Cerro de la Estrella en la Delegación Iztapalapa y Cuicuilco en la delegación Tlalpan [29].

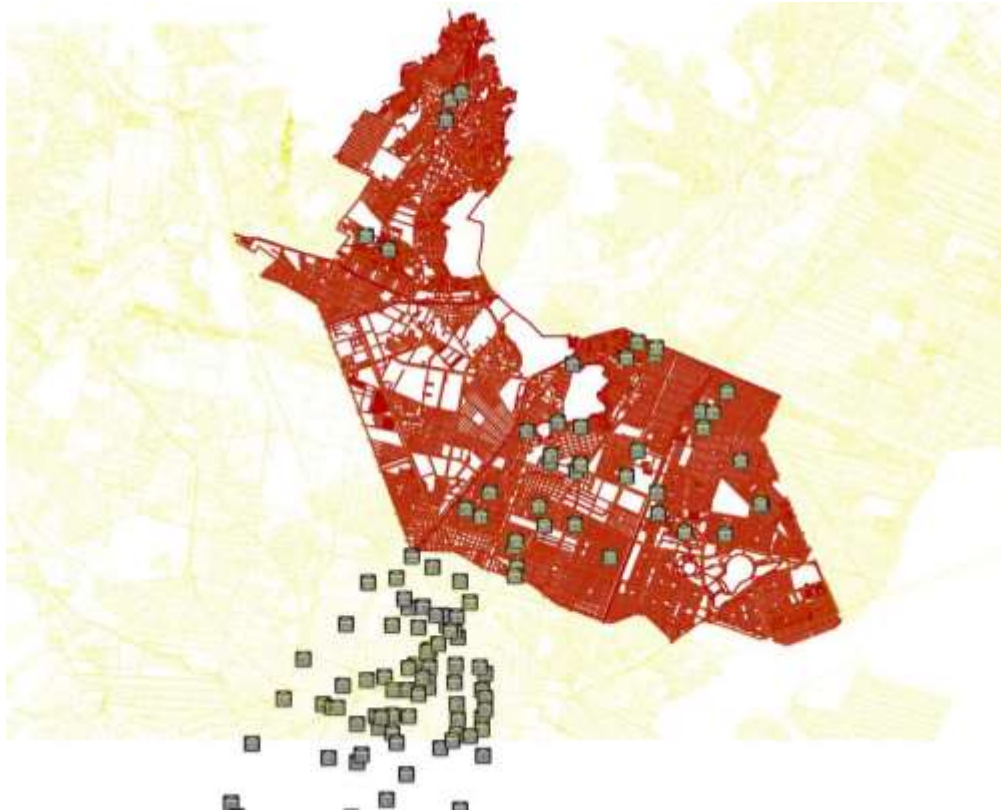


Figura 5. 3 Plazas y monumentos

### 5.1.4 Capa Rutas RTP

Con la finalidad de coadyuvar en la disminución de emisiones de contaminantes y preservar el medio ambiente, el 7 de enero del 2000 se creó la Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal, (RTP) con 860 autobuses distribuidos en 75 rutas, 7 módulos operativos y 3 talleres especializados.

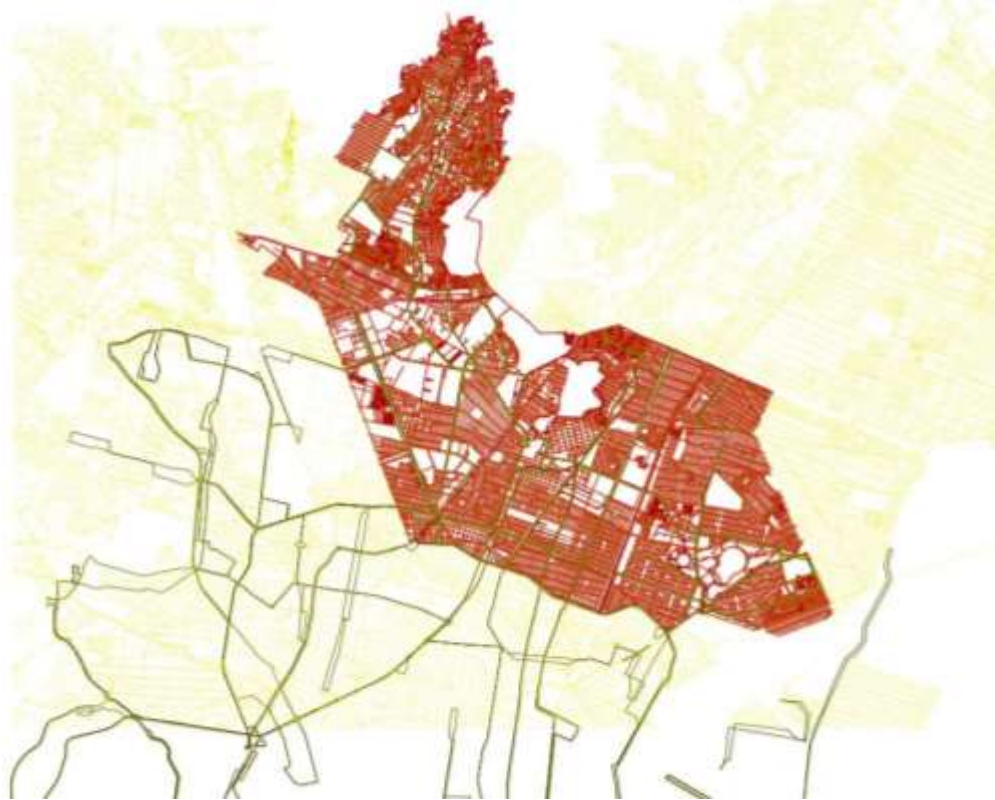


Figura 5. 4 Rutas RTP

### 5.1.5 Capa Rutas Setravi

Los antecedentes de un sistema gubernamental propiamente responsable de la planeación y gestión de los transportes y las vialidades en la capital de la República como lo es la Secretaría de Transportes y Vialidad (Setravi) se ubican entre los años de 1975 y 1976, con la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano (Covitur), organismo público descentralizado encargado de la planeación, proyección y construcción de obras en esta materia.

Esta capa engloba las rutas de transporte de: metrobús, RTP, Sistema de Transporte Colectivo Metro, Tren Ligero y Trolebus.



Figura 5. 5 Rutas Setravi



## 5.1.6 Capa Líneas del trolebús

A partir el año 2001, la Red del Servicio de trolebús en el Distrito Federal cuenta con 8 líneas de Trolebuses en servicio con una longitud de operación de 203.64 Kilómetros, incluye los Corredores Cero Emisiones “Eje Central”, Eje 2 . 2ª sur y el Corredor Cero Emisiones Bus – Bici “Eje 7 – 7A Sur”. La flota vehicular es de 209 trolebuses, los cuales operan a un intervalo de paso promedio de 4.0 minutos, todas dentro del Distrito Federal.

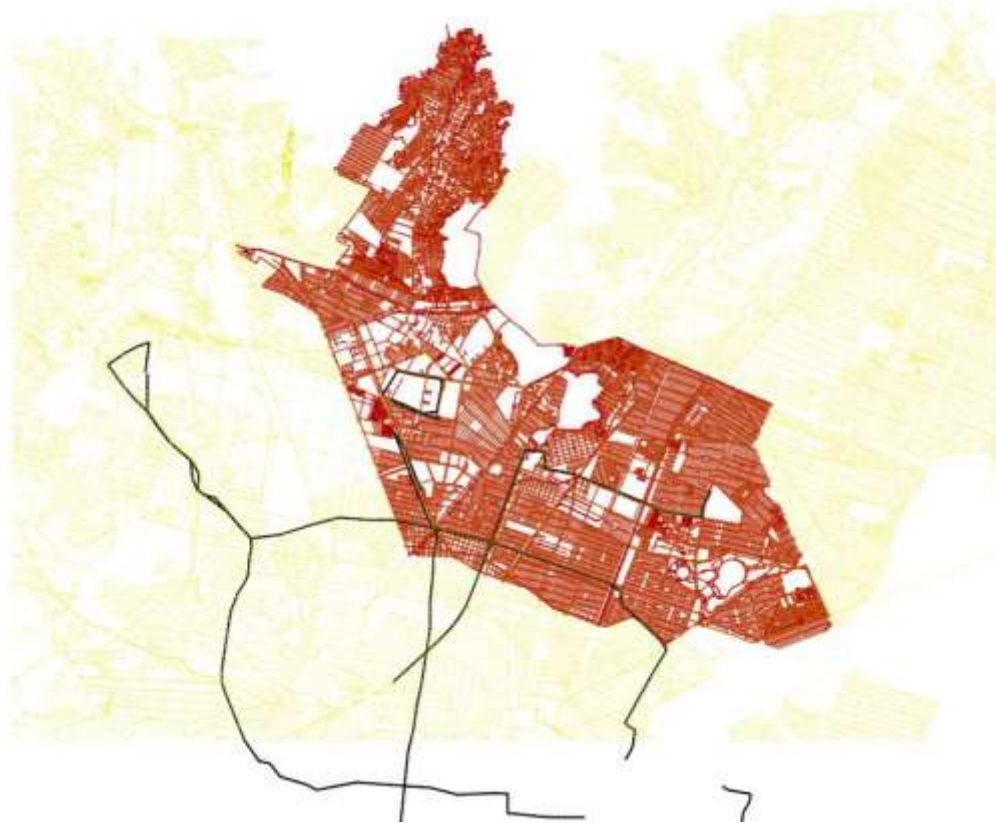


Figura 5. 6 Líneas trolebús

## 5.1.7 Capa Taxis

Esta capa de información presenta los sitios de taxis autorizados en el Distrito Federal de acuerdo a los datos de Setravi.

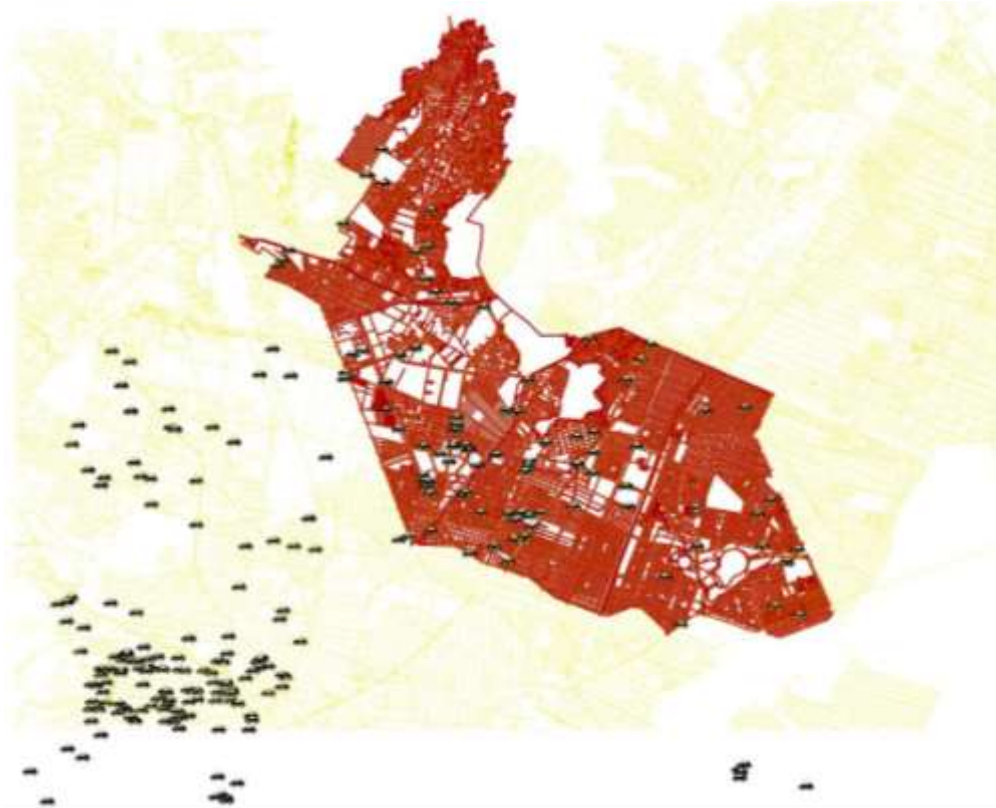


Figura 5. 7 Sitios de taxis oficiales

### 5.1.8 Capa Rejilla 300 y 600 metros

Para llevar a cabo el análisis, es necesario dividir el área de estudio en áreas más pequeñas, que a su vez nos sirvan para tener pequeños territorios de estudio. Para tal efecto, se crearon dos rejillas de estudio, una a 300 metros y otra a 600 metros, las cuales además de dividir el área de estudio, sirven para las técnicas de análisis espacial aplicadas al caso de estudio y que se detallarán más adelante.

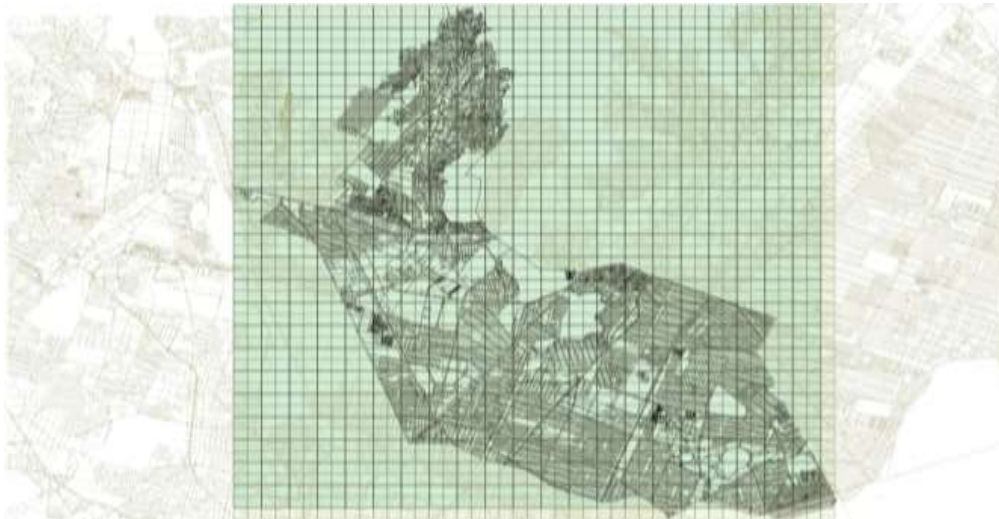


Figura 5. 8 Rejilla 300 metros

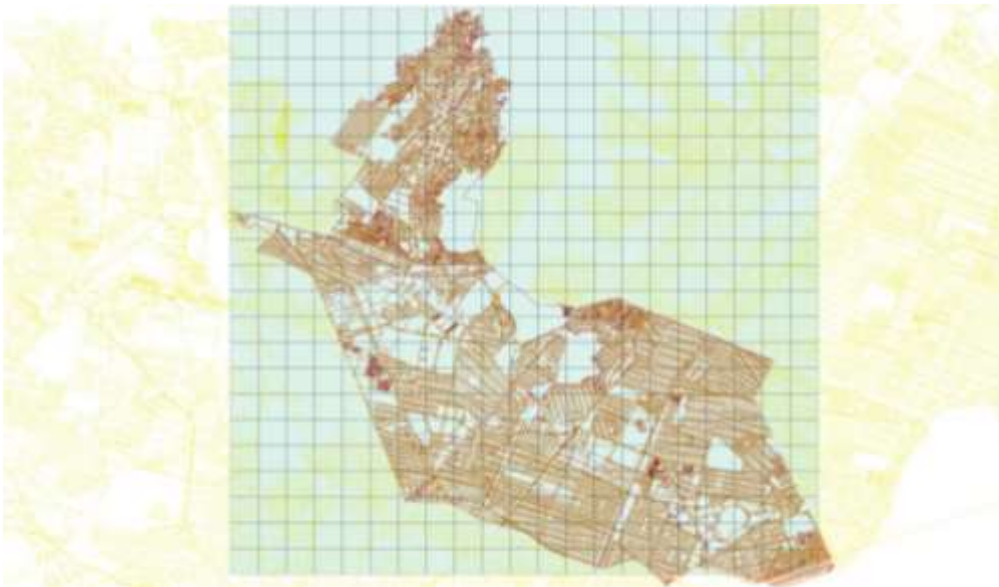


Figura 5. 9 Rejilla 600 metros

## 5.1.9 Capas de datos sensados

Como parte del proceso de obtención de datos, se obtuvieron puntos y trazas sensados a través del sensor GPS del dispositivo móvil. Dichos puntos, después de ser enviados al servidor son ingresados en la *base de datos espacial* administrada por PostgreSQL.

Quantum GIS permite la integración de capas de información a través de conexiones con las bases de datos hechas en PostGIS, resultado de esta operación se tienen las capas de información trazas y puntos.

Cada objeto de la capa trazas tiene como atributos: origen, destino, edad, sexo, tipo de transporte y su identificador único. Por su parte cada objeto de la capa puntos tiene como atributos: fecha, latitud, longitud, ruta y su identificador único.

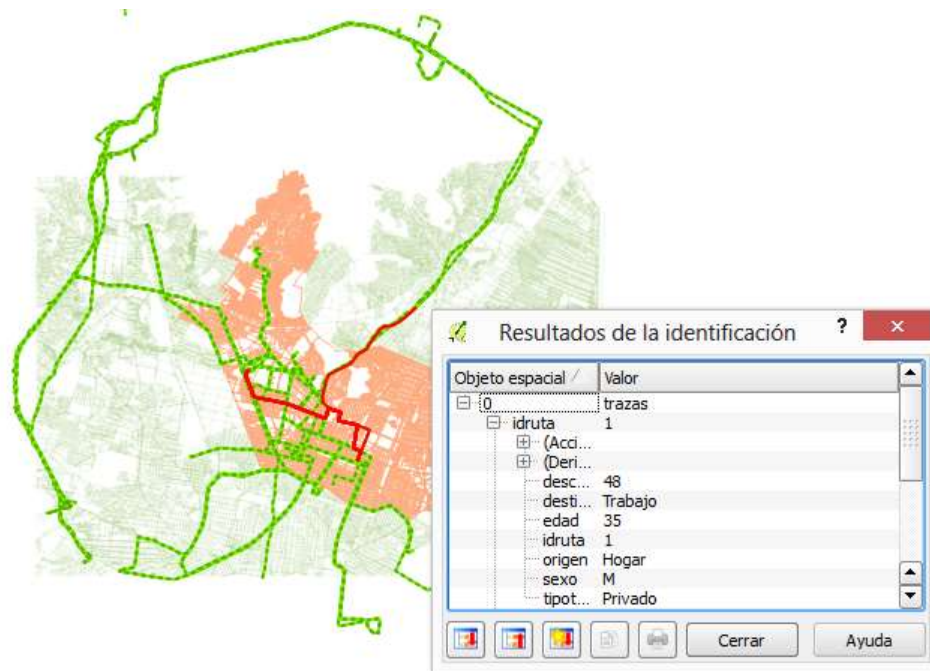


Figura 5. 10 Trazas sensadas





Figura 5. 11 Puntos sensados

## 5.2 Densidad de movilidad basada en puntos

El primer paso es el recorte (*clip*) de la capa de los puntos sensados para obtener así una nueva capa de puntos en dónde sólo estén los que coincidan con el área de estudio. Para este paso se utilizó la herramienta Cortar de QGIS.

Esta herramienta solicita como entrada dos capas, la capa que será recortada y la capa que se utilizará de plantilla para el recorte, por lo que se utilizó la capa de puntos sensados y la capa de rejilla 300 metros respectivamente; como resultado se obtuvo la capa mostrada en la Figura 5.12.

A continuación, se utilizó la herramienta de *Puntos en polígonos*, como entrada se utilizó la capa resultante del paso anterior y la capa de rejilla de 300 metros y en otro ejercicio se utilizó la rejilla de 600 metros, esta herramienta arroja como resultado una capa de polígonos (para cada ejercicio) en la que cada polígono muestra en el atributo  $Px300$  y  $Px600$  cuántos puntos contiene, a esta capa resultante se le llamo frecuencia de puntos cada N metros, donde N es 300 y 600 dependiendo la capa base que se utilizó (Ver Figura 5.13 y 5.14).

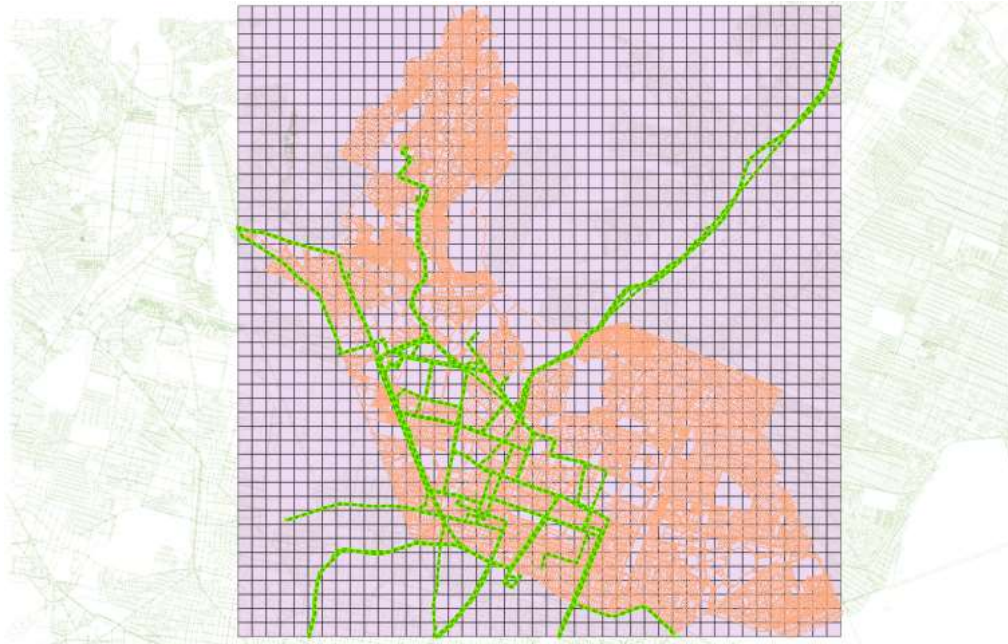


Figura 5. 12 Salida de la operación corte



Figura 5. 13 Frecuencia de puntos cada 300 metros



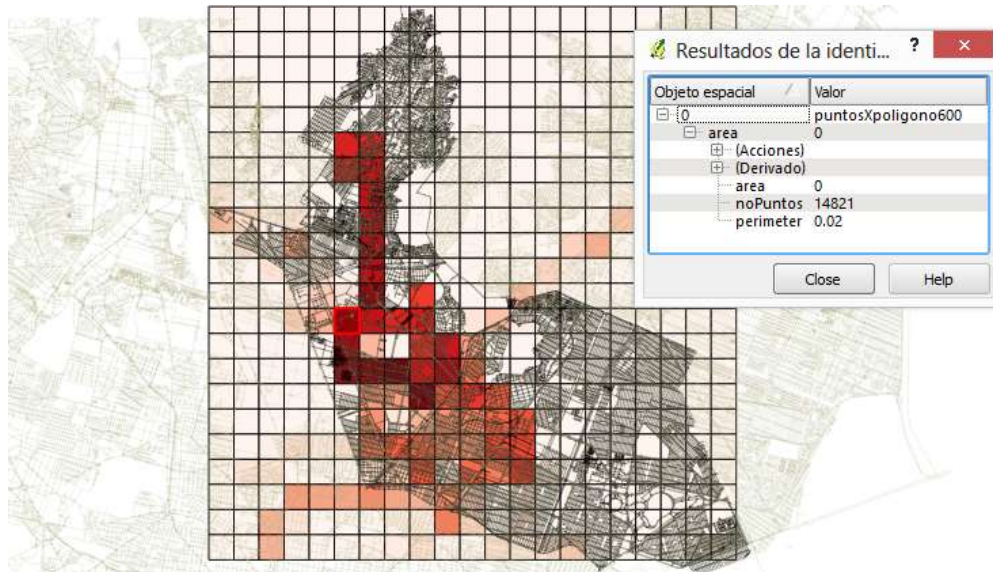


Figura 5. 14 Frecuencia de puntos cada 600 metros

A continuación se obtuvieron los centroides de los polígonos de la capa de frecuencia de puntos, obteniendo una capa de puntos a la que se llamó *centroidesp300* y *centroidesp600*, cada punto tiene en el atributo *Px300* y *Px600* la cantidad de puntos que contiene cada celda de las capas Rejilla 300 y Rejilla 600 respectivamente.

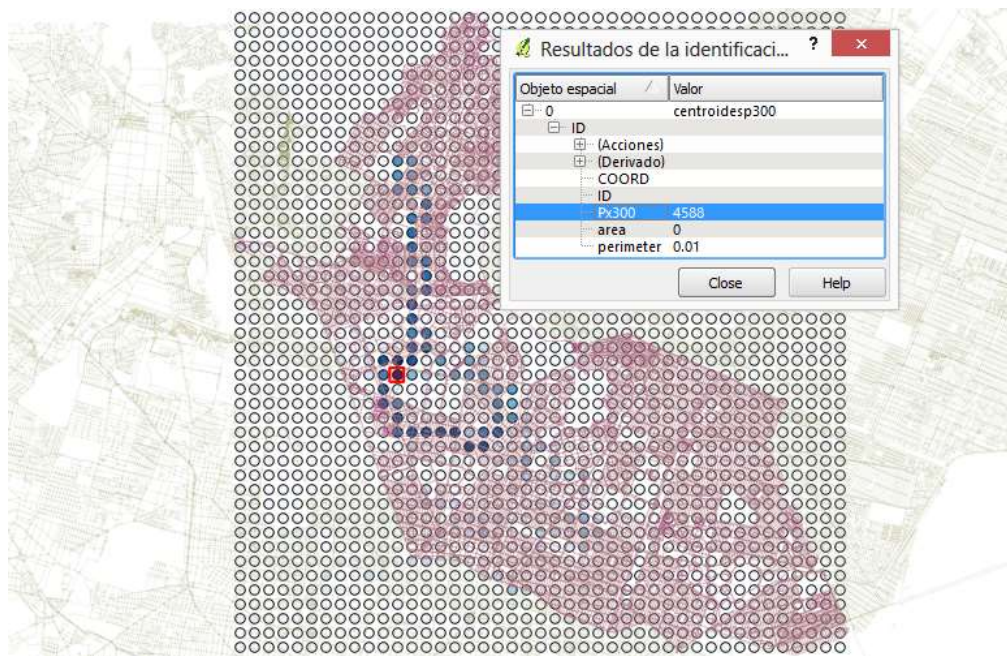


Figura 5. 15 Centroides de polígonos 300 metros

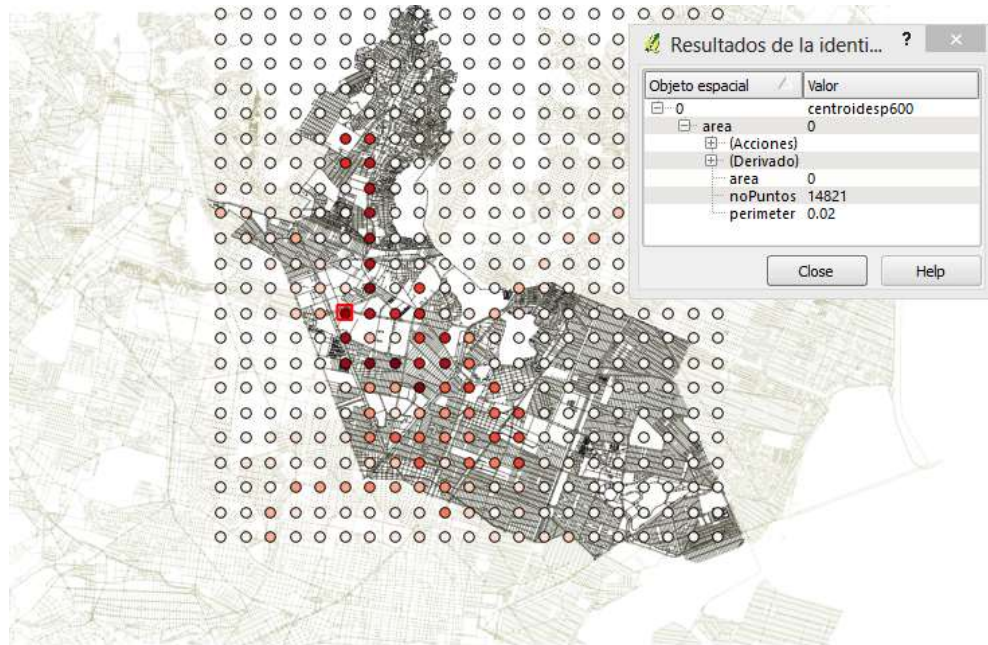


Figura 5. 16 Centroides de polígonos 600 metros

El último paso fue realizar la interpolación, esta operación muestra un mapa con una banda de color que muestra la concentración de puntos sensados. La gama de color va del azul al rojo, siendo el rojo el color que muestra una mayor concentración y el azul el que representa una concentración menor. El mapa resultante a 300 metros se aprecia en la Figura 5.17 y a 600 metros en la Figura 5.19.

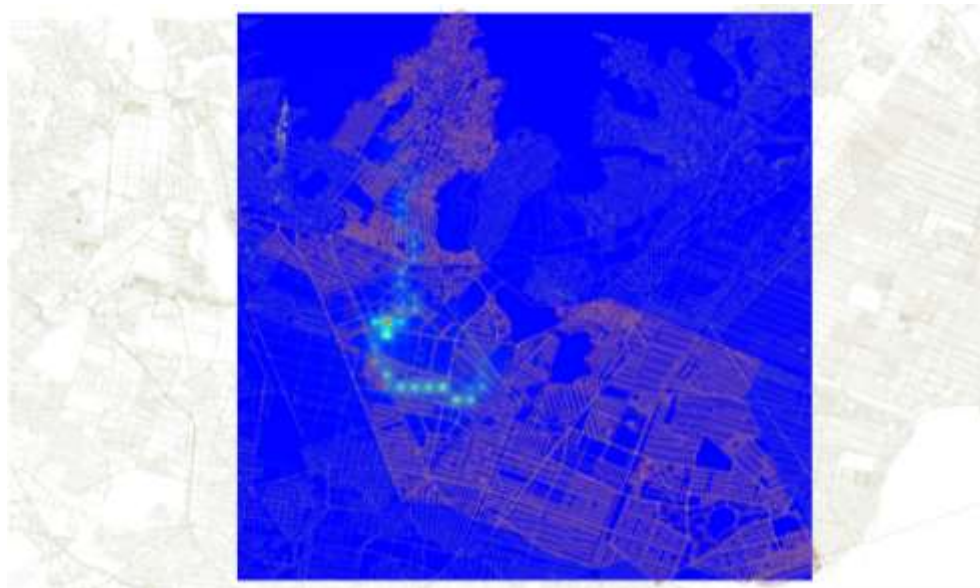


Figura 5. 17 Interpolación a 300 metros (1)



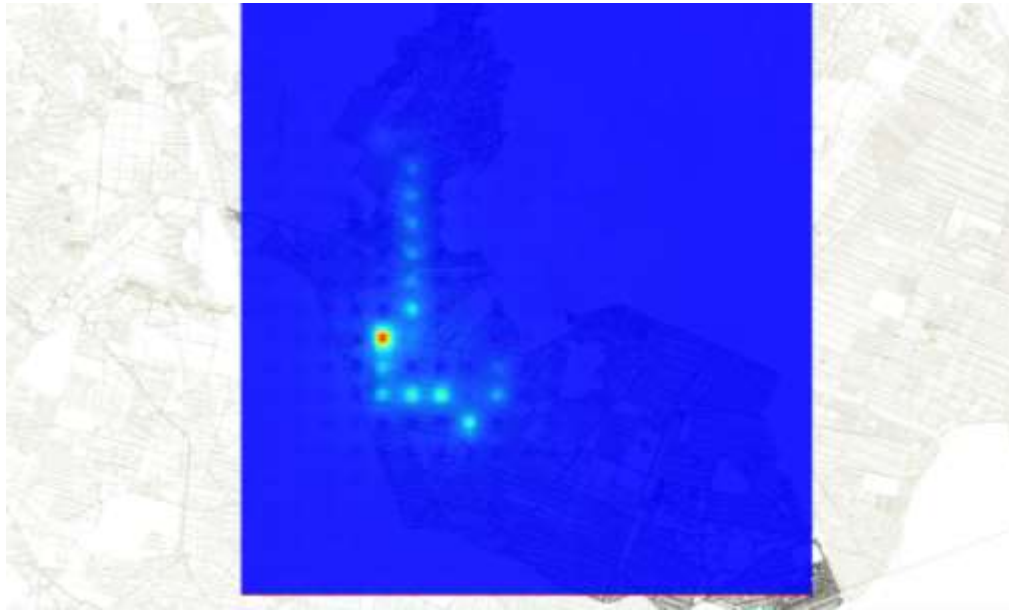


Figura 5. 18 Interpolación a 600 metros (1)

Los mapas resultantes muestran un tono rojo en aquellas zonas de mayor concentración, un tono amarillo para concentraciones más bajas y tonos turquesa para bajas concentraciones. El color azul muestra una nula concentración.

Después de obtener los mapas de interpolación de 300 y 600 metros, se analizaron en conjunto con las capas de la GAM y de distintos medios de transporte, por lo cual se obtuvieron los siguientes datos:

- La mayor concentración de puntos está en la colonia Torres Lindavista y en la colonia Unidad Profesional Zacatenco Lindavista.
- Las calles de mayor tránsito son: Av. Miguel Othón de Mendizabal Oriente, Sucre Sur, Jovellanos, Av. Instituto Politécnico Norte y una calle dentro de la Unidad Profesional Zacatenco Lindavista que no tiene nombre, Oroya, Payta, La loma, Puno, Pernambuco, Natal, Neptuno, Cerrada de Venus, Av. Wilfrido Massieu, Av. Otavalo, Pisco, Av. Otavalo, .
- Las colonias con una concentración media son: Nueva Industrial Vallejo Norte, Unidad Profesional Zacatenco Lindavista, Lindavista, San Bartolo Atepehuacan
- Las calles con un tránsito medio son: Av. Central, Maria Luisa Stampa Ortigoza (Av. El Carrizo), Cerrada Venus, Caracas Sur, Mandujano, Av. Montevideo Eje 5



Norte, Natal, Pisco, Trujillo, Av. Instituto Politécnico Nacional, Chiclayo, Lima, Rio Bamba, Curazao, Corralejo, Lazaro Cardenas Norte Eje Central, Linares, Lindavista.

- Las colonias con una concentración baja son: El arbolillo II, Guadalupe Victoria Cuauhtepic, La Pastora, Siete Maravillas, La Escalera, Vallejo La Patera, Unidad Profesional Zacatenco Lindavista
- Las calles con un tránsito bajo son: Calle 11, Calzada Chalma La Villa, Av. Guadalupe Victoria, Cerrada Puerto Vallarta, Luis Echeverria, Av. Puerto de Mazatlan, 3ra Cerrada de Puerto de Mazatlan, Calle 1, Calle 2, Calle 3, Calle 4, Fraccionamiento México Veracruz, Av. Miguel Bernard, Templo de Diana, Arroyo Ticoman, Lazaro Carenas Norte Eje Central, Diana, Cienfuegos, Cuzco, Chiclayo, Lima, Sierravista, Latacunga, Buenavista, Oruro, Pulacayo,

Una observación sobre este estudio, es que los resultados de la densidad de movilidad están basados en los puntos sensados, sin embargo, una rejilla R1 pudiera tener N puntos pertenecientes a una traza T1, mientras que otra rejilla R2 pudiera tener N-1 puntos pertenecientes a una traza T1 y T2. Esto indica que la densidad basada en puntos puede determinar celdas muy concentradas por la cantidad de puntos, siendo menor el número de trazas en estas.

Para complementar el estudio, se determinó la densidad de movilidad basada en trazas, descrita en la siguiente subsección.

## 5.3 Densidad de movilidad basada en trazas

Puesto que no existe una herramienta en QGIS que nos devuelva el número de líneas que atraviesan un polígono, se utilizó la herramienta de sumar longitud de líneas para obtener un valor cuantificable de la cantidad de trazas por celda en cada rejilla.

Esta operación se realizó para ambas rejillas, pudiéndose observar los resultados para la rejilla de 300 metros en la Figura 5.19 y para la rejilla de 600 metros en la Figura 5.20.

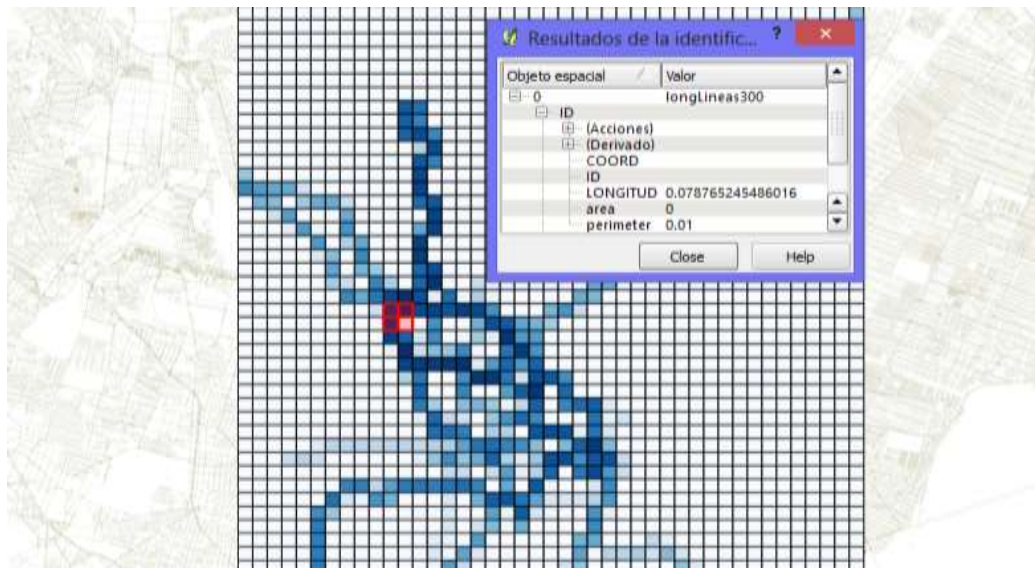


Figura 5. 19 Longitud de líneas rejilla 300

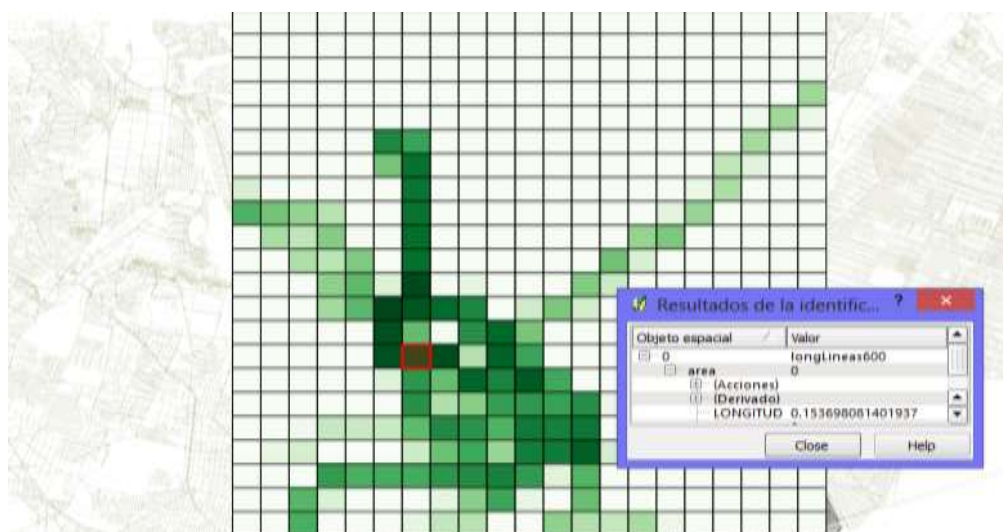


Figura 5. 20 Longitud de Líneas rejilla 600

Para poder llevar a cabo la interpolación de estos datos, se requirió la obtención de los centroides de la capa de la Longitud de Líneas. En la Figura 5.21 se observan los centroides para la capa de Longitud de Líneas rejilla 300 y en la Figura 5.22 se observan los centroides para la capa de Longitud de Líneas rejilla 600.

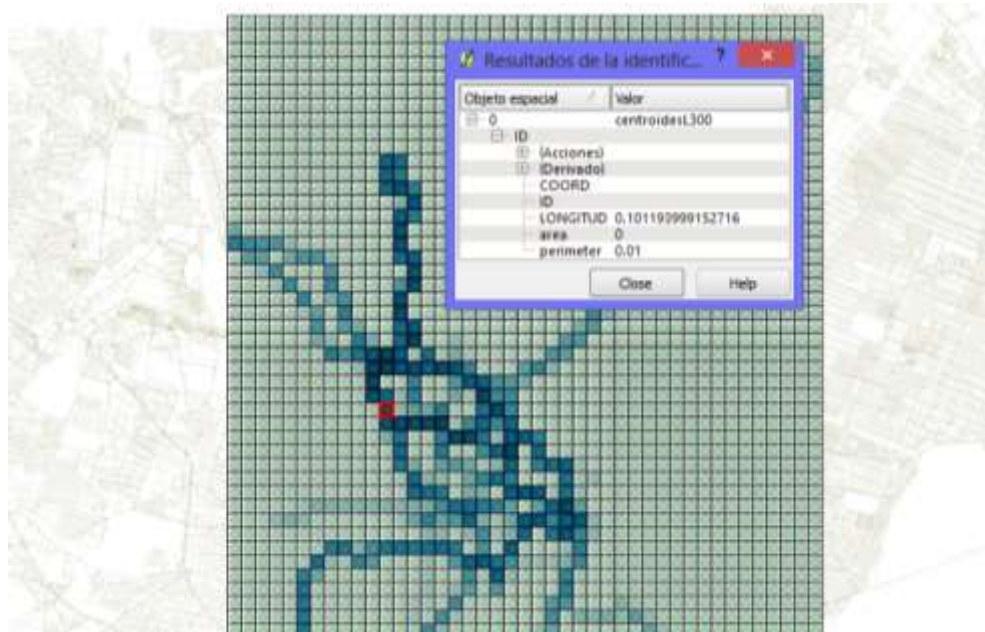


Figura 5. 21 Centroides longitud de líneas rejilla 300

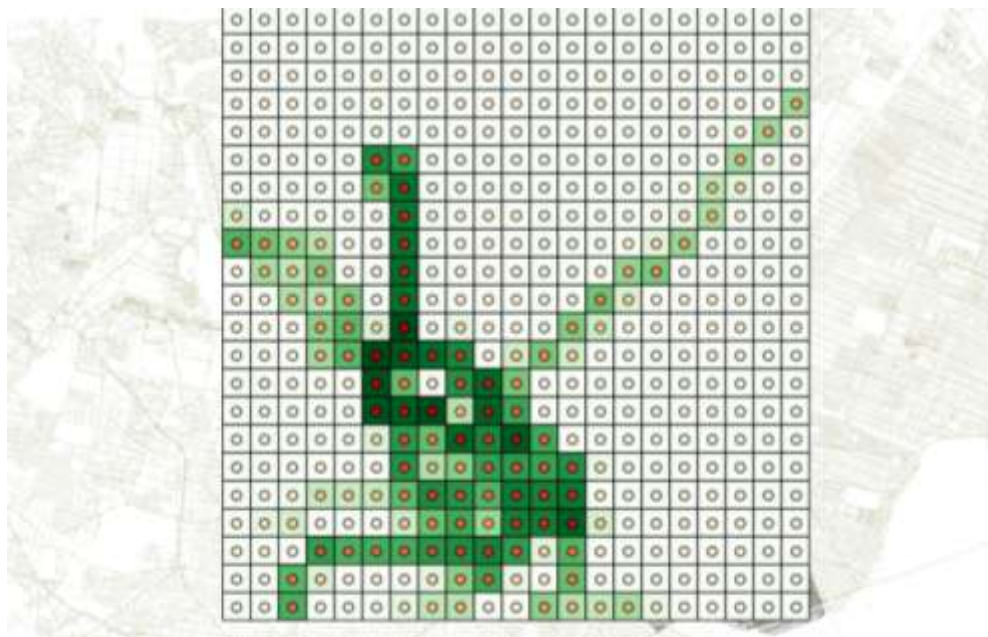


Figura 5. 22 Centroides longitud de líneas rejilla 600



Una vez obtenidas las capas anteriores se procedió a realizar la interpolación de los centroides, obteniendo el mapa de densidad de la Figura 5.23 para el caso de 300 metros y el mapa de densidad de la Figura 5.24 para el caso de 600 metros.

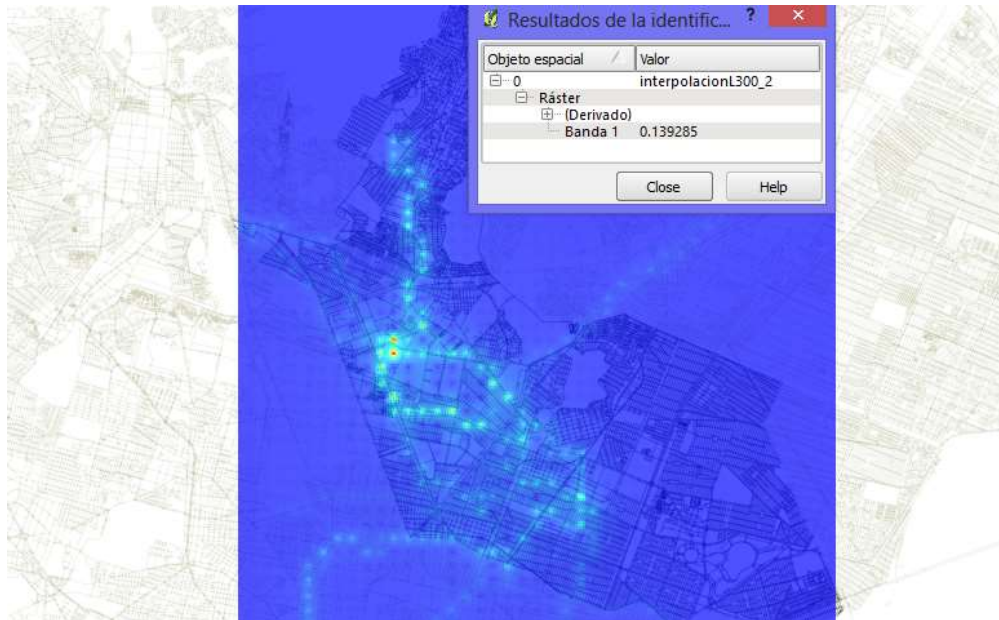


Figura 5. 23 Densidad de movilidad basada en trazas a 300 metros

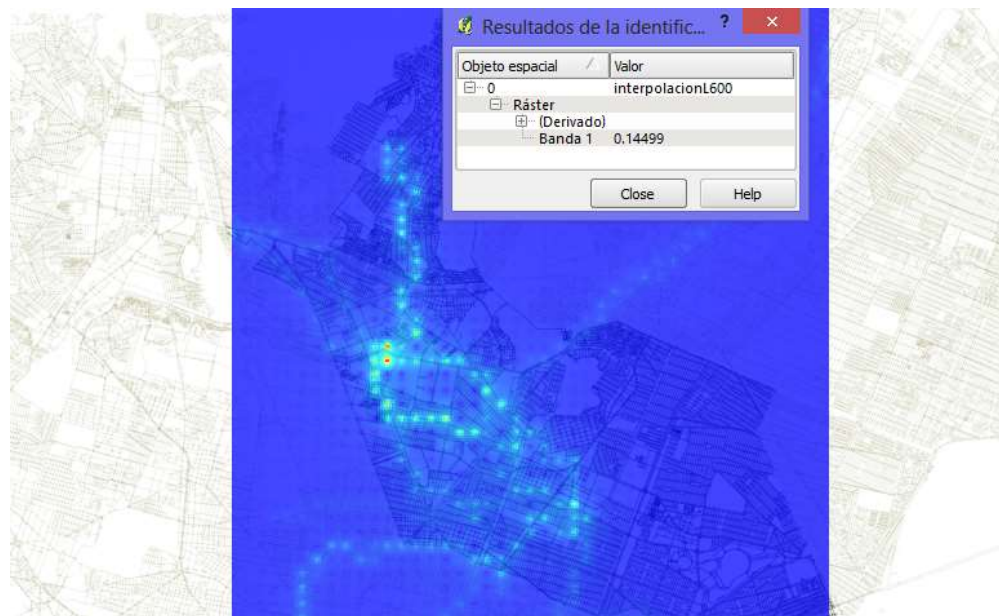


Figura 5. 24 Densidad de movilidad basada en trazas a 600 metros



Después de realizar el análisis de las calles que empatan con las zonas de mayor densidad, se comprobaron los resultados de la sección 5.2. por lo cual no se repiten en esta sección.

### 5.4 Caracterización de movilidad por sitios de interés

En las siguientes subsecciones se presentan los resultados del análisis de movilidad por sitios de interés, se tomaron en cuenta las estaciones del metro, estaciones del metrobús, sitios de taxis y la capa de plazas y monumentos.

Este estudio puede tener diversas aplicaciones por ejemplo, encontrar dentro del radio de accesibilidad las trazas que han visitado los sitios e identificar grupos de la población, horarios, etc.

### 5.4.1 Caracterización de movilidad en el Sistema Colectivo Metro

Se inició con el recorte y *buffer* a la capa de las estaciones del metro, el recorte fue con base en la capa de la rejilla a 300 metros mientras que el *buffer* fue a una distancia de 30 metros. La capa resultante se aprecia en la Figura 5.25.

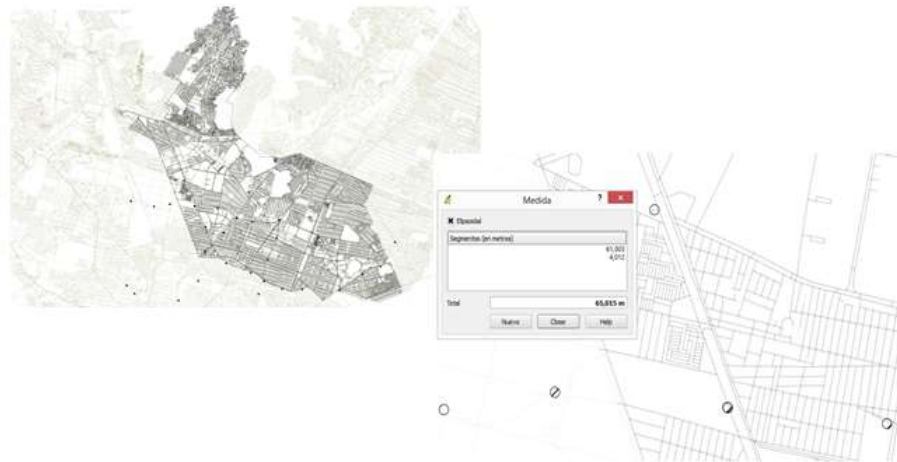


Figura 5. 25 *Buffer* a la capa Estaciones del Metro

A continuación, se realizó una consulta espacial para identificar las estaciones del Metro que tuvieron concurrencia con las trazas sensadas, el resultado de la consulta indicó que algunas de estas pasaron por al menos una de las siguientes estaciones del Sistema Colectivo Metro: Indios Verdes, Martín Carrera, Talismán, Politécnico, Instituto del Petróleo, Autobuses del Norte, Eduardo Molina, Aragón y Martín Carrera. La consulta y su resultado se aprecian en la Figura 5.26.

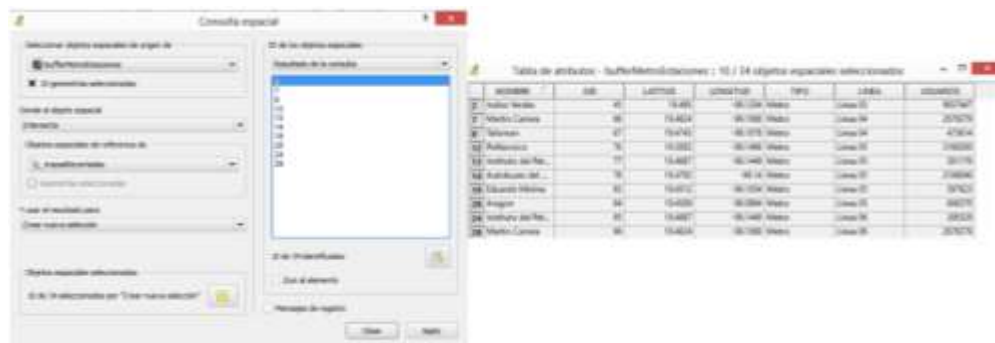


Figura 5. 26 Consulta *buffer* Estaciones Metro interseca trazas

La siguiente consulta espacial (Ver Figura 5.27), nos devuelve las trazas que cruzaron al menos una de las estaciones del metro devueltas en la consulta anterior, el resultado de la consulta indica que 16 trazas cruzaron por alguna estación del metro. Sin embargo, al observar las trazas resultantes, se observa que el tipo de transporte usado en 14 de las 16 trazas devueltas fue Privado, lo que implica que como tal, no se hizo uso del Sistema Colectivo Metro.

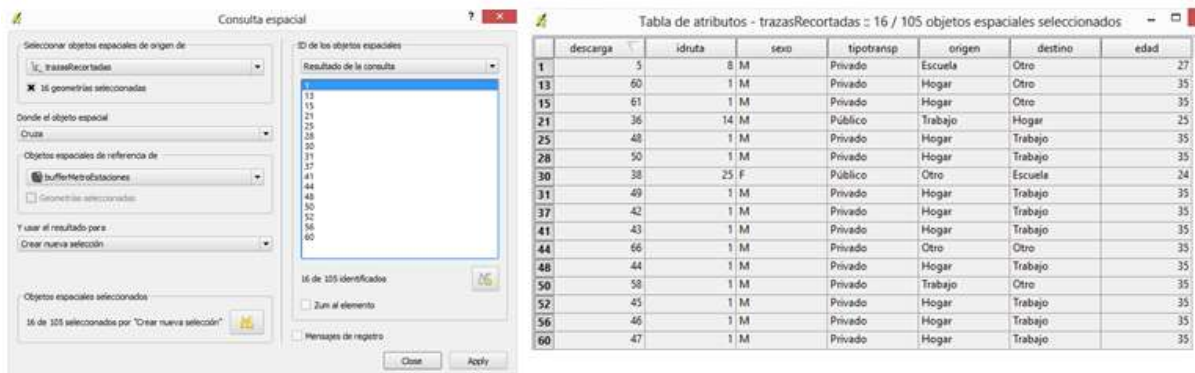


Figura 5. 27 Consulta espacial trazas cruzan *buffer* Estaciones Metro

## 5.4.2 Caracterización de movilidad en el Metrobus

Siguiendo el procedimiento anterior, el resultado del *buffer* a la capa de las estaciones del Metrobus es el mostrado en la Figura 5.28.

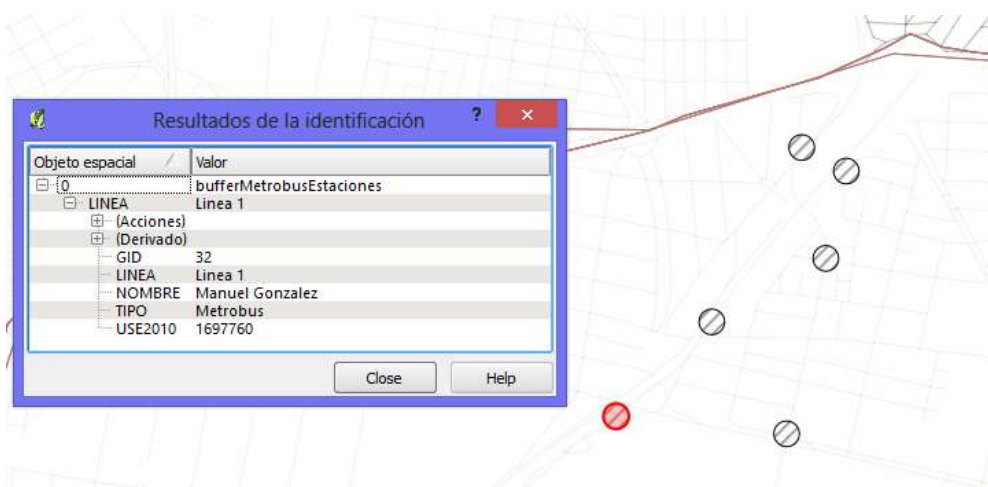


Figura 5. 28 *Buffer* Estaciones Metrobus





## 5.4.3 Caracterización de movilidad en Sitios de Taxis

El resultado del *buffer* a 30 metros para los sitios de taxis se aprecia en la Figura 5.31

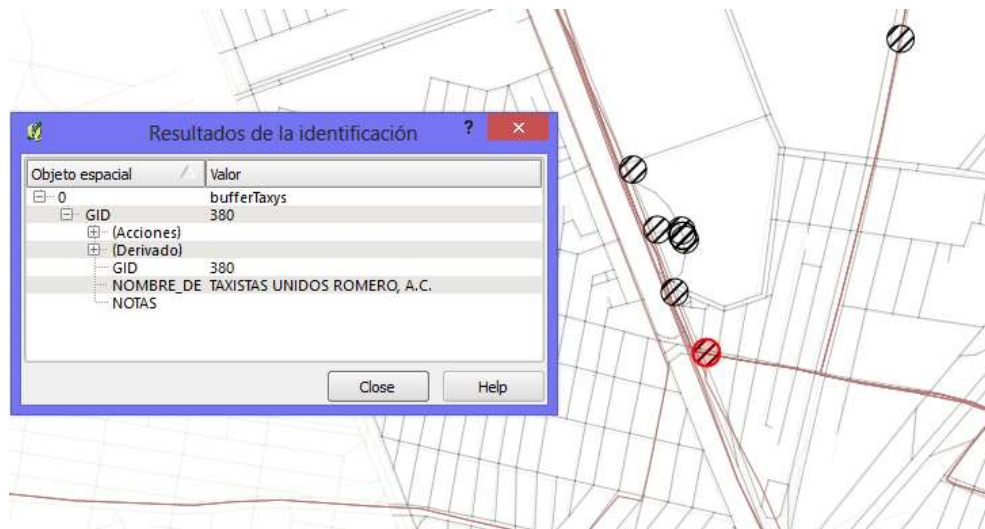


Figura 5. 31 Buffer sitios de taxis

El objetivo de la consulta de la Figura 5.32 es obtener aquellos sitios de taxis que hayan sido intersectados por alguna traza. El resultado arroja que 35 de los 740 sitios de taxis fueron intersectados al menos por una traza.

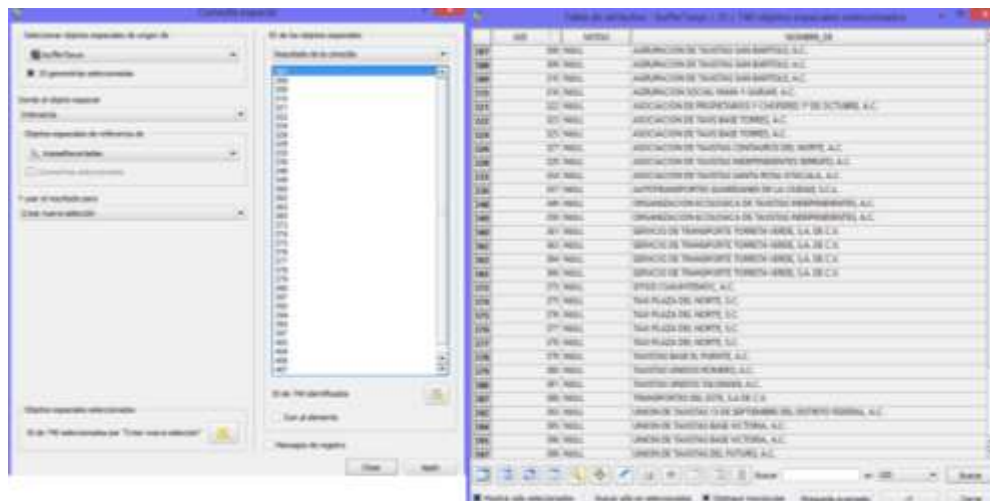


Figura 5. 32 Buffer sitios taxis intersecta trazas

La siguiente consulta (Ver Figura 5.33) obtiene aquellas trazas que cruzaron el radio de los sitios de taxis, obteniendo como resultado que 84 trazas pasaron por el radio de al menos un sitio de taxis.

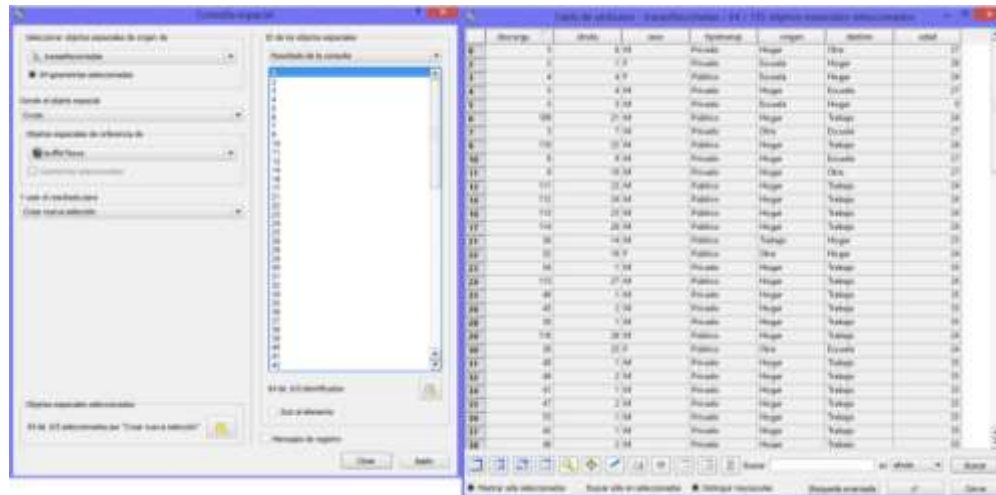


Figura 5. 33 Trazas cruzan buffer taxis

### 5.4.4 Caracterización de movilidad en Plazas y Monumentos

El resultado de la herramienta buffer a 30 metros aplicada a la capa de Plazas y Monumentos se aprecia en la Figura 5.34.

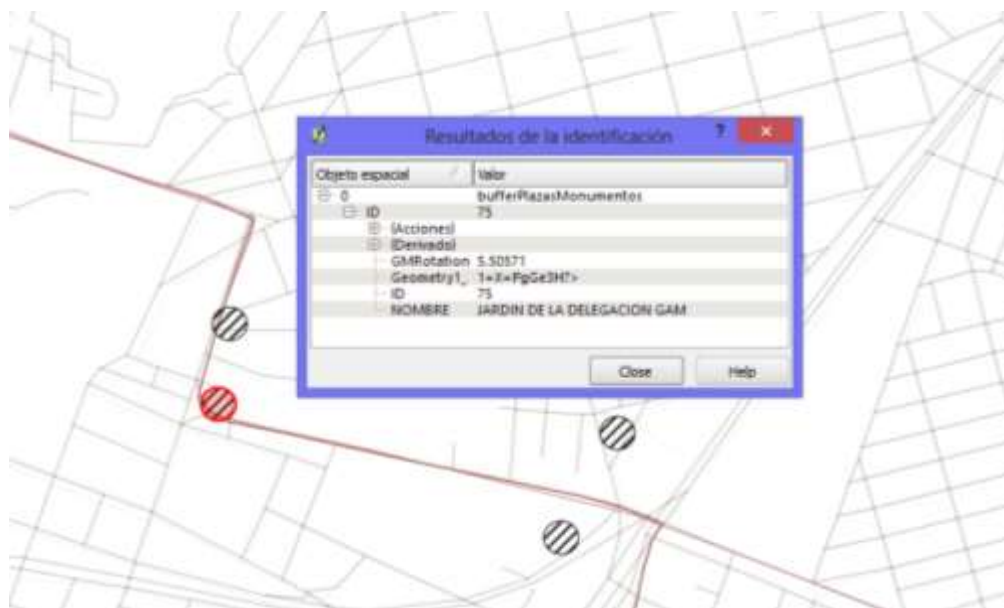


Figura 5. 34 Buffer Plazas y Monumentos



La primera consulta espacial se realizó para encontrar aquellos monumentos o plazas que hayan sido “visitados” por alguna traza. El resultado de la consulta arroja que 7 objetos de la capa Buffer Plazas y Monumentos fueron intersectados por al menos una traza (Ver Figura 5.35).

Los objetos arrojados por la consulta son: El obelisco, Jardín Jaime Nuno, Jardín de la Delegación GAM, Glorieta Cluitlahuac, De los Evangelizadores y Cancha de Fútbol rápido.

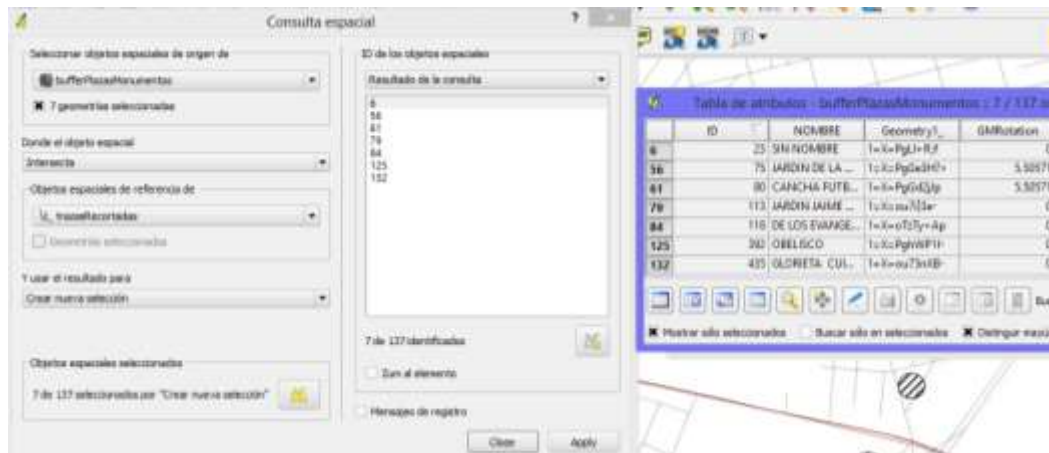


Figura 5. 35 Buffer Plazas y Monumentos intersecta Trazas

La segunda consulta espacial se realizó con la finalidad de encontrar aquellas rutas que “visitaron” al menos una plaza o monumento. Los resultados de la consulta se aprecian en la Figura 5.36. El resultado indica que 28 trazas cruzaron al menos una plaza o monumento.

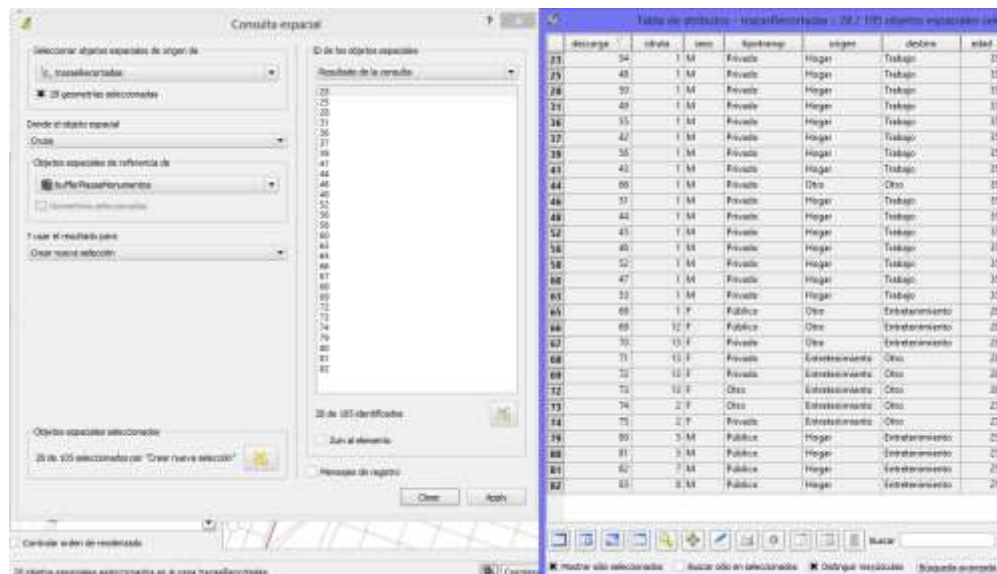


Figura 5. 36 Trazas cruzan Buffer Plazas y Monumentos





## 5.5 Análisis estadístico

En esta sección se presenta el análisis que se realizó al conjunto de trazas y puntos recolectados en la etapa de adquisición.

Estos datos permiten obtener información de valor para la toma de decisiones, por ejemplo, al encontrar rangos de edades o géneros que pudieran requerir de servicios especiales de transporte o mayor seguridad.

En las siguientes subsecciones se mostrará la frecuencia absoluta simple de cada variable que ha sido estudiada. Para el análisis estadístico se tomó el total de las trazas recolectadas (144), y las características descriptivas de las trazas para así, obtener los siguientes resultados:

### 5.5.1 Género

De las muestras recolectadas, se tuvo una participación de 126 trazas sensadas por hombres y 18 por mujeres, lo cual indica que se tuvo una participación del 87 por ciento de usuarios hombres, contra un 13 por ciento de usuarios mujeres (Ver Figura 5.37).

Género	Frecuencia absoluta simple
Hombres	126
Mujeres	18
$\Sigma=$	144



Figura 5. 37 Estadística por género



## 5.5.2 Tipo de Transporte

En el tipo de transporte se consideraron tres opciones: Público, Privado y Otro, en el estudio se recolectaron 43 muestras de transporte público, 87 de privado y 14 de otro, dando una distribución porcentual del 10%, 60% y 30% respectivamente (Ver Figura 5.38).

Tipo de Transporte	Frecuencia absoluta simple
Público	43
Privado	87
Otro	14
$\Sigma$	144

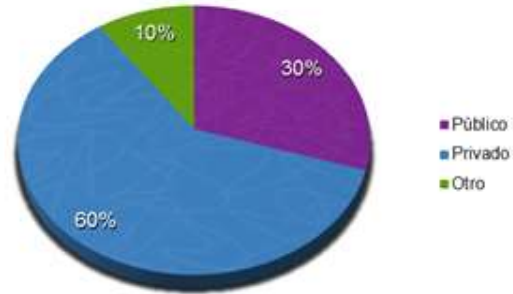


Figura 5. 38 Estadística por tipo de transporte

## 5.5.3 Origen

Los orígenes se clasificaron en cinco opciones: Escuela, Hogar, Trabajo, Entretenimiento y Otro, obteniéndose una distribución porcentual del 10%, 55%, 12%, 15% y 8% respectivamente. (Ver gráfica 5.39)

Orígenes	Frecuencia absoluta simple
Entretenimiento	21
Escuela	15
Hogar	79
Trabajo	17
Otro	12
$\Sigma$	144

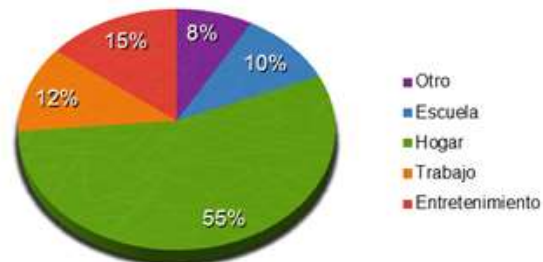


Figura 5. 39 Estadística por origen

## 5.5.4 Destino

Los destinos se clasificaron en cinco opciones: Escuela, Hogar, Trabajo, Entretenimiento y Otro, obteniéndose una distribución porcentual del 17%, 15%, 40%, 15% y 13% respectivamente. (Ver Gráfica 5.40)

Destinos	Frecuencia absoluta simple
Entretenimiento	22
Escuela	25
Hogar	22
Trabajo	57
Otro	18
$\Sigma$	144

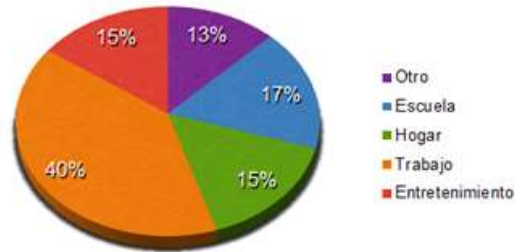


Figura 5. 40 Estadística por destino

## 5.5.5 Edad

Para las edades se crearon 4 grupos, distinguiéndose para el caso de estudio, una participación de la población menor a 10 años del 3%, población mayor a 65 años del 1%, población que se rehusó a proporcionar su edad del 3%, mientras que el 94% de la población proporciono su edad (Ver Figura 5.41).

	Edad	Frecuencia absoluta simple
Población menor a 10 años	$e < 10$	4
Población mayor a 65 años	$e \geq 65$	1
Población que no proporciona edad	$e = 0$	4
En cualquier otro caso, conserva su valor	$e = x$	135
$\Sigma$		144

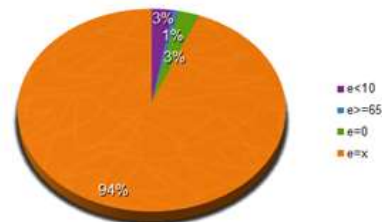


Figura 5. 41 Estadística por edad



## 5.5.6 Horario

Dado que es una aplicación móvil, el sensado se puede realizar a cualquier hora del día, por lo tanto, es de importancia notar a qué hora del día se registró mayor actividad de sensado. Cabe destacar que la hora de sensado es equivalente a la hora en la que registró la posición del usuario y no se refiere a la hora en la que se ingresaron los datos a la *base de datos espacial* central.

Realizando las consultas correspondientes a la base de datos espacial, se obtuvieron los resultados mostrados en la Figura 5.42. En esta se aprecia en el eje x las horas en las que se detectó actividad de sensado en formato de 24 horas; en el eje y se grafica el número de puntos que fueron sensados en esa hora.

Los resultados indican que la hora de mayor sensado fue a las 6:00 horas y fue descendiendo hasta las 8:00 am. Después se tiene un incremento en el sensado a las 16:00 horas, descendiendo drásticamente a las 17:00 horas. Finalmente hay un sensado constante de 18:00 horas a 21:00 horas.

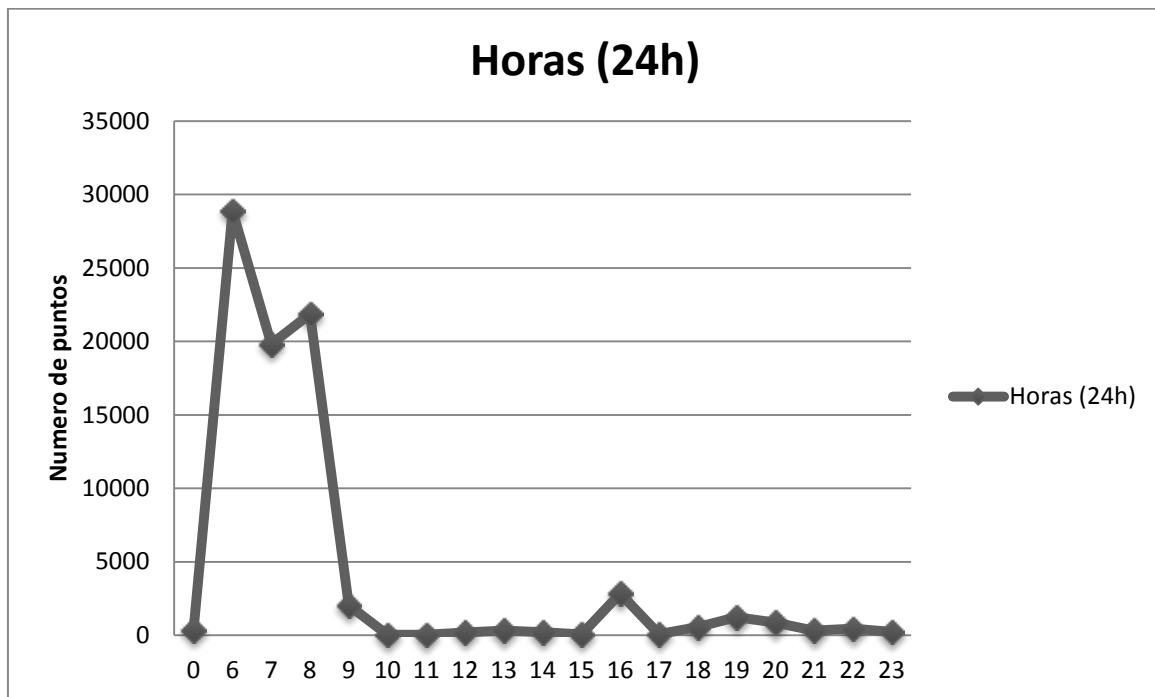


Figura 5. 42 Estadística por horario



### 5.5.7 Fecha

El experimento para el caso de estudio se llevó a cabo del 29 de septiembre al 26 de octubre del año en curso. La Figura 5.43 muestra cuantas trazas por día se recolectaron.

Los días de mayor sensado fueron el 7 de octubre con 13 trazas, el 11 de octubre con 12 trazas, el 4 de octubre con 11 trazas y el 8 de octubre con 10 trazas. Los días de menor sensado fueron el 12, 21, 24 y 26 de octubre con una sola traza recolectada.

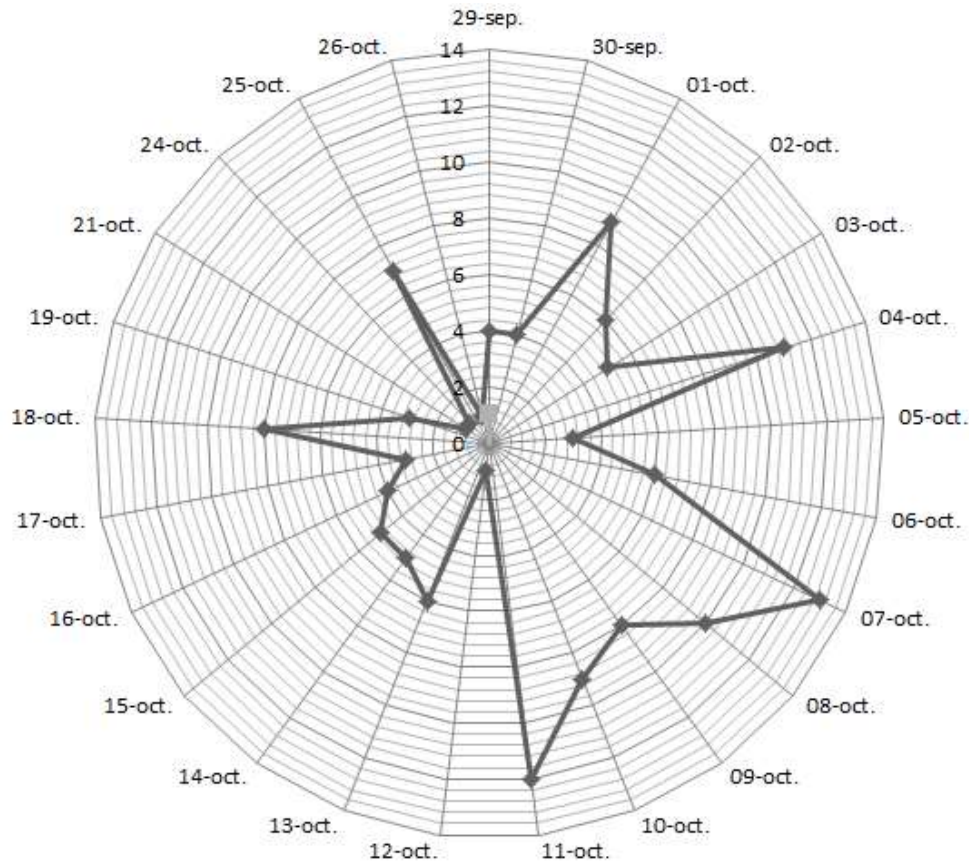


Figura 5. 43 Estadísticas por fecha



## 6. Conclusiones

En este capítulo se presentan las conclusiones que se alcanzaron en este trabajo y se presenta además la propuesta de investigación futura.

### 6.1 Conclusiones

---

Esta metodología propone un método más económico que los tradicionalmente usados para el análisis de movilidad en ambientes urbanos, ya que disminuye el costo de la obtención de los datos, es un método rápido y eficiente para estructurar y analizar la movilidad en ciudades.

Lo cual fue comprobado por la implementación del prototipo, en donde los periodos de obtención de datos pueden reducirse o bien mantenerse un sensado constante sin que esto implique mayor inversión en recursos.

Con el uso de las tecnologías móviles, se demostró que se pueden utilizar los dispositivos que cada vez más personas están adquiriendo, trayendo como ventaja que no hay inversión en la implementación de equipo dedicado y no se descarta ningún tipo de transporte, es decir, esta metodología adquiere información sin importar el medio de transporte utilizado. Además, que este tipo de enfoques promueven la participación activa de ciudadanos para cooperar en la resolución de problemas de forma voluntaria. Sin embargo, resultó complicado encontrar usuarios que colaboraran de forma consistente en la recopilación de datos, por lo que tuvieron que utilizarse algunos datos sintéticos.

Se realizó el experimento y se demostró que la metodología funciona, al obtener datos de valor como: sitios concurridos, densidad de movilidad, medios de transporte más utilizados, estadísticas de participación por género, edad, tipos de transporte, motivo del traslado, entre otros.



### 6.2 Limitaciones

---

- Para este trabajo sólo se consideraron algunas variables para las trazas y los puntos, sin embargo se pueden obtener otras mediante formularios o cálculos a partir de otras variables.
- Las personas no suelen instalar aplicaciones en sus dispositivos, si estas no ofrecen una utilidad de valor para ellos.
- El sistema operativo en el que se implanto el prototipo, detiene la aplicación si otra aplicación entra en primer plano.

### 6.3 Trabajo futuro

---

- Implementar dispositivos que permitan sensor en lugares cerrados
- Desarrollar un método para motivar a los ciudadanos a colaborar en este tipo de proyectos
- Implementar la aplicación para que funcione en segundo plano de manera ininterrumpida por otras aplicaciones.
- Desarrollar el prototipo de tal forma que brinde información de valor para el usuario, volviendo más atractiva la aplicación móvil e incrementando el interés de los usuarios en utilizarla.
- Desarrollar aplicaciones móviles para otros sistemas operativos como iOS.
- Agregar a la aplicación, la funcionalidad de visualización de todas las trazas almacenadas en el dispositivo móvil y no sólo la de la traza actual.
- Agregar capas temáticas adicionales que permitan valorar otras variables y enriquecer el análisis
- Implantación del mecanismo que permita el inicio del proceso de sensado por parte del servidor, sin la necesidad explícita de que el usuario del dispositivo móvil inicie dicho proceso.





## Referencias

- 1] Y. Sekimoto, R. Shibasaki, H. Kanasugi, T. Usui y Y. Shimazaki, «People Flow Recycling Large-Scale Social Survey Data,» *IEEE Pervasive Computing*, pp. 27-33, Octubre-Diciembre 2011.
- 2] J. M. C. Izquierdo, «Scripta Nova,» 15 Septiembre 2008. [En línea]. Available: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-273.htm>. [Último acceso: 25 Agosto 2012].
- 3] «COFETEL,» [En línea]. Available: <http://siemt.cft.gob.mx/SIEM/>. [Último acceso: 18 Febrero 2012].
- 4] M. Hannan, M. A.M, B. H. y H. A, «Intelligent Campus Bus Identification and Monitoring System,» *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2010.
- 5] W. S. Y. Liu, «Real-time urban traffic monitoring with global positioning system-equipped vehicles,» *IET Intelligent Transport System*, vol. 4, nº 2, pp. 113-120.
- 6] C. E. Cortés, J. Gibson, A. Gschwender, M. Munizaga y M. Zúiga, «Commercial bus speed diagnosis based on GPS-monitored data,» *Transportation Research*, pp. 695-707, 2011.
- 7] R. A. Becker, R. Cáceres, K. Hanson, J. M. Loh, S. Urbanek, A. Varshavsky y C. Volinsky, «A Tale of One City: Using Cellular Network Data for Urban Planning,» *IEEE Pervasive Computing*, pp. 18-26, Octubre-Diciembre 2011.
- 8] F. Calebrese y G. Di Lorenzo, «Estimating Origin-Destination Flows Using Mobile Phone Location Data,» *IEEE Pervasive Computing*, pp. 36-44, Octubre-Diciembre 2011.
- 9] J. D. Carswell, K. Gardiner y J. Yin, «Mobile Visibility Querying for LBS,» *Transactions in GIS*, pp. 791-809, 2010.
- 10] U. Lee, B. Zhou y G. Mario, «MobEyes: Smart Mobs for Urban Monitoring with a vehicular sensor network,» *IEEE Wireless Communications*, Octubre 2006.
- 11] Y. Sekimoto, R. Shibasaki y T. Usui, «PFlow: Reconstructing People Flow Recycling Large-Scale Social Survey Data,» *IEEE Pervasive Computing*, pp. 27-35, 2011.
- 12] J. Van Lint, A. Van Binsbergen y A. Bigazzi, «Advanced traffict monitoring for sustainable traffict management: experiences and results of five years of collaborative research in The Netherlands,» *IET Intelligent Transport System*, vol. 4, nº 2, pp. 387-400.
- 13] A. N. R. d. Silva y M. d. S. Costa, «Multiple views of sustainable urban mobility: The case of Brazil,» *Transport Poolicy*, pp. 350-360, 2008.
- 14] G. O. d. D. Federal, «Programa integral de transporte y vialidad 2007-2012,» México, D.F, 2010.
- 15] C. d. I. e. Computación, «Sistema de Información Geográfica para el Análisis de la Infraestructura del Transporte de la Ciudad de México,» México, D.F, 2012.
- 16] R. Camagni, M. C. Gibelli y P. Rogamonti, «Urban mobility and urban form: the social and environmental cost of diferente patterns of urban expansion,» *Ecological Economics*, pp. 199-216, 2002.



- M. W. Wilson, «Location-based service, conspicuous mobility, and the location-aware future,» *Geoforum*, pp. 1266-1275, 2012.
- H.-M. Zimmermann, I. Gruber y C. Roman, «A voronoi-based mobility model for urban environments».
- M. Behrisch, L. Bieker, J. Erdmann y D. Krajzewicz, «SUMO-Simulation of Urban MObility,» de *SIMUL2011: The Third International Conference on Advances in System Simulation*, 2011.
- R. Tomlinson, *Pensando en el GIS*, ESRI PRESS.
- M. A. Moreno Ibarra, *Apuntes de la asignatura Cartografía Digital Inteligente*, México, 2012.
- L. Letham, de *GPS fácil, uso del sistema de posicionamiento global*, Paidotribo, 2001, pp. 13-16.
- Smith, Goodchild y Longley, «Building Blocks of Spatial Analysis,» [En línea]. Available: [www.spatialanalysisonline.com](http://www.spatialanalysisonline.com). [Último acceso: Enero 2013].
- R. Balbuena Puebla y F. M. Gutierrez. [En línea]. Available: <http://ocw.upml.es/proyectos-de-ingenieria/sistemas-de-informacion-geografica-tecnicas-cuantitativas-para-gestion/practica4.pdf>. [Último acceso: Diciembre 2012].
- A. M. Cháves Galindo y G. G. Julio, «Componente de Investigación: crecimiento demográfico, migración, movilidad intraurbana y desarrollo sustentable». *Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal. Seduvi*.
- «Postgresql,» [En línea]. Available: <http://www.postgresql.org/>. [Último acceso: Enero 2013].
- M. F. Goodchild, «Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0,» *International Journal Data Infrastructures Research*, vol. 2, pp. 24-32, 2007.
- «Metros del mundo,» [En línea]. Available: <http://www.metrosdelmundo.com.ar/americaelnorte/mexico/metro-mexico-df.php>. [Último acceso: Enero 2013].
- «INEGI,» [En línea]. Available: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mcu105&s=est&c=21734>. [Último acceso: Enero 2013].