

Maestría en Ingeniería Ambiental

TESIS FINAL

**Estudio y análisis para implementación
de un sistema Eco ITS
para la Ciudad de Buenos Aires (CABA).**

Ing. José Manuel Antelo Solozábal

Director: Dr. David Allende



Índice

Resumen	6
Abstract	7
Palabras clave - Keywords	8
Introducción	
1. Calidad de aire en áreas urbanas y tráfico	11
2. Sistema Inteligente de Transporte - ITS	13
3. Eco ITS.....	17
4. Hipótesis de trabajo	19
5. Objetivos.....	19
6. Síntesis.....	20
1. Definición del área de estudio	21
2. Tránsito vehicular en la población de estudio	24
2.1 Clasificación de vehículos de Ciudad de Buenos Aires, según tipo, antigüedad y combustible.....	24
3. Generación de información base	29
3.1 Obtención de patrones de manejo.....	29
3.2 Recursos y equipamientos	29
3.3 Conteos y variaciones horarias	32
3.4 Estaciones de calidad de aire	34
3.5 Análisis de comportamiento	36
3.6 Medición de gases	38
3.7 Usos de suelo	40
3.8 Puntos de interés.....	42
3.9 Tipo de vía de circulación y su clasificación.....	44
4. Desarrollo de un nuevo inventario de emisiones.....	47
4.1 Definición de la grilla.....	47
4.2 Modelo de tránsito: desagregación de la cantidad de vehículos.....	49

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

4.3 Modelo de tránsito: velocidades	52
4.4 Modelo de emisiones	54
5.1 Generación de coeficientes de desagregación espacial y validación.....	61
6.1 Síntesis.....	61
1. Validación del modelo de tránsito	63
2. Validación del modelo de velocidad.....	78
3. Validación de las emisiones estimadas: Modelado de concentraciones	84
4. Propuesta de Eco - ITS	103
4.1 Uso de suelos – Código de Planeamiento Urbano.....	124
4.2 Conteos urbanos – Vehículos Livianos.....	128
4.3 Conteos urbanos – Vehículos Pesados.....	132
4.4 Conteos autopistas – Vehículos Livianos y Pesados	135
4.5 Conteos autopistas – Vehículos Livianos y Pesados	136
4.6 Coeficientes δ – Vehículos Livianos y Pesados.....	137
4.7 Cálculo de caudal másico – Vehículos Livianos	140

Índice de Figuras

Figura 1 – Tasa de crecimiento anual en citaciones de ITS a través de papers (adaptado de Kaffash).	18
Figura 2: CABA dentro de Argentina (Fuente: Hogweard, 2015); Figura 3: CABA dentro de AMBA (Fuente: Grafichan, 2016).	22
Figura 4: Barrios y comunas de la ciudad de Buenos Aires (Fuente: Legislatura, 2012)	22
Figura 5: Antigüedad parque vehicular en Ciudad de Buenos Aires	25
En el informe AFAC se obtuvieron valores porcentuales para todo el país, de los cuales se obtuvo la cantidad de vehículos de la CABA aplicándoles el porcentual participativo (9,37 %) en cada categoría (Figura 6).	25
Seguidamente sobre cada segmento se obtuvo la antigüedad del parque automotor de la Ciudad de Buenos Aires, aplicando los porcentajes calculados para cada categoría (Figura 7).	26
Habiéndose obtenido valores porcentuales para el total del país (Promotive - AFAC, 2020), se aplicó la proporción participativa de la Ciudad de Buenos Aires (9,37%), como en los cálculos anteriores (Figura 8).	27
Figura 9: Equipos utilizados durante la medición: a) GPS de posicionamiento personal; b) Escáner automotriz; c) Laptop utilizada; d) Analizador de gases Luján; e) Convertidor 12V- 220V (inversor) para el analizador; e) Fuente portátil de vehículo... ..	31
Figura 10: Pantalla de programa durante adquisición.	32
Figura 11 – Planilla resultante de adquisición.	32
Figura 12: Puntos de conteo en Ciudad de Buenos Aires – Tránsito liviano y pesado ..	34
Figura 13: Ubicación de las estaciones de calidad de aire en la ciudad	35
Figura 14: Entorno de estación de calidad de aire.....	35
Figura 15: Ejemplo de ruta seguida dentro de CABA.....	38
Figura 16: perfil de velocidades en función del tiempo	39
Figura 17: Perfil de emisiones gaseosas en función del tiempo	39
Figura 18: Subdivisión de superficie según clasificación propia en basada sobre el CPU.	41
Figura 19: Conjunto de zonas residenciales de alta densidad, vista aérea de la zona Caballito y el Hospital naval desde Parque Centenario (Audiovisual, 2019)	41
Figura 20. Ubicación de diferentes puntos de interés en la ciudad.	43
Figura 21: Fotografías de puntos típicos de atracción de personas: a) Plaza de Mayo rodeada de la Casa de Gobierno, sede central del Banco Nación y principales ministerios (Ongaro, n.d.); b) Café Tortoni (Fiadone, 2006); c) Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires (Mapio.net, n.d.); d) Estación Retiro, Ferrocarril línea Mitre (Falk2, 2018); e) Hotel Park Hyatt (Aleposta, 2006).	43
Figura 22: Ubicación de diferentes puntos tractores para vehículos pesados.	44
Figura 23: Clasificación de calles en la ciudad	46
Figura 24: Red de Tránsito Pesado en CABA.	47
Figura 25 - Grilla sobre CABA	48
Figura 26: Grillado ampliado sobre zona de Plaza de Mayo (con tipos de vías de circulación).	49

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Figura 27: Instrumentación para medición de gases a través de la salida de gases de escape.....	55
Figura 28: Perfil de velocidad para medición de gases en congestión.....	56
Figura 29: Gráfica comparativa de frecuencias relativas, para cantidad de vehículos livianos: Izquierda; horario matutino; Derecha: horario vespertino.....	67
Figura 30: Gráfica comparativa de frecuencias relativas, para número de Vehículos pesados: Izquierda; horario matutino; Derecha: horario vespertino.....	67
Figura 31: Comparación del número de vehículos livianos contabilizados y cantidad estimada por medio del modelo, en las celdas de conteo.	68
Figura 32: Comparación del número de vehículos pesados contabilizados y cantidad estimada por medio del modelo, en las celdas de conteo.	68
Figura 33: Variación horaria peajes para vehículos livianos según día de la semana	70
Figura 34: Variación horaria peajes para vehículos pesados según día de la semana	71
Figura 35: Comparación de variación horaria del conteo de vehículos livianos frente al modelo en dos rangos horarios. – Peaje Dellepiane a Gral. Paz.	72
Figura 36: Comparación de variación horaria del conteo de vehículos pesados frente al modelo en dos rangos horarios. – Peaje Dellepiane a Gral. Paz.	73
Figura 37: Cantidad de vehículos en CABA – horario matutino.....	74
Figura 38: Cantidad de vehículos en CABA – horario vespertino	75
Figura 39: Tránsito de vehículos Pesados – Horario Matutino	76
Figura 40: Tránsito de vehículos Pesados – Horario Vespertino	77
Figura 41: Recorridos realizados a fin de obtener datos en perfil de velocidad.....	78
Figura 42: Gráfica comparativa de frecuencias relativas de velocidades.....	82
Figura 43: Gráfica comparativa de valores de velocidad simulados y medidos	83
Figura 44: Gráfica comparativa de valores de velocidad para cada celda del dominio de estudio.....	84
Figura 45. Rosa de vientos para la estación Aeroparque del SMN (año 2019).....	85
Figura 46. Elevaciones de terreno por celda del dominio de modelado, utilizadas para el cálculo de dispersión.	86
Figura 47. Curvas medidas de emisiones vehiculares volumétricas. Vehículos Livianos.	87
Figura 48. Emisiones vehiculares en función de la velocidad. Vehículos Livianos.	89
Figura 49. Coeficientes para el cálculo de emisiones vehiculares. Vehículos Pesados. .	90
Figura 50: Curvas de torque y consumo específico en un motor de combustión interna.	91
Figura 51: Consumo específico de un motor Diesel según la velocidad de marcha	92
Figura 52. Emisiones de CO de vehículos livianos en horario matutino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.....	93
Figura 53. Emisiones de CO de vehículos livianos en horario vespertino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.	94
Figura 54. Emisiones de CO de vehículos pesados en horario matutino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.....	94
Figura 55. Emisiones de CO de vehículos pesados en horario vespertino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.	95
Figura 56. Emisiones totales de CO (vehículos livianos y pesados) en horario matutino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.	95

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Figura 57. Emisiones totales de CO (vehículos livianos y pesados) en horario vespertino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.	96
Figura 58. Emisiones de HC de vehículos livianos en horario matutino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.....	97
Figura 59. Emisiones de HC de vehículos livianos en horario vespertino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.	97
Figura 60. Emisiones de HC de vehículos pesados en horario matutino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.....	98
Figura 61. Emisiones de HC de vehículos pesados en horario vespertino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.	98
Figura 62. Emisiones totales de HC (vehículos livianos y pesados) en toneladas anuales, simuladas para las 9:00 horas.	99
Figura 63. Emisiones totales de HC (vehículos livianos y pesados) en toneladas anuales, simuladas para las 18:00 horas.	99
Figura 64. Inventario de emisiones EDGAR sobre CABA.	100
Figura 65. Emisiones estimadas a través de una sección transversal por la Ciudad de Buenos Aires comparando el inventario de emisiones de CO realizado en este trabajo de tesis y un inventario internacional de referencia.	101
Figura 66. Comparación entre las concentraciones de CO medidas en las estaciones de Parque Centenario, Córdoba y La Boca con las estimadas por el modelo de calidad de aire (promedios horarios).....	102
Figura 67: Macro código del ECO ITS.	104
Figura 68. Esquema de nueva ruta y apartamiento ante casos de congestión entre A y B.	106
Figura 69: Emisiones acumuladas de HC según la distancia total recorrida y velocidad de circulación.....	107
Figura 70: Emisiones acumuladas de CO según la distancia total recorrida y velocidad de circulación.....	107

Índice de Tablas

Tabla 1. Desglose del Parque activo de CABA sobre el total de Argentina.	25
Según las hipótesis tomadas anteriormente, se pudo llegar a una distribución según categoría y tipo de combustible (Tabla 2).	28
Tabla 3. Vehículos ensayados y características técnicas de los mismos (Consejo, 2007; Del and La, 1998; Life, 2016; Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2020).	37
Tabla 4: Proporciones utilizadas para realizar media ponderada de las mediciones de gases.	60
Tabla 5: Valores objetivos para la validación de un modelo matemático.....	61
Tabla 5: Coeficientes para el cálculo de vehículos por celda de acuerdo con la ecuación (1)	63
Tabla 6: Coeficientes para cálculo de vehículos por celda siguiendo a la ecuación (2). 63	
Tabla 7: Coeficientes establecidos para la clasificación de las vías de circulación de acuerdo con la ecuación (3). - NC: No corresponde.....	64
Tabla 8: Coeficientes establecidos para la clasificación de los puntos de atracción de acuerdo con la ecuación (4)......	66
Tabla 9 : Coeficientes establecidos para la clasificación de las diferentes secciones del Código de Planeamiento Urbano (CPU) de acuerdo con la ecuación (5).	66
Tabla 10: Coeficientes establecidos para la clasificación de los puntos de atracción de acuerdo con la ecuación (6)......	66
Tabla 11: Valores de validación estadísticos del modelo de vehículos (Chang and Hanna, 2004).....	69
Tabla 12: Constante para el cálculo de velocidad según ecuación (8)	79
Tabla 13: Coeficientes establecidos para la clasificación de las vías de circulación de acuerdo con la ecuación (11).	79
Tabla 14: Coeficientes establecidos para la clasificación de los puntos de atracción de acuerdo con la ecuación (12)......	81
Tabla 15 : Coeficientes establecidos para estimar la reducción de velocidad en función de los semáforos existentes en cada celda, de acuerdo a la clasificación (13).	81
Tabla 16: Valores de validación estadísticos del modelo de velocidad (Chang and Hanna, 2004)	83
Tabla 17 : Mediciones de emisiones vehiculares con analizador de gases incorporado (caudal volumétrico)......	87
Tabla 19: Resultados de cálculo de caudal volumétrico.....	88
Tabla 20: Coeficientes para el cálculo de emisiones vehiculares. Vehículos Livianos. .	88
Tabla 21: Coeficientes para el cálculo de emisiones vehiculares. Vehículos Livianos ..	89
Tabla 22: Valores de validación estadísticos del modelo de calidad de aire (Chang and Hanna, 2004).	102
Tabla 23: Cálculo de emisiones según el apartamiento de la ruta original.....	106
Tabla 24: Equivalencias de CPUs entre aquellos de la ciudad de Buenos Aires y los utilizados para el presente trabajo.	128
Tabla 25: Conteos urbanos de tránsito liviano y pesado	131
Tabla 26: Conteos urbanos: Vehículos Pesados.....	133
Tabla 27: Conteos urbanos: Vehículos Pesados (cálculo estadístico).....	134

**Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS
para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental**

Tabla 28: Conteos en autopistas – Vehículos Livianos y Pesados.....	135
Tabla 29: Conteos autopistas – Vehículos Livianos y Pesados – Tabla simplificada...	136
Tabla 30: Tabla de conversión de caudal volumétrico a másico. – Volkswagen Up	140
Tabla 31: Tabla de conversión de caudal volumétrico a másico. – Chrysler Neon	141
Tabla 32: Tabla de conversión de caudal volumétrico a másico. – Peugeot 207 Compact	141

Resumen

La contaminación urbana producida por las emisiones a la atmósfera del tráfico vehicular es un problema en todas las grandes urbes del mundo y la Ciudad de Buenos Aires (CABA) no ha sido la excepción. Debido a que no se vislumbra una disminución del movimiento de personas o bienes, siempre es necesario proponer medidas para mitigar el impacto del tránsito en calidad de aire, adaptadas a la realidad local.

Como consecuencia de ello, se propone en este trabajo de tesis contribuir con un nuevo tipo de GPS (Eco-ITS), el cual guía al usuario hacia destino realizando con el menor impacto posible en términos de emisiones vehiculares: este sistema se encuentra especialmente destinado para vehículos automotores con motor de combustión interna.

Para ello, fue necesario elaborar un nuevo y más exacto inventario de emisiones vehiculares móviles de CABA, realizado bajo la metodología “bottom-up”. Con este fin se realizó un trazado de una grilla sobre la ciudad, donde se caracterizó cada celda con la cantidad de vehículos que transita y las velocidades que desarrollan, con resolución horaria.

A fin de validar el modelo de tránsito, se realizaron una serie de mediciones en la vía pública: esto incluyó conteos de vehículos; como así también mediciones de diferentes parámetros de funcionamiento del vehículo a bordo de los mismos, con una serie de equipos, incluyendo relevamientos de trayectorias y velocidades en tiempo real. Asimismo, estas mediciones fueron realizadas en diferentes partes del día, a fin de poder contar con la correspondiente variabilidad temporal.

Con el objeto de caracterizar las emisiones vehiculares, se realizaron también mediciones de emisiones gaseosas de escape en vehículos en su trayecto por distintas rutas con el objeto de poder proponer un modelo de emisiones asociado a la grilla de trabajo sobre la ciudad.

Finalmente, con esta información de base, se trazó un macro-código para este Eco-ITS, a fin de dictar los lineamientos necesarios para llegar a implementarlo para un uso práctico.

Abstract

The urban pollution in the atmosphere, produced by vehicle emissions is a problem around all the big cities of the world, and the city of Buenos Aires (CABA) have not been the exception. Because of this, is not expectable a reduction in the movement of people or goods, so it is necessary to propose actions to mitigate the traffic impact in the air quality, adapted to local reality.

As a consequence of this, it is proposed in this final thesis work a contribution to a new GPS type (Eco-ITS), which guides the user towards destiny making the lowest possible impact in terms of vehicle emissions: this system is especially directed for vehicles with internal combustion engines.

To complete this work, it was required a new and more exact CABA emissions mobiles inventory, which was made under methodology “bottom-up”. With this purpose, a grid was made on the city, where each cell of it was characterized considering the vehicles quantity traveling and the speed developed, including a time resolution.

In order to validate the traffic model, a series of measurement were made in the road; it included vehicles counting; as well on-board measurements of many vehicle operations parameters. For these ones, it was used a series of equipment, which included routes and speed monitoring in real time. Also, they were made in different parts of the day, in order to be able to dispose the corresponding time variability.

In order to characterized the exhaust emissions, it was made in a series of vehicles many on-board measurements about it: they circulated through different roads with the objective of proposing an emissions model associated to the worked grid of the city.

Finally, with this base information, it was written a macro-code for this Eco-ITS; in order to pronounce the required guidelines to achieve its implementation for a practical use.

Palabras clave

- Modelo de tránsito
- Ciudad Autónoma de Buenos Aires
- Inventario de emisiones
- Eco-ITS
- Mediciones de escape

Key Words

- Traffic model
- CABA
- Emissions inventory
- Eco-ITS
- Exhaust Emissions Measurement

Introducción

1. Calidad de aire en áreas urbanas y tráfico

A lo largo de la historia reciente, el desarrollo económico permitió el acceso de las personas a vehículos con motor de combustión interna, lo que, sumado a la tendencia mundial de la concentración humana en grandes urbes, ha provocado que las fuertes congestiones vehiculares sean un problema muy típico en la actualidad (Ye, 2012). Es por ello que surgió la necesidad de generar acciones, tanto para favorecer el flujo del tráfico como para contener los embotellamientos, de modo que no provoquen un colapso (Grote et al., 2016). Asimismo, dado que los vehículos generan emisiones de gases y partículas, otro efecto relevante de las congestiones es el deterioro de la calidad de aire en las grandes urbes (Caserini et al., 2013).

Los motores de los automotores actuales utilizan como combustibles productos derivados del petróleo, los cuales a través de un proceso de combustión liberan energía por acción de presión de los gases quemados. Mediante un sistema de biela- manivela, estos gases desplazan un pistón que luego se encarga de movilizar al sistema, derivando posteriormente en el movimiento rotatorio del eje del motor, el cual luego se transmite a las ruedas del vehículo. La combustión dentro de los motores no es completa, por lo que se emiten compuestos que son contaminantes para el medio, como así también perjudiciales para la salud humana (Khreis et al., 2017). A modo de ejemplo se pueden citar el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos sin quemar (HC), microparticulado (MP) o bien óxidos de azufre (SOx) en ciertos casos (Giacosa, 1986a). Asimismo, cabe mencionar que debido a que la emisión de ellos se produce en la parte inferior del vehículo (a unos 300 mm milímetros del piso en general), se terminará impactando mayoritariamente en la capa inferior de la atmósfera, la cual se encuentra en contacto directo con los humanos. Las emisiones vehiculares por combustión son muy variables ya que dependen de características como el tipo y dimensiones del motor, pero también, este tipo de emisiones cambian en función diferentes parámetros de funcionamiento, como la velocidad de rotación del motor, el estado de carga de los cilindros, aceleración en proceso o funcionamiento constante, entre muchos otros factores (Obert, 1992). Además, bajo ciertas condiciones atmosféricas, tales gases producen un efecto de smog fotoquímico en las urbes donde circulen (gases compuestos de ozono y nitrato de peroxiacetilo; también conocido como PAN), lo cual será un efecto característico de ciertas urbes con determinadas condiciones geográficas que las rodean.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

La contaminación por tráfico vehicular ha sido objeto de estudio en ciudades a lo largo del mundo, donde se han implementado diferentes medidas para mitigarla (Yu et al., 2009), entre las que sobresalen la priorización del transporte público y la circulación en bicicletas. Para estos casos, se destacan acciones como la implantación de vías de circulación exclusiva para estos medios y la de imponer restricciones a la circulación vehicular en zonas densamente pobladas o de gran circulación. Estas últimas han podido ser en función a la numeración identificatoria del vehículo o a sus emisiones (CLARS (Charging, Low Emission Zones, 2017; Ricci et al., 2017).

La ciudad de Buenos Aires no ha sido la excepción, y el problema del tránsito también ha aumentado con el correr de los años. Las medidas mitigatorias se han aplicado también en la ciudad de Buenos Aires, como ser: calles con prioridad al peatón en zonas céntricas, bicisendas, un servicio de locación de bicicletas para fomentar su uso (Mejor en Bici), regulación de un sistema de alquiler de monopatinés eléctricos, o sistemas de carriles exclusivos para el transporte automotor (Metrobús) (Montoya et al., 2011). Sin embargo, el problema de los congestionamientos continúa creciendo a diario debido al constante incremento del parque automotor, como el creciente número de personas buscando entrar a la ciudad (Pereyra, 2004); siendo ante este último caso, insuficientes los medios de transporte público para tomarlos a todos ellos: por este motivo también creció sustancialmente el servicio privado de mini ómnibus para el transporte diario de media distancia (combis). Y como es esperable, así también lo hace el deterioro de la calidad de aire, siendo las emisiones por el tránsito vehicular la principal fuente de polución del aire en la ciudad (Arkouli et al., 2010). A través de diferentes estudios se puede notar cómo las áreas más transitadas de la ciudad se ven más afectadas por los diferentes tipos de gases emitidos por los motores vehiculares: Monóxido de Carbono y Óxidos de Nitrógeno (Venegas and Mazzeo, 2006), Ozono (Pineda Rojas and Venegas, 2013) o bien material particulado (Resquin et al., 2018). Cabe mencionar que en horario diurno es donde se observan las mayores concentraciones, dado que es el momento donde se da el mayor movimiento vehicular.

A la par, los fabricantes de vehículos comenzaron con el desarrollo de diferentes tecnologías que posibilitan la reducción de emisiones, como por ejemplo la introducción de autos híbridos y eléctricos (Lang et al., 2013). Pero también dentro de los motores puramente térmicos, se han desarrollado mejoras en los motores, como ser estudio y rediseño de las cámaras de combustión y agregado de turbocompresores para mejorar el rendimiento volumétrico. También se han realizado mejoras en la admisión de aire e inyección de los combustibles (presiones de entrada, tamaño y sistemas directos de pulverización) favoreciendo un quemado más completo dentro de los motores, o bien la colocación de catalizadores dentro de las líneas de escape con el objetivo de que los gases salientes de la cámara de combustión con quemado incompleto puedan completar su transformación química y lleguen a transformarse finalmente en gases inocuos para la

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

salud antes de salir del sistema vehículo (Giacosa, 1986; Johnson, 2016). Pero más allá de las medidas mitigatorias aplicadas, el problema de los congestionamientos no se eliminó, sino que siguió creciendo en todo el mundo, como así también en Buenos Aires (Durango-Cohen and Kezic, 2012; Zhao, 2010).

2. Sistema Inteligente de Transporte - ITS

A fin de reducir congestionamientos y la posterior degradación del aire urbano, se han desarrollado en el mundo sistemas orientados a reordenar dinámicamente el tránsito: a los mismos se los denomina Sistema Inteligente de Transporte (ITS, por sus siglas en inglés Intelligent Transport System) (Harris et al., 2015). Tales sistemas tienen por objetivo maximizar la eficiencia del tránsito vehicular, siendo la mejora de la seguridad vial y la reducción de los congestionamientos sus principales objetivos. Vale la pena mencionar que estos sistemas también pueden aplicarse no sólo a vehículos automotores, sino a todo sistema de transporte (aviones, ferrocarriles, buques, y otros).

Existen diferentes variantes del sistema, las cuales pueden venir de algo sencillo, como tener un sistema reversible de carriles, a otros más complejos con comunicación inalámbrica entre vehículos, transmitiéndose datos entre ellos con múltiples propósitos, como también transmitiendo datos a puestos fijos en los caminos, los cuales recolectan la información con el propósito de procesar la misma a fin de orientar cuál es la mejor opción para llegar a un destino.

Muchos desarrollos de estos sistemas se encuentran en Asia, otorgándoles en cada sitio una ponderación diferente de sus variables según intereses locales: por ejemplo, en Bangkok se utiliza con la información recolectada un modelo matemático predictivo de forma de poder tomar decisiones para mejorar el tráfico para estados futuros próximos, tales como redireccionar carriles de tránsito reversibles (ESCAP, 2015). Además este tipo de sistema de gestión de tránsito se encuentra expandiéndose al resto del mundo: ya existen empresas especializadas para su implantación, las cuales han sido contratadas por parte del estado francés para su implantación en varios puntos de su territorio (Deguen, 2021).

La información utilizada por el algoritmo puede ir más allá de reordenar el tránsito: se puede utilizar también para la seguridad vial. A través del mismo, es posible analizar y ubicar localizaciones donde existieran accidentes de tránsito, verificando también si lo mismo sucede recurrentemente (Lian et al., 2020). Así, se realizan análisis de tránsito y predicción de zonas donde hubiera altas probabilidades de siniestros viales; pudiendo reordenar al mismo en función a disminuir la tasa de accidentes. De la misma forma, también se puede analizar el patrón de conducción típico, revisando si el mismo es tendiente a generar siniestros o si la organización del tránsito llevara a este tipo de

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

situaciones. Con este fin se ahorran recursos, sabiendo si este tipo de incidentes provienen de una falta de planificación del sistema de tránsito, o bien si hiciera falta orientar los esfuerzos hacia una profundización en la educación vial de los conductores.

Para poder realizar esta última acción, los vehículos deben estar dotados de un sistema de comunicación con un sistema de gestión central del tránsito (Salazar-Cabrera et al., 2020), el cual recibe información en tiempo real de la ubicación del mismo, como también de otra serie de parámetros de funcionamiento del vehículo. Los mismos posibilitan conocer su situación actual y si la misma corresponde a un comportamiento atípico, de manera de poder asistir al vehículo en cuestión. De la misma forma los diferentes viajeros que dispongan conexión al servicio pueden conocer el estado del tránsito en general, y decidir cómo continuar el viaje respecto a la ruta más conveniente, o bien para aquellos que utilicen transporte público, qué medio resulta más conveniente.

Por otro lado, este sistema es integrable con el sistema de salud: considerando su uso en ambulancias, se orienta su camino hacia sitios de bajo caudal de tránsito a fin de acelerar su transporte, como así también desviar de tales vías al tránsito en general; a fin de reducir el tiempo de transporte de este tipo de vehículo en situación de emergencias (Motienko, 2020). Asimismo, el sistema da aviso al establecimiento médico de asistencia más cercano y predice el tiempo de llegada, con el objetivo de ir preparando los recursos necesarios para recibir al paciente en el vehículo de emergencias y brindar una inmediata atención. De la misma forma permitiría irse comunicando con el mismo para conocer un diagnóstico del paciente en cuestión y su estado.

A su vez, se puede destacar la utilización del ITS hacia el desarrollo urbano (Richter et al., 2020). El mismo se ha desarrollado para la organización y actualización en la organización y actualización del uso del suelo a lo largo de la superficie del espacio urbano (catastro), analizando hacia dónde se dirige el tránsito según el extracto horario; y ayudando a ubicar las zonas residenciales y otras de actividades laborales (comerciales o industriales). De esta manera, no sólo se privilegian el uso de determinadas vías para determinadas condiciones de tránsito, sino también se planifican y diseñan otras nuevas para el transporte rápido e inteligente, con el propósito que la distribución del tránsito sea de la manera más eficiente.

De la misma manera, no sólo permite comprender el patrón de manejo de los usuarios y reducir los tiempos de viaje, sino también planear y organizar el transporte público: se verifica el origen y destino de los viajes más solicitados, como también las bandas horarias de utilización. Con esta información se planifican estaciones de gran volumen de transferencia (sitios de elevada carga y descarga de pasajeros), montando en estos lugares grandes estacionamientos para que los usuarios puedan realizar trasbordo y pasarse al sistema de transporte público (estacionamientos “park and ride”). Y para este propósito

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

se puede incluir todo tipo de transporte público: sea por superficie (autobuses o trenes metropolitanos), como también a aquellos que se desempeñen a nivel subterráneo (subte o metro) o elevado (viaductos o monorriel)

Siguiendo con las utilidades de este sistema, no sólo los entes públicos sacan provecho de este, sino también los privados: las terminales automotrices se sirven de este sistema al analizar el comportamiento del tránsito y así diseñar mejores sistemas autónomos de conducción para sus vehículos; privilegiando en su diseño determinadas características que mejor se adapten al mismo. De esta manera, se benefician los habitantes de este espacio urbano, donde su calidad de vida mejora no sólo respecto a la mejora en los tiempos de viaje (y disponibilidad de tiempo libre para ellos), sino también en la mejora de emisiones vehiculares y calidad de aire en el lugar.

Es necesario destacar que el sistema debe estar dotado de un aprendizaje que permita detectar anomalías en el espacio - tiempo (Hassan et al., 2019), detectando condiciones que no fueran habituales. Esto se logra caracterizando el espacio urbano y sus movimientos en el tiempo, a fin de distinguir situaciones fuera de lo habitual y alertar al sistema para que opere de forma diferente. Y no sólo estos sistemas deben poder detectar anomalías que se generen debido a problemáticas circunstanciales dentro del espacio del ITS (choques, cortes por manifestaciones, etc.), sino también aquellas que hayan sido realizadas intencionalmente por ciberataques (Ganin et al., 2019). Es así como una serie de estudios han mostrado una alta resiliencia de los sistemas ITS a estos ataques, donde se expone la capacidad de los mismos para recuperarse y adaptarse ante daños y desordenamientos intencionales.

Cualquier medida de mitigación, además de una importante caracterización del impacto del tráfico en cualquier área urbana requiere la realización de un inventario de emisiones desagregado espacial y temporalmente. Varios estudios recientes han abordado esta necesidad, en particular apuntando a una mejora en la resolución espacial de las emisiones vehiculares. Algunos ejemplos de investigaciones en este sentido aplicadas en diversas ciudades del mundo se pueden encontrar en Jiang et al. (2023); Khazini et al. (2022); Patiño-Aroca et al. (2022); Sun et al. (2021); Timmermans et al. (2013); Viteri et al. (2023) o a nivel local en Allende et al. (2007, 2010); Gantuz et al. (2008); Perez Gunella et al. (2009); Puliafito y Allende, (2007); Puliafito et al. (2017a, 2017b, 2017c, 2015, 2009).

La estrategia propuesta para el inventario casi siempre comienza una estimación del total de emisiones del sector del tipo bottom-up o top-down, dependiendo del alcance geográfico y el tipo de datos disponibles (Colville et al., 2001).

Una estimación top-down es apropiada para una escala amplia, como para inventarios nacionales o provinciales, ya que se basa en consumos energéticos y factores de emisión

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

para el tráfico (Mateo Pla et al., 2021). Por ejemplo, Alam et al. (2018) estimaron las emisiones nacionales de tráfico en Irlanda considerando información de referencia del año 2016. Igualmente, Singh et al. (2019) analizaron las tendencias de las emisiones de carbono del sector transporte con base en datos de consumo de combustible y factores de emisión. De la misma manera, Sun et al. (2021) presentaron un inventario de emisiones vehiculares en Tianjin usando estas mismas consideraciones con información local y De Nunzio et al. (2021) propusieron un marco completo para la estimación de emisiones de tráfico con base en características macroscópicas de la red de carreteras e información de tráfico.

Las aproximaciones bottom-up reflejan las características puntuales de las fuentes móviles de emisiones, por lo que necesitan de datos más detallados, como tipo de vehículos, distancias recorridas, consumos de combustibles, características del parque automotor, etc. (Zhang et al., 2019). Por ejemplo, Luo et al. (2017) usaron datos de GPS para analizar la distribución espacial del consumo energético y emisiones de taxis en Shanghai. En el trabajo de Kan et al. (2018) se propuso un modelo microscópico de tráfico con el fin de estimar el consumo de combustible y las emisiones totales del sector, en un nivel de desagregación fino. Asimismo, Liu et al. (2018) incluyeron datos de microescala y conteos en puntos específicos para cuantificar las emisiones vehiculares en escala de ciudad.

Estos estudios previos coinciden en la necesidad de mejorar la resolución espacio-temporal del cálculo de emisiones, especialmente a nivel de calle. Este tipo de información con alta resolución es incluso crucial para evaluar la sostenibilidad de un ambiente urbano (Coelho et al., 2014).

En tal sentido, la distribución espacial de las emisiones vehiculares estimadas es un problema que ha sido tratado por varios autores. Khatami et al. (1998); Dalvi et al. (2006); Parra et al. (2006) por ejemplo, mostraron el uso de herramientas de información geográfica para distribuir espacialmente las emisiones en un área de estudio con celdas en alta resolución. Tuia et al. (2007) evaluaron la desagregación espacial de emisiones vehiculares en grillas de 1 km de resolución utilizando diferentes proxies y analizaron la incertidumbre de distintos parámetros usados en la estimación.

La compilación de inventarios de emisiones vehiculares espacialmente desagregados en grillas de resolución variable puede verse entre otros, en Kim Oanh et al. (2012); Timmermans et al., (2013); He et al., (2016); Azhari et al., (2021); Li et al., (2020) y Jiang et al., (2023). Otros trabajos combinan mediciones directas en tramos de calles con niveles de actividad para establecer un inventario de emisiones vehiculares (Huo et al., 2009), asociando las emisiones a actividades humanas características. El uso de información de base de diferentes orígenes, tanto estadística como consulta a expertos y

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

bases de datos preexistentes para un inventario en GIS puede verse Markakis et al. (2012, 2010). Es más, en muchos países en desarrollo, la recolección de información de diferentes fuentes para el armado de inventarios es la metodología más utilizada.

Finalmente, ejemplos de la metodología de desagregación espacial de emisiones vehiculares utilizando diversas variables proxy pueden encontrarse en Ghaffarpassand et al. (2020); Azhari et al. (2021), con base en tipo de calle y uso de suelo, en Chen et al. (2021); Patiño-Aroca et al. (2022); Viteri et al., (2023), empleando tipos de calles y longitudes de cada segmento y a nivel local, los trabajos de Puliafito et al. (2017a, 2017c, 2015c) con base en densidad de población y ventas de combustible, luego redistribuidas en celdas con funciones gaussianas.

3.Eco ITS

Y asociado a la mejora de la movilidad y tiempos de viaje, viene el efecto en la reducción de las emisiones (Yang et al., 2020). El movimiento continuo, en detrimento de aquel que posea detenciones con aceleraciones para recuperar el movimiento (congestionamiento), ahorra energía y resulta en una mejora del consumo de combustible y reducción de las emisiones vehiculares. Por lo cual, se puede enfocar el objetivo principal del ITS a la reducción de emisiones, privilegiando así una marcha continua del pelotón de tránsito, y así las emisiones globales del mismo se vean reducidas, redundando en una mejora de la calidad de aire del espacio urbano. A este sistema se lo denomina “Eco ITS” o “Green ITS”.

Como consecuencia del aumento de agilidad en el tránsito, reduciendo la cantidad de paradas del tránsito a efectos de congestionamientos, se pudo demostrar que estos sistemas ayudan asimismo en diversos servicios logísticos, especialmente donde los tiempos de detención afecten a la estabilidad de la temperatura de su carga (productos frescos, por ejemplo). Ayudándose de este tipo de sistemas, se trazan rutas de entrega donde se busque minimizar el tiempo de detenimiento para la entrega (Stellingwerf et al., 2021), y donde la temperatura de la carga sea un factor de suma importancia.

En California, se ha experimentado con un sistema de este tipo, donde se busca una velocidad constante en un grupo de vehículos procurando reducir el consumo de combustible de ellos y así sus emisiones (B. Matthew, 2012). Los más avanzados poseen como denominador común la comunicación entre vehículos para establecer no sólo ubicación en tiempo real, sino también otros parámetros como velocidad y estado de trabajo de sus motores. Para ello, los mismos tienen un sistema de comunicación entre sí y también a un servidor central que recolecta estos datos con un algoritmo específico: el sistema MOVE (Simulador de Emisiones Vehiculares Motorizadas) y COPERT (Programa Computarizado para calcular Emisiones del Transporte de Superficie).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Tomando en cuenta lo mencionado hasta aquí, es válido afirmar que para grandes espacios urbanos donde exista gran caudal de tránsito, para implementar el sistema ITS resulta necesario introducir una serie de sistemas complementarios al mismo (Salazar-Cabrera et al., 2020), como por ejemplo:

- Un sistema de rastreo y comunicación entre vehículo de tipo wifi,
- Una metodología de identificación permanente del contexto del espacio donde se desarrolla el sistema,
- Un sistema ITS que regule el tránsito,
- Acción permanente de experimentación y validación del sistema.

Para englobar mejor estas acciones se vienen desarrollando diversas metodologías a fin dictar normativas que sistematicen una regulación (Zhankaziev et al., 2018): estas podrían incorporarse como normativas expedida a nivel de estados (nacionales o sub-nacionales), para que la aplicación de los mismos pueda resultar más sencilla.

Más allá de que la necesidad de los ITS en grandes espacios urbanos viene creciendo día a día, el interés por los mismos se origina también en la utilización de información de estos sistemas para varios usos, como todos los que acabamos de mencionar. Una muestra concreta de ello es la creciente redacción de artículos y papers dentro del ámbito académico (Kaffash et al., 2020). Si se realizara una curva de citaciones en función del tiempo se podría ver que la misma se asemeja a una curva exponencial (Figura 1).

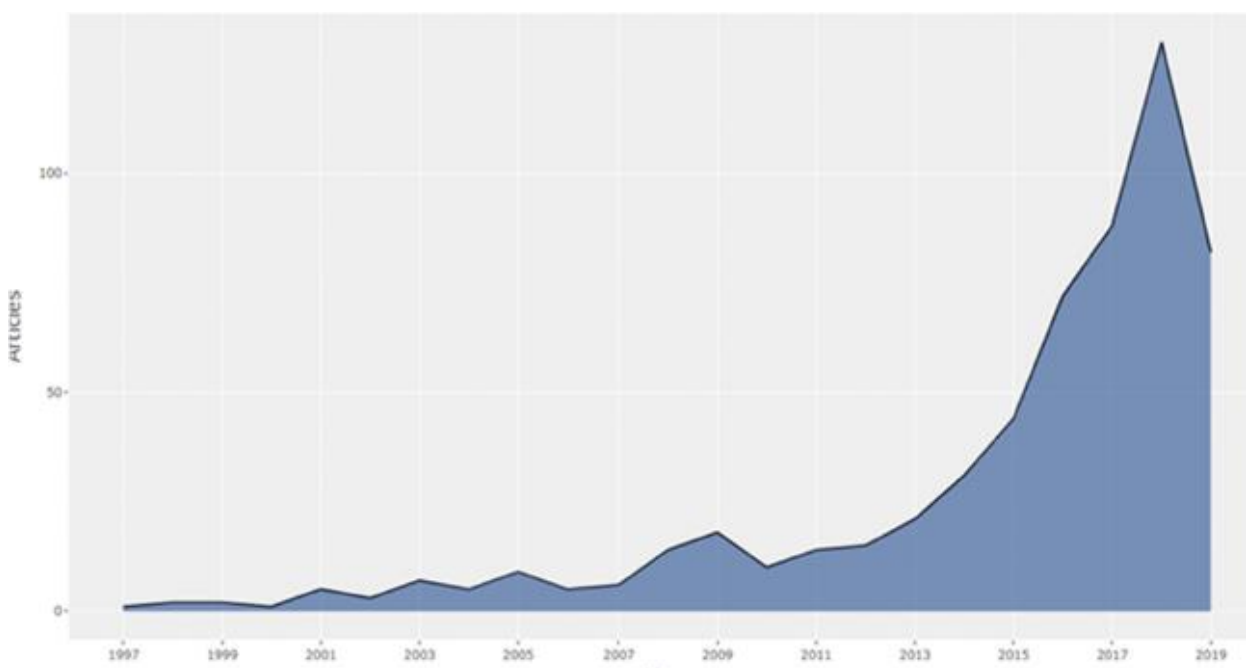


Figura 1 – Tasa de crecimiento anual en citaciones de ITS a través de papers (adaptado de Kaffash).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Cabe recordar que, como todo sistema de considerada complejidad a implementar, resulta necesario para el mismo realizar estudios de factibilidad técnica para su aplicación: cada ciudad posee particularidades propias, resultando que su análisis y posterior instalación resulten de un gran trabajo; no siempre exitosos.

4. Hipótesis de trabajo

Como ha sido comentado previamente, la ciudad de Buenos Aires no ha quedado exenta de congestionamientos vehiculares y de la consecuente degradación de la calidad de aire a causa de ello (D'Angiola et al., 2010; Alonso et al., 2010). Estudios específicos han concluido que las emisiones gaseosas del parque automotor es la principal causa de la degradación de la calidad de aire en la ciudad (Arkouli et al., 2010). A fin de reducir tal problemática, el reordenamiento del tránsito puede resultar muy efectivo, siendo la aplicación de un sistema ITS una herramienta muy eficaz para mejorar el tránsito urbano. Sin embargo, la ciudad carece en la actualidad de un sistema de tal tipo, por lo cual, esta tesis de maestría orienta a contribuir con la generación de un sistema para mejorar el tránsito vehicular en la región metropolitana de Buenos Aires, siendo el mismo uno de tipo ITS adaptado a las necesidades locales. Asimismo, es conveniente la configuración de este para que considere las emisiones gaseosas del parque (ECO ITS), relacionándolas con las particularidades de cada vehículo, como también sus características principales de conducción.

En consecuencia, la hipótesis de trabajo es:

Una herramienta vehicular de tipo ITS, adaptada a considerar el impacto en emisiones gaseosas para el parque automotor en la CABA, permite no sólo reordenar el tránsito local, sino también minimizar el impacto en calidad de aire.

5. Objetivos

Objetivo general

Generación de un macro-código para un sistema ITS adaptado a considerar el impacto en calidad de aire (ECO ITS), las características, particularidades y necesidades de la CABA.

Objetivos específicos

A fin de alcanzar la solución planteada al problema, el presente trabajo estará dividido en una serie de objetivos específicos para ordenar las acciones a llevar a cabo:

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

1. Generar información base para el sistema ITS con características específicas para el CABA, donde será necesario la recolección de datos de una serie de vehículos, y tomando en cada uno de ellos:
 - Trayectos típicos
 - Comportamiento en la conducción
 - Emisiones gaseosas del mismo.
2. Mejorar los inventarios de emisiones vehiculares existentes con los datos recolectados.
3. Desagregar espacial y temporalmente el nuevo inventario de emisiones vehiculares generado.
4. Proponer un algoritmo base para la toma de decisiones del sistema ECO ITS.

6.Síntesis

Se ha podido ver a lo largo del presente capítulo que la implantación de un sistema ITS en una urbe como la ciudad de Buenos Aires resulta ampliamente necesario, no sólo por los beneficios asociados que estos sistemas suelen poseer, como mejora de fluidez de tránsito, urbanismo, etc., sino también por los beneficios ambientales debido a la reducción en las emisiones vehiculares y consecuente mejora en la calidad de aire. En este sentido, el trabajo de tesis se centrará ahora en definir patrones de manejo para modelar las emisiones vehiculares existentes en esta ciudad y obtener un inventario detallado en toda su extensión. Luego, a partir del mismo, se trabajará en el diseño de un macro código para un sistema Eco ITS que considere la realidad local, susceptible de ampliaciones en una implementación definitiva con una programación detallada.

Metodología

Para generar la posible configuración de un ECO-ITS en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires se utiliza una propuesta de desagregación espacial y temporal de emisiones de tránsito con la finalidad de evaluar varios escenarios que combinen las posibles medidas de mitigación basadas en el recorrido efectivo del transporte por calles de la ciudad, de acuerdo con patrones de manejo típicos. Las emisiones se calculan utilizando una aproximación basada en el nivel de actividad y calibrada con diversos tipos de datos obtenidos en los recorridos y también información de base presente en estadísticas oficiales de la ciudad.

La aproximación bottom-up del inventario es más efectiva para identificar los flujos en las calles de la ciudad y computar las velocidades típicas que influyen en el nivel de emisión, por lo que se intentó con el modelo establecer en microescala el nivel de tránsito para luego evaluar las emisiones en los tramos de calle.

1. Definición del área de estudio

El presente trabajo de tesis se limitó a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA): este conglomerado urbano se ubica en la llanura pampeana, específicamente en la región centro-este de la República Argentina, sobre la orilla occidental del Río de la Plata, encontrándose entre 34.5° S y 34.7° S de latitud y 58.3° W y 58.6° W de longitud (ver Figura 2).

Este trabajo no incluyó los suburbios de la ciudad, o sea el conjunto conocido como Área Metropolitana Buenos Aires (AMBA), o también llamado conurbano bonaerense; ya que CABA resulta ser el núcleo de actividades para toda esa superficie (ver Figura 3) poseyendo las principales actividades gubernamentales del país (política, económica, cultural). La misma es un distrito en sí, a partir de la reforma constitucional del año 1994 y posee una población estimada total de 3.081.550 habitantes a 2022 (INDEC, 2022), con un área de 202 km², haciendo que sea el distrito de mayor densidad poblacional de Argentina, cuya tasa se eleva a más de 14.000 hab/km². Se encuentra dividida en 48 barrios, o 15 comunas según se analice (ver Figura 4), siendo un área mayoritariamente plana, con elevaciones de hasta 40 m hacia el sudoeste.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

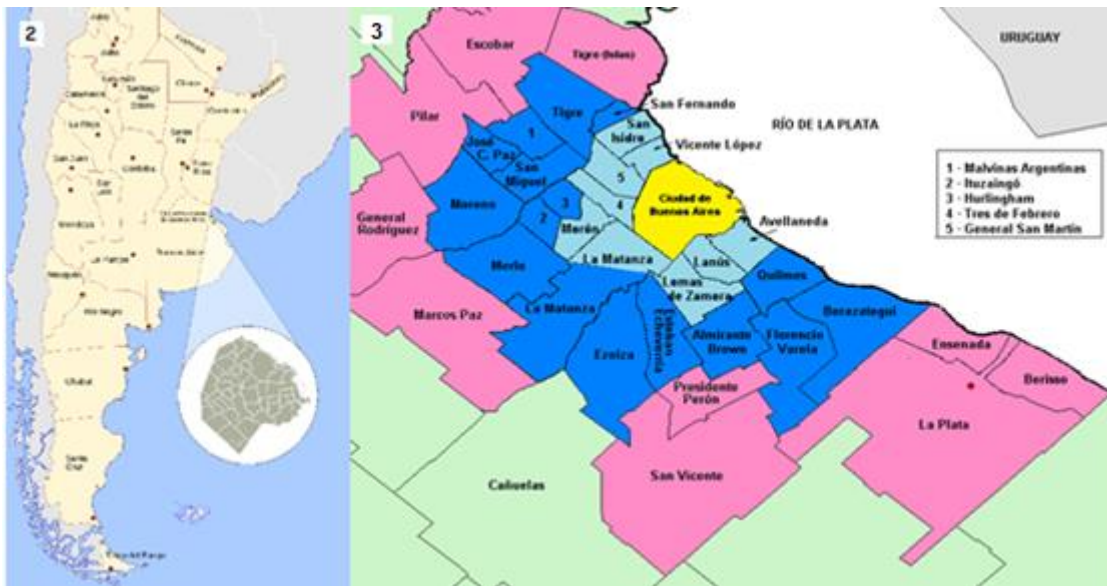


Figura 2: CABA dentro de Argentina (Fuente: Hogweard, 2015); Figura 3: CABA dentro de AMBA (Fuente: Grafichan, 2016).

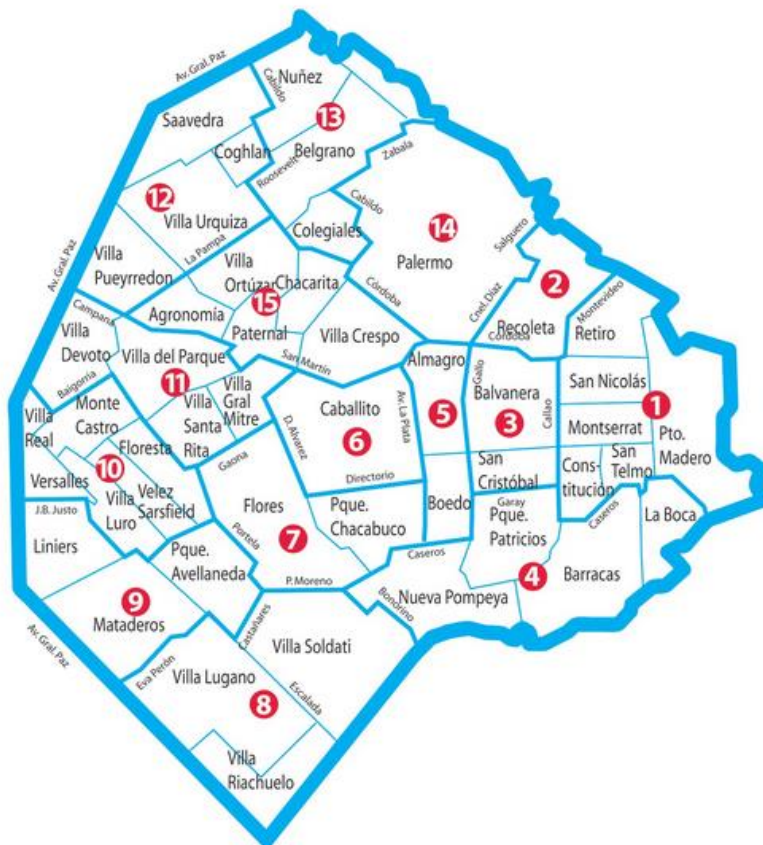


Figura 4: Barrios y comunas de la ciudad de Buenos Aires (Fuente: Legislatura, 2012)

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Existe a diario en CABA una gran entrada y salida de vehículos desde los suburbios (Montoya et al., 2011) logrando que casi se llegue a duplicar su población durante horario diurno. A pesar de que no toda la gente se mueve dentro de la ciudad con vehículo propio, el transporte público urbano de la ciudad también es importante: principalmente se compone de ómnibus de motorización Diesel, afectando la marcha del tránsito y las emisiones vehiculares.

A su vez, la ciudad posee dentro de su superficie el puerto, el cual conlleva el mayor tránsito de contenedores del país (García, 2011) y hace que el mismo funcione como una actividad atractora de tránsito pesado. Pero no es lo único: entre otros destinos de tránsito pesado, hasta mayo del año 2022, se encontraba dentro de su perímetro el Mercado de Hacienda que también es gran usuario de este tipo de vehículos.

Otro punto a mencionar es el alto número de centros de salud que se concentra dentro de CABA, siendo el distrito del país donde se concentra mayor cantidad de ellos por habitante (PNUD, CEPAL, 2011), logrando que atraiga gente desde los suburbios y del resto del país inclusive.

Asimismo, vale mencionar que el transporte público por ferrocarril interurbano mueve una gran cantidad de personas, lo cual favorece a que exista una gran concentración de tránsito en las inmediaciones de las estaciones de ferrocarril que trae gente de los suburbios que llega a trabajar.

Por otro lado, es importante remarcar que la ciudad de Buenos Aires reúne un muy alto número de establecimientos educativos de todo nivel, generando para los primeros niveles, un alto grado de circulación de gente, sea de los alumnos como de las personas a cargo que deben llevar a los mismos a los establecimientos. Lo mismo ocurre para los niveles superiores, donde la ciudad resulta ser un atractor de gente del país que viene a estudiar y terminar de formarse.

El atractivo turístico de CABA es muy importante dentro de América Latina, lo cual trae una gran cantidad de turistas extranjeros. Esto hace que exista un número considerable de hoteles dentro de ella. Cabe destacar que esta capacidad de alojamiento hace que también sea muy utilizada para realización de congresos y seminarios para Argentina; generando un importante movimiento en ella.

Por todas las actividades mencionadas se puede notar que el nivel de tránsito generado es alto y así las emisiones vehiculares, afectando de mala manera el nivel de calidad de aire de esta ciudad (Allende et al., 2010b). En tal sentido, la necesidad de monitoreo de calidad de aire hace que existan dentro de su perímetro tres estaciones de monitoreo de calidad de aire, cuyo acceso a información es libre (Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2009).

2. Tránsito vehicular en la población de estudio

2.1 Clasificación de vehículos de Ciudad de Buenos Aires, según tipo, antigüedad y combustible

A fin de poder estimar y segmentar los vehículos circulantes en Ciudad de Buenos Aires, se realizaron una serie de cálculos con el objeto de obtener una aproximación del número de vehículos y su composición en toda el área de estudio.

En tal sentido, no se consideraron simplemente los vehículos patentados en el distrito, sino el “parque activo”: esto significa aquellos vehículos que se encuentren efectivamente con la capacidad de poder circular, y no simplemente registrados frente a la Dirección Nacional Registro de la Propiedad Automotor (DNRPA).

El total vehículos para Argentina y Ciudad de Buenos Aires registrados a diciembre del 2019 (DNRPA, 2020) fue de 16.523.642 y 1.548.383 respectivamente, lo que significa una participación de CABA en el total del país del 9,37%.

Parque automotor activo

Considerando al último informe realizado para poder estimar el Parque Automotor activo (Promotive - AFAC, 2020), se procedió a calcular las correspondientes cifras en la Ciudad de Buenos Aires. Si bien existen funciones de mortandad típicas para vehículos en el mercado europeo, su aplicación en mercados latinoamericanos no parece reflejar la realidad local de manera adecuada.

En tal sentido, se procedió a la construcción de una función de mortandad local utilizando como fuente primaria de información el total de los vehículos registrados en DNRPA y se comparó con el total de vehículos asegurados. Asimismo, se tomaron en cuenta las bajas efectuadas en este registro, tanto por cuenta de las compañías aseguradoras como también particulares.

La información presente en Promotive - AFAC, (2020) consiste en el número total de vehículos del país, clasificados por categorías, antigüedad y clase de combustible utilizado. Entonces, se tomó como base esta composición y se asumió que para el distrito de CABA los porcentajes eran similares. Por ello, el cálculo del parque activo de la Ciudad de Buenos Aires se realizó tomando la participación de esta en el total del país y el total del parque activo presentado en el informe AFAC (Tabla 1).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Período	Parque automotor activo Argentina	Participación de la Ciudad en el total del país (%)	Parque automotor activo Ciudad de Buenos Aires
Junio 2020	14.301.524	9,37	1.340.053

Tabla 1. Desglose del Parque activo de CABA sobre el total de Argentina.

Posteriormente, se utilizó el desglose según la antigüedad del parque circulante citado en el informe AFAC, aplicándosele a su vez el porcentaje participativo de la Ciudad de Buenos Aires (Figura 5).

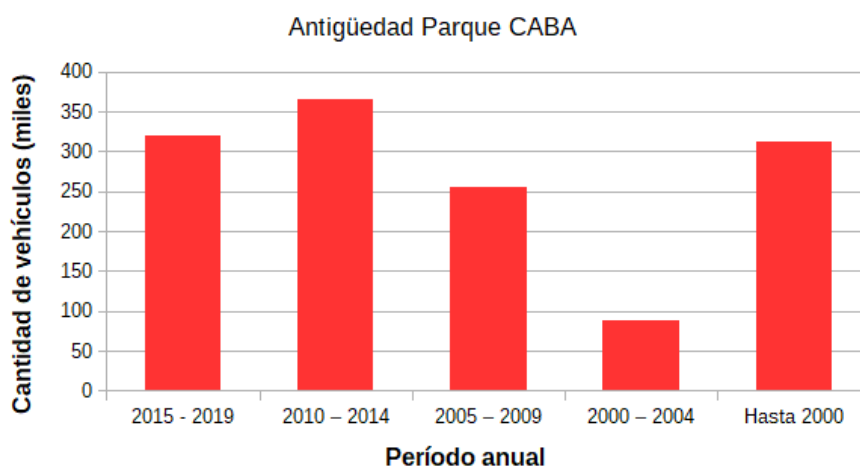


Figura 5: Antigüedad parque vehicular en Ciudad de Buenos Aires

Tipo de vehículos

En el informe AFAC se detallan valores porcentuales para todo el país, de los cuales se obtuvo la cantidad de vehículos de la CABA aplicándoles el porcentual participativo (9,37 %) en cada categoría (Figura 6).

Distribución por categoría Parque Automotor CABA

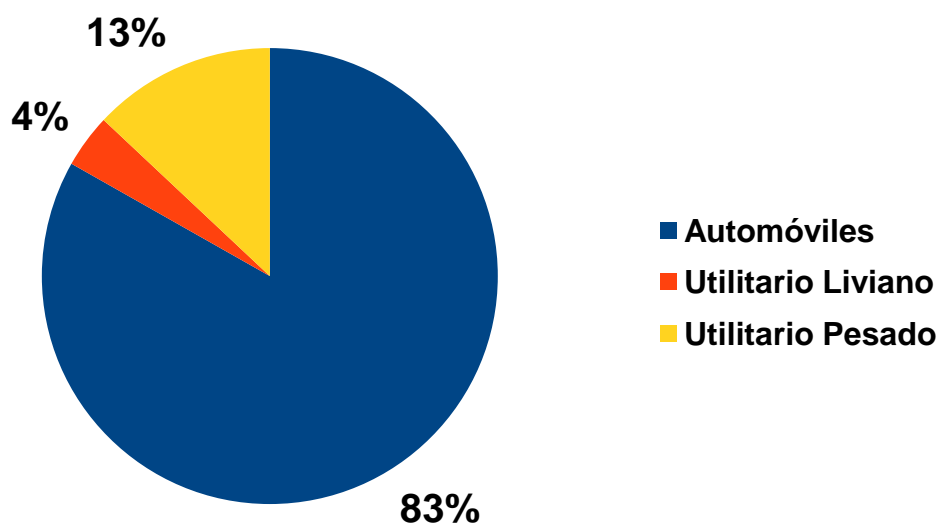
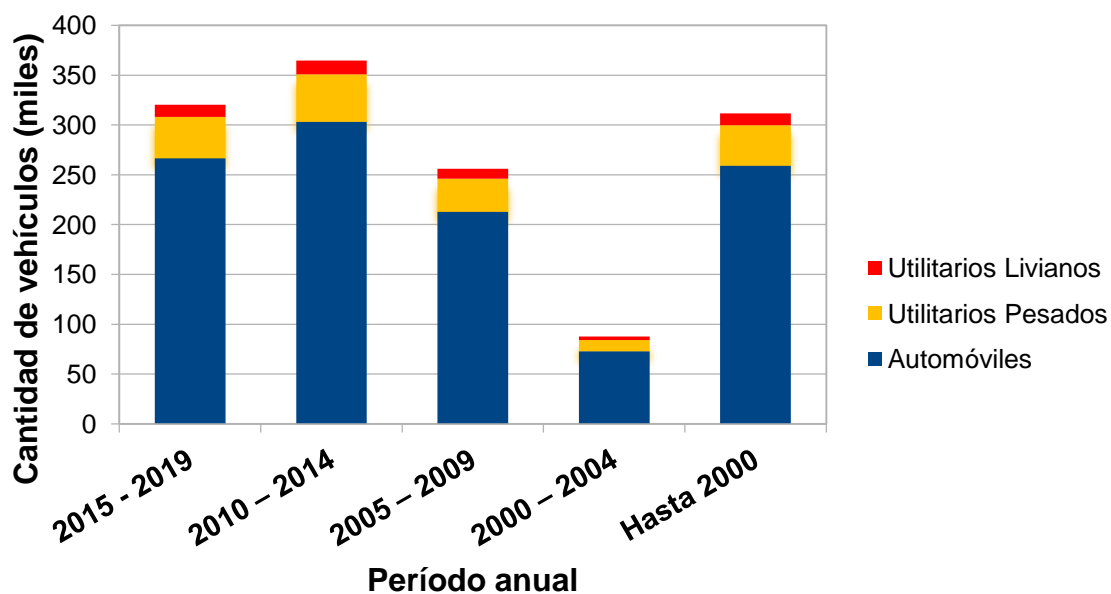


Figura 6: Distribución porcentual según categoría en Ciudad de Buenos Aires.

Seguidamente sobre cada segmento se obtuvo la antigüedad del parque automotor de la Ciudad de Buenos Aires, aplicando los porcentajes calculados para cada categoría (Figura 7).

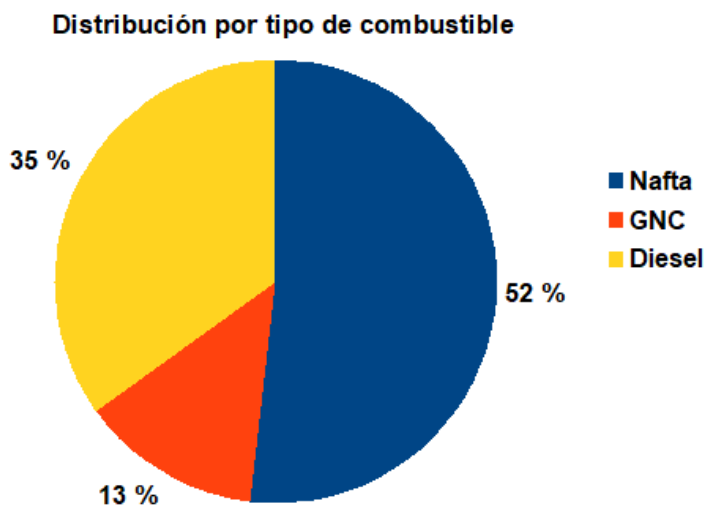
Antigüedad Parque Automotor CABA



(Figura 7: Antigüedad del Parque Automotor de la Ciudad de Buenos Aires en función de la categoría.

Tipo de combustible

Habiéndose obtenido valores porcentuales para el total del país (Promotive - AFAC, 2020), se aplicó la proporción participativa de la Ciudad de Buenos Aires (9,37%), como en los cálculos anteriores (Figura 8).



(Figura 8: Distribución porcentual en Ciudad de Buenos Aires según tipo de combustible.

Los vehículos con motorizaciones híbridas (nafta/eléctrico) tuvieron un incremento trans-anual remarcable de 1000 unidades, llegando a 2090 al cierre de 2019. Para los vehículos 100% eléctricos se llegó a alcanzar las 70 unidades al finalizar 2019.

A partir de la clasificación por tipo de combustible mostrada en (Figura 8, y a fin de lograr clasificar la categoría según el tipo de combustible, se hicieron los siguientes supuestos:

- a. **No existen utilitarios pesados propulsados a nafta en el mercado**, pues los mismos no se comercializan desde hace varias décadas. En tal sentido, no existen vehículos pesados con este combustible detallados en las estadísticas de GNC de ENARGAS (ENARGAS, 2021). Se destaca que en la categoría “Otros” con número mínimo de vehículos (28), puede ser asociada a vehículos poco habituales como autolevadores, resultandos insignificantes sobre el parque total.
- b. **La población de vehículos utilitarios pesados a GNC se puede considerar nula**: además de haberse abandonado la comercialización a nafta hace unos años, debido a un bajo costo/beneficio, ni siquiera se convirtieron a GNC antiguas unidades a nafta, pues resultaba antieconómica la autonomía lograda, como el volumen ocupado por la instalación. En general, a estas unidades se les cambiaba directamente el motor a uno de tipo Diesel, por lo que se pudo inferir que:
- c. **Los vehículos utilitarios pesados son exclusivamente Diesel**: este combustible es utilizado por excelencia para los vehículos utilitarios:

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

- d. **La totalidad de vehículos movilizadados a nafta son automóviles:** de manera similar a los utilitarios pesados, donde el costo de movilización a nafta no resulta rentable, se supuso que el 100% de estos vehículos son automóviles.
- e. **No hay vehículos utilitarios livianos movilizadados exclusivamente a nafta:** varias unidades comercializadas se reconvirtieron a ser utilizadas con GNC, soliendo ser para uso urbano y permitiéndosele una baja autonomía por la gran cantidad de estaciones de carga existentes en el ámbito.
- f. **Existe un número pequeño de vehículos utilitarios livianos movidos a GNC:** si bien el combustible Diesel es amplia mayoría en los utilitarios, se utilizaron valores relativos de base de datos oficiales (ENARGAS, 2021) y se aplicó el porcentaje total (0,75%) de pick ups al parque total de GNC. El valor de vehículos Diesel se estima por diferencia con el total y sale de restar el valor recientemente obtenido al total de utilitarios, quedando como indica en Tabla 2. El valor faltante en automóviles tanto de GNC como Diesel, salió de descontarle al total de cada combustible los utilitarios. De tal manera, la composición del parque automotor por tipo de combustible se presenta en el cuadro¹.

Según las hipótesis tomadas anteriormente, se pudo llegar a una distribución para los vehículos en CABA según categoría y tipo de combustible (Tabla 2).

Tipo vehículo \ Combustible	GNC	Nafta	Diesel	Total
Automóviles	154.142	694.147	266.721	1.115.010
Utilitario Liviano	24.085	0	150.136	174.220
Utilitario Pesado	0	0	50.926	50.926
Total	182.511	697.837	461.646	1.340.157

Tabla 2: Cantidades totales de vehículos según combustible y clase.

¹*Nota:* Con el fin de clasificar los diferentes vehículos propulsados a GNC, se analizó la estadística de ENARGAS, habiéndose encontrado inconsistencias. Siendo para Argentina 1.652.939 el total registrado, calculando sobre el total registrado en (DNRPA, 2020) el valor era levemente encima del 10%, no siendo consistente con el informe de “Parque Activo”(Promotive - AFAC, 2020) , donde aclara que el porcentual es del 13,6%. Por lo cual, no se lo consideró utilizable para este trabajo. Asimismo, se informaba que en Ciudad de Buenos Aires el total registrado era apenas superior a 58.000, lo cual representaba un 4,3% del parque total de la Ciudad, siendo más inconsistente aún con el valor entregado por el informe de “Parque Vivo”. Además, si tomamos en cuenta que en la ciudad se tienen más de 39.000 taxis y remises habilitados (Centro Tecnológico de Transporte y Seguridad Vial, 2020), quedaba poca cantidad para vehículos particulares que también representaban un número considerable.

3. Generación de información base

Con el objeto de evaluar el comportamiento del tránsito en el área seleccionada se evaluó la disponibilidad de información oficial y comparable, la cual consistió específicamente en datos de las vías de circulación dentro de la ciudad, el segmentado de la superficie de la ciudad para diferentes usos y la ubicación geográfica de los diferentes edificios con actividades que pudieran atraer gente y vehículos (Gobierno Ciudad, 2012).

3.1 Obtención de patrones de manejo

A fin de generar la información base para el sistema propuesto, fue preciso realizar en primer lugar la recopilación de información relacionada con variables que indiquen un patrón de conducción típico en la ciudad: esto involucró conocer tanto el desplazamiento del parque automotor, clasificado en vehículos livianos y pesados, de la misma manera la distribución horaria del mismo. También se debió recabar información de las velocidades alcanzadas, comportamiento del motor y otras variables de éste.

Con tal fin, se utilizó a bordo de varios vehículos a medir un sistema de adquisición de datos con una computadora, conectada a un GPS (que brindó la posición exacta del vehículo) y una toma de diagnóstico OBD (la cual adquirió datos de en tiempo real de ciertas variables del motor para guardarlas en una base de datos).

3.2 Recursos y equipamientos

Para la realización del presente trabajo de tesis se dispusieron de los siguientes recursos, posibles de ver en Figura 9:

- **GPS:** Se utilizó un modelo Garmin eTrek HC, el cual permitió la adquisición y extracción de las coordenadas en tiempo real (ver Figura 9a). Si bien la frecuencia de adquisición máxima era de 1 segundo, se adaptó al barrido que hizo el software de adquisición. El mismo debió poseer una conexión de tipo USB para enlazar a una laptop, sumado a un driver que habilitó la entrega de datos (Franson GPS Gate 2.6).
- **Toma de diagnóstico OBD II:** Para el presente trabajo fue utilizado una marca modelo ELM 327 con enlace USB (ver Figura 9b), obteniéndose a través de esta los parámetros de funcionamiento del vehículo y el motor. Ellos fueron:
 - Velocidad del vehículo (km/h) (*)
 - Régimen de rotación del motor (rpm) (*)
 - Presión absoluta en el colector múltiple de admisión (*)
 - Flujo de aire en el colector múltiple de admisión

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

- Temperatura del aire de admisión
- Consumo de combustible
- Avance al encendido
- Estado de carga del motor
- Posición del acelerador
- Presión de combustible
- Niveles de oxígeno en la línea de escape del vehículo

Es importante aclarar que no siempre estuvieron disponibles libremente todas las variables mencionadas, por lo cual se tomaron vehículos que permitieron registrar mínimamente aquellas marcadas con el signo (*).

Si bien la máxima capacidad de muestreo del equipo era de una décima por segundo, este factor estuvo afectado por la capacidad del software para hacer el barrido de estas variables junto al resto de los periféricos.

- **Notebook para adquisición de datos:** La misma fue utilizada al momento de la toma de datos (haya sido con o sin el analizador de gases), permitiendo la conexión de los equipos de adquisición de datos, y corriendo el programa de adquisición (ver Figura 9c). Para el presente trabajó se utilizó una modelo HP 240 G2, Para su correcto funcionamiento con los respectivos periféricos de toma de datos, fue necesario instalarle diversos drivers (Franson Gate para el GPS, Real Term para análisis de entrada de datos).
- **Analizador de gases:** Fue utilizado uno de marca Luján LH5169 (ver Figura 9d), el cual permitió la adquisición volumétrica en tiempo real de los siguientes gases:
 - Dióxido de Carbono (CO₂)
 - Monóxido de Carbono (CO)
 - Hidrocarburos sin quemar (HC)
 - Oxígeno (O₂)
 - Estado del sensor de oxígeno (Lambda)
 - Velocidad de giro del motor (rpm) para el caso en que el sistema de encendido operara con cables de bujía.

La frecuencia de muestreo de este se ubicó entre 3 y 4 segundos, por lo cual no se encontró un cuello de botella en la adquisición para cuando estuviera operando el sistema junto a este equipo.

La conexión externa del mismo debió adaptarse para el tipo USB.

- **Convertidor 12V- 220V (inversor):** Se utilizó el mismo para alimentar al analizador de gases (ver Figura 9e), pues el mismo no estaba preparado para alimentarse directamente del vehículo. Al mismo se le colocaron cables de alimentación provenientes

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

directamente de la batería del vehículo, pues debido a la elevada potencia necesaria a su entrada podía dañar al sistema de alimentación interna de la cabina del vehículo.

- **Fuente interna para laptop:** Necesaria para que las mediciones no se detengan hasta que se agote la batería de la laptop (ver Figura 9f), se utilizó una que pueda conectarse a la alimentación interna de la cabina y, mediante adaptadores, se pudiera conectar a la laptop que fuera seleccionada para medir.

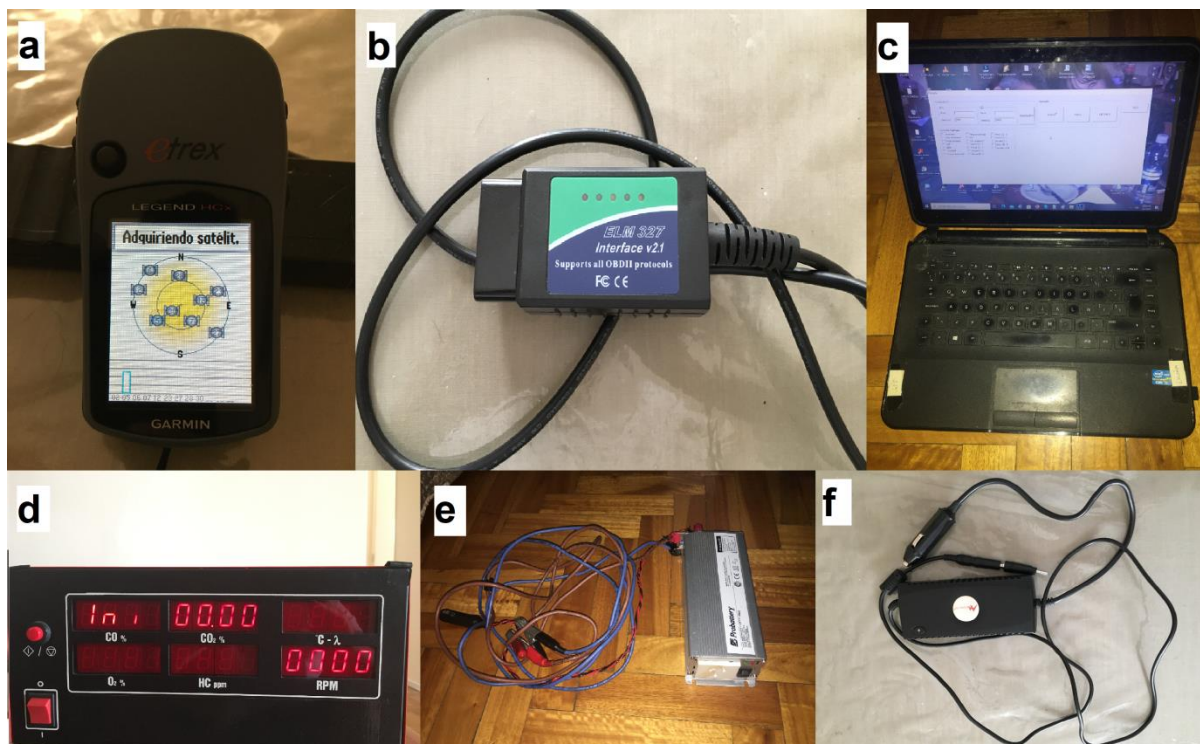


Figura 9: Equipos utilizados durante la medición: a) GPS de posicionamiento personal; b) Escáner automotriz; c) Laptop utilizada; d) Analizador de gases Luján; e) Convertidor 12V- 220V (inversor) para el analizador; e) Fuente portátil de vehículo.

- **Software de adquisición de datos:** Todo este sistema de registro de datos hizo posible contar con el desplazamiento en tiempo real del vehículo y la variación de los parámetros de funcionamiento del motor para cada instante, a fin de relacionarlos con las emisiones gaseosas del mismo. Por eso, se encargó especialmente para el presente trabajo la programación de un software para recopilar de forma ordenada y conjunta la información enviada por los equipos anteriormente mencionados, cuya pantalla en proceso de medición es vista en la Figura 10.

Para un instante de tiempo, el sistema toma los datos de todas las variables y las coloca en una misma planilla, indicando fecha y hora. El mismo las agrupa de forma que adquiera en función de aquella que tuviera menor frecuencia. Como resultado se entrega una planilla electrónica de datos, tipo CSV compatible con programas de hojas de datos, tal cual es visto en Figura 11.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

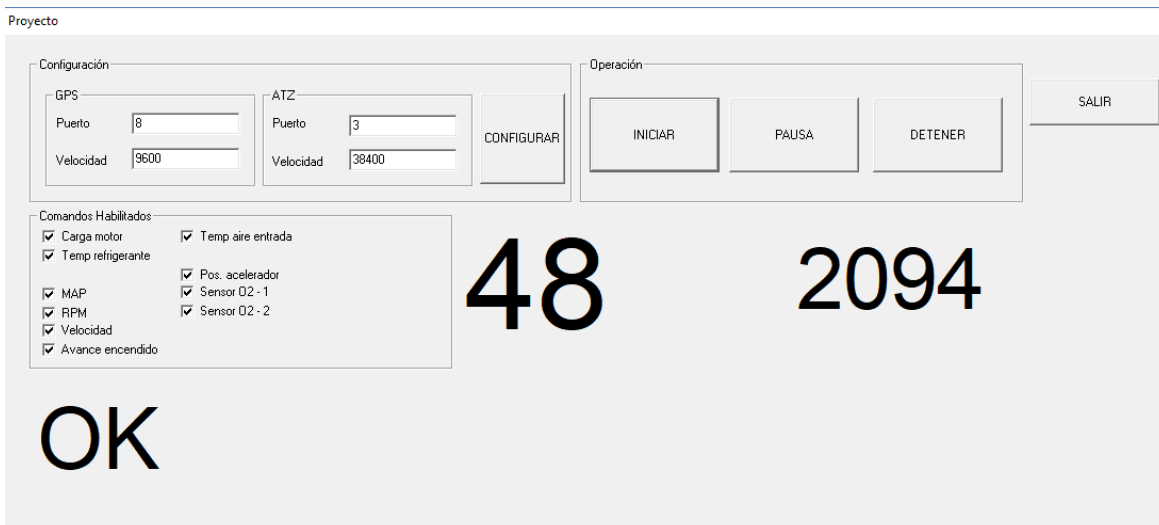


Figura 10: Pantalla de programa durante adquisición.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Día	Mes	Año	Hora	Tiempo	Latitude	Longitude	Vel	RPM	Temperatura	Carga	MAP
2	29	7	2019	15:36:06	5	-34.594906	-058.436676	0	965	86	5	33
3	29	7	2019	15:36:20	7	-34.594865	-058.436657	0	945	85	5	32
4	29	7	2019	15:36:27	9	-34.594875	-058.436624	0	964	84	4	33
5	29	7	2019	15:36:34	12	-34.594855	-058.436611	0	953	83	4	32
6	29	7	2019	15:36:37	15	-34.594855	-058.436608	0	971	82	4	31
7	29	7	2019	15:36:40	18	-34.594854	-058.436608	0	1840	81	13	65
8	29	7	2019	15:36:43	21	-34.594864	-058.436591	16	1772	81	14	41
9	29	7	2019	15:36:46	24	-34.594933	-058.436499	20	2226	81	14	34
10	29	7	2019	15:36:48	26	-34.594995	-058.436429	22	2345	80	9	21
11	29	7	2019	15:36:51	29	-34.595105	-058.436334	19	2121	80	18	48
12	29	7	2019	15:36:53	31	-34.595177	-058.436265	24	2623	80	24	48
13	29	7	2019	15:36:55	33	-34.595278	-058.436181	29	3084	81	13	76
14	29	7	2019	15:36:58	36	-34.595446	-058.436005	39	2651	81	25	43
15	29	7	2019	15:37:01	39	-34.595668	-058.435793	40	2694	81	6	15
16	29	7	2019	15:37:04	42	-34.595874	-058.435592	29	2045	81	5	26
17	29	7	2019	15:37:07	45	-34.595995	-058.435466	9	1006	81	4	31
18	29	7	2019	15:37:10	48	-34.596028	-058.435428	3	912	82	14	34

Figura 11 – Planilla resultante de adquisición.

3.3 Conteos y variaciones horarias

Este trabajo involucró no sólo poder tener segregadas las emisiones en el ámbito espacial, sino también en el temporal. Dado que las emisiones poseen una marcada variación según la hora y el día de la semana, consecuentemente se modifica la concentración de estos gases contaminantes en el aire y así también la estrategia de este sistema para reordenar el tránsito y minimizar el impacto ambiental.

En tal sentido, para considerar la variación horaria en el modelo de tránsito propuesto se compara el número de vehículos contados en diversos puntos de conteo, con aquellos

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

obtenidos en la desagregación espacial. En tal sentido, se consideró el conteo previo realizado por la ciudad de Buenos Aires para la realización del mapa de ruidos de la ciudad (Accorinti, 2020), además de la cantidad de vehículos contabilizados en los peajes de las autopistas porteñas (Gobierno Ciudad, 2012).

A tales valores se llegó tomando como referencia un valor que sea representativo de los días hábiles de un mes de actividad con baja cantidad de feriados (Junio). Respecto al horario matutino, se tomó en cuenta un valor que represente al tránsito en un período comprendido entre las 7 y 13 horas. En cambio, para el horario vespertino, se buscó un valor representativo entre las 13 y 18.

Asimismo, algunos peajes urbanos se descartaron debido a su baja utilización (Alberti de AU 25 de Mayo, Salguero de AU Illia) o bien se sumaron a otro cercano, dado su objetivo a ser utilizado por vehículos de función muy específica (ejemplo del peaje de Retiro en Autopista Illia, sólo utilizado por vehículos con destino portuario).

Dado que los conteos de vehículos para el mapa de ruidos se realizaron bajo otros criterios, terminaron quedando ubicados fuera de la Red de Tránsito Pesado (RTP), por lo que se imposibilitaba tener en cuenta vehículos de este tipo de carga pesada (con cargas superiores a 12 Toneladas).

Por ello, se buscó agregar puntos adicionales que se ubiquen dentro de este circuito, realizando por cuenta propia la actividad de la contabilización. Los mismos se ubicaron en:

- Paseo del bajo (altura Avenida Corrientes): autopista exclusiva de tránsito pesado, resulta estratégica para la conexión entre Retiro (donde se ubica el puerto y la principal terminal de ómnibus) y las autopistas que enlazan al sur y oeste de la ciudad.
- Avenida Vélez Sarsfield y Avenida Amancio Alcorta: cruce de dos vías que enlazan a zona industrial de la ciudad y el sur de los suburbios.
- Avenida Eva Perón y Avenida Lisando la Torre: específicamente se buscó cuantificar el movimiento del Mercado de Hacienda.

En los puntos de conteo de vehículos pesados, ubicados dentro de este circuito, se consideró pertinente no contabilizar vehículos livianos, al haber una importante cantidad de puntos de conteo ubicados en otros lugares de la urbe más populosamente habitados. A continuación, sigue un mapa mostrando los puntos de conteo (Figura 12).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

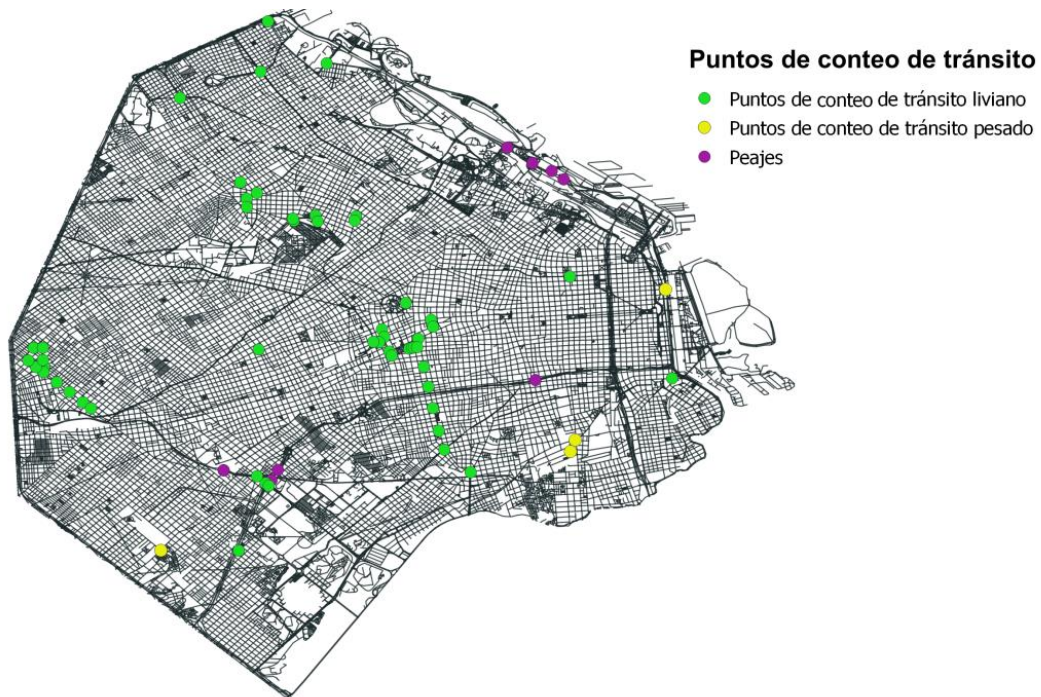


Figura 12: Puntos de conteo en Ciudad de Buenos Aires – Tránsito liviano y pesado

3.4 Estaciones de calidad de aire

A fin de calibrar el modelo de emisiones, se buscó alinear los datos obtenidos con aquellos de las estaciones de calidad de aire de la ciudad de Buenos Aires (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2022). En la ciudad de Buenos Aires existen tres, las cuales se ubican en zonas que se pueden ver en la figura siguiente (Figura 13).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental



Figura 13: Ubicación de las estaciones de calidad de aire en la ciudad

Con ese propósito, se compararon las emisiones de monóxido de carbono (CO) en las celdas en las que se encontraba la correspondiente estación (Figura 14).



Figura 14: Entorno de estación de calidad de aire

3.5 Análisis de comportamiento

El comportamiento del tránsito es un factor que afecta sustancialmente a las emisiones, pues las mismas varían si la circulación es principalmente a velocidad constante o si están compuestas por aceleraciones y detenciones, tendiendo este último caso a ser un embotellamiento (el caso más crítico en ciudad del tránsito y emisiones vehiculares).

Con el objeto de conocer esa variabilidad se analizaron las múltiples mediciones en las vías de circulación. De esta manera se pudo obtener perfiles de velocidad desarrollados, a través de la adquisición de datos del equipo OBD. Junto al GPS anexado al mismo, se pudo conocer la ubicación exacta donde se estaba desarrollando tal velocidad. Asimismo, se identificaban otros aspectos que podrían ser de interés para ampliar el análisis del comportamiento, como ser el tipo de marcha de los vehículos, la carga en los motores, entre otros. Configurado el equipo para medir parámetros de motor y ubicación, se logró alcanzar una frecuencia en la adquisición de datos menor a los 4 segundos.

Así es que buscando una representatividad suficiente, el presente estudio debió ser realizado en una población mínima de vehículos en la ciudad, llevándose a cabo en trayectos típicos, como lo hecho, por ejemplo, en Gantuz et al. (2008). Este registro de datos se hizo sobre vehículos donde se permitió la instalación de los correspondientes equipos para la recopilación de los datos, resultando fundamental que los mismos no afecten al habitual itinerario: para ello se contó en disponibilidad con vehículos en carácter de préstamo o bien de propia tenencia. Para todos ellos cabe mencionar que los mismos debieron estar conducidos por las mismas personas que le daban utilización, siendo registrado sobre su trayecto habitual: fue importante realizar una demostración previa del procedimiento de medición a los conductores, de forma que no se vieran afectados por su presencia.

Se buscó registrar trayectos habituales de la gente, aunque también se pudo medir otros que resulten de tipo eventual: todos ellos reflejaron el comportamiento del tránsito en la ciudad. Dado que la amplia mayoría de la población transitaba durante el día, y era en tal momento que se generaba la mayor concentración de emisiones, las mediciones se realizaron en horario diurno (matutino y vespertino), como también los días hábiles principalmente (circulación habitual).

Ante el caso de falta de cobertura de zonas específicas de la ciudad, se procedió a realizar mediciones también en tales lugares. Asimismo, se evitó medir en días lluviosos, como considerar mediciones que pudiera estar signadas por hecho no habituales que hubieran podido entorpecer la marcha (cortes y desvíos por arreglos o protestas).

Para la realización del presente trabajo se dispusieron de los vehículos presentados en la Tabla 3.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Marca / Modelo	Motor	Caja de Velocidades	Modelo	Norma Antipolución	Referencia de la Norma
Chrysler Neon	Nafta 2,0 l	Manual 5	1998	Tier 1	Life, 2016
VW Up	Nafta 1,0 l	Manual 5	2019	Euro 5	Consejo, 2007
Renault Fluence	Nafta 2,0 l	Manual 5	2015	Euro 4	Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2020
Peugeot 207 Compact	Nafta 1,6 l	Manual 5	2012	Euro 3	Del and La, 1998
Ford Fiesta	Nafta 1,6 l	Manual 5	2012	Euro 3	Del and La, 1998

Tabla 3. Vehículos ensayados y características técnicas de los mismos (Consejo, 2007; Del and La, 1998; Life, 2016; Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2020).

Si bien algunas zonas poseen varias ocasiones de registro, no se repitieron trayectos completos más de una vez: esto se debió a que ciertos vehículos tenían el mismo origen, aunque sí se registró el trayecto hacia su destino final. Esto se debió a la complejidad que involucraba la instalación y circulación con los equipos a bordo, como así también la incomodidad que hubiera resultado para los pasajeros su estancia en el vehículo.

Con este registro de datos se obtuvieron no sólo velocidades de circulación en las vías transitadas, sino el propio comportamiento de conductores y la marcha del conjunto de vehículos. Este movimiento pudo ser ponderado posteriormente por las emisiones para obtener las emisiones del parque circulante en ese lugar.

En la Figura 15 se muestra un ejemplo del recorrido desde Caballito (zona de Parque Rivadavia) hasta Palermo (Viaducto Carranza).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental



Figura 15: Ejemplo de ruta seguida dentro de CABA

3.6 Medición de gases

Con el propósito de obtener datos de emisiones durante el recorrido, se analizó una considerable cantidad de mediciones con el analizador de gases, a fin de asignarlas sobre el parque automotor circulante con sus velocidades y lograr el inventario de emisiones de la ciudad.

Las mediciones de gases se realizaron en una cantidad de vehículos más reducida respecto la de perfiles de velocidad, siempre estando bajo condiciones reales (ruta y calle) con un analizador de gases a bordo de los vehículos de prueba, y colectando los gases de las emisiones por el escape (Gantuz et al., 2008). Esto se llevó a cabo con el propósito de reducir la diferencia de resultados entre los valores medidos con equipo a bordo y aquellos obtenidos en banco de rodillos con sistema de reconstitución de carbono, utilizados en la homologación de las emisiones gaseosas (Fontaras et al., 2017).

Adicionalmente, bajo esta modalidad se utilizaron perfiles de velocidad que se acercan a lo que ocurre en las principales vías de la ciudad y a su vez puedan ser similares a aquellos que se utilizan en banco de medición para homologar: congestionamiento (alternando entre detención y 20 km/h) y velocidades constantes de 40, 60, 80 y 100 km/h

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

respectivamente. Una imagen de la toma de velocidad durante la medición se ve en la Figura 16.

Los resultados de emisiones para tales perfiles de velocidad (posibles de ver en Figura 17) fueron aplicados luego sobre las cuantificaciones del tránsito de la ciudad y perfiles de velocidad de estos, a fin de poder obtener las concentraciones de gases del parque circulante sobre las vías de la ciudad, como se detalla luego en la sección 3.5 .

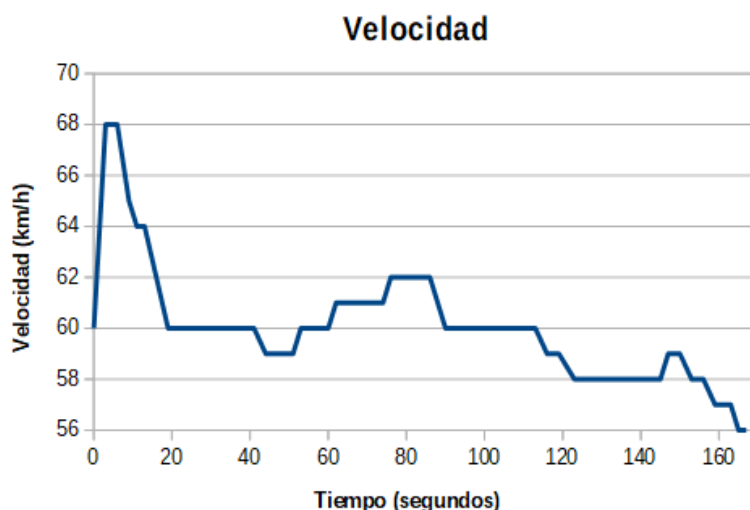


Figura 16: perfil de velocidades en función del tiempo

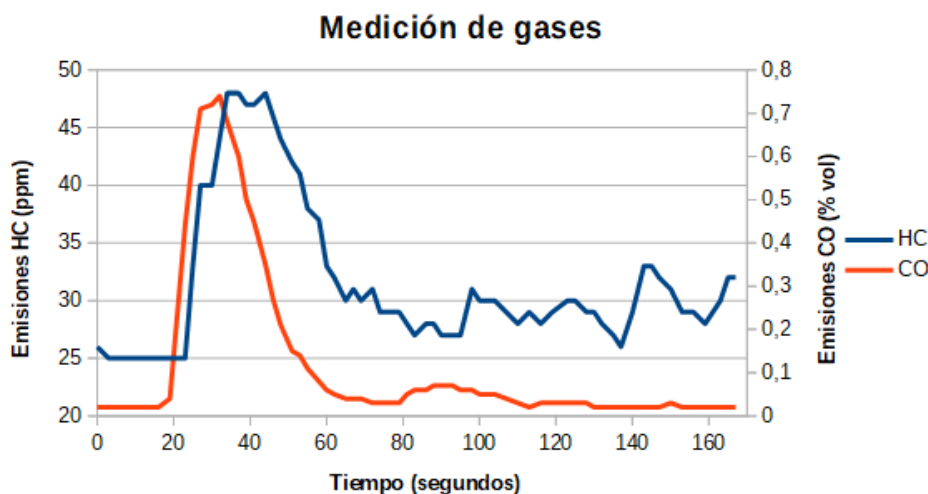


Figura 17: Perfil de emisiones gaseosas en función del tiempo

3.7 Usos de suelo

Para una adecuada desagregación temporal y espacial del tránsito en la ciudad, fue necesario considerar usos de suelo. Esto se debe a que según el destino de utilización que tenga una zona, será su capacidad de atraer gente y vehículos: existen zonas residenciales en CABA que permiten la existencia de grandes edificaciones, provocando una circulación vehicular mayor, como así también existe una diferenciación del flujo de tránsito según el transcurso del día, actuando generalmente para primeras horas las zonas residenciales como emisores de vehículos (fuente) y las comerciales y oficinas como atractores de vehículos (sumidero); para horarios de tarde noche, el flujo se invierte. Esto se sustenta en que la mayoría de la población desempeña su actividad laboral durante el día, para lo cual, parte del hogar al mismo en la mañana para retornar al mismo al finalizar la jornada.

Dado que existen diferentes capacidades de atracción, también se debió asignar a cada uno de ellos un factor que represente la capacidad para recibir vehículos. De esta manera se logró subdividir toda la superficie transitable de CABA según su tipo de zonificación, logrando ponderar la totalidad de las zonas transitables de forma vehicular.

Se obtuvieron a través de la base de datos oficial de la ciudad (Gobierno Ciudad, 2012) las diferentes clasificaciones de superficies existentes en ella, denominadas “Código de Planeamiento Urbano” (CPU). Dado que originalmente son 54 categorías, se decidió reducir las mismas a 10 a fin de disminuir la complejidad del presente trabajo. Las mismas fueron:

- Comercial - Oficina (exclusivamente comercial de alta densidad)
- Comercial (exclusivamente comercial de baja densidad)
- Comercial - mixto (zona mixta comercial y residencial)
- Clubes - Museos (actividades deportivas y culturales)
- Educación (establecimientos educativos)
- Industrial (exclusivo para actividad industrial)
- Parques (espacios verdes)
- Residencial alta densidad (habitacional de alta densidad)
- Residencial baja densidad (habitacional de baja densidad)
- Salud (zona destinada a establecimientos de salud)

Se puede ver en la Figura 18 la resultante subdivisión de la superficie, en función de la clasificación precedente; la cual se base en el CPU.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

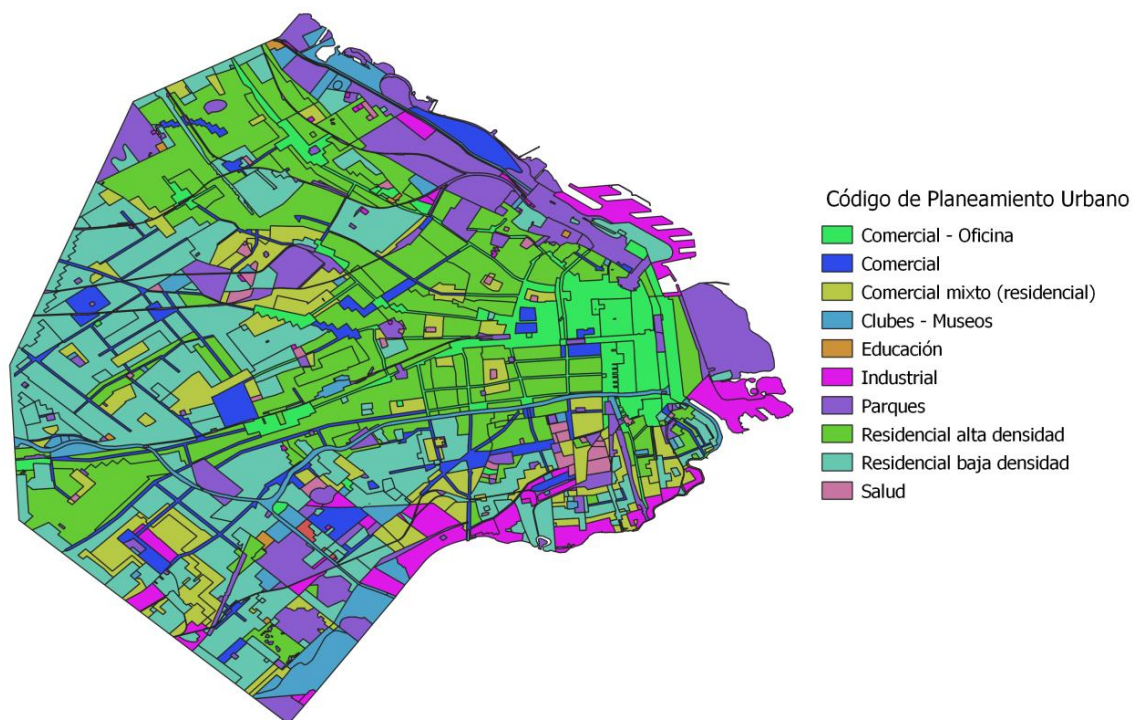


Figura 18: Subdivisión de superficie según clasificación propia en basada sobre el CPU.

En la Figura 19 se ve una vista aérea de Caballito desde Parque Centenario, pudiéndose apreciar un conjunto de zonas contiguas entre ellas: el hospital naval al frente (Zona de Salud), un conglomerado de edificios al fondo (residencial de alta densidad), y en lo bajo una porción del Parque (zona Parques).



Figura 19: Conjunto de zonas residenciales de alta densidad, vista aérea de la zona Caballito y el Hospital naval desde Parque Centenario (Audiovisual, 2019)

3.8 Puntos de interés

Es necesario considerar que dentro de una misma zona de CPU haya diferencias locales, como ser una escuela, o un banco. En tal sentido, existe más tránsito en los destinos más frecuentes de la ciudad, los cuales atraen gente con diferente grado de intensidad. Para ello, de la misma manera que en el punto anterior, se consiguió a través de la base de datos oficial de la ciudad (Gobierno Ciudad, 2012) la ubicación exacta de los siguientes sitios que se consideran que puedan atraer gente y así vehículos. Se puede ver en la Figura 20 la ubicación dentro de la ciudad de algunos de ellos. Estos sitios son:

- Entidades bancarias,
- Clubes deportivos y bibliotecas (polideportivos, estadios, federaciones, clubes, instituciones de colectividades y bibliotecas),
- Lugares de culto (basílicas, iglesias, capillas, santuarios, parroquias, sitios de la curia),
- Edificios públicos (comisarías, cuarteles de bomberos, ministerios, dependencias públicas CABA y nacionales, sedes comunales, embajadas, consulados). Ver Figura 21a,
- Emprendimientos gastronómicos. Ver Figura 21b,
- Entidades educativas (universidades, escuelas, juegotecas). Ver Figura 21c,
- Empresas en distritos (artes, audiovisual, diseño, tecnológico),
- Establecimientos para el vehículo (Garages autos y motos, estacionamientos con movilidad sustentable, sitios de control de Verificación Técnica Vehicular, estaciones de servicio),
- Estaciones (ferrocarril, subte, colectivo, metrobús, bus turístico). Ver Figura 21d,
- Empresas de turismo (hoteles y agencias). Ver Figura 21e,
- Entidades para la salud (hospitales, sanatorios privados, atención barrial y acción comunitaria, geriátricos y farmacias).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

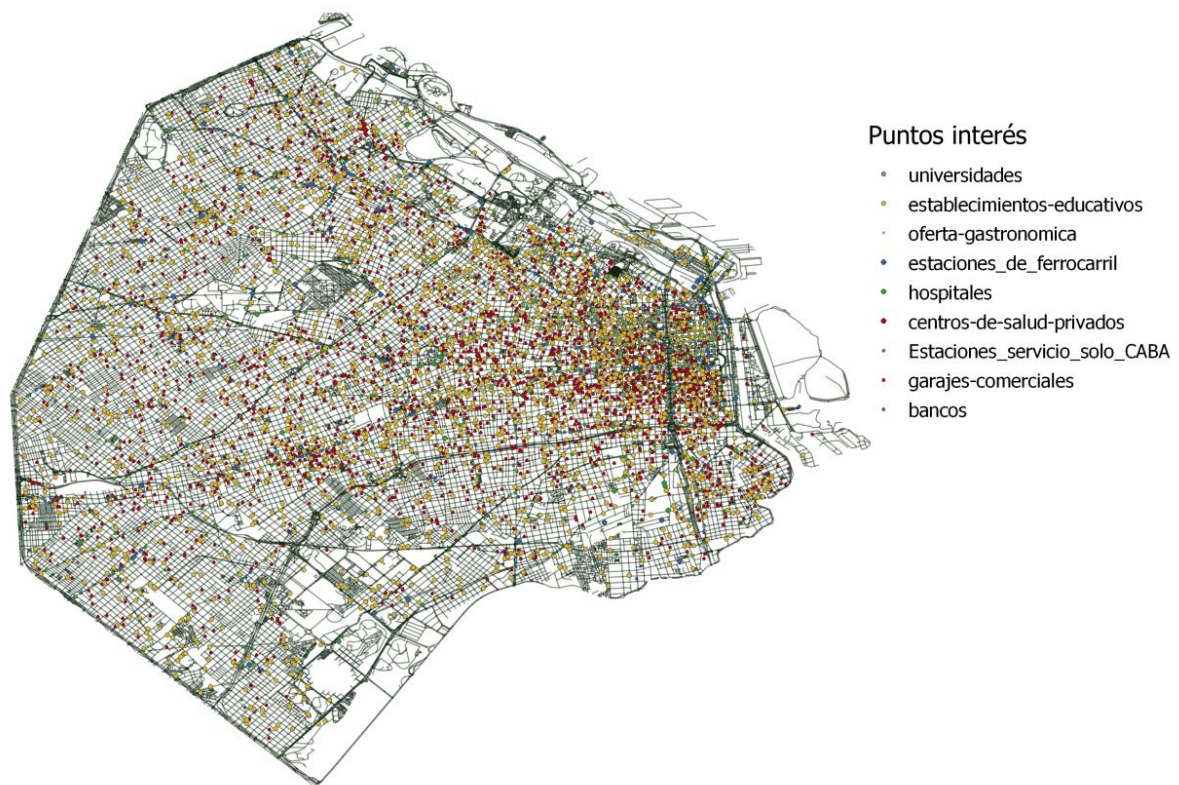


Figura 20. Ubicación de diferentes puntos de interés en la ciudad.

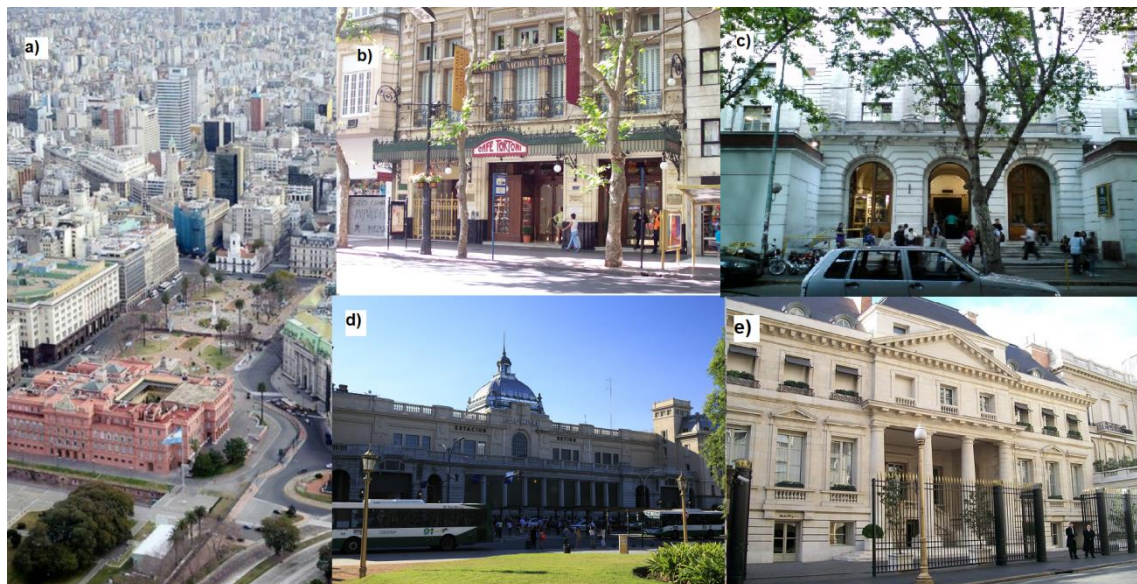


Figura 21: Fotografías de puntos típicos de atracción de personas: a) Plaza de Mayo rodeada de la Casa de Gobierno, sede central del Banco Nación y principales ministerios (Ongaro, n.d.); b) Café Tortoni (Fiadone, 2006); c) Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires (Mapio.net, n.d.); d) Estación Retiro, Ferrocarril línea Mitre (Falk2, 2018); e) Hotel Park Hyatt (Aleposta, 2006).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Asimismo, para vehículos pesados se consideraron otros puntos de interés que pudieran atraer vehículos de este tipo, a fin de poder diferenciar el tipo de tránsito que circulará en las calles.

En la Figura 22 se puede ver la localización de estos, donde se nota una preponderancia de estos en la zona sur de la ciudad o en el nodo de Retiro. Estos tipos de sitios son:

- Dársenas portuarias,
- Estaciones de transferencias de residuos,
- Terminales de ómnibus de larga distancia,
- Mercado de hacienda
- Centros de distribución y logística,
- Industrias que utilicen camiones para distribución,

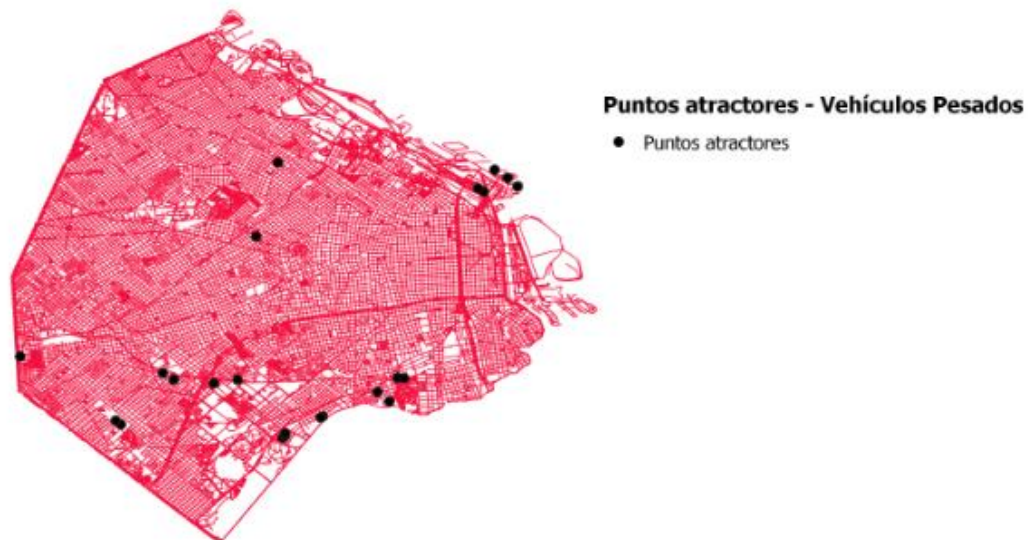


Figura 22: Ubicación de diferentes puntos tractores para vehículos pesados.

3.9 Tipo de vía de circulación y su clasificación

Para una apropiada cuantificación del tránsito, se procedió a clasificar todas las vías de circulación existentes en CABA, donde pudieran transitar vehículos. Esta clasificación se basa que en ciertos tipos de vías el flujo vehicular es superior a otras (por ejemplo, una autopista frente a una calle), como así también por otras características. De esta manera se llegó a las siguientes clases:

- Autopista
- Primaria
- Troncal
- Secundaria

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

- Terciaria

Las bases sobre las cuales se fundamentó para seleccionar cada vía en la clasificación asignada son las siguientes:

- **Autopista:** Se tomó en cuenta que la vía debía tener al menos 80 km/h como límite de velocidad máxima y tener la circulación de vehículos separada del resto de las calles. De esta manera, la avenida General Paz se la consideró como autopista y no como avenida, tal cual lo indica el nombre.
- **Primaria:** Para este caso se tomaron aquellas vías que poseían dos o más carriles por sentido, siendo mayoritariamente el límite de velocidad máxima 60 km/h, por excelencia avenidas. Este último factor no fue mandatorio, pues existieron casos de aplicársele tal clasificación a calles por su gran caudal de transporte público (Rosario), o bien por su gran cantidad de carriles que movilizan gran flujo de tránsito (Coronel Niceto Vega).
- **Troncal:** Se denominó de tal forma a vías primarias de circulación que son muy utilizadas para el ingreso y egreso de vehículos desde los suburbios, llevando consigo gran caudal de vehículos. Se caracterizan en ser avenidas con gran cantidad de carriles que en horario pico de circulación se congestionan por su alta utilización. Mayoritariamente resultaron ser aquellas que se despliegan de este a oeste, pues según el trazado de vías de la ciudad, la ciudad posee mejor conectividad en tal sentido. Ejemplos de este caso pueden ser Avenida Directorio/ San Juan para el ingreso, y Avenida Juan Bautista Alberdi/ Independencia para el egreso.
- **Secundarias:** Aquí habitualmente fueron calles donde el límite era 40 km/h y debían poseer de longitud lineal de más de 4 cuadras (400 metros aproximadamente), poseyendo al menos dos carriles de circulación.
- **Terciarias:** Esta clasificación entra para aquellas vías vehiculares pero su tránsito es escaso. Esto último puede darse por varios factores: pasajes que conllevan un largo reducido (3 cuadras o menos) o bien sin salida de ambos lados (cortadas), único carril. Esto produce que la velocidad en los mismos se vea muy reducida y el tránsito sea escaso, como ser las calles pertenecientes al microcentro porteño en horario diurno.

La distribución de categorías de las vías de circulación de la ciudad puede apreciarse en la Figura 23.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

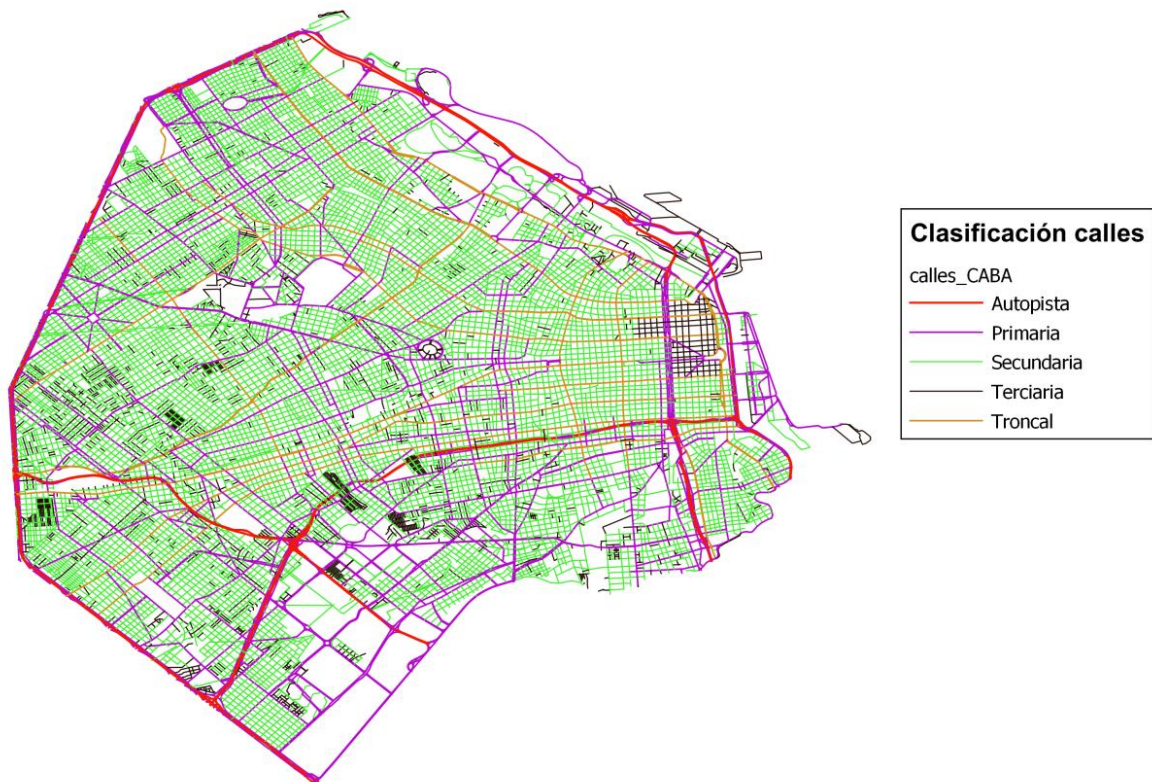


Figura 23: Clasificación de calles en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Dado que CABA no permite la circulación libre de tránsito pesado (ómnibus de larga distancia o bien camiones con pesos iguales o superiores a 12 toneladas), se trazó una Red de Tránsito Pesado (RTP), en la cual se permite la circulación de tales vehículos y que no transiten dentro del tejido urbano con planificación urbana o comercial mayoritariamente (Buenos Aires, 1999) (ver Figura 24).

La misma se compone principalmente por autopistas internas, pero también de algunas avenidas y calles que conecten puntos de interés para tales vehículos: estos sitios son el Mercado de Hacienda en la zona de Mataderos, la estación de ómnibus de Retiro lindante al puerto o la zona industrial ubicada en el sur de la ciudad.



Figura 24: Red de Tránsito Pesado en CABA, detallada en líneas rojas.

4. Desarrollo de un nuevo inventario de emisiones

4.1 Definición de la grilla

A fin de llevar a cabo la mejora en la resolución de inventarios de emisiones preexistentes y poder brindar el máximo de información, se procedió a subdividir el área de la ciudad en celdas cuadriculadas de 100 metros de lado. Se llegó a probar inicialmente con una distancia menor (75 metros), pero hubo una gran cantidad de celdas que quedaron enteramente dentro de una manzana, pues la mayoría de estas son cuadradas con un largo de 100 metros por cuadra. Esto provocaba que varias de estas celdas queden sin poder tomar ninguna vía de circulación lo cual no aportaría datos al inventario. Adicionalmente, celdas de menor tamaño hubieran generado mayor complejidad para el cálculo final, aumentando considerablemente el número total de ellas a considerar en las planillas de análisis de forma innecesaria: no hubiera existido grandes variaciones entre celdas.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Asimismo, en búsqueda de mejora en lo que a trabajos previos se realizó (Pulíafito et al., 2015b); se decidió mantener la mínima distancia que fuera posible; siendo estos 100 metros por lado suficiente para llevar adelante esta mejora. Se puede ver en la Figura 25 el resultante de la confección de la grilla sobre CABA, habiendo quedado la misma de 16 km de base y 13,6 km de altura. Considerando que cada celda es cuadrada de 100 m de lado, este trabajo generó un total de 21760 celdas.



Figura 25 - Grilla sobre CABA en líneas grises. El trazado de calles se detalla en líneas rojas.

Asimismo, se ve en la Figura 26 una ampliación de la grilla sobre una zona de la ciudad, pudiéndose ver cómo queda el grillado sobre las vías de circulación previamente clasificadas.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

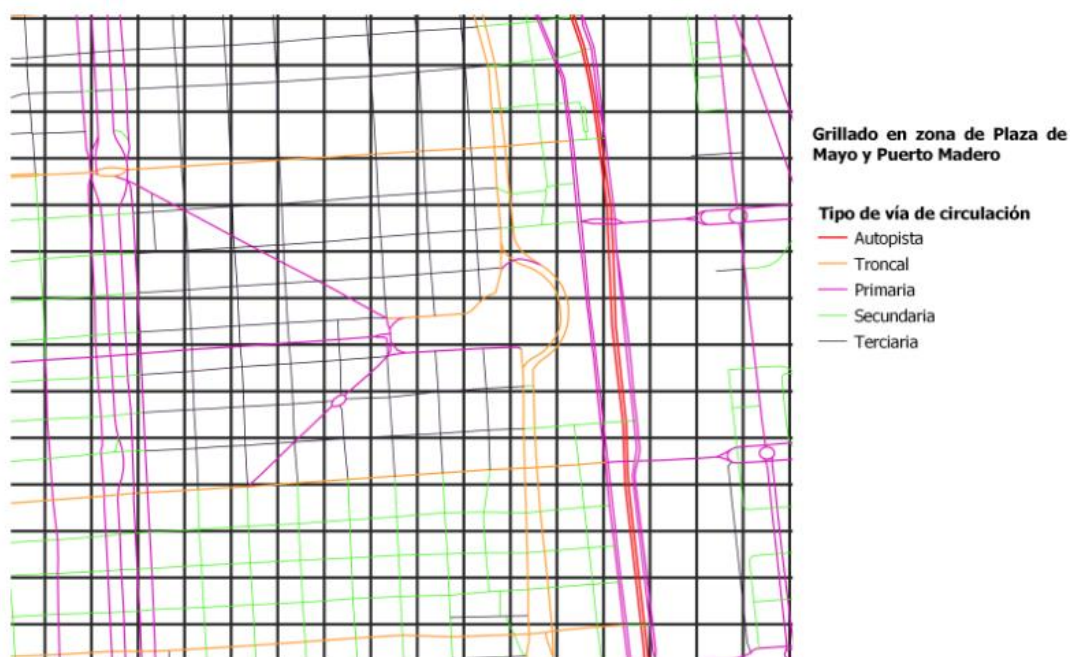


Figura 26: Grillado ampliado sobre zona de Plaza de Mayo (con tipos de vías de circulación).

Cada una de estas celdas fue identificada por un número que fue propio (ID) y asignado en función de su ubicación geográfica respecto a las coordenadas de estas. Tomando en cuenta que algunas de ellas quedaron fuera del contorno de la ciudad, aunque recibieron su número identificatorio, posteriormente no fueron objeto de cálculo.

4.2 Modelo de tránsito: desagregación de la cantidad de vehículos

Para cada celda de la grilla de simulación se estimó el total de vehículos livianos y pesados y sus velocidades de acuerdo con las expresiones que se indican a continuación.

En tal sentido, el tránsito total de vehículos livianos N en cada celda j de la grilla, para una hora m (medidos en “Vehículos/ hora”), se calculó como:

$$N(j, m) = N_t(k) \times \alpha(j, c, k) \times \beta(j, e) \times \gamma(j, p) \times \delta(m, k) \quad (1)$$

Siendo cada factor:

- $N_t(k)$: total de material rodante que circula en el área de estudio, para los vehículos de tipo k (liviano). Su unidad es “Vehículos/ hora”.
- $\alpha(j, c, k)$: factor de distribución de vehículos en la celda j , de acuerdo al tipo de vía de circulación c (autopista, primaria, troncal, secundaria o terciaria) y tipo de vehículo k . El mismo es adimensional.
- $\beta(j, e)$: factor de distribución de vehículos livianos en la celda j , de acuerdo a un punto atractor específico e (bancos, edificios educativos, estaciones de tren/subte,

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

instituciones de salud, clubes/estadios, edificios de culto, edificios públicos, estacionamientos, atractivos turísticos, entre otros). También es adimensional.

- $\gamma(j,p)$: factor de distribución de vehículos livianos en la celda j , de acuerdo a la zonificación de la ciudad para un CPU simplificado p (R1: Residencial alta densidad, R2: Residencial baja densidad; C1: Comercial 1, etc.). Este factor carece de unidades.
- $\delta(h,k)$: se refiere al factor de distribución para cada hora del día m (0 a 23) para el tipo de vehículo k . El mismo también es adimensional.

En el caso de los vehículos de tipo pesado M , se utilizó para la estimación del total circulante en cada celda j y hora m (medidos en “Vehículos/ hora”):

$$M(j, m) = N_t(k) \times \alpha(j, c, k) \times \varepsilon(j, a) \times \delta(m, k) \quad (2)$$

Donde:

- $N_t(k)$: es el total de material rodante que circula en el área de estudio, para los vehículos de tipo k (pesado). Se mide en “Vehículos/ hora”.
- $\alpha(j,c,k)$: el factor de distribución de vehículos en la celda j , de acuerdo al tipo de vía de circulación c (autopista, primaria, troncal, secundaria o terciaria) y tipo de vehículo k . Este coeficiente es adimensional.
- $\varepsilon(j,a)$: el factor de distribución de vehículos pesados de acuerdo a un punto atractor específico a (zona de puerto, Mercado de Hacienda, estación de transferencia de residuos, empresa de distribución, etc.). También es adimensional.
- $\delta(h,k)$: es el factor de distribución para cada hora del día m (1 a 24) para el tipo de vehículo k . Como los otros, también es adimensional.

El coeficiente $\alpha(j,c,k)$ está relacionado con el número de vehículos que pueden circular en un tramo de calle para cada tipo, según sea autopista, primaria, troncal, etc. Dentro de cada celda, el coeficiente se estima de acuerdo con las longitudes de los segmentos que contienen cada tipo de calle como:

$$\alpha(j, c, k) = \frac{w(c,k) \times l(c,j)}{\sum l(c,j)} \quad (3)$$

Donde:

- $w(c,k)$: es factor ligado al número de vehículos que puede llevar cada tipo de calle (liviano o pesado). Este factor no tiene unidades.
- $l(c,j)$: es la longitud de los segmentos de cada tipo de calle c en la celda j . El mismo posee como unidad el “metro”.

El factor $\beta(j,e)$ se introduce para generar zonas atractoras de tránsito dentro de la trama urbana de acuerdo con cierto tipo de actividades que funcionan como destino de viajes en la ciudad. En tal sentido, cada tipo de actividad posee un peso de acuerdo con su grado de masividad. A este respecto, se estimó este factor de ponderación de acuerdo con:

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

$$\beta(j, e) = \frac{F(j,e) \times p(e)}{\max(p(e))} \quad (4)$$

Siendo:

- **F(j,e):** el número de centros atractores del tipo e en la celda j. Este factor carece de unidades.
- **p(e):** el peso arbitrario de cada tipo de punto e. Al igual que el coeficiente anterior, el mismo es adimensional.

Asimismo, la distribución de vehículos en diversas zonas de la ciudad se relacionó con el tipo de zonificación y uso de suelo de manera de introducir flujos de vehículos ligados a concentración de actividades en áreas específicas del centro urbano, como zonas comerciales específicas. Por ello, se introdujo el factor $\gamma(j,p)$ que se estima como:

$$\gamma(j, p) = \max(A(j, p)) \times fp(p) \quad (5)$$

Donde:

- **A(j,p):** proporción relativa de área por cada tipo de CPU en la celda j. Se considera el valor de este en metros cuadrados, sin tomar la unidad.
- **fp(p):** peso relativo del CPU simplificado p. El mismo es adimensional.

Por lo cual, este factor quedará afectada por el CPU de aquel que ocupe mayor área en cada celda j ponderada por un factor de peso dependiente del tipo de zonificación fp(p).

Para el cálculo de tránsito pesado se empleó el coeficiente $\epsilon(j,a)$ que utiliza la misma idea de puntos atractores utilizada para vehículos livianos, pero considerando un efecto a mayor escala, asignando este tipo de tránsito a celdas específicas de la grilla (donde se definió la red de tránsito pesado, RTP) y asociando a estas celdas una ponderación relacionada con la inversa de la distancia al centro atractor más cercano, de acuerdo con:

$$\epsilon(j, a) = \frac{fa(a) \times \frac{1}{dist(j,a)}}{\sum fa(a)} \quad (6)$$

Siendo:

- **dist(j,a):** valor representativo de la distancia mínima entre un centro atractor de tránsito pesado y cada celda considerara. Se considera el valor de este en metros, sin tomar la unidad.
- **fa(a):** el peso relativo de ese centro atractor. El mismo es adimensional.

Las variaciones horarias se introdujeron al modelo de tránsito por medio de un factor $\delta(m,k)$ que toma valores horarios para diferentes tipos de vehículos, tomados de datos medidos en peajes de la ciudad y considerando una zona de influencia de cada uno.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Finalmente, el tránsito total T en cada celda j , para una hora m (cuya unidad es “Vehículos/hora”), se obtuvo sumando el aporte del tránsito pesado y liviano como:

$$T(j, m) = N(j, m) + M(j, m) \quad (7)$$

Siendo:

- **$N(j, m)$** : el número total de vehículos livianos circulando en la celda j a una hora m , medido en “Vehículos/hora”.
- **$M(j, m)$** : el número total de vehículos pesados circulando en la celda j a una hora m , cuya unidad también es “Vehículos/hora”.

Dado que es posible que el modelo de tránsito genere un número de vehículos artificialmente alto, eventualmente en tramos con cruces de autopistas, se limitó su total de vehículos a los valores máximos históricos registrados en éstas. De esta forma, se constató que en cada celda el valor final N (vehículos livianos) y M (vehículos pesados) para la celda j sea:

$$\text{Si } N(j) > N_{\max}(j, m) \text{ entonces } N(j) = N_{\max}(j, m) \quad (8)$$

$$\text{Si } M(j) > M_{\max}(j, m) \text{ entonces } M(j) = M_{\max} \quad (9)$$

Donde:

- **$N_{\max}(j, m)$** : el número máximo de vehículos livianos registrados circulando en la celda j a una hora m . Su unidad es “Vehículos/hora”.
- **$M_{\max}(j, m)$** : el número máximo de vehículos pesados registrados circulando en la celda j a una hora m . También su unidad es “Vehículos/hora”.

Para este trabajo se cuentan con los valores históricos de los peajes de las autopistas de la ciudad, por lo que esta verificación se podrá hacer en las celdas donde existan vías de circulación de este tipo.

4.3 Modelo de tránsito: velocidades

Las velocidades típicas en cada celda de la grilla se incluyeron en el modelo según:

$$V(j) = \alpha_v(j, c) \times [1 - A \times \beta_v(j, e)] \times f_{sem}(j, sem) \quad (10)$$

En donde:

- **$V(j)$** : es la velocidad que poseen los vehículos en la celda j . Como unidad lleva “kilómetros/hora”.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

- **$\alpha_v(j,c)$** : el factor de distribución de velocidades en la celda j, de acuerdo al tipo de calles c (autopista, primaria, troncal, secundaria o terciaria). El mismo posee como unidades km/h.
- **$\beta_v(j,e)$** : el factor de distribución de velocidades de acuerdo a los mismos puntos atractores dentro de la trama urbana utilizados para el número de vehículos, ponderado por la constante A, la cual es de tipo adimensional.
- **fsem(j,sem)**: es un factor de peso dado a las velocidades de acuerdo a la presencia de semáforos en la celda de cálculo. Adimensional resulta ser el mismo.

Este modelo propone que la velocidad es menor en zonas centrales y administrativas y en donde el tránsito es mayor, por lo que se utilizan factores análogos a los utilizados en el modelo de tránsito. En tal sentido, el coeficiente $\alpha_v(j,c,k)$ se identifica también con la velocidad teórica la que pueden circular los vehículos en un tramo de calle para cada tipo (según sea autopista, primaria, troncal, secundaria o terciaria) considerando las longitudes de los segmentos que contienen cada tipo de calle, según:

$$\alpha_v(j, c, k) = \frac{w_v(c,k) \times l(c,j)}{\sum l(c,j)} \quad (11)$$

Donde:

- **$w_v(c,k)$** : factor ligado a la velocidad típica dada en cada tipo de calle, en km/h.
- **$l(c,j)$** : la longitud de los segmentos de cada tipo de calle c en la celda j, el cual se mide en metros.

Análogamente, el factor $\beta_v(j,e)$ incluyen zonas con concentración de actividades ligadas a menores velocidades. Este factor se estimó de acuerdo con:

$$\beta_v(j, e) = \frac{F(j,e) \times p_v(e)}{\sum p_v(e)} \quad (12)$$

Siendo:

- **$F(j,e)$** : el número de centros atractores del tipo e en la celda j. Este actor no posee unidades.
- **$p_v(e)$** : el peso arbitrario de cada tipo de punto e. Este valor, carecerá también de unidades.

El factor A se utiliza para considerar la relación opuesta entre número de vehículos y velocidades.

La presencia de semáforos que implican la disminución de velocidades en las celdas se incluyó con el factor fsem(j,sem) que posee diferentes valores de acuerdo a la cantidad de semáforos sem, en cada celda de estudio, de manera:

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

$$f_{sem} = \begin{cases} a_1 & \text{si } sem > 3 \\ a_2 & \text{si } sem = 2 \\ a_3 & \text{si } sem = 1 \\ a_4 & \text{si } sem = 0 \end{cases} \quad (13)$$

Dado que la circulación de vehículos pesados en las autopistas está limitada y se reduce su velocidad máxima a 80 km/h, se aplicó tal limitación a la velocidad de circulación en vehículos de este tipo. Por consiguiente, para vehículos pesados:

$$\text{Si } V(j) \geq 80 \frac{km}{h} \rightarrow V(j; \text{pesado}) = 80 \frac{km}{h} \quad (14)$$

Donde:

- **V(j):** es la velocidad que poseen los vehículos en la celda j, medida en “kilómetros/ hora”.
- **V(j;pesado):** es la velocidad que poseen los vehículos pesados en la celda j, la cual se mide también en “kilómetros/ hora”.

4.4 Modelo de emisiones

El monitoreo de gases en los recorridos realizados permitió establecer una relación funcional entre las emisiones de diversos tipos de vehículos y los patrones de manejo. En particular, los datos obtenidos a partir de las velocidades registradas segundo a segundo y las emisiones monitoreadas permitieron determinar los parámetros del modelo de emisión para monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (medidos como HC).

Para vehículos livianos se realizaron mediciones con un analizador de gases a bordo de cada automotor de prueba (Figura 27), donde la sonda de medición del volumen de gases se insertaba en la salida del caño de escape y se sujetaba para que no se saliera durante la medición.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental



Figura 27: Instrumentación para medición de gases a través de la salida de gases de escape.

Estas mediciones fueron realizadas a velocidad constante durante al menos un minuto. Las mediciones de prueba han sido con velocidades de 40, 60, 80 y 100 km/h. Adicionalmente, a fin de representar momentos de congestión de tránsito, se ha simulado uno haciendo ciclos de detención con el motor en funcionamiento (40 segundos), seguido de marcha a velocidad constante a 20 km/h. En el gráfico a continuación se puede ver una representación de este (Figura 28).

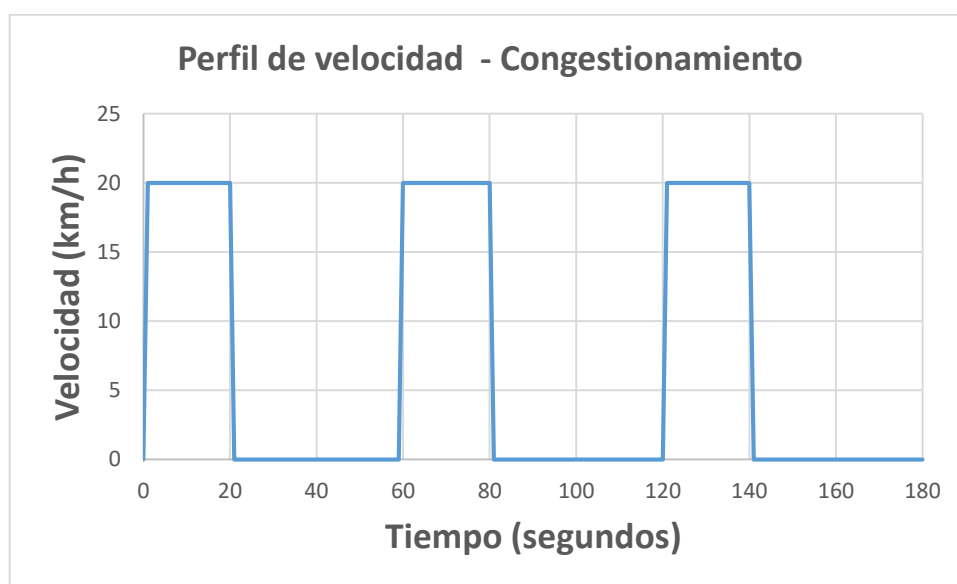


Figura 28: Perfil de velocidad para medición de gases en congestionamiento

Se realizaron al menos en cada vehículo 10 ciclos para este punto de medición, debiéndose realizar siempre en primera marcha. A fin de evaluar y representar los valores de emisiones de tal ciclo, se obtuvo un promedio simple de las velocidades en el tiempo, llegándose a un valor de 6 km/h.

Para la medición, se utilizó un tramo de ruta recta, en donde se estabilizaba el vehículo a la velocidad de medición para comenzar la misma (ver Figura 16). Dado que se obtenían valores de emisiones variables en el tiempo (ver Figura 17), se continuaba con la misma luego de que los mismos se estabilizaban, no estando un tiempo menor en esta instancia a 30 segundos.

Los valores de tales mediciones se captaron a través de un software especialmente hecho para esta medición (Figura 10): a través del mismo, además de la emisión de gases por el caño de escape, se registraron parámetros tales como la posición y la velocidad del vehículo, como así también el régimen de rotación del vehículo. Posteriormente se trasladaron a una planilla de datos electrónica donde se podían disponer para su tratamiento (Figura 11).

Para tener este resultado en un valor numérico, se decidió hacer de los mismos una integración de la gráfica resultante en función del tiempo como indica la siguiente ecuación:

$$Evl(l; g; v) = \int_0^{tf} em(t) dt \quad (15)$$

Donde:

- **Evl (l;g;v):** es la emisión que posee el vehículo liviano “l” para el gas “g” a la velocidad “v”. La unidad para esta variable es “ppm” para las mediciones de HC, y “% volumétrico” en el caso de CO.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

- **em(g;t):** emisión instantánea del gas “g” en función del tiempo “t”. La correspondiente unidad es la misma que para la variable *Evl*.
- **tf:** tiempo total de medición, medido en “segundos”.

Vale mencionar que el tiempo total de medición (a excepción del congestionamiento) se tomó para (al menos) 30 segundos luego que la misma se estabilizara.

Dado que las de emisiones obtenidas se expresaban como concentraciones volumétricas y no máscas, se procedió a realizar una conversión de tales valores a fin de obtener en la forma deseada. De esta manera la ecuación de cálculo queda:

$$Eml(vh; g; v) = \frac{Evl(vh;g;v) \times Vcil(vh) \times 0,5 \times rpm(vh;v) \times 1000000 \times \delta g(g;P;T) \times Map(v)}{D \times 1000 \times 60} \quad (16)$$

Donde:

- **Eml (vh;g;v):** es la emisión de tipo caudal másico, que posee el vehículo liviano “vh” para el gas “g” a la velocidad “v”. Su unidad es “mg/s”.
- **Evl (vh;g;v):** es la emisión que posee el vehículo liviano “vh” para el gas “g” a la velocidad “v”. Según sea el tipo de gas involucrado, su unidad será “ppm” en el caso de HC, o “% volumétrico” para el CO.
- **Vcil (vh):** es el volumen de la cilindrada del motor del vehículo “vh”, expresado en “litro (l)”.
- **Constante 0,5:** es necesario en motores de 4 tiempos, ya que cada dos vueltas del motor se permite la salida de gases generados equivalentes al total de la cilindrada del motor en cuestión.
- **rpm (vh;v):** es el régimen del motor desarrollado por el vehículo “vh” a la velocidad de medición “v”, expresado en revoluciones por minuto (rpm).
- **δg(g;P;T):** expresada en “kg/m³”, se refiere a la densidad del gas medido para el tipo de gas “g”, la presión atmosférica de medición “P” (en kPa), y la temperatura ambiente “T”.
- **Constante 1000000:** Utilizada para convertir la masa de la densidad “δg” de kg/m³ a mg/m³.
- **Map (vh;v):** indica el grado de llenado del cilindro según haya sido la apertura de la mariposa del vehículo “vh” a la velocidad “v”, expresada en proporción entre 0 y 1.
- **D(g):** Constante utilizada para convertir la emisión a volumen del gas “g”, siendo 1000000 para HC (equipo muestra resultado en “ppm”) y 100 para CO (equipo muestra resultado en “% vol”).
- **Constante 1000:** Usada para convertir unidades de volumen “l” a “m³”.
- **Constante 60:** Utilizada para convertir el régimen del motor “rpm” a revoluciones por segundo.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

La densidad de los gases fue calculada utilizando la ecuación de gases ideales, la cual sigue a continuación:

$$\delta g(g; P; T) = \frac{M \times P(vh, v)}{8,31 \times T} \quad (17)$$

Donde se debe considerar que:

- **$\delta g(g; P; T)$** : expresada en “kg/m³”, se refiere a la densidad del gas medido para el tipo de gas “g”, la presión atmosférica de medición “P”, y la temperatura ambiente “T”.
- **M(g)**: es la masa molar para el gas “g”, medida en “g/mol”.
- **P(g;v)**: es la presión atmosférica para el gas “g”, medido a la velocidad “v”, expresada en “kilo Pascales”.
- **8,31**: representa a la constante de gases ideales “R”, expresada en Joule/ (moles x Kelvin).
- **T (vh;g;v)**: es la temperatura absoluta ambiente (expresada en “Kelvin”), para el vehículo liviano “vh”, para el gas “g” a la velocidad “v”.

En base a los resultados obtenidos para la ecuación (10) en función de la velocidad, se realizó un análisis de regresión polinómica de orden cuatro considerando la velocidad como variable independiente y las emisiones como dependiente, según la ecuación:

$$Eml(g) = al(g) \times v^4 + bl(g) \times v^3 + cl(g) \times v^2 + dl(g) \times v + el(g) \quad (18)$$

Donde:

- **Eml(g)**: es la emisión de un vehículo liviano para el gas “g”, cuya unidad será “mg/s”.
- **v**: es la velocidad de circulación, expresada en “km/h”.
- **al(g)**: es el coeficiente de grado 4 de vehículos livianos para el gas “g”, donde su unidad será “(mg/s) / (km/h)⁴”.
- **bl(g)**: es el coeficiente de grado 3 de vehículos livianos para el gas “g”, con unidad de “(mg/s) / (km/h)³”.
- **cl(g)**: es el coeficiente de grado 2 de vehículos livianos para el gas “g”, teniendo como unidad “(mg/s) / (km/h)²”.
- **dl(g)**: es el coeficiente de grado 1 de vehículos livianos para el gas “g”. Su unidad será “(mg/s) / (km/h)”.
- **el(g)**: es el coeficiente independiente de vehículos livianos para el gas “g”. Tendrá como unid “mg/s”.

Para el tránsito pesado, debido a que no se realizaron mediciones de escape, se utilizó una expresión análoga tomada de bibliografía (Wang et al. 2021). De la misma manera, queda una ecuación de regresión de cuarta como sigue:

$$Emp(g) = ap(g) \times v^4 + bp(g) \times v^3 + cp(g) \times v^2 + dp(g) \times v + ep \quad (19)$$

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Donde:

- **Emp(g):** es la emisión de un vehículo pesado para el gas “g”, cuya unidad será “mg/s”.
- **v:** es la velocidad de circulación, expresada en “km/h”.
- **ap(g):** es el coeficiente de grado 4 de vehículos pesados para el gas “g”, con unidad de “(mg/s) / (km/h)⁴”.
- **bp(g):** es el coeficiente de grado 3 de vehículos pesados para el gas “g”, con unidades de “(mg/s) / (km/h)³”.
- **cp(g):** es el coeficiente de grado 2 de vehículos pesados para el gas “g”, poseyendo de unidad “(mg/s) / (km/h)²”.
- **dp(g):** es el coeficiente de grado 1 de vehículos pesados para el gas “g”. Su unidad será “(mg/s) / (km/h)”.
- **ep(g):** es el coeficiente independiente de vehículos pesados para el gas “g”. Tendrá como unidad “mg/s”.

Posteriormente para cada celda, se calcularon las emisiones utilizando las ecuaciones 18 y 19, considerando la velocidad en cada una de las celdas previamente obtenida a través de la ecuación 10, de manera de tener:

$$Eml(j; g) = al(g) \times V(j)^4 + bl(g) \times V(j)^3 + cl(g) \times V(j)^2 + dl(g) \times V(j) + el(g) \quad (20)$$

Donde:

- **Eml(j;g):** es la emisión de un vehículo liviano en la celda “j” para el gas “g”, cuya unidad será “mg/s”.
- **V(j):** es la velocidad que poseen los vehículos en la celda j, expresada en “km/h”.
- **al(g):** es el coeficiente de grado 4 de vehículos livianos para el gas “g”, donde su unidad será “(mg/s) / (km/h)⁴”.
- **bl(g):** es el coeficiente de grado 3 de vehículos livianos para el gas “g”, con unidad de “(mg/s) / (km/h)³”.
- **cl(g):** es el coeficiente de grado 2 de vehículos livianos para el gas “g”, teniendo como unidad “(mg/s) / (km/h)²”.
- **dl(g):** es el coeficiente de grado 1 de vehículos livianos para el gas “g”. Su unidad será “(mg/s) / (km/h)”.
- **el(g):** es el coeficiente independiente de vehículos livianos para el gas “g”. Tendrá como unidad “mg/s”.

De la misma manera, se realizó el mismo procedimiento para vehículos pesados:

$$Emp(j; g) = ap(g) \times V(j)^4 + bp(g) \times V(j)^3 + cp(g) \times V(j)^2 + dp(g) \times V(j) + ep(g) \quad (21)$$

Donde:

- **Emp(j;g):** es la emisión de un vehículo liviano en la celda “j” para el gas “g”, cuya unidad será “mg/s”.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

- **V(j; pesado):** es la velocidad que poseen los vehículos pesados en la celda j, expresada en “km/h”.
- **ap(g):** es el coeficiente de grado 4 de vehículos pesados para el gas “g”, donde su unidad será “(mg/s) / (km/h)⁴”.
- **bp(g):** es el coeficiente de grado 3 de vehículos pesados para el gas “g”, con unidad de “(mg/s) / (km/h)³”.
- **cp(g):** es el coeficiente de grado 2 de vehículos pesados para el gas “g”, teniendo como unidad “(mg/s) / (km/h)²”.
- **dp(g):** es el coeficiente de grado 1 de vehículos pesados para el gas “g”. Su unidad será “(mg/s) / (km/h)”.
- **ep(g):** es el coeficiente independiente de vehículos pesados para el gas “g”. Tendrá como unidad “mg/s”.

Ya una vez obtenidas las emisiones las emisiones para ambos tipos de vehículos, se procedió a realizar el global de las emisiones con la siguiente ecuación según la siguiente ecuación:

$$E_{mt}(j; g) = E_{ml}(j; g) + E_{mp}(j; g) \quad (22)$$

Donde:

- **E_{mt}(j;g):** es la emisión total de vehículos en la celda “j” para el gas “g”, cuya unidad será “mg/s”.
- **E_{ml}(j;g):** es la emisión de un vehículo liviano en la celda “j” para el gas “g”, donde su unidad será “mg/s”.
- **E_{mp}(j;g):** es la emisión de un vehículo liviano en la celda “j” para el gas “g”. Tendrá como unidad “mg/s”.

Para llegar a las curvas finales de emisiones vehiculares volumétricas, se debió realizar un promedio ponderado de los valores, según sea la presencia en el mercado de los modelos de las unidades medidas. Para ellos se utilizaron proporciones en base a un estudio del mercado automotores visto en el capítulo anterior (Promotive - AFAC, 2020). Las mismas se muestran a continuación (Tabla 4).

	W Up	Chrysler Neón	Peugeot 207 Compact
Proporción sobre el total	20%	30%	50%

Tabla 4: Proporciones utilizadas para realizar media ponderada de las mediciones de gases.

5.1 Generación de coeficientes de desagregación espacial y validación

A fin de determinar los coeficientes de las ecuaciones presentadas, se utilizó como metodología la propuesta de valores de prueba y posterior validación por medio de iteraciones. Para validarlos, se procedió a comparar los múltiples valores contabilizados o medidos contra los obtenidos por los correspondientes modelos en la respectiva celda. Como ejemplos de valores medidos, se puede tomar vehículos totales en las celdas donde hubo conteo, velocidades adquiridas por el equipo en el lugar que se dio tal acción, o bien los datos arrojados por las estaciones de calidad de aire en los sitios donde estuvieran.

Realizada la comparación, se analizaron las frecuencias simuladas y medidas (Willmott et al., 1985), y también se utilizaron los siguientes cálculos estadísticos habitualmente usados para validación de modelos de aire (Chang and Hanna, 2004):

- Error fraccional (FB).
- Media geométrica (MG).
- Error medio cuadrático normalizado (NMSE).
- Fracción de datos presentes en un rango de la mitad a 2 (FACT2).

Los valores objetivos de cada cálculo se detallan en la tabla que sigue:

Tipo de cálculo	FB	MG	NMSE	FACT2
Valor objetivo	0	1	0	1

Tabla 5: Valores objetivos para la validación de un modelo matemático

Esto quiere decir que, si los cálculos de un modelo llegan a los valores anteriormente mencionados, sería un modelo perfecto. Esto es algo imposible de que suceda tomando en cuenta la cantidad de factores aleatorios que afectan al modelo.

6.1 Síntesis

Con lo visto, podemos afirmar que la ciudad de Buenos Aires es una mega urbe de complejo movimiento de tránsito, pues posee sus suburbios fuera de su propia jurisdicción, y estando la posibilidad de acceder a los mismos a través de múltiples vías a lo largo de su límite; hace que la estimación de su movimiento vehicular sea compleja.

Sin embargo, es destacable remarcar que para llevar adelante la desagregación espacial del tránsito en las calles de la ciudad, se dispuso de suficiente información bajo formato

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

GIS por parte del gobierno de la ciudad (Gobierno Ciudad, 2012): diferentes puntos de interés, trazado y tipo de vías de circulación, como así también de diferentes usos de suelos. Con ellos se logró delinear el trabajo necesario para realizar un modelo de tránsito muy detallado.

En base a esta información se realizó una estimación de las emisiones vehiculares. Cabe aclarar que los modelos fueron realizados en diferentes versiones: para diferentes tipos de vehículos (livianos y pesados) como también para diferentes momentos del día (matutino y vespertino).

Con el propósito de obtener la máxima definición posible en las emisiones vehiculares, se trazó una grilla que subdivide la ciudad en pequeñas celdas de forma cuadrada, las cuales se terminó decidiendo que tuvieran 100 metros de lado. De esta manera se llega al objetivo de mejorar trabajos previos y no aumentar la complejidad del cálculo sin sentido y mejorando trabajos previos (Allende et al., 2010b; Puliafito et al., 2015b).

Asimismo, se logró trazar un circuito específico para el tránsito pesado (RTP) (Buenos Aires, 1999) sobre las vías de circulación existentes en el sistema GIS, de forma de poder diferenciar el flujo y contribución a las emisiones de este sector.

La forma de validar la propuesta de desagregación fue con mediciones en campo a fin de asegurar que las predicciones sean representativas del tránsito real. Para el caso de la validación del modelo de tránsito, se usó un conteo manual de tránsito recuperado de otros trabajos (Accorinti, 2020), como también por propia realización. Por el lado del modelo de velocidad, fue requerida la medición de ésta. En este sentido, fue necesario la realización de recorridos típicos en los que se captaban, además de la velocidad, otras variables de comportamiento motor como así también su ubicación a través de coordenadas en varias vías de circulación bajo tránsito habitual; en recorridos habituales que diferentes voluntarios hicieran.

Ya con valores de tránsito y velocidad definidos para cada celda que pertenezca a la ciudad, se procedió a aplicar un modelo de emisiones para la obtención final del inventario.

Resultados

En esta sección se presenta el comportamiento típico del tráfico desagregado para la ciudad de Buenos Aires y su impacto en la calidad de aire, el cual sirve de base para la propuesta del ECO ITS. En tal sentido, se muestra en primer lugar la validación del modelo de tráfico propuesto, luego se detalla la aplicación de esta información en la generación de un inventario de emisiones en alta resolución, de acuerdo con la metodología detallada en el apartado anterior. Finalmente, se proponen algunas pautas de diseño para una ECO ITS en base a los resultados obtenidos.

1. Validación del modelo de tránsito

Desagregación espacial – Cantidad de vehículos

Considerando el modelo propuesto en las ecuaciones (1) a (9), se propusieron coeficientes que se validaron con numerosas iteraciones, llegando a una configuración del modelo de cantidad de vehículos (para cada tipo y horario). Se llegó a una serie de coeficientes que a continuación se muestran (Tabla 6 y Tabla 7), todos ellos obtenidos a través del método de iteración, para cada celda del área de estudio.

Coeficiente	Matutino	Vespertino
α	0,7	0,5
β	0,1	0,2
γ	0,2	0,3
δ	1	1

Tabla 6: Coeficientes para el cálculo de vehículos por celda de acuerdo con la ecuación (1)

Coeficiente	Matutino	Vespertino
α	0,7	0,6
ϵ	0,3	0,4
δ	1	1

Tabla 7: Coeficientes para el cálculo de vehículos por celda siguiendo a la ecuación (2)

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

A continuación, se detallan los coeficientes que fueron utilizados para cuantificar la capacidad de atracción de vehículos:

- Coeficientes “w”: establecidos para la clasificación de las vías de circulación según el horario el día (Tabla 8).
- Coeficientes “p”: Pesos asignados a los puntos de interés en vehículos livianos (Tabla 8).
- Coeficientes “fp”: propuestos para la clasificación de las diferentes secciones del Código de Planeamiento Urbano (CPU) (Tabla 9).
- Coeficientes “fa”: Pesos asignados a los puntos de interés en vehículos pesados (Tabla 11).

Coeficientes w	Vehículos Livianos		Vehículos Pesados	
	Matutino	Vespertino	Matutino	Vespertino
Autopista	800	160	55	55
Primaria	50	45	40	40
Troncal	60	130	NC	NC
Secundaria	3	5	10	10
Terciaria	0,5	0,5	1	1

Tabla 8: Coeficientes establecidos para la clasificación de las vías de circulación de acuerdo con la ecuación (3). - NC: No corresponde

Coeficientes p	Matutino - Vespertino
Bancos e instituciones financieras	100
Clubes, estadio, biblioteca	
Polideportivo	20
Biblioteca	10
Clubes	20
Estadios	20
Federaciones	20
Inst. colectividades	20
Culto	
Basílicas	15
Curia	30
Capillas	10
Iglesias	15
Parroquia	20
Santuario	15
Edificios Públicos	
Comisarías	40

**Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS
para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental**

Coeficientes p	Matutino - Vespertino
Cuarteles Bomberos	30
Consulados	50
Embajadas	50
Ministerio	70
Dependencia	70
Edificio público GCBA	70
Sede comuna	80
Educación	
Establecimiento educativo	50
Escuela verde	50
Juegoteca	20
Universidades	80
Empresas distritos	
Audiovisuales	60
Artes	40
Diseño	60
Tecnológico	60
Estacionamientos	
Motos	20
Garages	50
VTVs	40
Movilidad sustentable	40
Estaciones de servicio	60
Estación	
FFCC	40
Subte	30
Bus turístico	20
Transporte	
Colectivos	30
Metrobus	40
Taxis	40
Turismo	
Hoteles	30
Agencias	20
Gastronomía	
< 30 mesas	30
> 30 mesas	30
Instituciones de Salud	
Farmacias	10
Hospitales	40
Sanatorio privado	50

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Coeficientes p	Matutino - Vespertino
Acción comunitaria	20
Medicina barrial	20
Comunitaria	10
Geriátrico	10

Tabla 9: Coeficientes establecidos para la clasificación de los puntos de atracción de acuerdo con la ecuación (4).

Coeficientes fp	Matutino	Vespertino
Comercial - Oficina	350	100
Comercial	190	60
Comercial mixto	1000	200
Clubes - Museo	800	150
Educación	400	150
Industrial	500	300
Parques	450	350
Residencias alta densidad	190	190
Residencias baja densidad	200	100
Salud	300	400

Tabla 10 : Coeficientes establecidos para la clasificación de las diferentes secciones del Código de Planeamiento Urbano (CPU) de acuerdo con la ecuación (5).

Nombre de punto atractor Vehículos Pesados	fa
Centros Logísticos y de Distribución	0,105
Embotelladora A	0,25
Embotelladora B	0,105
Distribuidora	1
Dársenas Puerto	1,9
Terminal Ómnibus A	4
Terminal Ómnibus B	1,9
Terminal Ómnibus C	2,5
Mercado de Hacienda	99
Industrias pequeñas	0,25
Estaciones de Transferencia RSU	0,025
Centro de Acopio de Materiales	1,35

Tabla 11: Coeficientes establecidos para la clasificación de los puntos de atracción de acuerdo con la ecuación (6).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

El empleo de estos coeficientes fue validado para cada tipo de vehículo y cada rango horario en los varios sitios donde haya existido contabilización. En tal sentido, se procedió a efectuar una comparación de frecuencias relativas para cada tipo de vehículo, las cuales se presenta a continuación (Figura 29 y Figura 30):

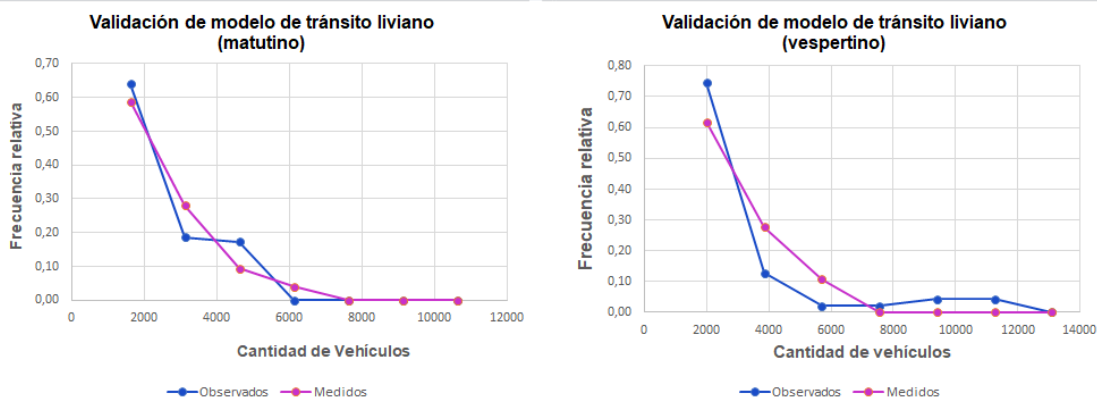


Figura 29: Gráfica comparativa de frecuencias relativas, para cantidad de vehículos livianos: Izquierda; horario matutino; Derecha: horario vespertino

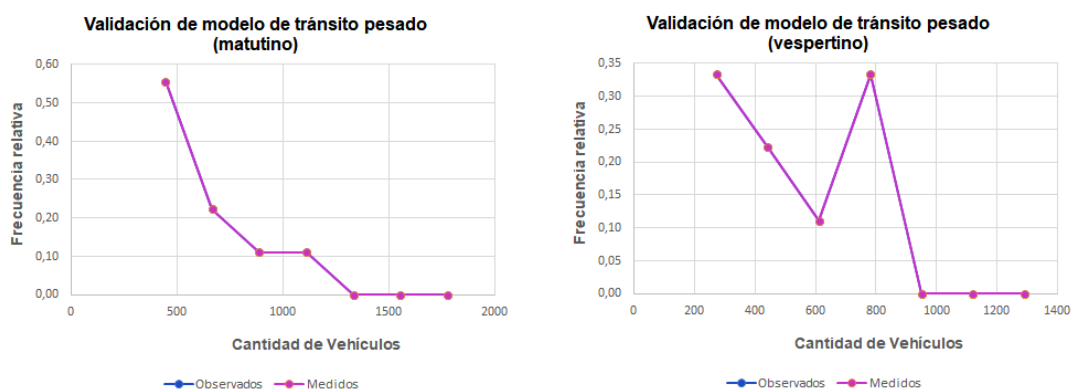


Figura 30: Gráfica comparativa de frecuencias relativas, para número de Vehículos pesados: Izquierda; horario matutino; Derecha: horario vespertino

Se destaca en particular que el modelo de vehículos pesados describe casi perfectamente a los conteos en los sitios de medición de tránsito pesado, probablemente por el pequeño número de éstos que estaba disponible para realizar la validación y, en consecuencia, se pudo ajustar perfectamente el modelo.

También se realizaron cálculos estadísticos en la validación como los sugeridos en Chang y Hanna, (2004), para encontrar los coeficientes de ajuste. Se presentan los mismos para vehículos livianos (Figura 31) y pesados (Figura 32).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

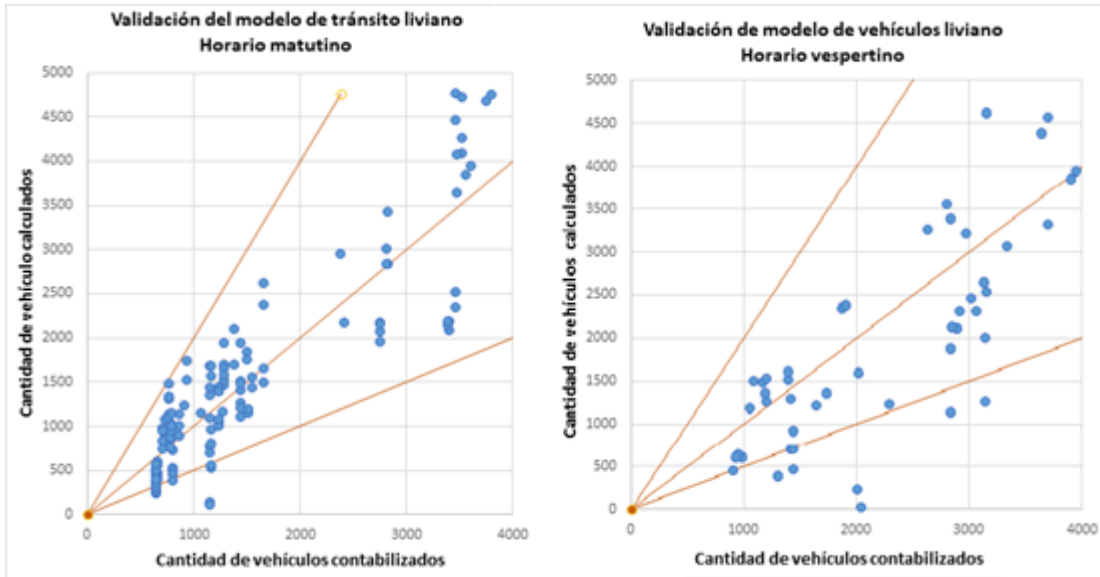


Figura 31: Comparación del número de vehículos livianos contabilizados y cantidad estimada por medio del modelo, en las celdas de conteo.

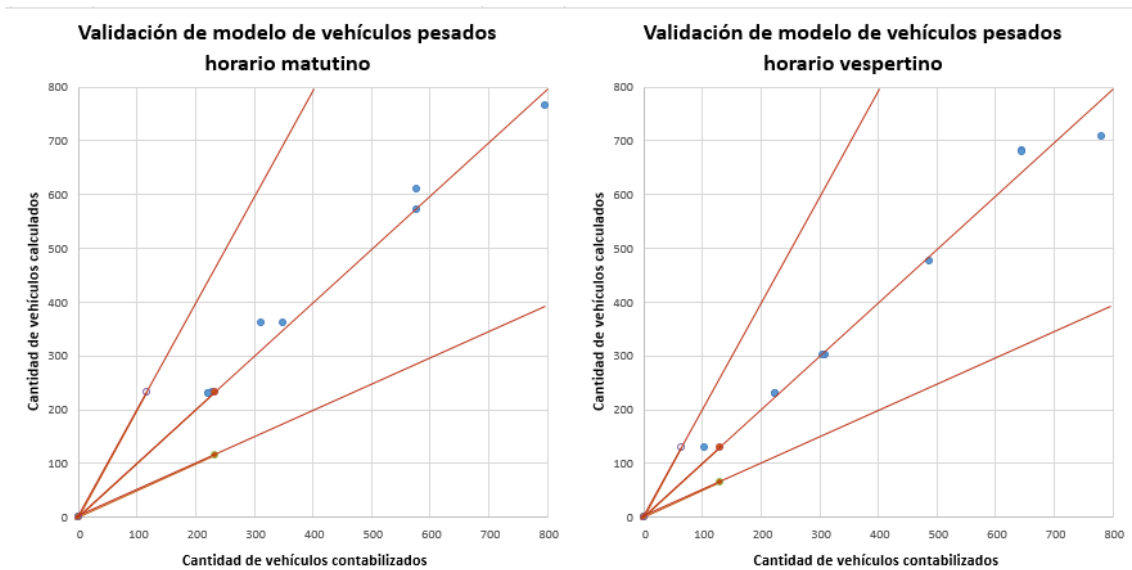


Figura 32: Comparación del número de vehículos pesados contabilizados y cantidad estimada por medio del modelo, en las celdas de conteo.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Los estadísticos de validación siguen en la tabla que se presenta a continuación (Tabla 12):

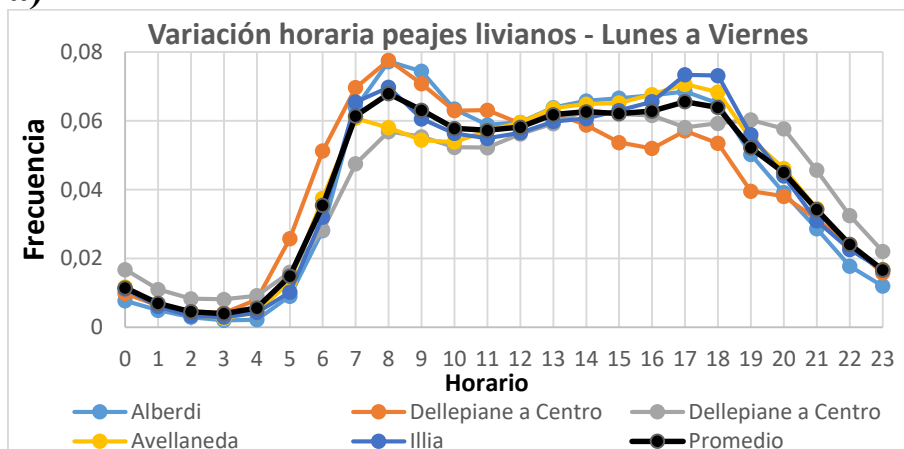
	Vehículos livianos		Vehículos pesados		Valores objetivos
	Matutino	Vespertino	Matutino	Vespertino	
FB	0,030	0,185	0,010	0,000	0
MG	1,084	1,380	1,027	1,024	1
NMSE	0,071	0,173	0,003	0,006	0
FACT2	0,941	0,857	1,000	1,000	1

Tabla 12: Valores de validación estadísticos del modelo de vehículos (Chang and Hanna, 2004)

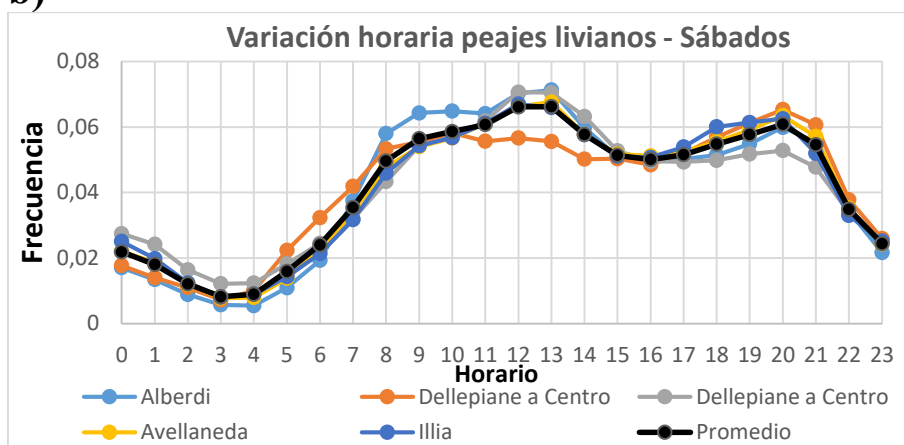
La variación horaria de la cantidad de vehículos para la determinación del coeficiente δ se tomó de los conteos de tráfico, hora a hora, existentes en los peajes de la ciudad.

Dado que en los peajes de las autopistas existe una total contabilización de tránsito con resolución horaria, se pudo estimar la variabilidad temporal del tránsito sobre ellos. A continuación, se muestran las variaciones de tránsito en cada peaje según el horario. Las mismas están detalladas por tipo de vehículo (Figura 33 para vehículos livianos, Figura 34 para vehículos pesados) y el tipo de día del mes que se transite (hábil, sábado o domingo-feriado).

a)



b)



c)

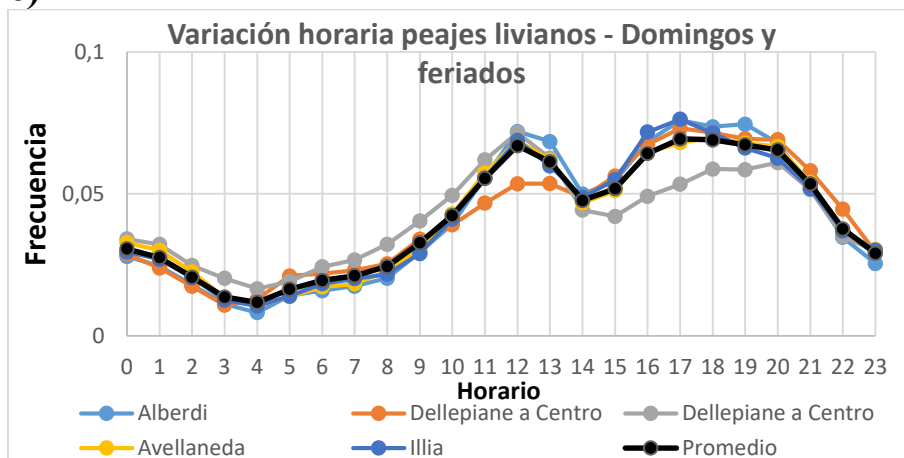
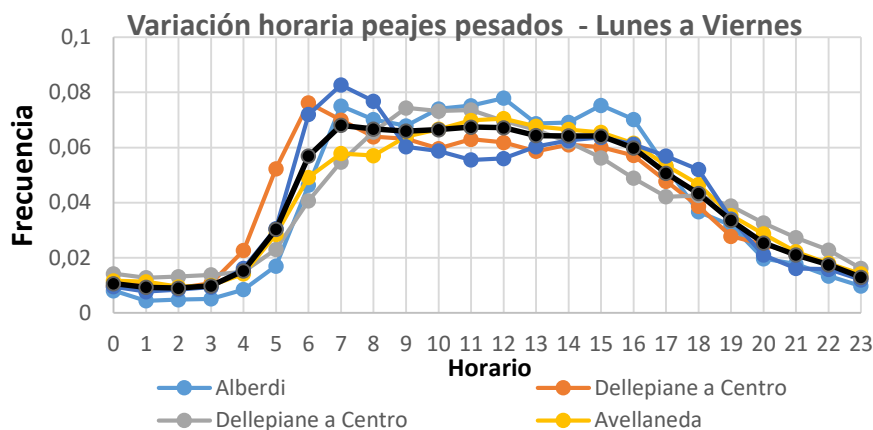


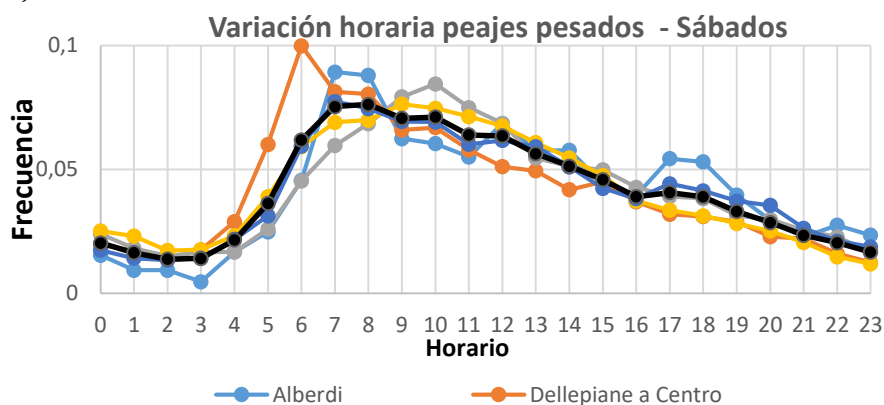
Figura 33: Variación horaria peajes para vehículos livianos según día de la semana

- a) Día hábil
- b) Sábados
- c) Domingos y Feriados

a)



b)



c)

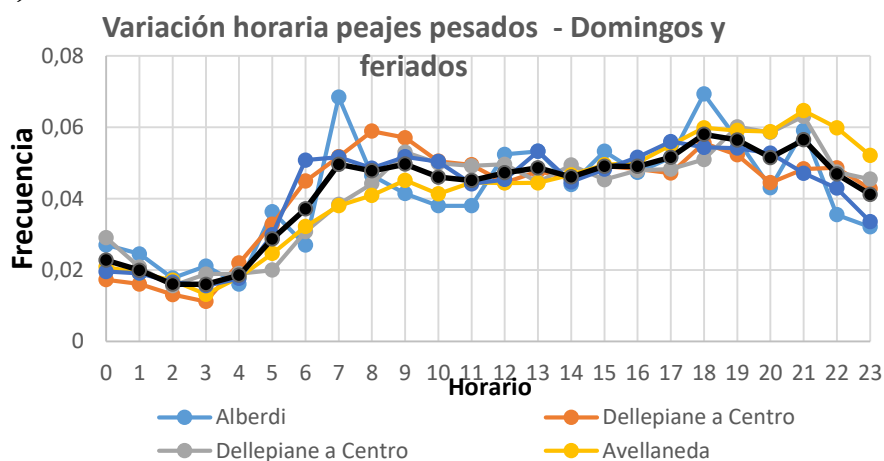


Figura 34: Variación horaria peajes para vehículos pesados según día de la semana

- a) Día hábil
- b) Sábados
- c) Domingos y Feriados

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

A través de estos se puede ver, en general, que existe un número estable de vehículos desde el inicio del horario matutino hasta finalizar el vespertino, cayendo luego a la madrugada. Tal como se detalla más adelante en este estudio de emisiones y ECO-ITS, esto influye en la necesidad de proponer una mejora principalmente durante el horario diurno, donde el tránsito es más intenso y así sus emisiones.

Esto es similar para vehículos pesados durante el fin de semana, teniendo el sábado un pico de movimiento (símil día hábil).

A modo de comparación adicional, tomando las curvas de conteo en los peajes (para livianos o pesados), se muestra la cantidad de vehículos estimada con el modelo para las mismas horas (Figura 35 y Figura 36).

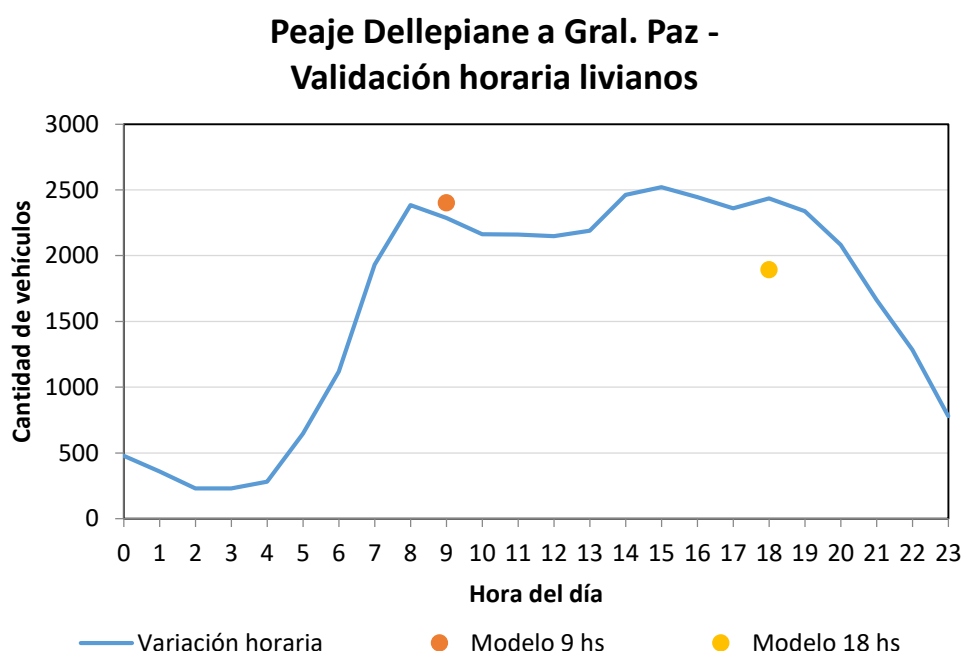


Figura 35: Comparación de variación horaria del conteo de vehículos livianos frente al modelo en dos rangos horarios. – Peaje Dellepiane a Gral. Paz.

Peaje Dellepiane a Gral. Paz - Validación horaria pesados

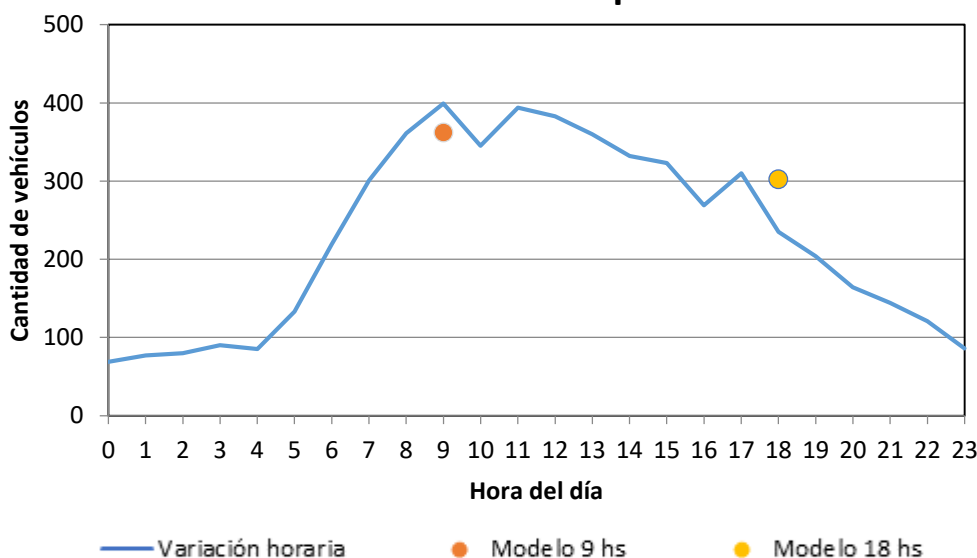


Figura 36: Comparación de variación horaria del conteo de vehículos pesados frente al modelo en dos rangos horarios. – Peaje Dellepiane a Gral. Paz.

Vale recordar que, para la formulación del modelo, algunos peajes urbanos se descartaron debido a su baja utilización (Alberti de AU 25 de Mayo, Salguero de AU Illia) o bien se sumaron a otro cercano, dado su objetivo a ser utilizado por vehículos de función muy específica (ejemplo del peaje de Retiro en Autopista Illia, sólo utilizado por vehículos con destino portuario).

Los valores de todos los coeficientes δ se presentan detallados en el Apéndice para vehículos livianos y pesados, para cada hora del día.

Cantidad de vehículos livianos

El modelo de tránsito obtenido, siguiendo la ecuación (1) de la sección anterior y los coeficientes establecidos en las sucesivas iteraciones realizadas, sirvió para estimar la cantidad de vehículos que recorren las calles de la ciudad, divididos en tránsito liviano y pesado.

A continuación (Figura 37), sigue una gráfica grilla representando la cantidad de vehículos en horario matutino (9:00 horas).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

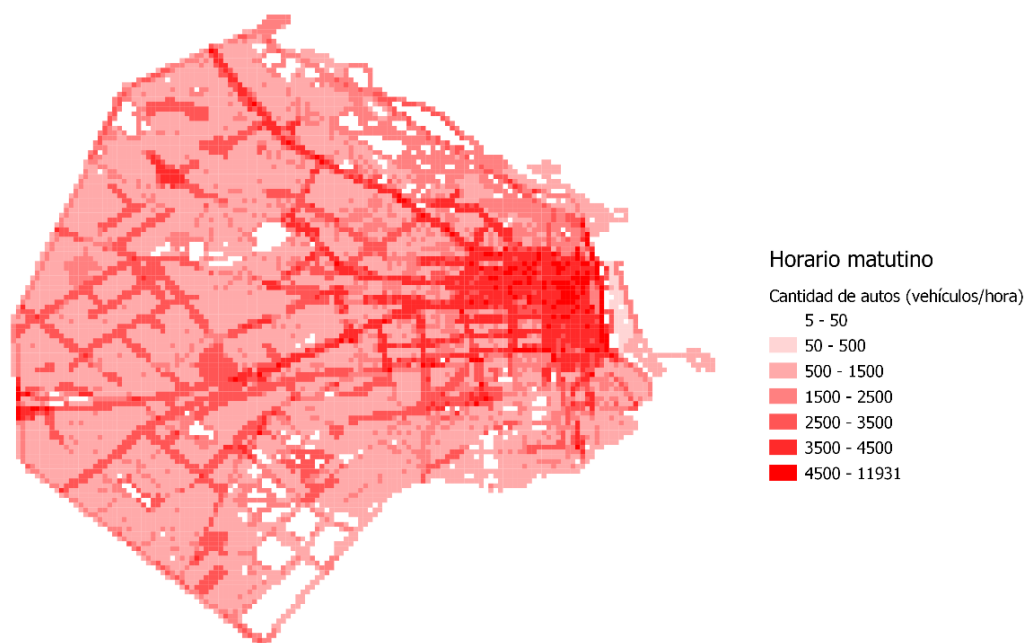


Figura 37: Cantidad de vehículos en CABA – horario matutino.

Puede observarse aquí que la zona central administrativa agrupa la mayor cantidad de vehículos, cuya concentración disminuye radialmente a medida que la distancia a ésta es mayor. Dentro de la misma, se puede ver un marcado descenso de vehículos, el cual corresponde a la veda de circulación existente en el microcentro. Se destacan trazos lineales de color intenso (asociados a alta densidad de tránsito) salientes desde esta zona, asimilables a las principales vías de circulación, como ser las avenidas Santa Fe- Cabildo, Corrientes o Rivadavia: esto muestra que muy buena parte del tránsito se debe a gente yendo a trabajar desde los suburbios hasta la zona administrativa central. Más al sur se pueden ver otras autopistas que distribuyen el tránsito hacia el oeste y sur de los suburbios.

Finalmente, se puede ver que en el borde oeste de la ciudad de color intenso corresponde a la avenida de circunvalación General Paz (la cual devino en autopista a través de los años). La misma suele poseer grandes congestionamientos, debido a la alta carga vehicular que posee por distribuir un gran caudal de vehículos a los suburbios del sur, oeste y norte de la ciudad.

Otros trazos oscuros responden a autopistas, como ser la Illia, la cual circula cerca de la ribera de la ciudad y pasante por la zona portuaria de la ciudad.

Por el contrario, las zonas en blanco corresponden a zonas de diferente índole, donde no es posible la circulación vehicular particular: en el sur se destacan el lago Lugano y el

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

autódromo de la ciudad de Buenos Aires (donde sólo pueden circular vehículos de competición si existieran carreras), o cercano al centro geográfico se encuentra el cementerio de la Chacarita (el más grande de la ciudad). Más al norte se encuentra el parque 3 de Febrero (conocido también como “Bosques de Palermo”) o el aeroparque metropolitano “Jorge Newbery”, entre otros espacios donde los vehículos no puedan circular libremente.

Por otro lado, donde existan colores pocos intensos, corresponden a zonas residenciales, donde el caudal de gente baja (y así el vehicular). De la misma manera, en el horario vespertino (18:00 horas) se muestra en la Figura 38.

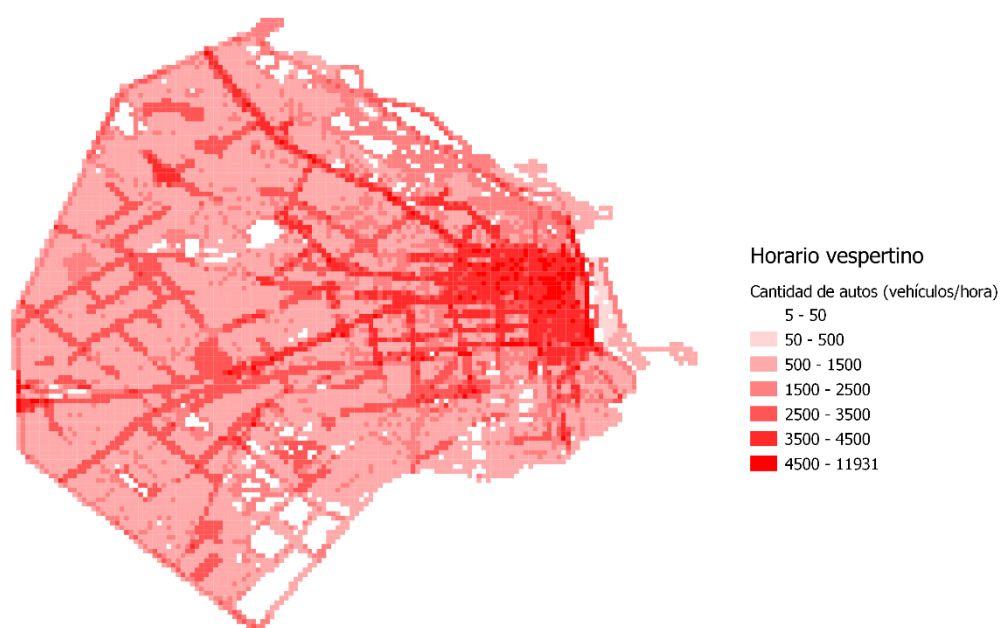


Figura 38: Cantidad de vehículos en CABA – horario vespertino

Se puede observar aquí que existen similitudes con frente a la distribución del tránsito matutino, sobre todo en aquellas zonas que se imposibilita la circulación vehicular (de color blanco): el aeroparque metropolitano, el cementerio de la Chacarita, etcétera.

Por otro lado, se nota muy intenso el trazado de las autopistas urbanas, donde resultan ser una de las principales vías de salida de la ciudad hacia los suburbios. También cabe mencionar que la zona central administrativa cuenta mayor con afluencia de vehículos: esto se puede explicar a que recibió todo el día y pocos fueron aquellos que hayan emprendido el regreso a su lugar de origen en zonas residenciales. También se podrá notar que la mayoría de las vías troncales de salida a los suburbios (Avenida Santa Fe, Libertador, Rivadavia entre otras) se encuentran en tonos más oscuros debido a la afluencia de tránsito de salida de la ciudad.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Aunque también podemos denotar diferencias con el mapa generado para tránsito matutino, pudiéndose denotar que el tránsito se encuentra más distribuido, generado en que la gente comienza a retirarse a zonas de vivienda distribuidas por toda la superficie.

Cantidad de vehículos pesados

Considerando la distribución de la red de tránsito pesado y las consideraciones antes mencionadas se muestra a continuación en la Figura 39, la grilla representando la cantidad de vehículos pesados en horario en el rango horario matutino, habiendo sido calculada siguiendo la ecuación (2).

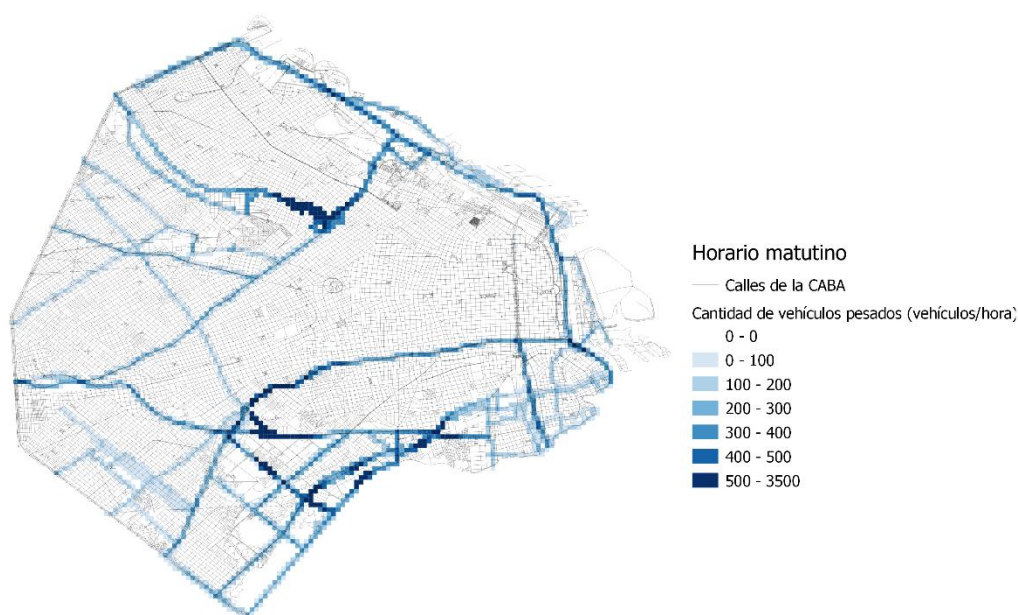


Figura 39: Tránsito de vehículos Pesados – Horario Matutino

Se puede ver en la gráfica que la zona sur es donde se encuentra mayor concentración de vehículos pesados: en esta zona se encuentran la zona industrial de la ciudad, gran cantidad de galpones industriales y centros de distribución. También están las vías de enlace a la zona sur de los suburbios.

También se puede ver que en la zona norte hay gran caudal de tránsito, resultante de las vías de enlace del puerto de la ciudad a los suburbios ubicados en la zona norte (alta densidad de fábricas ubicadas en ella).

A continuación, en la Figura 40, sigue una gráfica grilla representando la cantidad de vehículos pesados en horario vespertino.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

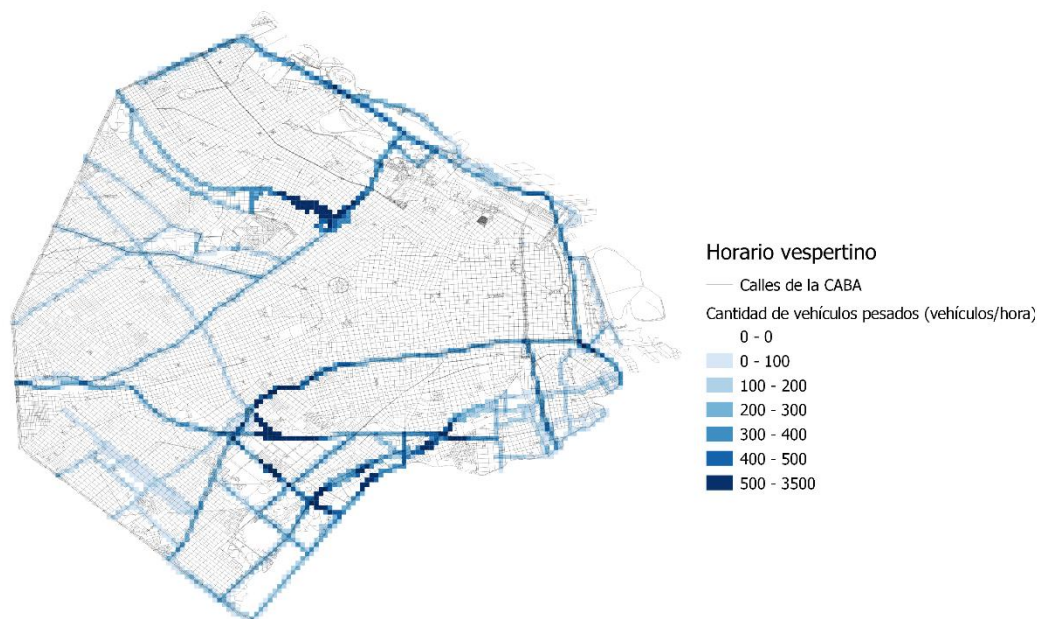


Figura 40: Tránsito de vehículos Pesados – Horario Vespertino.

Se puede notar en ambos gráficos que existe una fuerte intensidad de tránsito pesado en los extremos norte y sur de la ciudad. En el primer caso se explica a partir de que las vías de acceso llevan a la zona de Retiro, donde se ubica el puerto y la principal terminal de ómnibus de la ciudad. Por el lado de la zona sur, se explica en razón que allí se ubican los accesos a los suburbios del sur, como también las principales industrias y centros logísticos existentes dentro del ámbito de la ciudad.

En la zona del Mercado de Hacienda no hay tanta afluencia de tránsito pesado, pues la zona solamente es concurrida para ir al mismo, no siendo utilizado por vehículos que pudieran concurrir a otro sitio. Esto se puede ver que las arterias cercanas no poseen gran intensidad de tránsito tampoco; siendo lo más notorio que sólo hay pequeños tramos de la Avenida General Paz donde se ve circulación, explicándose a partir de que la mayoría de la misma queda fuera de la red permitida para la circulación.

Por otro lado, se ve gran afluencia de tránsito en la zona cercana al cementerio de la Chacarita (Avenida Juan B. Justo y Av. Córdoba), la cual puede explicarse en el caudal vehicular que recibe la estación de transferencia de residuos de Colegiales, donde suele transitarse más en horario vespertino.

Asimismo, se ve que la única arteria interna con importante caudal de vehículos es la autopista 25 de Mayo, pues es la única vía autorizada para la circulación de este tipo de vehículos en un importante rango de área; culminando la misma en un nodo distribuidor de varias autopistas que distribuyen el tránsito a otros sitios (Perito Moreno, Dellepiane y

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Cámpora). La otra vía interna es el corredor que continúa la ruta Panamericana (Donado – Holmberg), la cual viene desde el norte del país.

2. Validación del modelo de velocidad

A continuación (Figura 41), sigue un mapa de la Ciudad de Buenos Aires, en la cual se muestran una gran cantidad de trayectos realizados a fines de medir la velocidad característica en las vías de circulación.

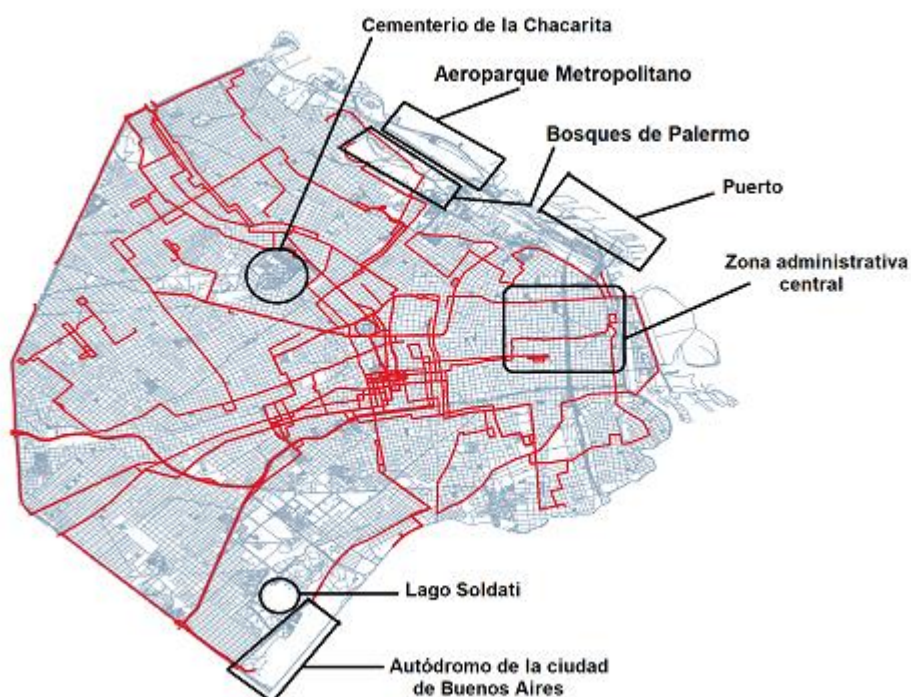


Figura 41: Recorridos realizados a fin de obtener datos en perfil de velocidad.

Considerando la desagregación propuesta en la ecuación (10), se arribó a un único modelo de velocidad, sin diferenciar el tipo de vehículo ni el horario. En el primer caso, se debe a que únicamente se alcanza diferenciación de velocidad entre ambos en autopistas (y en las que se permita la circulación de vehículos pesados), y considerando que este tipo de vía de circulación representa una porción menor en la ciudad no hizo falta diferenciar en este punto.

De acuerdo con las múltiples mediciones realizadas, se pudo observar que la variabilidad de velocidades en un mismo punto no es grande en diferentes partes del día. Ergo, el modelo de velocidad no posee diferenciación horaria.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Se propone para modelo de velocidad utilizando los coeficientes que se muestran en las siguientes tablas, donde a diferencia del modelo de cantidad de vehículos, en éste no se considera la zonificación de la ciudad por no encontrar evidencia de que esta afecta a la distribución de la velocidad.

A continuación, se muestran los coeficientes que fueron obtenidos a través del método de iteración, utilizándose para cuantificar las velocidades por cada celda.

- Constante “A”: Perteneciente a la ecuación (10), se estableció con el valor de 10 (Tabla 13)
- Coefficientes “ w_v ”: Coeficiente establecido que representa las velocidades teóricas en la que puedan circular los vehículos (Tabla 14).
- Coefficientes “ p_v ”: Pesos asignados a los puntos atractores dentro de la trama urbana utilizados para el número de vehículos (Tabla 15).
- Coefficientes “ f_{sem} ”: es un factor de peso dado a las velocidades de acuerdo con la presencia de semáforos en la celda de cálculo (Tabla 16).

Coeficiente	Valor
A	10

Tabla 13: Constante para el cálculo de velocidad según ecuación (8)

Coeficientes w_v	Valor
Autopista	800
Primaria	50
Troncal	60
Secundaria	3

Tabla 14: Coeficientes establecidos para la clasificación de las vías de circulación de acuerdo con la ecuación (11).

**Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS
para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental**

Coeficientes p _v	Valor
Bancos e instituciones financieras	100
Clubes, estadio, biblioteca	
Polideportivo	20
Biblioteca	10
Clubes	20
Estadios	20
Federaciones	20
Inst. colectividades	20
Culto	
Basílicas	15
Curia	30
Capillas	10
Iglesias	15
Parroquia	20
Santuario	15
Edificios Públicos	
Comisarías	40
Cuarteles Bomberos	30
Consulados	50
Embajadas	50
Ministerio	70
Dependencia	70
Edificio público GCBA	70
Sede comuna	80
Educación	
Establecimiento educativo	50
Escuela verde	50
Juegoteca	20
Universidades	80
Empresas distritos	
Audiovisuales	60
Artes	40
Diseño	60
Tecnológico	60
Estacionamientos	
Motos	20
Garages	50
VTVs	40
Movilidad sustentable	40
Estaciones de servicio	60

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Coeficientes p_v	Valor
Estación	
FFCC	40
Subte	30
Bus turístico	20
Transporte	
Colectivos	30
Metrobus	40
Taxis	40
Turismo	
Hoteles	30
Agencias	20
Gastronomía	
< 30 mesas	30
> 30 mesas	30
Instituciones de Salud	
Farmacias	10
Hospitales	40
Sanatorio privado	50
Acción comunitaria	20
Medicina barrial	20
Comunitaria	10
Geriátrico	10

Tabla 15: Coeficientes establecidos para la clasificación de los puntos de atracción de acuerdo con la ecuación (12).

Coeficientes f_{sem}	Valor
α_1	1
α_2	0,95
α_3	0,93
α_4	0,91

Tabla 16 : Coeficientes establecidos para estimar la reducción de velocidad en función de los semáforos existentes en cada celda, de acuerdo a la clasificación (13).

El empleo de estos coeficientes fue validado en las muchas las celdas donde se midió velocidad mediante los recorridos particulares explicados en la sección 4.3 de Metodología. En tal sentido, se procedió a efectuar una comparación de frecuencias relativas, la cual se presenta a continuación (Figura 42):

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

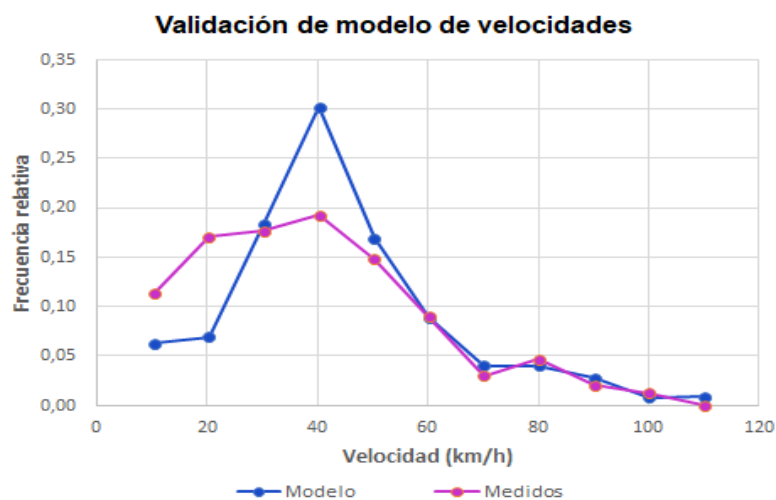


Figura 42: Gráfica comparativa de frecuencias relativas de velocidades.

Se destaca en particular que el modelo describe muy bien las altas velocidades, pasando luego a sobreestimar los valores medidos en media velocidad y por el contrario subestimándolos levemente para velocidades bajas.

También se realizaron validaciones según procedimientos estadísticos detallados en Chang and Hanna, (2004). Los mismos dieron resultados favorables, y se presentan más abajo (Figura 43).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

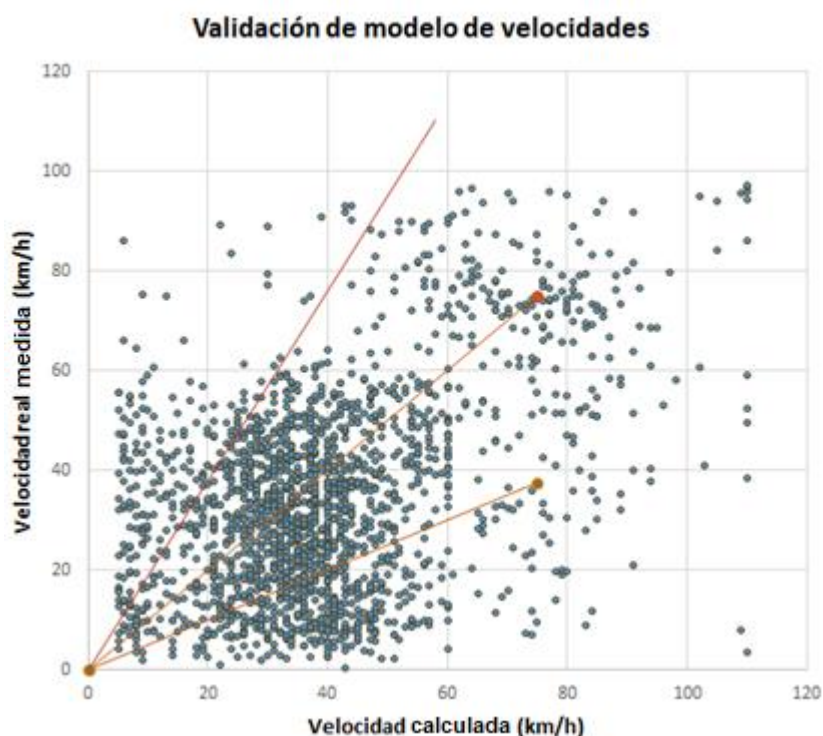


Figura 43: Gráfica comparativa de valores de velocidad simulados y medidos

Los valores estadísticos de validación siguen en la tabla que se presenta a continuación (Tabla 17):

	Valores estadísticos	
	Modelo	Objetivo
FB	0,03	0
MG	1,084	1
NMSE	0,071	0
FACT2	0,941	1

Tabla 17: Valores de validación estadísticos del modelo de velocidad (Chang and Hanna, 2004)

El procedimiento siguiendo la ecuación (10) de la sección de Metodología y los correspondientes coeficientes asignados permitió lograr una asignación de velocidades para cada vía de circulación en la Ciudad de Buenos Aires. Considerando que el mapeo de velocidades registró cambios instantáneos de esta variable (cambios de carril, frenadas, detenciones por semáforos, etc.) el ajuste de este modelo resultó apropiado para este contexto en el que interesa asignar un valor representativo a cada segmento.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

A continuación (Figura 44), sigue una gráfica grilla representando la velocidad característica en cada celda de la grilla trazada sobre la ciudad.

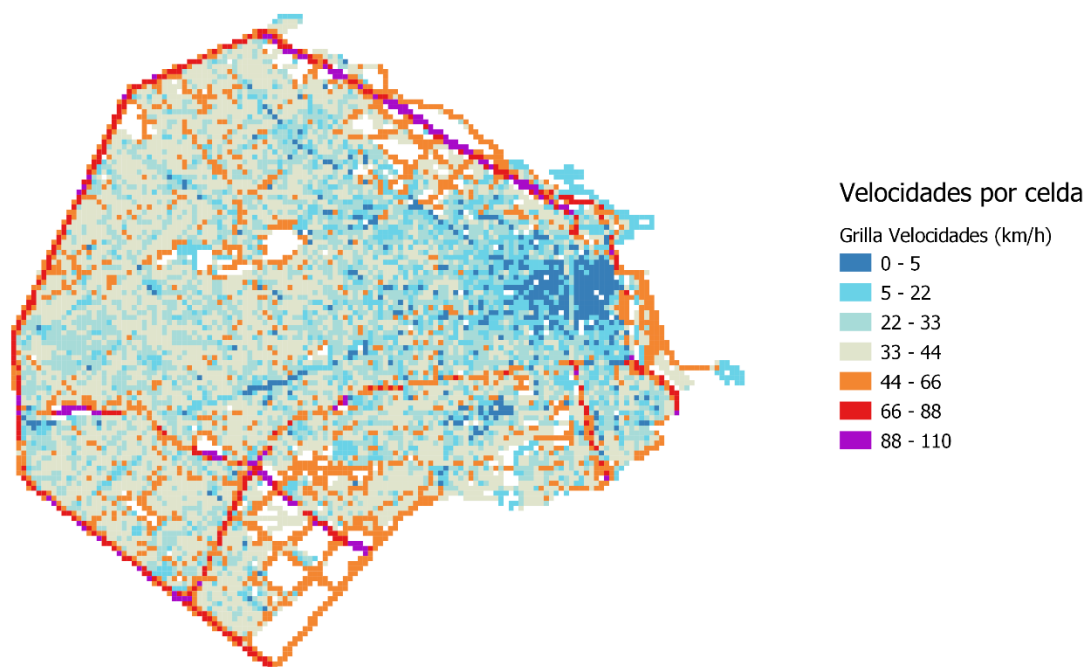


Figura 44: Gráfica comparativa de valores de velocidad para cada celda del dominio de estudio.

3. Validación de las emisiones estimadas: Modelado de concentraciones

Dada la gran variabilidad de los contaminantes urbanos emitidos por la actividad vehicular en pequeña escala se utilizó el modelo de dispersión AERMOD (Cimorelli et al., 2003) para simular la distribución espacio-temporal de las emisiones estimadas en el entorno cercano de las estaciones de calidad de aire que posee la Ciudad de Buenos Aires (Ciudad de Buenos Aires, 2021).

AERMOD es una versión mejorada del modelo recomendado por la EPA ISC3 (Industrial Source Complex Model) y fue elegido para este trabajo por su versatilidad en la representación de fuentes urbanas típicas como las fuentes vehiculares, tanto en terrenos simples o como complejos (Rood, 2014). El modelo trabaja en estado estacionario y puede simular entornos urbanos complicados, siendo propuesto por la EPA para los análisis de calidad de aire que involucran actividad vehicular (US EPA, 2015).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

En general, una distancia razonable para considerar zona de impacto de tráfico está normalmente entre 50-100 m de las fuentes o incluso hasta 500 m (Baldauf et al., 2009; Piersanti et al., 2015; Santiago et al., 2013). En tal sentido, se definieron 3 dominios de modelado abarcando el área contigua de las estaciones de calidad de aire. Para ello, se utilizó la herramienta QGIS para definir dominios de 300 m x 300 m en cuyo centro está ubicada cada una de las estaciones, divididos en celdas de 100 m.

Se procesó un año completo de datos meteorológicos de superficie horarios de tipo ISDH (Smith et al., 2011) para la estación del Servicio Meteorológico Nacional Aeroparque (ID 87582) ubicada en 34°34'S 58°30'O y radiosondeos diarios de la Estación Ministro Pistarini en Ezeiza (ID 87576) ubicada en 34°49'S 58°32'O. Dado a disponibilidad de datos abiertos de calidad de aire para el año 2019, éste fue el seleccionado para realizar las simulaciones. Estos datos fueron integrados por medio del preprocesador AERMET. La rosa de vientos para el periodo de modelado se muestra en la Figura 45.

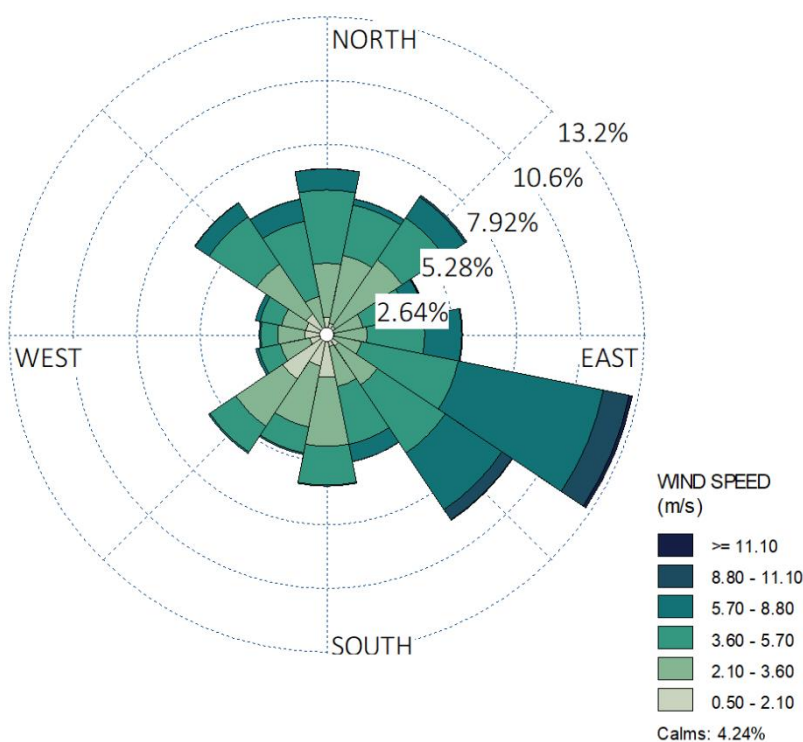


Figura 45. Rosa de vientos para la estación Aeroparque del SMN (año 2019).

Se incluyeron en el modelo datos de un modelo de elevaciones digitales tomados del Instituto Geográfico Nacional con resolución espacial horizontal de 5 m y precisión vertical submétrica (Instituto Geográfico Nacional, 2021), procesados con AERMAP y promediados en cada celda de la grilla (ver Figura 46) .

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

AERMOD no considera la presencia de edificios de manera explícita durante la dispersión. Aunque no es posible capturar con el modelo la recirculación de contaminantes en el cañón urbano, se consideró que los algoritmos de interacción con el terreno en base a datos de alta resolución permitirían estimar con realismo las emisiones medidas en las estaciones de monitoreo.

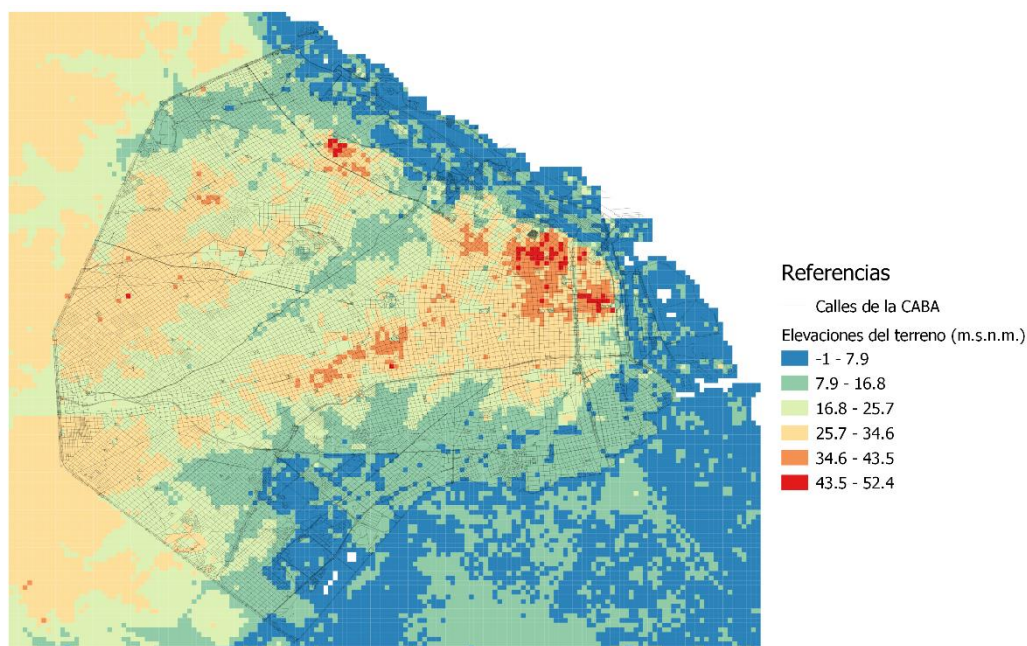


Figura 46. Elevaciones de terreno por celda del dominio de modelado, utilizadas para el cálculo de dispersión.

Las emisiones se incluyeron como fuentes de área, considerando composición vehicular y emisiones estimadas con el modelo de tráfico y emisiones. La variabilidad horaria se consideró constante a lo largo de todo el año, pero con las variaciones mostradas previamente y las emisiones se localizaron a una altura de 1 m sobre el nivel del suelo, con base en las recomendaciones del Ontario Ministry of Environment and Climate Change, (2009).

Las emisiones en unidades de masa por unidad de tiempo se calcularon teniendo en cuenta el modelo presentado en la ecuación (16), para ambos gases medidos: monóxido de carbono (CO) e Hidrocarburos sin quemar (HC). Se realizaron cálculos separados por tipo de vehículo (liviano o pesado) y posteriormente se sumaron ambos para llegar a un total de emisiones vehiculares dentro de la ciudad.

Un resumen de las emisiones vehiculares tomadas en la serie de vehículos de pruebas con el analizador de gases incorporado, se muestran a continuación (Tabla 18).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Velocidad (km/h)	VW Up		Chrysler Neón		Peugeot 207 Compact	
	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	CO (%)
6	1,6	0,016	31,4	0,285	16,9	0,083
40	1,5	0,019	24,1	0,023	12,3	0,105
60	4,1	0,017	31,8	0,065	14,3	0,033
80	5,3	0,109	47,1	0,274	16,5	0,317
100	7,1	0,183	91,1	1,224	17,7	1,687

Tabla 18 : Mediciones de emisiones vehiculares con analizador de gases incorporado (caudal volumétrico).

Para llegar a las curvas finales de emisiones vehiculares volumétricas, se debió realizar un promedio ponderado de los valores, según sea la presencia en el mercado de los modelos de las unidades medidas, tal como se mostró en la sección de Metodología (Tabla 4).

Sigue a continuación una gráfica de caudales de emisión volumétrico (Figura 47) tanto de HC como de CO.

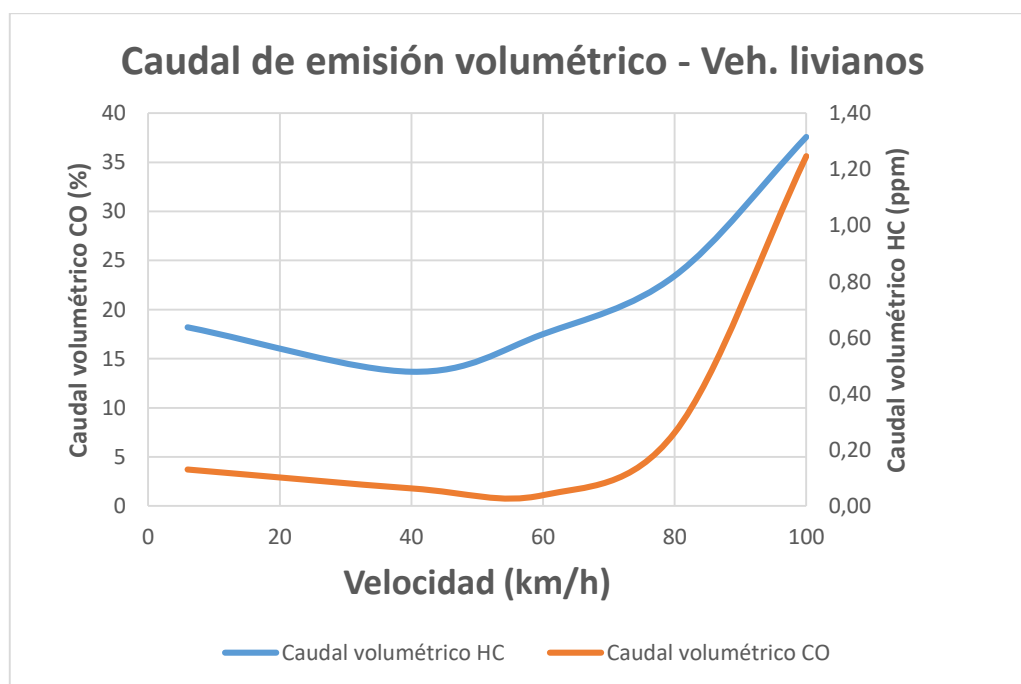


Figura 47. Curvas medidas de emisiones vehiculares volumétricas. Vehículos Livianos.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

En la curva anteriormente presentada, se puede ver que en el entorno de 30 km/h se logran las menores emisiones vehiculares para vehículos livianos, intervalo en el cual se buscará que circulen los usuarios del Eco ITS.

Utilizando los datos anteriormente obtenidos, se obtuvieron los caudales máxicos de cada vehículo medido, habiéndose aplicado para tal propósito las ecuaciones 16 y 17. Los resultados se muestran a continuación (Tabla 19).

Velocidad	Volkswagen Up		Chrysler Neon		Peugeot 207 Compact	
	Caud. máxico HC	Caud. máxico CO	Caud. máxico HC	Caud. máxico CO	Caud. máxico HC	Caud. máxico CO
6	0,008	0,497	0,102	5,899	0,013	0,815
40	0,012	0,945	0,364	2,208	0,016	1,287
60	0,030	0,753	0,499	6,486	0,073	1,850
80	0,072	9,408	0,978	36,194	0,084	11,100
100	0,104	17,068	2,307	197,209	0,170	27,921
km/h	µg/s	µg/s	µg/s	µg/s	mg/s	mg/s

Tabla 19: Resultados de cálculo de caudal volumétrico.

A partir de la curva final de caudal máxico, se obtuvieron una serie de coeficientes (Tabla 20), válidos para utilizarse en la ecuación 18, la cual calcula las emisiones vehiculares en vehículos livianos:

Coeficientes veh. livianos	CO	HC
aI	$2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-8}$
bI	$-2 \cdot 10^{-4}$	$-2 \cdot 10^{-6}$
cI	$1,12 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-4}$
dI	-0,226	$-1 \cdot 10^{-3}$
eI	2,35	0,026

Tabla 20: Coeficientes para el cálculo de emisiones vehiculares. Vehículos Livianos.

Sigue a continuación una gráfica de caudales de emisión máxico (Figura 48) tanto de HC como de CO, realizada a partir de la ecuación 18 para cada gas.

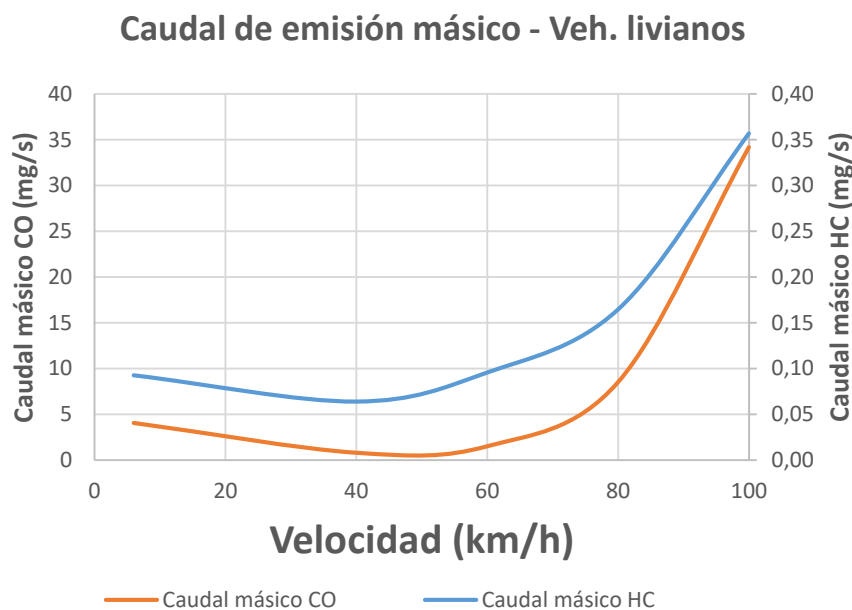


Figura 48. Emisiones vehiculares en función de la velocidad. Vehículos Livianos.

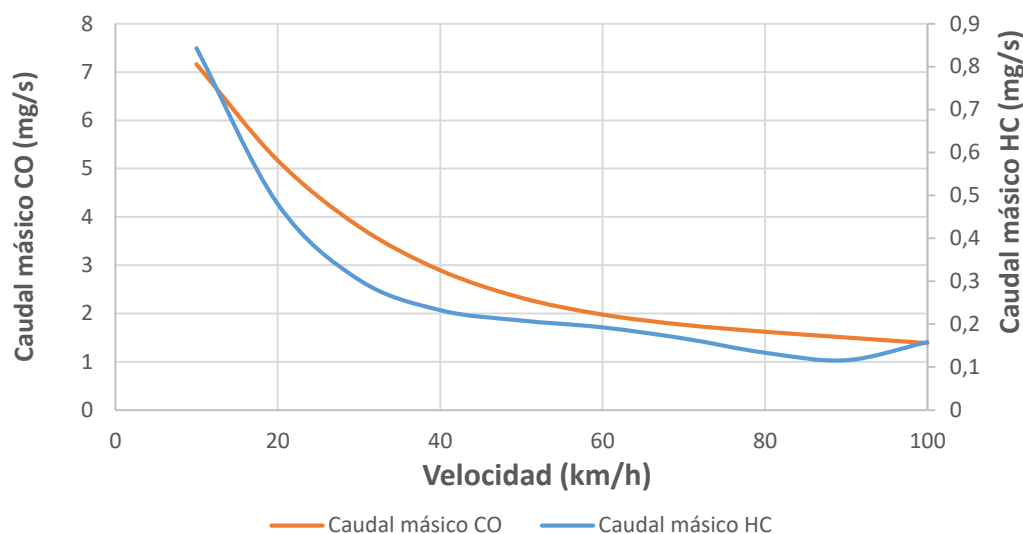
Para el caso de vehículos pesados, se tomaron una serie de coeficientes que a continuación se detallan (ver Tabla 21).

Coeficientes veh. Pesados	CO	HC
ap	$9,22 \cdot 10^{-8}$	$8,58 \cdot 10^{-8}$
bp	$-3,50 \cdot 10^{-5}$	$-2,19 \cdot 10^{-5}$
cp	$4,97 \cdot 10^{-3}$	$2,03 \cdot 10^{-3}$
dp	$-3,25 \cdot 10^{-1}$	$-8,31 \cdot 10^{-2}$
ep	9,94	1,49

Tabla 21: Coeficientes para el cálculo de emisiones vehiculares. Vehículos Livianos

Sigue a continuación las gráficas resultantes para ambos gases en vehículos pesados (ver Figura 49).

Caudal de emisión másico - Veh. pesados



6

Figura 49. Coeficientes para el cálculo de emisiones vehiculares. Vehículos Pesados.

Se puede apreciar un comportamiento diferente de las emisiones en función de la velocidad para el transporte pesado y liviano, y esto se debe a que los vehículos están diseñados para tener óptimo funcionamiento en diferentes situaciones de circulación. Para esto, se debe considerar en los mismos no sólo el motor, sino también la caja de cambios y su correspondiente escalonamiento de marchas: ellos forman el Grupo Moto Propulsor (GMP), encargado de la transmisión de movimiento hacia el tren motriz. El motor trabajando en conjunto con la caja de cambios logra un compromiso de la fuerza necesaria del mismo (torque) frente a la velocidad de giro. Por ejemplo, para los primeros cambios (especialmente primera marcha), donde se debe romper la inercia del conjunto, se debe proporcionar mucha más fuerza que velocidad a la cadena tractiva. Por el contrario, en cambios altos (última marcha, por ejemplo), la dosificación entre fuerza y velocidad seleccionada prepondera esta última (Jazar, 2009).

El consumo de combustible suele ser inversamente proporcional a la fuerza desempeñada por el motor (torque), lo cual se demuestra en la gráfica siguiente, la cual corresponde a un motor Turbo Diesel de 112 CV (Figura 50).

A través de la variable Consumo Específico (relación entre el consumo de combustible másico y la energía entregada en tal punto de funcionamiento del motor), se expone una tasa de eficiencia en la cantidad de trabajo útil obtenido en el eje de salida. Tal magnitud es proporcional a la emisión de dióxido de carbono, pues la misma depende directamente del combustible quemado dentro de la cámara de combustión (Karnaukhov et al, 2022).

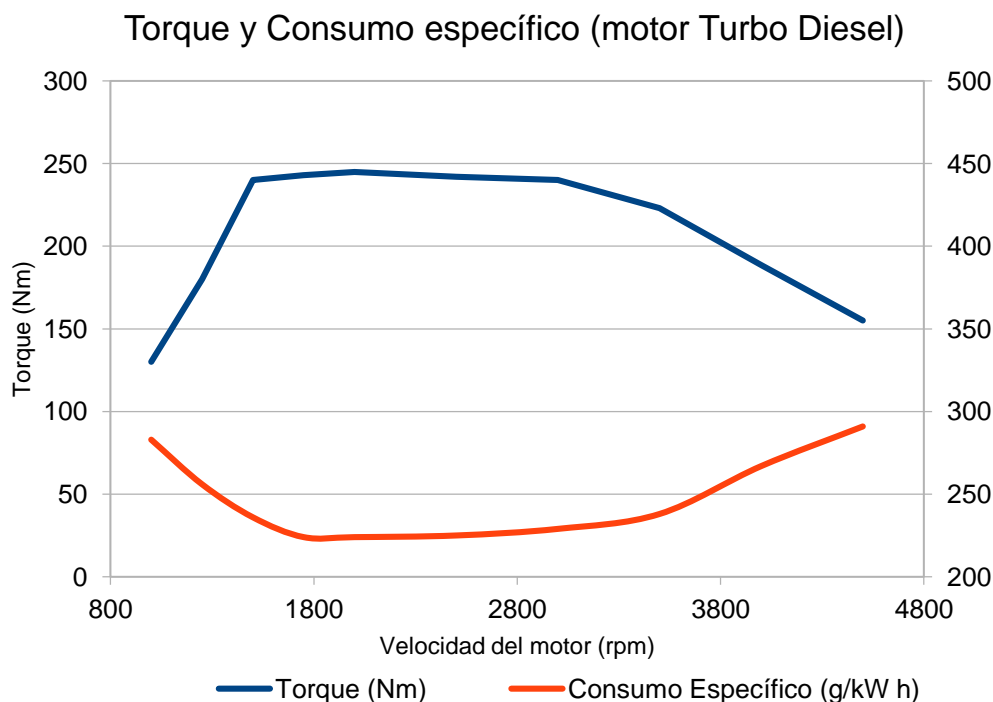


Figura 50: Curvas de torque y consumo específico en un motor de combustión interna.

Cabe mencionar que la generación de gases en la cámara de combustión (monóxido de carbono, hidrocarburos sin quemar, etc.) responden de la misma manera que el dióxido de carbono, siendo proporcionales al mismo; y así serían las formas de las respectivas curvas.

Si este motor queda acoplado a una caja de cambios, el punto de menor consumo específico se ubicará en el mismo punto de funcionamiento del motor (velocidad de rotación), pero según la marcha colocada, quedará en diferentes velocidades, como se ve en la figura siguiente (Figura 51).

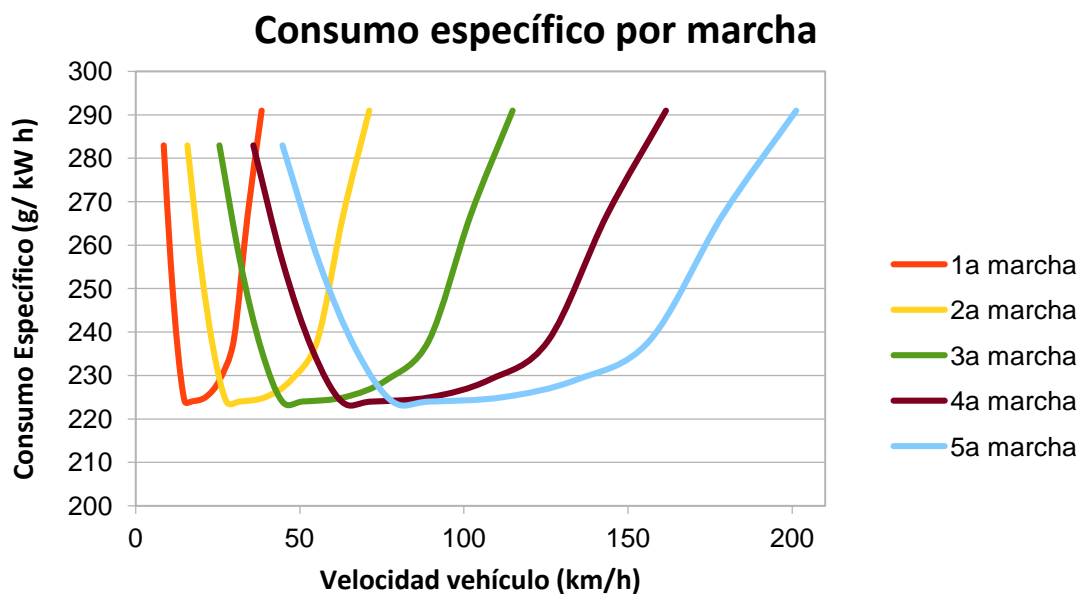


Figura 51: Consumo específico de un motor Diesel según la velocidad de marcha

Un vehículo liviano suele desempeñar su vida útil mayoritariamente en centros urbanos, donde el desarrollo de velocidad oscila desde el estado de detención hasta los 60 km/h aproximadamente. Allí, suele necesitar reactividad por parte del GMP, de forma de poder disponer de capacidad de aceleración para poder moverse dentro del tránsito: esto lo logra teniendo acopladas marchas bajas (de primera a tercera). Asimismo, al estar continuamente cambiando la velocidad, esto genera que deba imprimirse fuerzas adicionales para lograr la aceleración deseada para llegar a la velocidad objetivo. Todos los factores mencionados muestran que la permanencia del motor dentro del punto óptimo de consumo es algo no habitual para un vehículo liviano dentro de un centro urbano.

Por otro lado, un vehículo pesado desempeña la gran mayoría de su vida útil en caminos interurbanos, trasladando carga en caminos donde se puede mantener una velocidad constante sin necesidad de estar continuamente acelerando o frenando. Por ello que suelen tener las últimas marchas acopladas (suelen ser diez o más), de forma que caiga siempre lo más cercano al punto de consumo óptimo. De esta manera, se logra el principal objetivo de este que sería el traslado de la carga en una velocidad aceptable y con el menor costo posible (velocidad crucero). En caso de tránsito urbano, donde existen gran cantidad de aceleraciones y frenadas, debe aportar mucha potencia la planta motriz de forma de vencer la gran inercia de estos, generando así gran cantidad de emisiones. Por ello es que a baja velocidad generan gran cantidad de emisiones, no así lanzados en velocidad (Zhang et al., 2023; Zheng et al.,2022).

Esto redunda en que los fabricantes de los motores diseñen los mismos para que funcionen de la manera más aceptable por sus clientes: sea con reactividad en los de tipo liviano, y condiciones óptimas de funcionamiento dentro de un promedio de 30 km/h. O logrando la mejor economía de combustible (y menor cantidad de emisiones) en el rango de los 90 km/h para los pesados.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

A fin de calcular las emisiones totales para realizar el inventario, en primera instancia se obtuvieron las correspondientes de cada tipo de vehículo para un horario determinado del día. A continuación (Figura 52 a Figura 57), siguen las correspondientes emisiones de monóxido de carbono (CO), disgregadas en horario matutino y vespertino, como también clasificadas según el tipo de vehículos (livianos y pesados) como la suma de ambos (total).

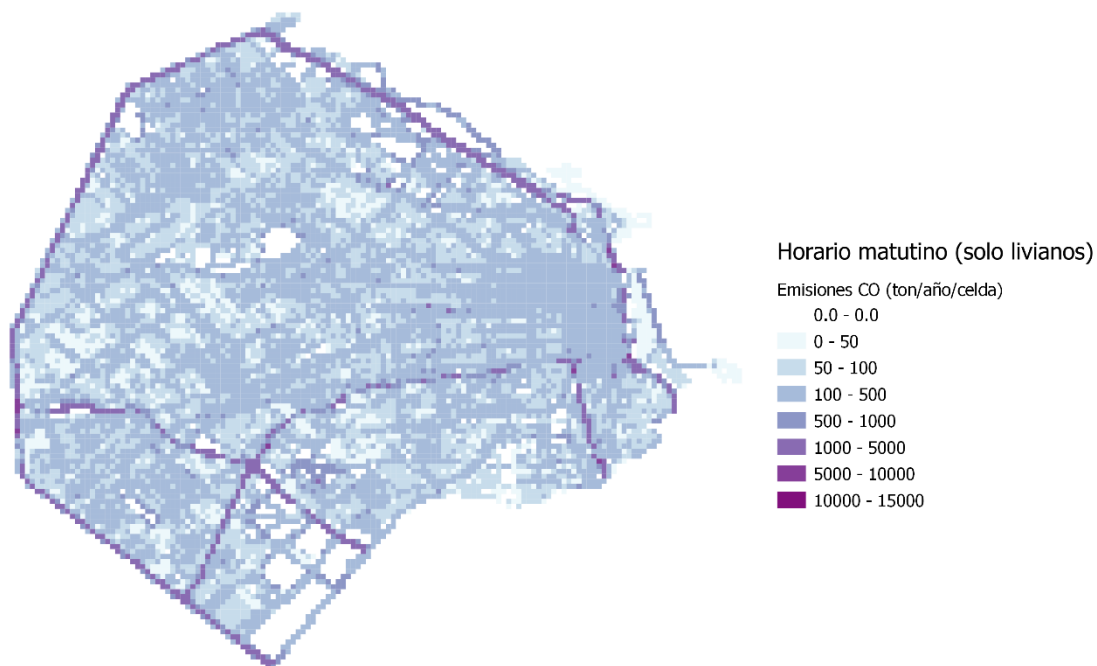


Figura 52. Emisión de CO de vehículos livianos en horario matutino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

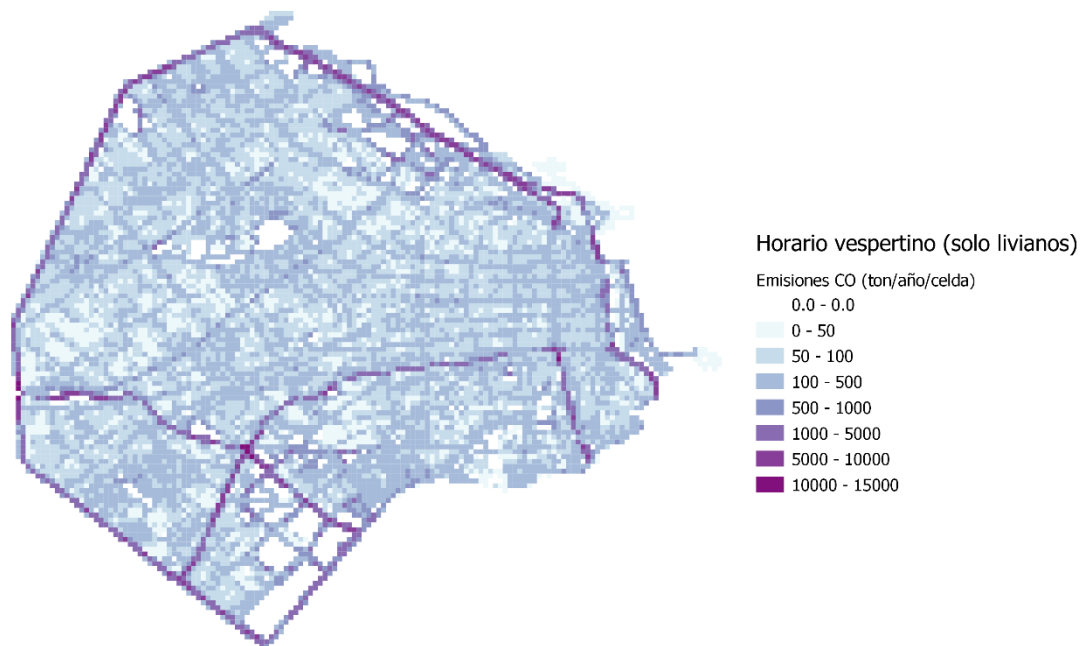


Figura 53. Emisiones de CO de vehículos livianos en horario vespertino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.

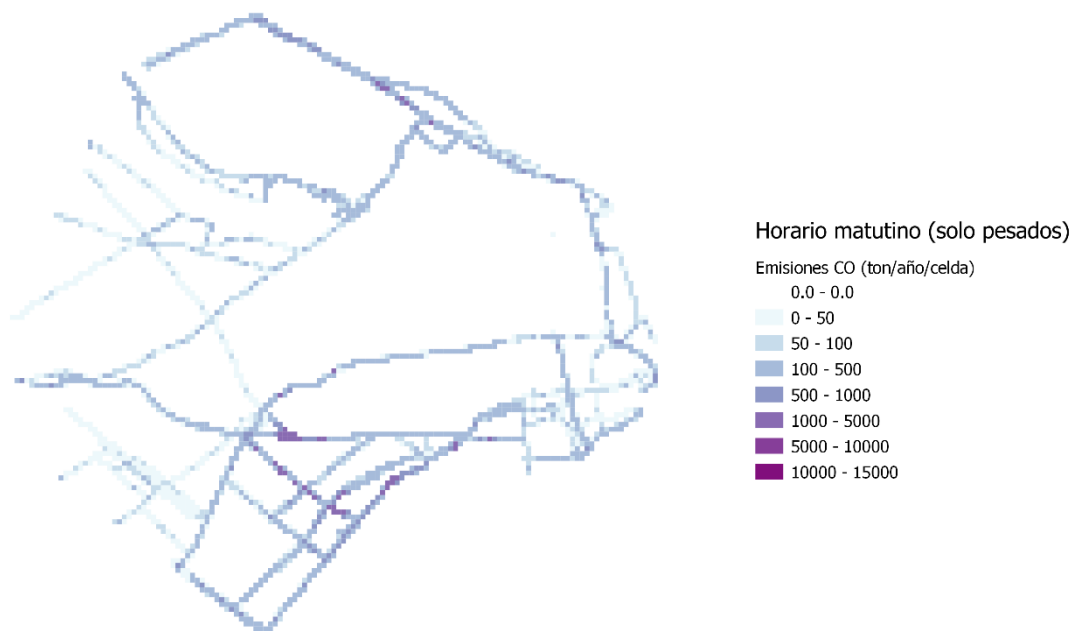


Figura 54. Emisiones de CO de vehículos pesados en horario matutino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

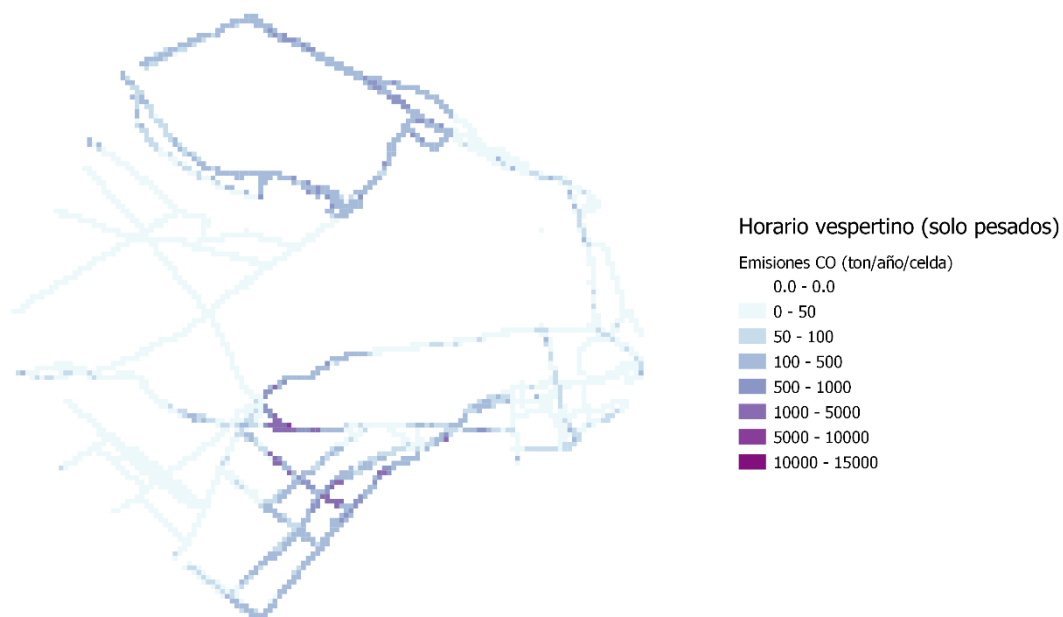


Figura 55. Emisiones de CO de vehículos pesados en horario vespertino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.

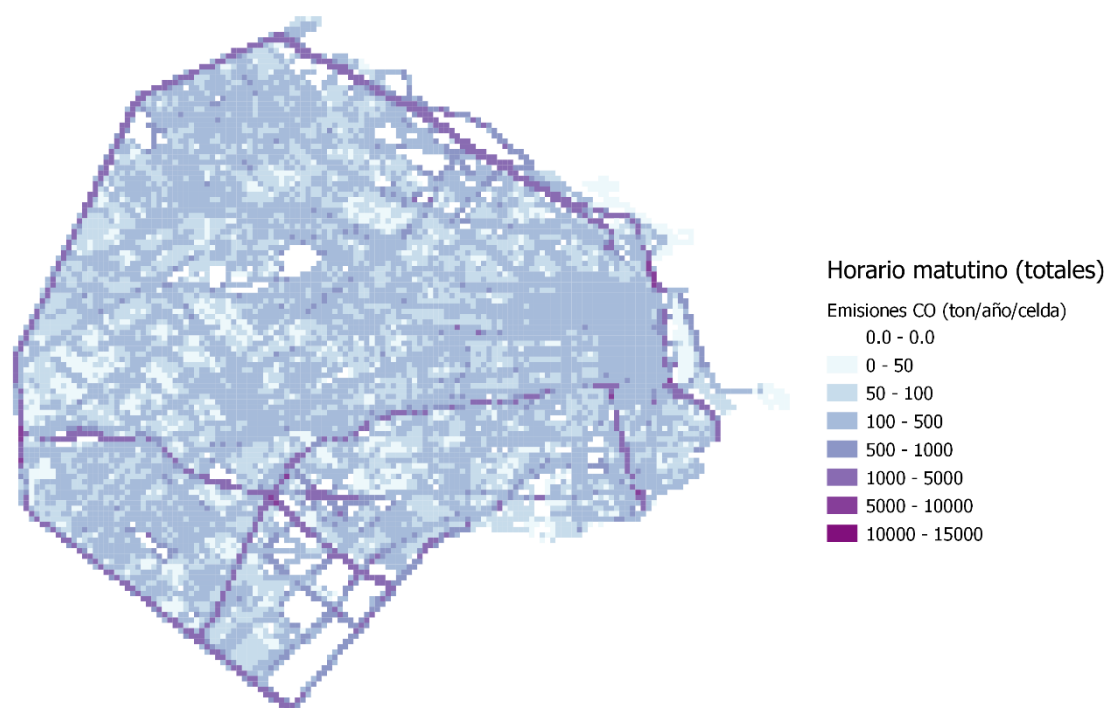


Figura 56. Emisiones totales de CO (vehículos livianos y pesados) en horario matutino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

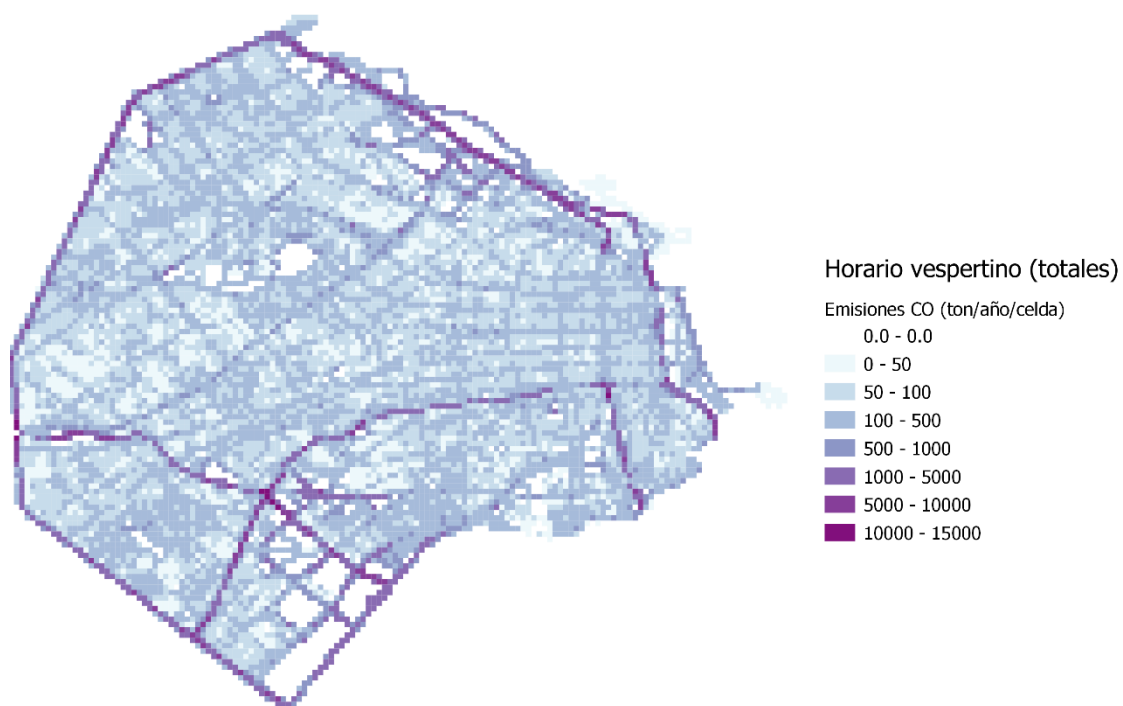


Figura 57. Emisiones totales de CO (vehículos livianos y pesados) en horario vespertino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.

Da la misma manera (Figura 58 a Figura 63), siguen las emisiones de hidrocarburo sin quemar (HC), también disgregadas en horario matutino y vespertino, y de igual forma también clasificadas según el tipo de vehículos (livianos y pesados) como la suma de ambos (total).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

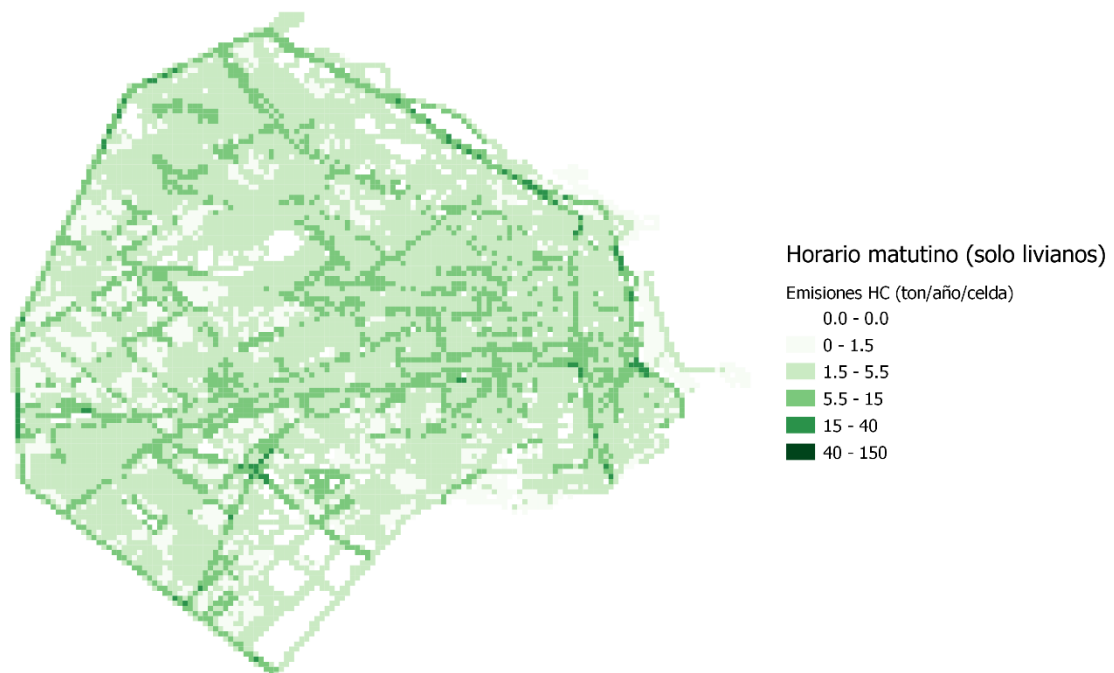


Figura 58. Emisiones de HC de vehículos livianos en horario matutino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.

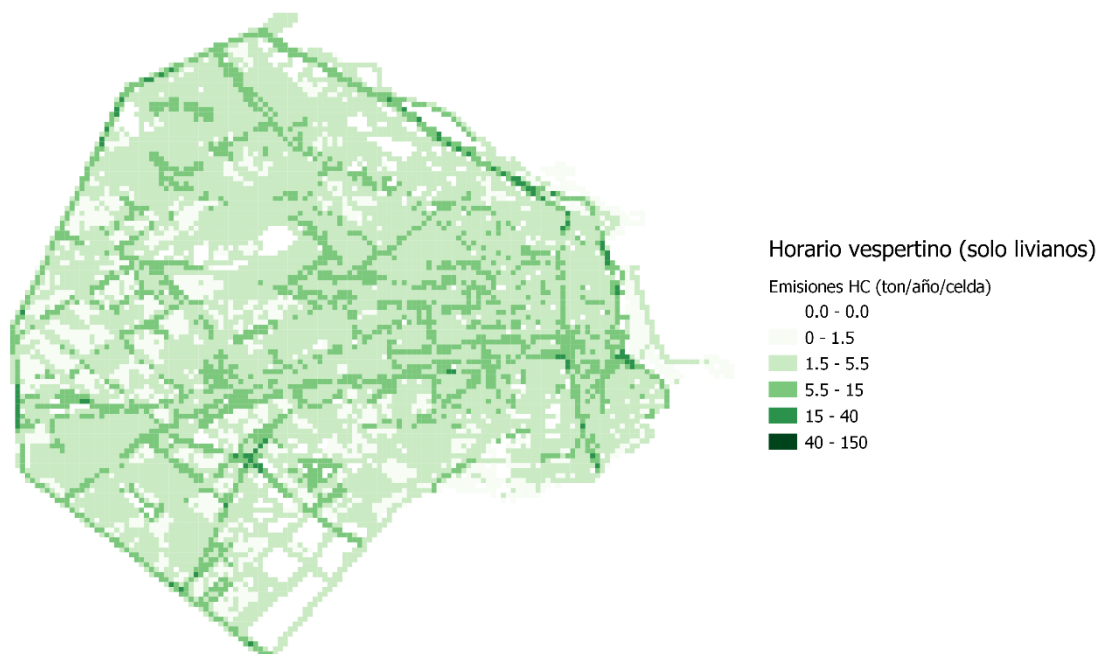


Figura 59. Emisiones de HC de vehículos livianos en horario vespertino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

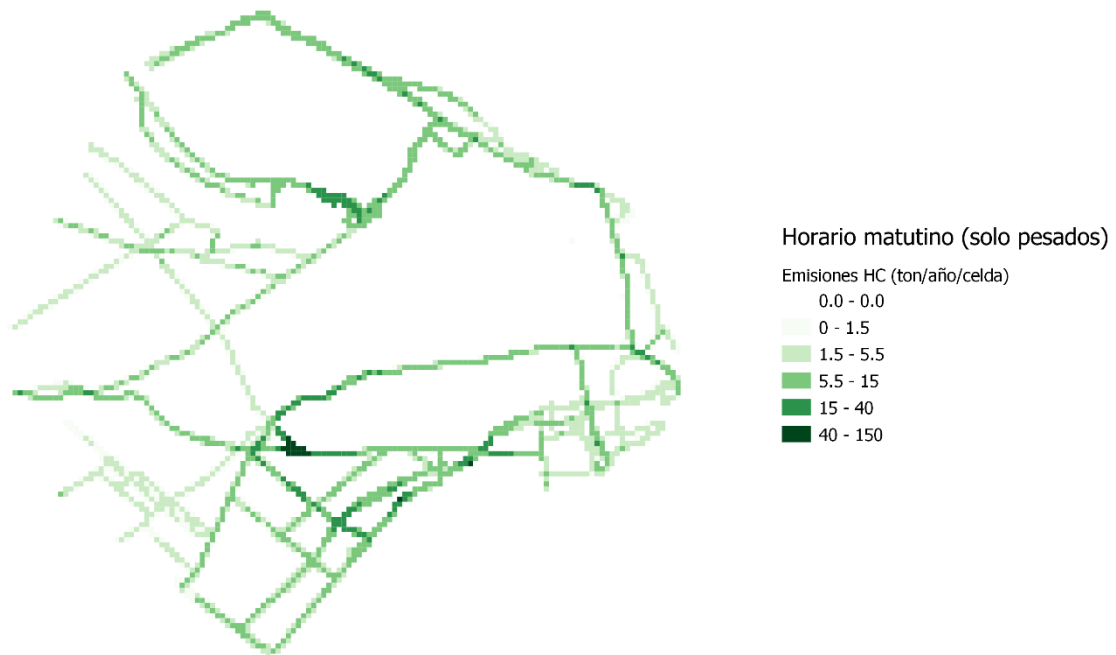


Figura 60. Emisiones de HC de vehículos pesados en horario matutino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.

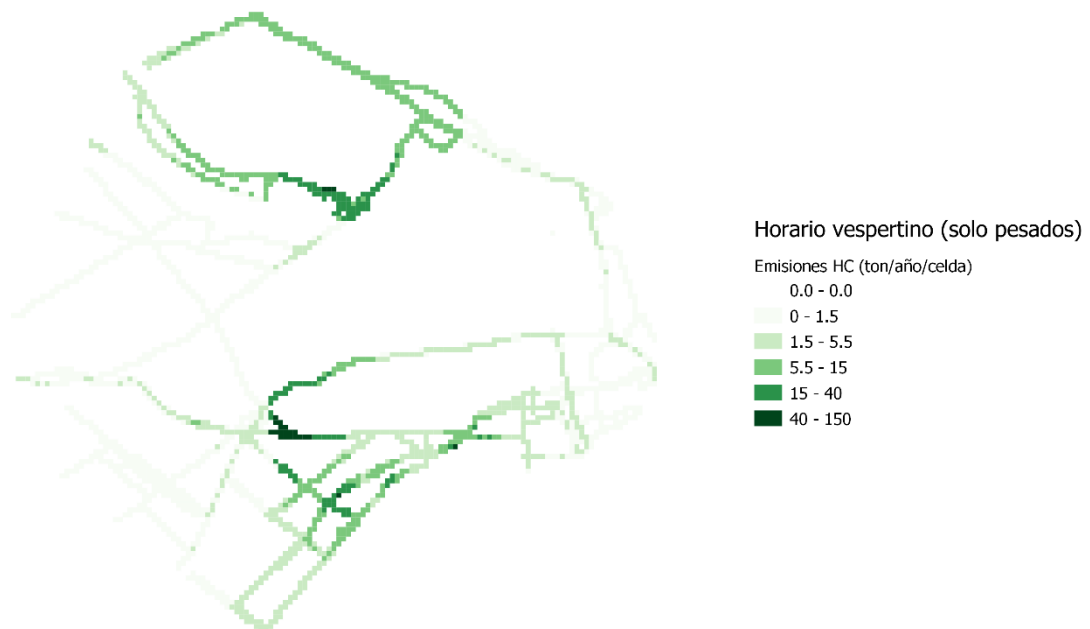


Figura 61. Emisiones de HC de vehículos pesados en horario vespertino. Valores medidos en toneladas anuales por celda.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental



Figura 62. Emisiones totales de HC (vehículos livianos y pesados) en toneladas anuales, simuladas para las 9:00 horas.



Figura 63. Emisiones totales de HC (vehículos livianos y pesados) en toneladas anuales, simuladas para las 18:00 horas.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

La distribución de las emisiones estimadas en este trabajo de tesis se compara con los datos disponibles de un inventario global, el EDGAR-HTAP v2 global emissions inventory (Janssens-Maenhout et al., 2015), el cual proporciona emisiones de varios contaminantes del aire con una resolución temporal anual y mensual y una resolución espacial de $0.1 \times 0.1^\circ$ (aproximadamente 10 km x 10 km), posible de ver tanto en Figura 64 como en Figura 65.

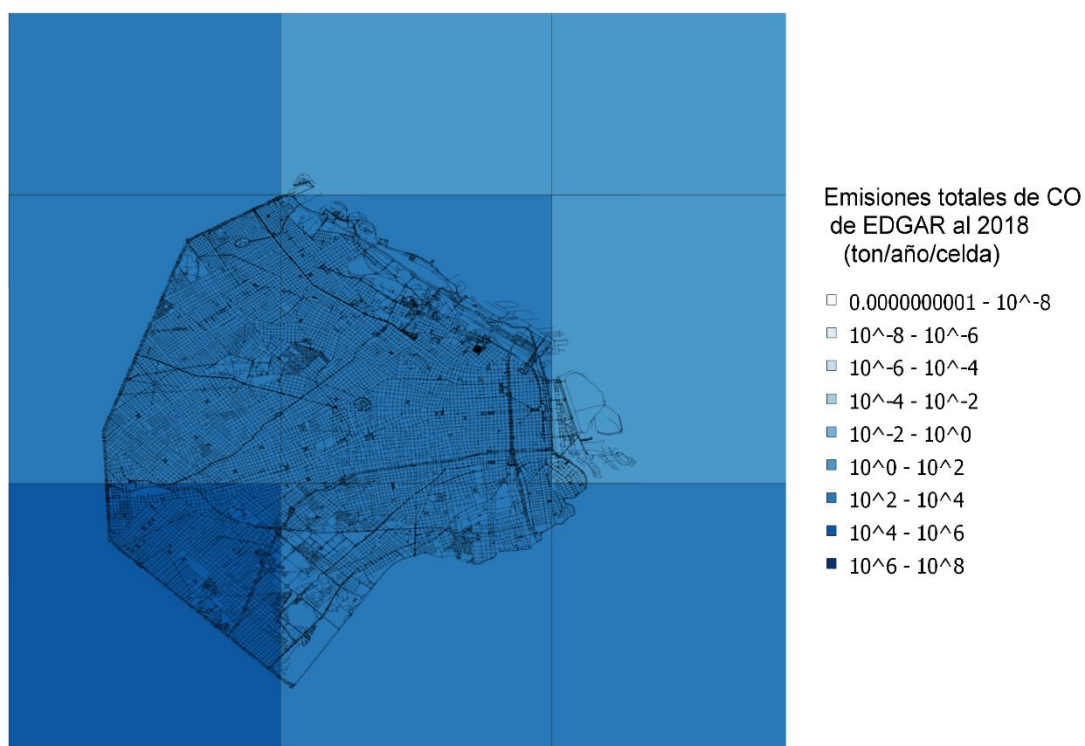


Figura 64. Detalle del inventario de emisiones EDGAR sobre CABA.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

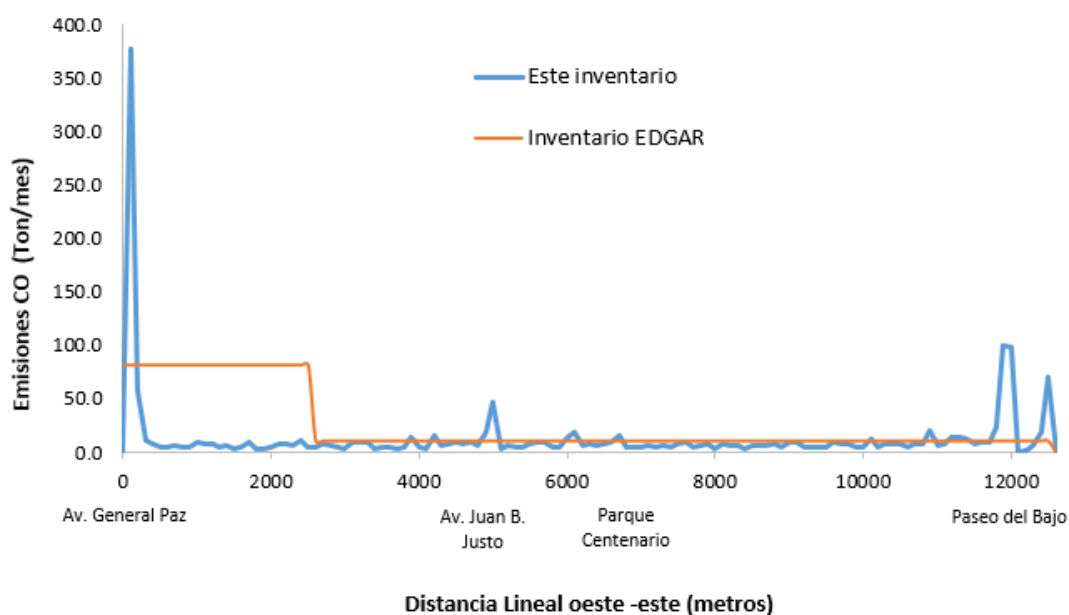


Figura 65. Emisiones estimadas a través de una sección transversal por la Ciudad de Buenos Aires comparando el inventario de emisiones de CO realizado en este trabajo de tesis y un inventario internacional de referencia.

Puede observarse que, si bien las emisiones totales pueden ser similares, el inventario propuesto como parte de este trabajo de tesis permite distinguir las emisiones en autopistas y calles debido a que se basa en proxis espaciales de mayor resolución.

Para la comparación con las mediciones disponibles, solo las emisiones de CO provenientes del tráfico vehicular simulado se incluyeron en el modelo de calidad de aire con las variaciones explicadas. Las emisiones del transporte público se incorporaron como un nivel de fondo, en una concentración similar a la aportada por el transporte privado, como se estimó en el trabajo previo de Accorinti (2020). Se calcularon las concentraciones horarias máximas y mínimas, promedios de 8 horas y promedios de 1 hora medidos en receptores discretos ubicados en el sitio de las estaciones de calidad de aire, para una comparación directa con la información publicada. La estadística resumen de la validación se muestra a continuación (Figura 66 y Tabla 22).

Validación de modelo de calidad de aire

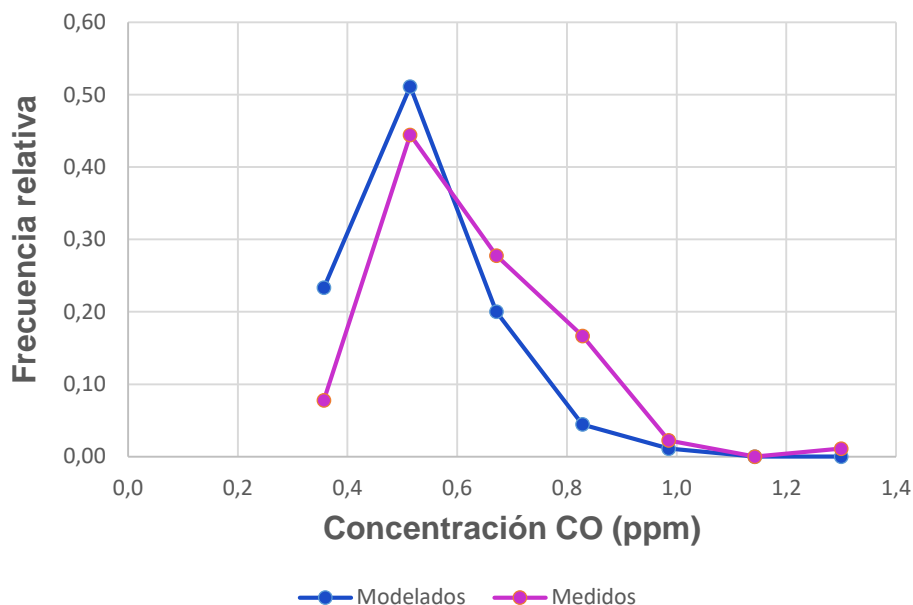


Figura 66. Comparación entre las concentraciones de CO medidas en las estaciones de Parque Centenario, Córdoba y La Boca con las estimadas por el modelo de calidad de aire (promedios horarios).

	Valores estadísticos			Objetivo
	Modelo Centenario	Modelo Córdoba	Modelo La Boca	
FB	0.26	0.37	0.19	0
MG	1.32	1.45	1.21	1
NMSE	0.10	0.20	0.30	0
FACT2	0.97	0.93	0.79	1

Tabla 22: Valores de validación estadísticos del modelo de calidad de aire (Chang and Hanna, 2004).

Puede observarse que el modelo subestima ligeramente los valores medidos en las estaciones de monitoreo, prediciendo concentraciones menores. Esto es razonable, puesto que no se incluyen ni concentraciones de fondo ni emisiones correspondientes a las emisiones provocadas por el transporte público. La estación de monitoreo de La Boca es la que tiene el peor desempeño, posiblemente por la influencia de fuentes de emisión localizadas en los suburbios al sur de la CABA (Dock Sud), no contempladas en este trabajo.

4. Propuesta de Eco - ITS

El Eco ITS puede ser considerado como un complemento de alguna aplicación ya existente que muestre el trayecto más corto para llegar a destino. Con este agregado se buscará no sólo que sea la más rápido posible, sino también que proponga una ruta y/o velocidad de circulación tal que las emisiones vehiculares se vean minimizadas.

A continuación, sigue un diagrama de flujo donde se muestra un proceso de toma de decisiones referente al mencionado sistema (Figura 67). En el mismo se puede ver desde el momento inicial en que se inserta un destino hasta el final donde se muestra al usuario y el mismo puede insertar observaciones en caso de que la ruta propuesta y transitada presente alguna clase de problemas al recorrerla.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

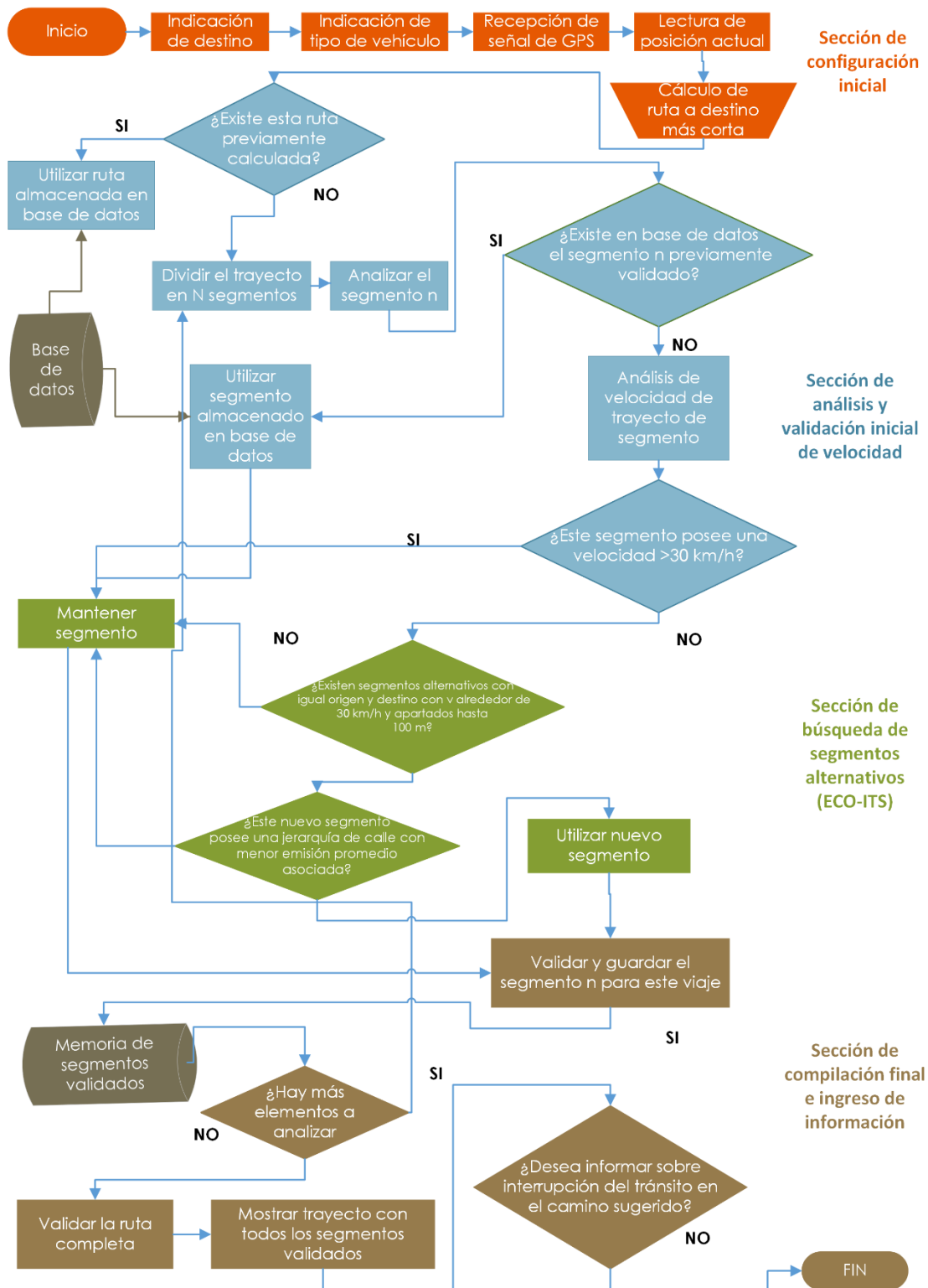


Figura 67: Macro código del ECO ITS, con detalle de la toma de decisiones propuestas.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Inicialmente, como en toda aplicación de navegación vía GPS, se debe ingresar el origen y destino. Luego verifica en la base de datos si previamente este trayecto fue cargado y analizado. En caso de que no haya sido observado por el usuario, se reutiliza. De no ser así, realiza toda la secuencia de validación para el mismo.

Para este último caso, en que deba comenzar la secuencia de validación, el sistema divide el trayecto en segmentos: los mismos corresponden a aquellos que tiene cargado previamente, en base a los cuales subdivide todas vías de circulación de la ciudad. La cantidad varía según el trayecto, por lo que el mismo queda dividido en “n” segmentos, habiendo un total de “N”; según muestra la ecuación (23).

$$X = \sum_{n=1}^N x_n \quad (23)$$

Donde se puede ver que:

- X: Ruta final a destino
- x_n : segmento a analizar
- n: número de segmento a analizar
- N: número total de segmentos a analizar.

A partir de allí comienza una secuencia cíclica de validación de cada segmento hasta completar el total de estos. Para validar un segmento, la propuesta es que en primer lugar, se verifique que su velocidad esté en un rango donde la emisión se ubique en los valores más bajos: a partir de las mediciones realizadas, se vio que los mismos se ubican alrededor de 30 km/h. En el macrocódigo, se consulta sólo si la velocidad es mayor a 30 km/h para validar el segmento, ya que se consideró que si la misma supera este valor se estará en presencia de una vía rápida (avenida o autopista) donde la circulación será fluida con mínimas detenciones, minimizando las emisiones vehiculares.

Para el caso donde la velocidad sea menor a 30 km/h, el macrocódigo consulta si existe una nueva serie de segmentos (con mismo origen y destino del segmento original) donde la circulación se realice con una velocidad superior a 30 km/h y no se aparte más de una determinada distancia del segmento original. Esta distancia sale en concepto de que, si se retirara más el vehículo para completar el trayecto, y aunque la velocidad fuera óptima, el transitar más de esta distancia límite generaría una emisión de contaminantes total mayor a la que se daría si se circulara en el segmento original a una velocidad menor a 30 km/h.

Por ejemplo, al considerar la posibilidad de apartarse de la ruta original con el propósito de buscar una marcha en la cual se genere una menor cantidad de emisiones. Para este estudio se considera el caso en que haya un segmento de 100 m entre los puntos A y B en que se circule a velocidad de congestión (6 km/h), calculándose luego las emisiones acumuladas según sea el apartamiento realizado de la ruta original (Figura 68).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

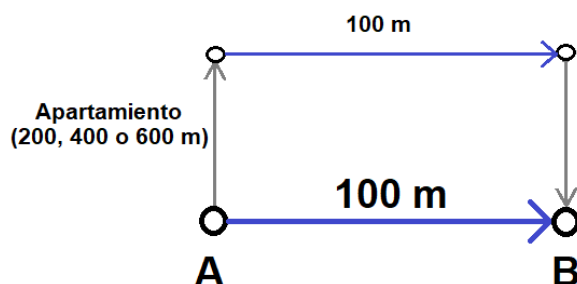


Figura 68. Esquema de nueva ruta y apartamento ante casos de congestión entre A y B.

Debe considerarse que, para el presente cálculo, se hace mención a que los apartamentos se escalonen cada 200 m, debido a que habitualmente en la ciudad de Buenos Aires las vías de circulación con el mismo sentido se ubican cada 200 m (dos cuadras).

Teniendo en cuenta que, como referencia se tiene al vehículo circulando a una velocidad de congestión (6 km/h), completando una distancia entre el punto inicial y final de 100 m, la pertinente emisión acumulada (según ecuación 20) son las siguientes:

- Emisión CO = 1215,8 mg
- Emisión HC = 6,5 mg

Se presenta un cálculo (Tabla 23) donde se muestra las emisiones acumuladas de cada gas en función a la distancia hasta la cual podría apartarse un vehículo manteniendo los puntos de inicio y llegada iniciales (A y B).

Apartamento (m)		200	400	600
Emisión (mg)	CO	88,5	127,9	147,5
	HC	6,2	11,2	16,2

Tabla 23: Cálculo de emisiones según el apartamento de la ruta original

Considerando los valores expresados en la Tabla 23, se debe tomar que la emisión de ambos gases no debe superar el valor de referencia mencionado de un trayecto entre puntos de 100 m circulando a 6 km/h. A partir de esto se establece que apartamento máximo no debería ser mayor de 200 m.

A continuación, se muestra una serie de gráficos (Figura 69 y Figura 70) donde se exponen las emisiones acumuladas para ambos tipos de gases según la distancia total recorrida para cada velocidad de acuerdo al inventario propuesto, y el límite que no se debe superar según el recorrido de referencia.

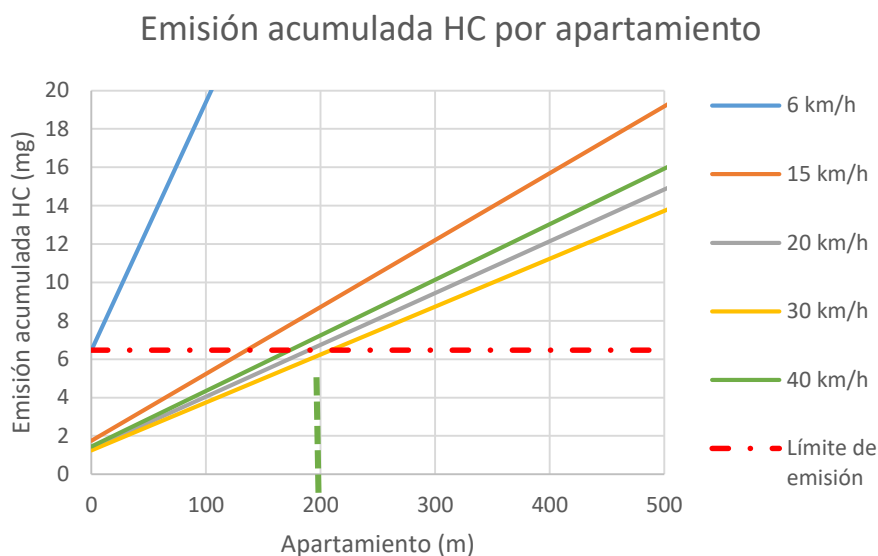


Figura 69: Emisiones acumuladas de HC según la distancia total recorrida y velocidad de circulación.

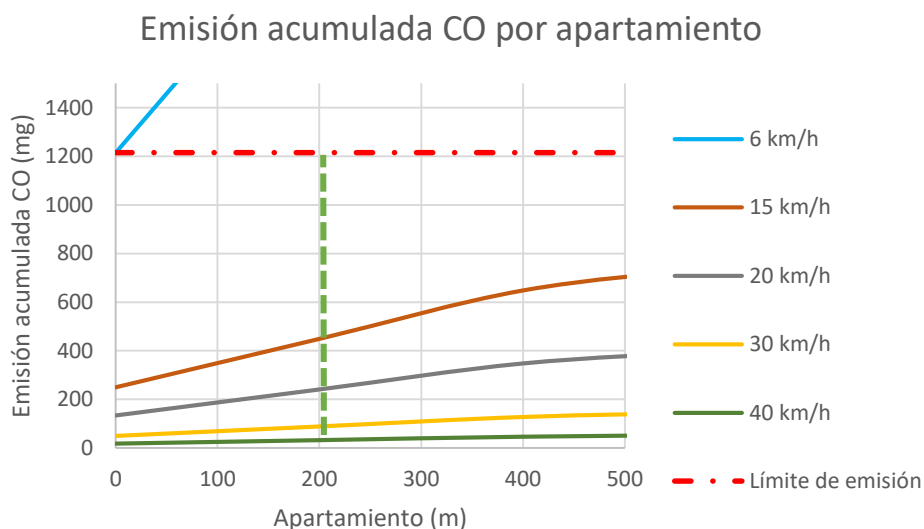


Figura 70: Emisiones acumuladas de CO según la distancia total recorrida y velocidad de circulación.

En caso de que exista esta posibilidad de trazar una nueva ruta, el macrocódigo valida este nuevo trayecto, reemplazando al original. De no haberla, se decide validar el segmento original, más allá de que lo recorra en una velocidad menor al rango óptimo. Posterior a esta operación el sistema guarda en la base de datos este segmento como ya validado, a modo de tenerlo rápidamente disponible para una búsqueda futura.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Luego de realizar tal confirmación, el sistema realizará la misma operación para el segmento siguiente del trayecto, hasta completar el total de ellos, los cuales resultaron ser N en total, de acuerdo con la ecuación 24. En el momento que se ratifique el último de ellos, es que se considera el trayecto completo convalidado, y se muestra en pantalla al usuario la misma. Ya en uso, el usuario tiene la posibilidad de informar algún problema en la ruta, que pueda no establecer una marcha de tránsito óptima: interrupción del flujo (obras, manifestación, accidente, etc.).

Conclusiones

Con el objeto de generar propuestas que se incluyan en un macrocódigo de ITS, de manera que considere también menores emisiones en circulaciones típicas en la ciudad de Buenos Aires, se procedió a desagregar espacialmente emisiones de tránsito liviano y pesado, para lo que fue necesario en primer lugar generar una serie de datos de base.

En primera instancia, generaron datos de tipo estático: esto incluye la consideración de la totalidad de las vías de circulación de la ciudad, categorizando las mismas para saber sus velocidades máximas y luego la habitual de circulación. También se recolectó información sobre los sitios de mayor interés que pudieran atraer vehículos, a los cuales se debió cuantificar a partir de una puntuación subjetiva de acuerdo con su importancia para atraer público. Asimismo, se debió recurrir al Código de Planeamiento Urbano (CPU) para identificar y localizar las zonas donde se permite la realización de diferentes actividades en general. De esta forma, se puede reconocer dónde estarían las fuentes (zonas principalmente de residencia) y sumideros (zonas de actividad laboral) matutinos de vehículos. De la misma manera, tal relación se invierte para el horario vespertino más nocturno, en que la gente deba retornar a sus hogares.

Basándose en la recolección de datos sobre una serie de trayectos típicos realizados a lo largo de la ciudad, se pudieron identificar las vías de circulación donde era posible transitar fluidamente o bien existían atascamientos o marcha lenta. Así también, se pudo recolectar información de velocidad de marcha en cada vía transitada, en cada lugar realizado. De esta manera, se obtuvieron puntos de valores reales a fin de poder desagregar espacialmente la velocidad de circulación en la ciudad, según el momento del día.

Con las mediciones realizadas con el instrumental abordado fue posible visualizar el patrón de comportamiento en la conducción de los ciudadanos, diferenciando las velocidades de circulación respecto a los límites de velocidad establecidos para cada vía de circulación. Quedó claro que en los horarios observados (diurno), habitualmente se respetan los umbrales máximos, sin embargo, se debe tener en cuenta que la cantidad de vehículos existentes impacta también en la generación de atascamientos de tránsito.

Si bien el propósito de las adquisiciones de datos se fundaba en recolectar principalmente información de localización y velocidad en tiempo real, se pudieron obtener al mismo tiempo otros parámetros de relevancia del comportamiento automotor para realizar estudios más detallados de emisiones vehiculares, por ejemplo, las franjas usuales de velocidad de utilización del motor, presiones y temperaturas internas, entre otras. Estos

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

datos no sólo pueden resultar útiles para el presente trabajo, sino también para estudiar el perfil de usuario porteño, que podría utilizarse en áreas tales como mercadeo, seguridad vial, entre otros.

También se realizó una cuantificación de la masa vehicular e identificación de categoría de estos, llevada a cabo a través de conteos en puntos estratégicamente seleccionados. Los mismos también fueron relevados en diferentes partes del día, a fin de ver la variación existente y así posteriormente cómo influía en las emisiones finales. De tal manera, las contabilizaciones fueron útiles para validar la cantidad de vehículos de cada tipo; para que luego se llegue a obtener las emisiones generadas por este parque automotor, a partir de la caracterización matemática de la velocidad de circulación y cantidad de vehículos en circulación.

A partir de la división del perímetro de la ciudad en una grilla cuadrículada de 100 metros de lado, se pudo mejorar los inventarios existentes en la ciudad (Puliafito et al., 2015b), donde la división fue realizada con una mayor definición y así pudiendo otorgarle así también una mayor resolución en la distribución de las emisiones vehiculares generadas. Se vio que esta distancia de cuadrícula establecía el límite menor, ya que valores menores generaba que varias de ellas no llegaran a abarcar vías de circulación y se perdiera la posibilidad de poder tomar emisiones en base al tránsito vehicular. Asimismo, esta mayor definición podría ser reconducida a otros estudios microscópicos dentro de la ciudad, donde se pueda relacionar las mayores emisiones con efectos preponderantes en la salud de dichas emisiones presentes en el aire. También se podría predecir otros efectos no deseados sobre las superficies de arquitectura o monumentos (ataques químicos, deposición de particulado, etc.).

Asimismo, se logró una desagregación espacial de las emisiones a partir de la caracterización en cada vía de circulación de la ciudad: primero modelando la cantidad de vehículos existentes, y diferenciando la categoría de ellos en livianos y pesados. Pero a partir de que se haya realizado conteos en diferentes partes del día, se logró modelar para todo el espacio diario, logrando así su desagregación temporal. Dado que existió una modelación de velocidades a través de la adquisición de datos durante los trayectos típicos, se logró también relacionar las vías de circulación con la velocidad de tránsito. Así posteriormente se pudo hacer una modelación matemática de las emisiones con la misma distribución: con una segregación espacial y temporal.

Por otro lado, se pudo proponer finalmente un pseudocódigo integrable en un ECO ITS, donde la idea resultó en generar trayectos cortos al destino requerido logrando una menor contaminación, basado en un contexto local, es decir, aplicable a las características de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Esto último se pudo llevar a cabo a partir del análisis de las curvas de emisión vehicular, e identificando las zonas de velocidad donde las

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

emisiones se vean reducidas, preponderando sobre el sistema que siga rutas donde la velocidad contribuya a menores emisiones. Esta propuesta puede ser integrada a otros de uso más habitual donde se busca una llegada a destino más rápida: el ECO ITS puede llegar a ser una opción de marcha para el mismo, buscando la mejora de emisiones. Así también, en zonas urbanas con alto comprometimiento de la calidad de aire, podría ser la opción por defecto de los navegadores, a fin de instar a los usuarios a reducir las emisiones.

De la misma forma, se identificaron las zonas donde se concentran las mayores emisiones, y cuáles otras son las que poseen bajas emisiones, de forma de permitir establecer puntos para posibles sitios de monitoreo de calidad de aire urbano. Esto permitiría conocer máximos valores para verificar riesgo a la salud, o bien registrar valores de base en la superficie de la ciudad a partir de la identificación de los sitios de menores emisiones.

Discusión

Se puede afirmar que el presente trabajo ha aportado innovación en cuanto al estudio de emisiones vehiculares en la Ciudad de Buenos Aires, como así también en la propuesta de una implementación tecnológica para reducirla utilizando un sistema casi de rutina para mucha gente como son los navegadores vehiculares.

Vale aclarar que el presente trabajo se realizó en medio de la pandemia CoViD 19, debiendo contrarrestar las limitaciones pertinentes a las medidas restrictivas en determinados lapsos temporales: durante la misma se implementaron medidas como aislamientos obligatorios y fuertes restricciones a la circulación, imposibilitando llevar a cabo acciones como las de conteos vehiculares, o bien mediciones de gases vehiculares sobre ruta abierta, elementos muy necesarios para esta tesis final.

Por otro lado, considerando que el sistema desarrollado en este trabajo final de tesis no es nuevo en su tipo, necesariamente éste debería ser integrado a otro más aceptado o comúnmente utilizado. De esta manera, el usuario podría experimentar esta opción que, de acuerdo con las mediciones y cálculos presentados aquí, conlleva un menor impacto a la calidad de aire. Por esto mismo, una limitación que debería atravesar el presente sistema es la familiarización de estas opciones con los usuarios, a fin de que estos acepten no transitar por la ruta más rápida y que esto redunde en un menor impacto a la atmósfera. Tal aliento debería venir desde fuentes gubernamentales, que premien el uso, o bien hacer uso por defecto en los sistemas de navegación vigentes.

Asimismo, siendo la primera propuesta de acción para mejorar el desempeño ambiental basada en mediciones y consideraciones locales, aparecen puntos donde haría falta mejorar para robustecer la propuesta del sistema. Uno de ellos sería incrementar la población de vehículos a medir gases, definiendo más precisamente los ítems necesarios para que la misma sea más representativa del parque automotor, es decir: antigüedad, tamaño del motor, peso, etcétera. Asimismo, ayudaría mucho poder medir las emisiones vehiculares en vehículos de tipo utilitarios pesados, como ómnibus de transporte de pasajeros urbanos (“colectivos” como se los conoce en la Ciudad de Buenos Aires). Vale aclarar que, en este último punto, la medición realizada estaría al nivel que se apunta: es decir que el transporte público se electrifique totalmente y no se tenga a este tipo de vehículos con estas emisiones. Pero no es de imaginar que tal objetivo pueda lograrse en un futuro mediato en esta localidad.

También sería de gran utilidad definir una gama de medición de gases en campo abierto considerando aceleraciones, a fin de que la misma se acerque más aún al comportamiento del usuario. Cabe aclarar que por las limitaciones existentes y el tamaño del trabajo, sólo se realizaron mediciones a velocidad constante (a excepción de la simulación del

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

congestionamiento). Es importante tener en cuenta que, durante la aceleración de un vehículo, al motor se le debe inyectar un adicional de combustible de manera que disponga de potencia adicional para romper la inercia (conocido popularmente como “adicional de bomba de pique”). Esta adición de combustible, donde la mezcla de aire y combustible dentro del cilindro pasa a estar “rica” (mayor cantidad de combustible que la proporción estequiométrica necesaria), y genera un adicional de emisiones que para el presente trabajo no se tuvieron en cuenta por las razones previamente comentadas.

Otro ítem de mejora sería disponer de un equipo que permita obtener mediciones de otros poluentes, como ser los óxidos de nitrógeno y azufre, lo cual también permitiría medir motores Diesel. Vale aclarar, que sólo se utilizaron para las mediciones vehículos propulsados a nafta o Gas Natural Comprimido (GNC), por las limitaciones del analizador de gases disponible. Por lo cual, los vehículos propulsados a combustible Diesel, no fueron considerados para el presente trabajo (35 % del parque automotor, según la figura 6 del capítulo de Metodología), lo cual representa una ausencia importante dentro de la estimación.

Teniendo en cuenta que la ciudad donde se realizó el trabajo (CABA) se encuentra dentro de un núcleo urbano muy grande (AMBA), habiendo gran interacción de flujo de tránsito entre las partes, este trabajo podría ser extendido a toda esta área. Para llevar a cabo esta labor más compleja, no hace falta más que seguir la misma metodología desarrollada para el presente. Esta acción es necesaria, de forma de poder sustentar la toma de decisiones referente a los aspectos ambientales referidos al tránsito vehicular en el área metropolitana.

Referencias

- A. Richtera, M. Löwnerb, R. Ebandta, M.S., 2020. Towards an integrated urban development considering novel intelligent transportation systems.
- Accorinti, J., 2020. Evaluación del Impacto Ambiental del Transporte Público (A expensas de combustible fósil/Diésel) en la Calidad del Aire de la Ciudad de Buenos Aires. Escuela de Posgrado. UTN-FRBA.
- Alam, M.S., Duffy, P., Hyde, B., McNabola, A., 2018. Downscaling national road transport emission to street level: A case study in Dublin, Ireland. *J. Clean. Prod.* 183, 797–809. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.206>
- Aleposta, 2006. Palacio Duhau (hoy el Hotel Park Hyatt Buenos Aires). Avenida Alvear, Recoleta. [WWW Document]. 25/06/2006.
- Allende, D.G., Castro, F., Puliafito, E., 2007. Modelado de emisiones vehiculares en el Gran Mendoza, in: V Congreso de Calidad de Aire AIDIS. Santiago de Chile.
- Allende, D.G., Castro, F.H., Puliafito, S.E., 2010a. Air Pollution Characterization and Modeling of an Industrial Intermediate City. *Int. J. Appl. Environ. Sci.* 5, 275–296.
- Allende, D.G., Cremades, P.G., Puliafito, S.E., Fernandez, R.P., Perez Gunella, F., 2010b. Estimación de un Factor de Riesgo de Exposición a la Contaminación Urbana para la población de la Ciudad de Buenos Aires. *Av. en Energías Renov. y Medio Ambient.* 14, 127–134.
- Alonso, M.F., Longo, K.M., Freitas, S.R., Mello da Fonseca, R., Marécal, V., Pirre, M., Klenner, L.G., 2010. An urban emissions inventory for South America and its application in numerical modeling of atmospheric chemical composition at local and regional scales. *Atmos. Environ.* 44, 5072–5083. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.09.013>
- Arkouli, M., Ulke, A.G., Endlicher, W., Baumbach, G., Schultz, E., Vogt, U., Müller, M., Dawidowski, L., Faggi, A., Wolf-Bening, U., Scheffknecht, G., 2010. Distribution and temporal behavior of particulate matter over the urban area of Buenos Aires. *Atmos. Pollut. Res.* 1, 1–8. <https://doi.org/10.5094/APR.2010.001>
- Audiovisual, D. contenido, 2019. Parque Centenario desde un drone Argentina [WWW Document].
- Azhari, A., Abdul Halim, N.D., Othman, M., Latif, M.T., Juneng, L., Sofwan, N.M., Stocker, J., Johnson, K., 2021. Highly spatially resolved emission inventory of selected air pollutants in Kuala Lumpur’s urban environment. *Atmos. Pollut. Res.* 12, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.10.004>
- B. Matthew, K.B., 2012. ECO-ITS : Intelligent Transportation System Applications to

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Improve Environmental Performance.

- Baldauf, R., Watkins, N., Heist, D., Bailey, C., Rowley, P., Shores, R., 2009. Near-road air quality monitoring: Factors affecting network design and interpretation of data. *Air Qual. Atmos. Heal.* 2, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s11869-009-0028-0>
- Buenos Aires, L.C. de, 1999. Ley 216/1999. Buenos Aires.
- Caserini, S., Pastorello, C., Gaifami, P., Ntziachristos, L., 2013. Impact of the dropping activity with vehicle age on air pollutant emissions. *Atmos. Pollut. Res.* 4, 282–289. <https://doi.org/10.5094/APR.2013.031>
- Centro Tecnológico de Transporte y Seguridad Vial, U., 2020. Parque vehicular de taxis y remises de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires [WWW Document].
- Chang, J.C., Hanna, S.R., 2004. Air quality model performance evaluation. *Meteorol. Atmos. Phys.* 87, 167–196. <https://doi.org/10.1007/s00703-003-0070-7>
- Chen, S., Du, Z., Shi, X., Liu, Y., Li, S., Shao, C., Steve-Harold, K.W., 2021. MOVES-Beijing-based high spatial and temporal resolution ammonia emissions from road traffic in Beijing. *Atmos. Environ.* 256, 118443. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118443>
- Cimorelli, A.J., Venkatram, A., Weil, J.C., Paine, R., Wilson, R., Lee, R., Peters, W., 2003. AERMOD : DESCRIPTION OF MODEL FORMULATION, Environmental Protection.
- Ciudad de Buenos Aires, 2021. Calidad del aire. Medición de la calidad de aire de la Ciudad de Buenos Aires. [WWW Document]. Niveles diarios Contam. del aire. URL <https://www.buenosaires.gob.ar/agenciaambiental/control-ambiental/laboratorio-ambiental/calidad-de-aire> (accessed 10.10.21).
- CLARS (Charging, Low Emission Zones, other A.R.S., 2017. Urban Access Regulations in Europe [WWW Document].
- Coelho, M.C., Fontes, T., Bandeira, J.M., Pereira, S.R., Tchepel, O., Dias, D., Sá, E., Amorim, J.H., Borrego, C., 2014. Assessment of potential improvements on regional air quality modelling related with implementation of a detailed methodology for traffic emission estimation. *Sci. Total Environ.* 470–471, 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.042>
- Colville, R.N., Hutchinson, E.J., Mindell, J.S., Warren, R.F., 2001. The transport sector as a source of air pollution. *Atmos. Environ.* 35, 1537–1565. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00551-3](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00551-3)
- Consejo, E.L., 2007. COM (2005) 683 - Euro5 2007.
- D'Angiola, A., Dawidowski, L.E., Gomez, D.R., Osses, M., 2010. On-road traffic

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

- emissions in a megacity. *Atmos. Environ.* 44, 483–493. <https://doi.org/DOI:10.1016/j.atmosenv.2009.11.004>
- Dalvi, M., Beig, G., Patil, U., Kaginalkar, A., Sharma, C., Mitra, A.P., 2006. A GIS based methodology for gridding of large-scale emission inventories: Application to carbon-monoxide emissions over Indian region. *Atmos. Environ.* 40, 2995–3007. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.01.013>
- De Nunzio, G., Laraki, M., Thibault, L., 2021. Road traffic dynamic pollutant emissions estimation: From macroscopic road information to microscopic environmental impact. *Atmosphere (Basel)*. 12. <https://doi.org/10.3390/atmos12010053>
- Deguen, N., 2021. How traffic management data is shaping the future of our citiesNo Title [WWW Document].
- Del, D.N., La, C.Y.D.E., 1998. 98/69/CE - Euro 3.
- DNRPA, 2020. Buenos Aires Data - Parque automotor [WWW Document].
- Durango-cohen, P.L., Kezic, M.E.L., 2012. The transportation systems of Buenos Aires , Chicago and São Paulo : City centers , infrastructure and policy analysis 46, 102–122. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.09.007>
- ENARGAS, 2021. Datos estadísticos de GNV [WWW Document].
- ESCAP, 2015. Intelligent Transportation Systems for Sustainable Development in Asia and the Pacific.
- Falk2, 2018. Estación Retiro Mitre [WWW Document].
- Fiadone, R., 2006. Avenida de Mayo Café Tortoni [WWW Document].
- Fontaras, G., Ciuffo, B., Zacharof, N., Tsiakmakis, S., Marotta, A., Pavlovic, J., Anagnostopoulos, K., 2017. The difference between reported and real-world CO2 emissions: How much improvement can be expected by WLTP introduction?*. *Transp. Res. Procedia* 25, 3933–3943. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.333>
- Ganin, A.A., Mersky, A.C., Jin, A.S., Kitsak, M., Keisler, J.M., Linkov, I., 2019. Resilience in Intelligent Transportation Systems (ITS). *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 100, 318–329. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.01.014>
- Gantuz, M., Puliafito, E., Puliafito, J.L., 2008. Modelación de emisiones de fuentes móviles mediante caracterización de vías con mediciones autotransportadas Modelling mobile source emissions by on-board characterization of roadways 1–19.
- García, N., 2011. La planificación del transporte por agua en Argentina. UNSAM.
- Ghaffarpasand, O., Talaie, M.R., Ahmadikia, H., Khozani, A.T., Shalamzari, M.D., 2020.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

A high-resolution spatial and temporal on-road vehicle emission inventory in an Iranian metropolitan area, Isfahan, based on detailed hourly traffic data. *Atmos. Pollut. Res.* 11, 1598–1609. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.06.006>

Giacosa, D., 1986. *Motores Endotérmicos*, Montalbett. ed. Omega.

Gobierno Ciudad, 2012. Buenos Aires Data [WWW Document].

Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2022. Flujo Vehicular por Unidades de Peaje AUSA [WWW Document]. Inf. del paso vehículos por las unidades peaje AUSA. URL <https://data.buenosaires.gob.ar/dataset/flujo-vehicular-por-unidades-de-peaje-ausa> (accessed 10.1.20).

Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2009. Calidad del aire | Buenos Aires Ciudad - [WWW Document].

Grafichan, 2016. Conurbano Bonaerense [WWW Document]. 2016-01-16.

Harris, I., Wang, Y., Wang, H., 2015. ICT in multimodal transport and technological trends: Unleashing potential for the future. *Int. J. Prod. Econ.* 159, 88–103. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.005>

Hassan, M.H., Tizghadam, A., Leon-Garcia, A., 2019. Spatio-temporal anomaly detection in intelligent transportation systems. *Procedia Comput. Sci.* 151, 852–857. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.117>

He, J., Wu, L., Mao, H., Liu, H., Jing, B., Yu, Y., Ren, P., Feng, C., Liu, X., 2016. Development of a vehicle emission inventory with high temporal-spatial resolution based on NRT traffic data and its impact on air pollution in Beijing - Part 2: Impact of vehicle emission on urban air quality. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 3171–3184. <https://doi.org/10.5194/acp-16-3171-2016>

Hogweard, 2015. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Localización en Argentina [WWW Document]. 2015-09-11.

Huo, H., Zhang, Q., He, K., Wang, Q., Yao, Z., Streets, D.G., 2009. High-resolution vehicular emission inventory using a link-based method: A case study of light-duty vehicles in Beijing. *Environ. Sci. Technol.* 43, 2394–2399. <https://doi.org/10.1021/es802757a>

INDEC, 2010. Argentina 2010 Census [WWW Document].

Instituto Geográfico Nacional, 2021. Modelo Digital de Elevaciones de Argentina [WWW Document]. Model. Digit. Elev. URL <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Introduccion> (accessed 10.10.21).

Janssens-Maenhout, G., Crippa, M., Guizzardi, D., Dentener, F., Muntean, M., Pouliot,

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

- G., Keating, T., Zhang, Q., Kurokawa, J., Wankmüller, R., Denier Van Der Gon, H., Kuenen, J.J.P., Klimont, Z., Frost, G., Darras, S., Koffi, B., Li, M., 2015. HTAP-v2.2: A mosaic of regional and global emission grid maps for 2008 and 2010 to study hemispheric transport of air pollution. *Atmos. Chem. Phys.* 15, 11411–11432. <https://doi.org/10.5194/acp-15-11411-2015>
- Jiang, H., Zhang, H., Fu, M., Huang, Z., Ni, H., Yin, H., Ding, Y., 2023. Recent advances and perspectives towards emission inventories of mobile sources: Compilation approaches, data acquisition methods, and case studies. *J. Environ. Sci. (China)* 123, 460–475. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.09.012>
- Johnson, T., 2016. Vehicular Emissions in Review. *SAE Int. J. Engines* 9, 1258–1275. <https://doi.org/10.4271/2016-01-0919>
- Kaffash, S., Nguyen, A.T., Zhu, J., Lian, Y., Zhang, G., Lee, J., Huang, H., Motienko, A., Richter, A., Löwner, M.O., Ebdndt, R., Scholz, M., Salazar-Cabrera, R., Pachón de la Cruz, Á., Madrid Molina, J.M., Stellingwerf, H.M., Groeneveld, L.H.C., Laporte, G., Kanellopoulos, A., Bloemhof, J.M., Behdani, B., Yang, Z., Peng, J., Wu, L., Ma, C., Zou, C., Wei, N., Zhang, Y., Liu, Y., Andre, M., Li, D., Mao, H., Zhang, H., Lu, X., Zhankaziev, S., Gavrilyuk, M., Morozov, D., Zabudsky, A., 2020. Integration of information and communication system for public health data collection and intelligent transportation system in large city. *Int. J. Prod. Econ.* 231, 122230. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.03.041>
- Kan, Z., Tang, L., Kwan, M.P., Ren, C., Liu, D., Pei, T., Liu, Y., Deng, M., Li, Q., 2018. Fine-grained analysis on fuel-consumption and emission from vehicles trace. *J. Clean. Prod.* 203, 340–352. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.222>
- Khatami, A., Ponche, J.L., Jabry, E., Mirabel, P., 1998. The air quality management of the region of Great Casablanca (Morocco). Part 1: Atmospheric emission inventory for the year 1992. *Sci. Total Environ.* 209, 201–216. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(97\)00307-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(97)00307-0)
- Khazini, L., Kalajahi, M.J., Rashidi, Y., Ghomi, S.M.M.M., 2022. Real-world and bottom-up methodology for emission inventory development and scenario design in medium-sized cities. *J. Environ. Sci. (China)* 127, 114–132. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.02.035>
- Khreis, H., Kelly, C., Tate, J., Parslow, R., Lucas, K., Nieuwenhuijsen, M., 2017. Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma: A systematic review and meta-analysis. *Environ. Int.* 100, 1–31. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.11.012>
- Kim Oanh, N.T., Thuy Phuong, M.T., Permadi, D.A., 2012. Analysis of motorcycle fleet in Hanoi for estimation of air pollution emission and climate mitigation co-benefit of technology implementation. *Atmos. Environ.* 59, 438–448. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.04.057>

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

- Lang, J., Cheng, S., Zhou, Y., Zhao, B., Wang, H., Zhang, S., 2013. Energy and environmental implications of hybrid and electric vehicles in China. *Energies* 6, 2663–2685. <https://doi.org/10.3390/en6052663>
- Legislatura, C.B.A., 2012. Barrios y Comunas de la Ciudad de Buenos Aires [WWW Document].
- Li, Y., Lv, C., Yang, N., Liu, H., Liu, Z., 2020. A study of high temporal-spatial resolution greenhouse gas emissions inventory for on-road vehicles based on traffic speed-flow model: A case of Beijing. *J. Clean. Prod.* 277, 122419. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122419>
- Lian, Y., Zhang, G., Lee, J., Huang, H., 2020. Review on big data applications in safety research of intelligent transportation systems and connected/automated vehicles. *Accid. Anal. Prev.* 146, 105711. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105711>
- Life, V.U., 2016. Light-Duty Trucks : Tier 0 , Tier 1 , and Clean Fuel Vehicle (CFV) Exhaust Emission Standards.
- Liu, Y.H., Ma, J.L., Li, L., Lin, X.F., Xu, W.J., Ding, H., 2018. A high temporal-spatial vehicle emission inventory based on detailed hourly traffic data in a medium-sized city of China. *Environ. Pollut.* 236, 324–333. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.068>
- Luo, X., Dong, L., Dou, Y., Zhang, N., Ren, J., Li, Y., Sun, L., Yao, S., 2017. Analysis on spatial-temporal features of taxis' emissions from big data informed travel patterns: a case of Shanghai, China. *J. Clean. Prod.* 142, 926–935. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.161>
- Mapio.net, n.d. UTN - FRBA [WWW Document].
- Markakis, K., Im, U., Unal, A., Melas, D., Yenigun, O., Incecik, S., 2012. Compilation of a GIS based high spatially and temporally resolved emission inventory for the greater Istanbul area. *Atmos. Pollut. Res.* 3, 112–125. <https://doi.org/10.5094/APR.2012.011>
- Markakis, K., Poupkou, A., Melas, D., Zerefos, C., 2010. A GIS based anthropogenic PM10 emission inventory for Greece. *Atmos. Pollut. Res.* 1, 71–81. <https://doi.org/10.5094/APR.2010.010>
- Mateo Pla, M.A., Lorenzo-Sáez, E., Luzuriaga, J.E., Mira Prats, S., Moreno-Pérez, J.A., Urchueguía, J.F., Oliver-Villanueva, J.V., Lemus, L.G., 2021. From traffic data to GHG emissions: A novel bottom-up methodology and its application to Valencia city. *Sustain. Cities Soc.* 66. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102643>
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2020. 2002/80/CE - Euro 4. Números 6, 6.173.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

- Montoya, C.C., Dirección de Análisis y Programación, CAF., S. de la V. de I. de, 2011. Desarrollo urbano y movilidad en América Latina, Banco de desarrollo de America Latina CAF. <https://doi.org/10.1109/MIC.2013.83>
- Motienko, A., 2020. Integration of information and communication system for public health data collection and intelligent transportation system in large city. *Transp. Res. Procedia* 50, 466–472. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.055>
- Obert, E.F., 1992. Motores de Combustión Interna - Análisis y aplicaciones, Motores de Combustión Interna - Análisis y aplicaciones.
- Ongaro, J., n.d. Plaza de Mayo, Casa Rosada y Cabildo, Buenos Aires. [WWW Document]. 2019.
- Ontario Ministry of Environment and Climate Change, 2009. Procedure for Preparing an Emission Summary and Dispersion Modelling Report, Version 3.0. Ontario.
- Parra, R., Jiménez, P., Baldasano, J.M., 2006. Development of the high spatial resolution EMICAT2000 emission model for air pollutants from the north-eastern Iberian Peninsula (Catalonia, Spain). *Environ. Pollut.* 140, 200–219. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.07.021>
- Patiño-Aroca, M., Parra, A., Borge, R., 2022. On-road vehicle emission inventory and its spatial and temporal distribution in the city of Guayaquil, Ecuador. *Sci. Total Environ.* 848. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157664>
- Pereyra, F.X., 2004. Geología urbana del área metropolitana bonaerense y su influencia en la problemática ambiental. RAGA.
- Perez Gunella, F., Puliafito, S.E., Pirani, K., 2009. Calculo de las emisiones del transporte para la Ciudad de Buenos Aires usando un Sistema de Informacion Geografico. *Av. en Energías Renov. y Medio Ambient.* 13, 57–64.
- Piersanti, A., Vitali, L., Righini, G., Cremona, G., Ciancarella, L., 2015. Spatial representativeness of air quality monitoring stations: A grid model based approach. *Atmos. Pollut. Res.* 6, 953–960. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2015.04.005>
- Pineda Rojas, A.L., Venegas, L.E., 2013. Spatial distribution of ground-level urban background O₃ concentrations in the Metropolitan Area of Buenos Aires, Argentina. *Environ. Pollut.* 183, 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.11.013>
- PNUD, CEPAL, O.P. para la S., 2011. Aportes para el desarrollo humano en Argentina 2011.
- Promotive - AFAC, 2020. Flota vehicular circulante Argentina 2019. Buenos Aires.
- Puliafito, E., Allende, D.G., 2007. Emission patterns of urban air pollution. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* 42, 38–56.

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

- Puliafito, S.E., Allende, D., Pinto, S., Castesana, P., 2015a. High resolution inventory of GHG emissions of the road transport sector in Argentina. *Atmos. Environ.* 101, 303–311. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.040>
- Puliafito, S.E., Allende, D., Pinto, S., Castesana, P., 2015b. High resolution inventory of GHG emissions of the road transport sector in Argentina. *Atmos. Environ.* 101, 303–311. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.040>
- Puliafito, S.E., Allende, D.G., Castesana, P.S., Ruggeri, M.F., 2017a. High-resolution atmospheric emission inventory of the Argentine energy sector. Comparison with edgar global emission database. *Heliyon* 3, e00489. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00489>
- Puliafito, S.E., Allende, D.G., Pinto, S., Werner, A., Castesana, P., 2015c. Atlas argentino de emisiones de carbono debido al sector transporte. *Rev. Proyecciones- UTN-FRBA* 13, 31–46.
- Puliafito, S.E., Castesana, P.S., Allende, D.G., Ruggeri, M.F., Pinto, S., Gariglio, A., 2017b. Inventario argentino de emisiones atmosféricas del sector energético de alta resolución. parte I: aspectos metodológicos., in: VI Congreso Bianual PROIMCA - IV Congreso Bianual PRODECA. Bahía Blanca, pp. 1–10.
- Puliafito, S.E., Castesana, P.S., Allende, D.G., Ruggeri, M.F., Pinto, S., Pascual Flores, R.M., Bolaño-Ortiz, T.R., Fernandez, R.P., 2017c. High-Resolution Atmospheric Emission Inventory of the Argentine Energy Sector, in: 19th EGU General Assembly. Viena, p. 5564.
- Puliafito, S.E., Rojic, G., Perez Gunella, F., 2009. Inventario de emisiones para la Ciudad de Buenos Aires, in: Puliafito, S.E., Quaranta, N. (Eds.), *Contaminación Atmosférica En Argentina – PROIMCA*. Mendoza: Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza, p. 249.
- Resquin, M.D., Santágata, D., Gallardo, L., Gómez, D., Rössler, C., Dawidowski, L., 2018. Local and remote black carbon sources in the Metropolitan Area of Buenos Aires. *Atmos. Environ.* 182, 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.018>
- Ricci, A., Gargani, F., Stefano, A. Di, Archer, G., Kearns, S., McDonald, M., Nussio, F., Trapuzzano, A., Tretvik, T., 2017. Final Report Study on Urban Vehicle Access Regulations.
- Rood, A.S., 2014. Performance evaluation of AERMOD, CALPUFF, and legacy air dispersion models using the Winter Validation Tracer Study dataset. *Atmos. Environ.* 89, 707–720. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.02.054>
- Salazar-Cabrera, R., Pachón de la Cruz, Á., Madrid Molina, J.M., 2020. Sustainable transit vehicle tracking service, using intelligent transportation system services and emerging communication technologies: A review. *J. Traffic Transp. Eng. (English*

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Ed. 7, 729–747. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.07.003>

- Santiago, J.L., Martín, F., Martilli, A., 2013. A computational fluid dynamic modelling approach to assess the representativeness of urban monitoring stations. *Sci. Total Environ.* 454–455, 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.068>
- Singh, N., Mishra, T., Banerjee, R., 2019. Greenhouse Gas Emissions in India’s Road Transport Sector, in: *Climate Change Signals and Response*. pp. 197–209. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0280-0_12
- Smith, A., Lott, N., Vose, R., 2011. The integrated surface database: Recent developments and partnerships. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 92, 704–708. <https://doi.org/10.1175/2011BAMS3015.1>
- Stellingwerf, H.M., Groeneveld, L.H.C., Laporte, G., Kanellopoulos, A., Bloemhof, J.M., Behdani, B., 2021. The quality-driven vehicle routing problem: Model and application to a case of cooperative logistics. *Int. J. Prod. Econ.* 231, 107849. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107849>
- Sun, S., Sun, L., Liu, G., Zou, C., Wang, Y., Wu, L., Mao, H., 2021. Developing a vehicle emission inventory with high temporal-spatial resolution in Tianjin, China. *Sci. Total Environ.* 776, 145873. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145873>
- Timmermans, R.M.A., Denier van der Gon, H.A.C., Kuenen, J.J.P., Segers, A.J., Honor??, C., Perrussel, O., Builtjes, P.J.H., Schaap, M., 2013. Quantification of the urban air pollution increment and its dependency on the use of down-scaled and bottom-up city emission inventories. *Urban Clim.* 6, 44–62. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.10.004>
- Tuia, D., de Eicker, M.O., Zah, R., Osses, M., Zarate, E., Clappier, A., 2007. Evaluation of a simplified top-down model for the spatial assessment of hot traffic emissions in mid-sized cities. *Atmos. Environ.* 41, 3658–3671. <https://doi.org/DOI:10.1016/j.atmosenv.2006.12.045>
- US EPA, 2015. Revision to the Guideline on Air Quality Models: Enhancements to the AERMOD Dispersion Modeling System and Incorporation of Approaches To Address Ozone and Fine Particulate Matter.
- Venegas, L.E., Mazzeo, N.A., 2006. Modelling of urban background pollution in Buenos Aires City (Argentina). *Environ. Model. Softw.* 21, 577–586. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2004.08.013>
- Viteri, R., Borge, R., Paredes, M., Pérez, M.A., 2023. A high resolution vehicular emissions inventory for Ecuador using the IVE modelling system. *Chemosphere* 315. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137634>
- Willmott, C.J., Ackleson, S.G., Davis, R.E., Feddema, J.J., Klink, K.M., Legates, D.R., O’Donnell, J., Rowe, C.M., 1985. Statistics for the evaluation and comparison of

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

- models. J. Geophys. Res. 90, 8995. <https://doi.org/10.1029/jc090ic05p08995>
- Yang, Z., Peng, J., Wu, L., Ma, C., Zou, C., Wei, N., Zhang, Y., Liu, Y., Andre, M., Li, D., Mao, H., 2020. Speed-guided intelligent transportation system helps achieve low-carbon and green traffic: Evidence from real-world measurements. J. Clean. Prod. 268, 122230. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122230>
- Ye, S., 2012. Research on Urban Road Traffic Congestion Charging Based on Sustainable Development. Phys. Procedia 24, 1567–1572. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.02.231>
- Yu, L., Jia, S., Shi, Q., 2009. Research on transportation-related emissions: Current status and future directions. J. Air Waste Manag. Assoc. 59, 183–195. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.59.2.183>
- Zhang, L., Long, R., Chen, H., Geng, J., 2019. A review of China's road traffic carbon emissions. J. Clean. Prod. 207, 569–581. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.003>
- Zhankaziev, S., Gavriyuk, M., Morozov, D., Zabudsky, A., 2018. Scientific and methodological approaches to the development of a feasibility study for intelligent transportation systems. Transp. Res. Procedia 36, 841–847. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.068>
- Zhao, P., 2010. Sustainable urban expansion and transportation in a growing megacity: Consequences of urban sprawl for mobility on the urban fringe of Beijing. Habitat Int. 34, 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2009.09.008>

Anexo

4.1 Uso de suelos – Código de Planeamiento Urbano

Sigue a continuación una tabla de equivalencias (Tabla 24) entre el Código de Planeamiento Urbano legislado de la Ciudad, y el utilizado para el presente trabajo.

CPU original	CPU Eco ITS	Nombre CPU Eco ITS	CPU original	CPU Eco ITS	Nombre CPU Eco ITS
R1a	R2	Residencial baja densidad	APH	C1	Oficina - Comercial
R1a 12	R2	Residencial baja densidad	APH 1	C1	Oficina - Comercial
R1b I	R2	Residencial baja densidad	APH 1 14	C1	Oficina - Comercial
R1b I 4	R2	Residencial baja densidad	APH 10	C1	Oficina - Comercial
R1b II 6	R1	Residencial alta densidad	APH 11	C1	Oficina - Comercial
R1b II 7	R2	Residencial baja densidad	APH 13	C1	Oficina - Comercial
R1b II 8	R2	Residencial baja densidad	APH 14	R1	Residencial alta densidad
R2a I	R1	Residencial alta densidad	APH 15	R1	Residencial alta densidad
R2a I 2	R1	Residencial alta densidad	APH 16	C2	Comercial
R2a II	R1	Residencial alta densidad	APH 17	P	Parques
R2a II 16	R2	Residencial baja densidad	APH 18	C1	Oficina - Comercial
R2a II 2	R1	Residencial alta densidad	APH 19	C1	Oficina - Comercial
R2b I	R1	Residencial alta densidad	APH 20	C1	Oficina - Comercial
R2b I 1	R1	Residencial alta densidad	APH 21	D	Clubes – Museos
R2b I 10	R1	Residencial alta densidad	APH 22	P	Parques
R2b I 9	R1	Residencial alta densidad	APH 23	R2	Residencial baja densidad
R2b II	R2	Residencial baja densidad	APH 26	R2	Residencial baja densidad
R2b III 1	R2	Residencial baja densidad	APH 27	R2	Residencial baja densidad
R2b III 2	R2	Residencial baja densidad	APH 28	R2	Residencial baja densidad
R2b III 1	R2	Residencial baja densidad	APH 29	R2	Residencial baja densidad
RU	D	Clubes – Museos	APH 3	R2	Residencial baja densidad
RUA	D	Clubes – Museos	APH 30	R1	Residencial alta densidad
RUA/E4 106	D	Clubes – Museos	APH 31	C1	Oficina - Comercial

**Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS
para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental**

CPU original	CPU Eco ITS	Nombre CPU Eco ITS
U1	R2	Residencial baja densidad
U10	R2	Residencial baja densidad
U11	R1	Residencial alta densidad
U12	R1	Residencial alta densidad
U13	R1	Residencial alta densidad
U14	R2	Residencial baja densidad
U15	D	Clubes – Museos
U16	C2	Comercial
U17	C2	Comercial
U19	D	Clubes – Museos
U2 b	R2	Residencial baja densidad
U2 c	D	Clubes – Museos
U2 d	R2	Residencial baja densidad
U2 e	R2	Residencial baja densidad
U2 f	R2	Residencial baja densidad
U20	R2	Residencial baja densidad
U21	C2	Comercial
U22	R2	Residencial baja densidad
U23	R1	Residencial alta densidad
U26	R2	Residencial baja densidad
U28	R2	Residencial baja densidad
U3 a	R2	Residencial baja densidad
U3 b	R2	Residencial baja densidad
U3 c	R2	Residencial baja densidad
U3 c	R2	Residencial baja densidad
U3 d	R2	Residencial baja densidad
U3 d	R2	Residencial baja densidad
U3 e	R2	Residencial baja densidad
U3 f	R2	Residencial baja densidad
U31 a	R2	Residencial baja densidad

CPU original	CPU Eco ITS	Nombre CPU Eco ITS
APH 32	C1	Oficina - Comercial
APH 32	R2	Residencial baja densidad
APH 36	P	Parques
APH 36	C2	Comercial
APH 38	P	Parques
APH 4	R2	Residencial baja densidad
APH 42	R2	Residencial baja densidad
APH 44	R1	Residencial alta densidad
APH 45	P	Parques
APH 46	R2	Residencial baja densidad
APH 48	C2	Comercial
APH 5	D	Clubes – Museos
APH 50	C1	Oficina - Comercial
APH 51	C1	Oficina - Comercial
APH 53	R2	Residencial baja densidad
APH 54	R2	Residencial baja densidad
APH 6	D	Clubes – Museos
APH 7	R2	Residencial baja densidad
ARE	P	Parques
C1	C1	Oficina - Comercial
C2	C1	Oficina - Comercial
C3 I	C1	Oficina - Comercial
C3 I 2	C2	Comercial
C3 II	C2	Comercial
C3 II 2	C2	Comercial

**Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS
para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental**

CPU original	CPU Eco ITS	Nombre CPU Eco ITS
U31 g	R2	Residencial baja densidad
U31 h	R2	Residencial baja densidad
U31 i	R2	Residencial baja densidad
U31 m	R2	Residencial baja densidad
U32	R1	Residencial alta densidad
U33	R1	Residencial alta densidad
U34	R2	Residencial baja densidad
U35	R2	Residencial baja densidad
U36	R2	Residencial baja densidad
U37	R2	Residencial baja densidad
U38	R2	Residencial baja densidad
U39	R2	Residencial baja densidad
U4	R2	Residencial baja densidad
U40	R2	Residencial baja densidad
U41	C2	Comercial
U42	R2	Residencial baja densidad
U43	D	Clubes – Museos
U44	D	Clubes – Museos
U45	P	Parques
U46	R2	Residencial baja densidad
U47	R2	Residencial baja densidad
U48	R2	Residencial baja densidad
U49	R2	Residencial baja densidad
U5	R2	Residencial baja densidad
U50	R2	Residencial baja densidad
U51	R2	Residencial baja densidad
U52	R2	Residencial baja densidad
U53	R2	Residencial baja densidad

CPU original	CPU Eco ITS	Nombre CPU Eco ITS
E1	C2	Comercial
E2	C3	Comercial – mixto (residencial)
E2 2	R2	Residencial baja densidad
E3	C3	Comercial – mixto (residencial)
E3 15	C2	Comercial
E3 2	C3	Comercial – mixto (residencial)
E3 5	R2	Residencial baja densidad
E4	R2	Residencial baja densidad
E4 1	E	Educación
E4 10	D	Clubes – Museos
E4 100	I	Clubes – Museos
E4 102	I	Industrial
E4 103	I	Industrial
E4 104	I	Industrial
E4 105	I	Industrial
E4 106	I	Industrial
E4 107	I	Industrial
E4 108	I	Industrial
E4 109	I	Industrial
E4 11	D	Clubes – Museos
E4 110	S	Salud
E4 111	R1	Residencial alta densidad
E4 112	R1	Residencial alta densidad
E4 12	D	Clubes – Museos
E4 13	D	Clubes – Museos
E4 14	D	Clubes – Museos
E4 15	S	Salud
E4 16	S	Salud

**Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS
para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental**

CPU original	CPU Eco ITS	Nombre CPU Eco ITS
U54	R2	Residencial baja densidad
U55	D	Clubes – Museos
U56	R2	Residencial baja densidad
U57	R2	Residencial baja densidad
U58	D	Clubes – Museos
U59	P	Parques
U6	R1	Residencial alta densidad
U60	R2	Residencial baja densidad
U61	R1	Residencial alta densidad
U62	R2	Residencial baja densidad
U63	R2	Residencial baja densidad
U64	R2	Residencial baja densidad
U65	P	Parques
U66	P	Parques
U67	R2	Residencial baja densidad
U68	C2	Comercial
U8	R2	Residencial baja densidad
U9	R1	Residencial alta densidad
UF	P	Parques
UP	P	Parques
E4 71	S	Salud
E4 72	S	Salud
E4 73	S	Salud
E4 74	S	Salud
E4 75	S	Salud
E4 76	S	Salud
E4 77	S	Salud
E4 78	S	Salud
E4 79	S	Salud
E4 8	E	Educación
E4 80	S	Salud
E4 81	S	Salud
E4 82	S	Salud
E4 83	S	Salud
E4 84	S	Salud
E4 85	S	Salud
E4 86	S	Salud
E4 87	S	Salud

CPU original	CPU Eco ITS	Nombre CPU Eco ITS
E4 17	S	Salud
E4 18	S	Salud
E4 19	S	Salud
E4 2	D	Clubes – Museos
E4 20	S	Salud
E4 21	S	Salud
E4 22	S	Salud
E4 23	S	Salud
E4 24	S	Salud
E4 25	E	Educación
E4 26	S	Salud
E4 27	S	Salud
E4 28	S	Salud
E4 29	S	Salud
E4 3	D	Clubes – Museos
E4 30	S	Salud
E4 31	S	Salud
E4 32	S	Salud
E4 33	S	Salud
E4 34	S	Salud
E4 35	S	Salud
E4 36	S	Salud
E4 37	I	Industrial
E4 38	C1	Oficina - Comercial
E4 39	C3	Comercial – mixto (residencial)
E4 4	C1	Oficina - Comercial
E4 40	P	Parques
E4 41	I	Industrial
E4 42	C1	Oficina - Comercial
E4 44	E	Educación
E4 45	D	Clubes – Museos
E4 46	S	Salud
E4 47	P	Parques
E4 49	C1	Oficina - Comercial
E4 5	E	Educación
E4 50	C1	Oficina - Comercial
E4 52	D	Clubes – Museos
E4 54	D	Clubes – Museos

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

CPU original	CPU Eco ITS	Nombre CPU Eco ITS	CPU original	CPU Eco ITS	Nombre CPU Eco ITS
E4 88	S	Salud	E4 55	D	Clubes – Museos
E4 89	E	Educación	E4 56	D	Clubes – Museos
E4 9	E	Educación	E4 57	D	Clubes – Museos
E4 90	I	Industrial	E4 58	D	Clubes – Museos
E4 91	D	Clubes – Museos	E4 59	D	Clubes – Museos
E4 92	S	Salud	E4 6	E	Educación
E4 93	S	Salud	E4 60	D	Clubes – Museos
E4 94	S	Salud	E4 62	D	Clubes – Museos
E4 96	C1	Oficina - Comercial	E4 63	D	Clubes – Museos
E4 99	C1	Oficina - Comercial	E4 64	D	Clubes – Museos
I1	I	Industrial	E4 65	D	Clubes – Museos
I1 2	I	Industrial	E4 66	D	Clubes – Museos
I2	I	Industrial	E4 67	D	Clubes – Museos
NE	I	Industrial	E4 68	D	Clubes – Museos
P	I	Industrial	E4 69	D	Clubes – Museos
			E4 7	D	Clubes – Museos

Tabla 24: Equivalencias de CPUs entre aquellos de la ciudad de Buenos Aires y los utilizados para el presente trabajo.

4.2 Conteos urbanos – Vehículos Livianos

Sigue a continuación una tabla de conteos de tránsito liviano y pesado (Tabla 25) con el que se realizó para el modelo de cantidad de vehículos. Los mismos fueron tomados de otro trabajo².

Tipo	Nombre	Vh. Liviano Matutino	Vh. Liviano Vespertino	Vh. Pesado Matutino	Vh. Pesado Vespertino
Peajes Autopistas	Alberti	1177	1161	NC	NC
	Dellepiane	2956	2351	350	310
	Centro				
	Dellepiane	2177	2382	312	306
	Liniers				
	P. Avellaneda	4698	4456	577	642
	Centro				
	P. Avellaneda	4759	3282	569	654
Liniers					
Illia	3857	3529	222	207	
Centro					

² Accorinti J, “Evaluación del Impacto Ambiental del Transporte Público (A expensas de combustible fósil/Diésel) en la Calidad del Aire de la Ciudad de Buenos Aires”, 2020.

***Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS
para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental***

Tipo	Nombre	Vh. Liviano Matutino	Vh. Liviano Vespertino	Vh. Pesado Matutino	Vh. Pesado Vespertino
	Illia . Provincia	3959	2599	212	238
Estación Calidad Aire	APRA – Centenario	1240	41	NC	NC
	APRA – Córdoba	4106	1163	NC	NC
	APRA – La_Boca	1152	357	NC	NC
Conteos Accorinti	Av. Álv. Thomas y Av. de los Incas	NC	2942	NC	NC
	Av. Acoyte y J. F. Aranguren	1806	2326	NC	NC
	Av. Acoyte y Bogotá	149	234	NC	NC
	Av. Acoyte y Av. Rivadavia	2448	3336	NC	NC
	Av. La Plata y Av. Independenc.	3873	4584	NC	NC
	Av. La Plata y Av. Chiclana	2511	2330	NC	NC
	Av. La Plata y Av. Directorio	4624	4403	NC	NC
	Av. La Plata y Av. J. de Garay	3141	3264	NC	NC
	Av. La Plata y Av. Rivadavia	2147	2660	NC	NC
	Av. La Plata y Av. Sáenz	1590	2120	NC	NC
	Av. La Plata y Zañartú	1463	1250	NC	NC
	Av. Cabildo y Av. Com. Rivad.	2146	2160	NC	NC
	Chaco y Doblas	550	469	NC	NC
	Chaco y Senillosa	747	718	NC	NC
	Chaco y El Maestro	892	929	NC	NC
	Chaco y R. de Indonesia	1231	1301	NC	NC
	Cortina y Nazarre	323	453	NC	NC
	Av. Dellepiane y Av. Castañares	736	400	NC	NC
	Donado y	NC	5254	NC	NC

**Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS
para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental**

Tipo	Nombre	Vh. Liviano Matutino	Vh. Liviano Vespertino	Vh. Pesado Matutino	Vh. Pesado Vespertino
	Balbín				
	Av. Dorrego y Av. Córdoba	NC	3398	NC	NC
	Av. Dorrego y Castillo	NC	1157	NC	NC
	Av. Elcano y Av. Guzmán	1642	2014	NC	NC
	Av. Elcano y Av. Triunvirato	1504	1283	NC	NC
	Av. Fig. Alcorta y Av. Udaondo	2926	3077	NC	NC
	Av. Forest y Teodoro García	1911	2130	NC	NC
	Av. Gaona y Artigas	NC	3226	NC	NC
	Irigoyen y Av. A. Jonte	951	1528	NC	NC
	Irigoyen y Elipidio González	892	1510	NC	NC
	Irigoyen y Nogoyá	1325	1488	NC	NC
	Irigoyen y P. Lozano	874	1280	NC	NC
	Irigoyen y San Blas	869	1536	NC	NC
	Irigoyen y Santo Tomé	927	1193	NC	NC
	Irigoyen y Simbrón	1042	1361	NC	NC
	Av. J.M. Moreno y Rosario	2173	2472	NC	NC
	Av. Lacarra y AU Dellep. NORTE	2213	2548	NC	NC
	Av. Lacarra y AU Dellep. SUR	2714	2578	NC	NC
	Av. Lacarra y Av. Eva Perón	NC	4635	NC	NC
	Lacroze y Triunvirato	1183	1368	NC	NC
	Libertador y Vedia	4506	4433	NC	NC
	Mariano Acha y Av. de Los Incas	1595	NC	NC	NC
	Mariano Acha y La Pampa	1421	NC	NC	NC

***Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS
para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental***

Tipo	Nombre	Vh. Liviano Matutino	Vh. Liviano Vespertino	Vh. Pesado Matutino	Vh. Pesado Vespertino
	Mariano Acha y Triunvirato	1245	1885	NC	NC
	Molière y P. Varela	444	618	NC	NC
	Neuquén e Hidalgo	1569	1614	NC	NC
	Neuquén y H. Pueyrredón	1637	1598	NC	NC
	Pedro Lozano y Víctor Hugo	314	644	NC	NC
	Rawson y B. Mitre	NC	1230	NC	NC
	Rawson y Lezica	NC	710	NC	NC
	Virgilio y Simbrón	535	609	NC	NC
Conteos propios - pesados	Paseo del Bajo y Av. Córdoba	NC	NC	1110	782
	Av. Eva Perón y Av. Lis. La Torre	NC	NC	228	104
	Av. Vélez Sarsf. Y Av. Alm. Alcorta	NC	NC	562	354
	Av. Suárez y Lafayette	NC	NC	234	132

Tabla 25: Conteos urbanos de tránsito liviano y pesado

4.3 conteos urbanos – Vehículos Pesados

Sigue a continuación una tabla de conteos de tránsito pesado (Tabla 26 y Tabla 27). Los mismos fueron realizados por cuenta propia, detallándose el tipo de vehículo que allí transitaba, diferenciado por la capacidad máxima de transporte de carga que pudiera realizar, en función de la configuración de ejes que poseyera.

Asimismo, los conteos fueron segmentados en períodos cortos de 10, 15 o 20 minutos (dependiendo de las posibilidades del momento), prefiriéndose el más corto posible de estas opciones. Luego se dejó un período de tiempo igual sin contabilizar, para retomar la actividad por el mismo lapso temporal tanto éste, como la pausa hasta completar 3 series de estas actividades. Esto es útil para analizar, mediante herramientas estadísticas, la validez del conteo: es decir que no hubiera algún factor que afectara en esa banda temporal y que provocara conteos de tránsito muy diferentes a los otros realizados en esa misma hora. Se consideró válido el conteo cuando el coeficiente de variación estuviera debajo del 20%.

Durante los mismos, se diferenciaron los vehículos pesados transitando, pudiendo analizar (mediante el tipo y cantidad de ejes) la carga máxima posible de llevar para ellos. De esta manera, se tenía preparado el conteo por si hubiera necesidad de mayor especificidad de carga para aplicar factores de emisión determinados.

***Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS
para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental***

Sitio	Período del día	Horario de conteo	Carga Máxima (Tn)					Total Pesados
			12	16,5	34,5	42	45	
Paseo del Bajo	Matutino	11:50 – 12:00	71	4	32	97	3	136
		12:10 – 12:20	51	5	33	79	4	121
		12:30 – 12:40	27	3	57	75	3	138
	Vespertino	16:32 – 16:42	28	8	20	69	3	100
		16:51 – 17:01	16	6	22	65	3	96
		17:10- 17:20	28	7	21	76	8	112
Lisandro Latorre y Eva Perón	Matutino	9:50 – 10:05	18	7	9	5	0	21
		10:10 – 10:25	13	8	11	3	1	23
	Vespertino	14:35 – 14:45	3	2	1	2	1	5
		14:51 – 15:51	2	1	6	0	0	7
		15:07 – 15:17	6	2	2	1	1	6
Almancio Alcorta y Vélez Sarsfield	Matutino	9:30 – 9:40	46	11	10	10	1	32
		9:53 – 10:03	26	16	7	10	2	35
		10:14 – 10:24	30	16	12	15	5	48
	Vespertino	14:38 – 14:38	44	3	7	2	4	43
		15:16 – 15:26	24	7	6	11	1	25
		15:33 - 15:43	15	4	11	10	2	27
Lafayette y Suárez	Matutino	10:32 – 10:52	30	16	12	15	5	48
	Vespertino	14:50 – 15:10	10	5	2	19	3	29

Tabla 26: Conteos urbanos: Vehículos Pesados

***Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS
para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental***

Sitio	Período del día	Horario de conteo	Tractor solo	Ómni-bus	Total Período conteo	Caudal hora	Prome - - dio	Desv. Estánd.	Coef. Variac.
Paseo del Bajo	Matutino	11:50 – 12:00	5	2	214	1284	1110	153,1	13,8%
		12:10 – 12:20	1	2	175	1050			
		12:30 – 12:40	0	1	166	996			
	Vespertino	16:32 – 16:42	4	2	134	804	782	100,8	12,9%
		16:51 – 17:01	0	0	112	672			
		17:10- 17:20	2	3	145	870			
Lisandro Latorre y Eva Perón	Matutino	9:50 – 10:05	1	19	59	236	228	11,3	5,0%
		10:10 – 10:25	1	18	55	220			
	Vespertino	14:35 – 14:45	0	8	16	96	104	19,3	18,5%
		14:51 – 15:51	0	6	15	90			
		15:07 – 15:17	0	9	21	126			
		9:30 – 9:40	0	21	99	594			
Almancio Alcorta y Vélez Sarsfield	Matutino	9:53 – 10:03	2	24	87	522	562	36,7	6,5%
		10:14 – 10:24	0	17	95	570			
		14:38 – 14:38	0	9	33	498			
	Vespertino	15:16 – 15:26	0	14	63	378	354	33,9	9,6%
		15:33 - 15:43	0	13	55	330			
Lafayette y Suárez	Matutino	10:32 – 10:52	0	0	78	234	234	---	---
	Vespertino	14:50 – 15:10	0	5	44	132	132	---	---

Tabla 27: Conteos urbanos: Vehículos Pesados (cálculo estadístico)

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

4.4 conteos autopistas – Vehículos Livianos y Pesados

Se muestra a continuación un extracto de conteos llevados a cabo en los peajes de las autopistas urbanas de la ciudad de Buenos Aires (Tabla 28). En el mismo se detallan diversas informaciones en cada estación de peaje: cantidad y tipo de vehículo (liviano o pesado), formas de pago para cada día y rango horario (Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2022).

FECHA	HORA	HORA_FIN	DIA	ESTACION	TIPO_VEHICULO	FORMA_PAGO	CANTIDAD_PASOS
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	ALBERDI	LIVIANO	EXENTO	1
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	ALBERDI	LIVIANO	EFFECTIVO	76
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	ALBERDI	LIVIANO	TARJETA DISCAPACIDAD	6
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	ALBERDI	LIVIANO	AUPASS	37
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	ALBERDI	PESADO	EXENTO	7
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	ALBERDI	PESADO	AUPASS	1
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	LIVIANO	NO COBRADO	19
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	LIVIANO	EXENTO	1
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	LIVIANO	EFFECTIVO	72
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	LIVIANO	AUPASS	1
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	LIVIANO	EXENTO	23
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	LIVIANO	EFFECTIVO	932
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	LIVIANO	TARJETA DISCAPACIDAD	15
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	LIVIANO	INFRACCION	6
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	LIVIANO	AUPASS	442
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	PESADO	NO COBRADO	1
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	PESADO	EXENTO	14
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	PESADO	EFFECTIVO	45
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	PESADO	TARJETA DISCAPACIDAD	1
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	PESADO	INFRACCION	2
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	PESADO	AUPASS	34
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	PESADO	EFFECTIVO	8
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	PESADO	INFRACCION	1
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	PESADO	AUPASS	15
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	PESADO	EFFECTIVO	5
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	PESADO	AUPASS	9
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	PESADO	EFFECTIVO	51
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	PESADO	INFRACCION	1
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	PESADO	AUPASS	34
2017-11-01	00:00:00	01:00:00	MIERCOLES	AVELLANEDA	PESADO	AUPASS	55

Tabla 28: Conteos en autopistas – Vehículos Livianos y Pesados

Esta cantidad de información llevó a simplificar ciertos datos, descartándose alguna información que no resulta de interés para el presente trabajo (por ejemplo, formas de pago). En conclusión, se llegó a una planilla del tipo que sigue, donde se pudo discriminar información según los siguientes parámetros:

- Estación de conteo
- Día
- Rango horario
- Tipo de vehículo

Finalmente, se llegó a una tabla según la imagen que sigue a continuación (Tabla 29).

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

4.5 Conteos autopistas – Vehículos Livianos y Pesados

Se muestra a continuación un extracto de conteos llevados a cabo en los peajes de las autopistas urbanas de la ciudad de Buenos Aires (Tabla 28). En el mismo se detallan

ESTACION	AVELLANEDA	D	L	M	M	J	V	S
Suma - CANTIDAD PASOS		Datos						
HORA	TIPO_VEHIC	2017-10-01	2017-10-02	2017-10-03	2017-10-04	2017-10-05	2017-10-06	2017-10-07
00:00:00	PESADO	120	176	223	219	291	238	223
01:00:00	PESADO	149	187	186	223	230	223	201
02:00:00	PESADO	122	156	162	226	186	190	168
03:00:00	PESADO	112	212	179	211	179	192	148
04:00:00	PESADO	167	283	257	291	289	294	203
05:00:00	PESADO	182	530	562	538	625	549	348
06:00:00	PESADO	180	883	1012	1004	1013	1018	520
07:00:00	PESADO	206	1152	1184	1167	1215	1226	665
08:00:00	PESADO	197	1195	1152	990	1335	1305	613
09:00:00	PESADO	188	1355	1334	1140	1327	1446	745
10:00:00	PESADO	193	1297	1349	1338	1417	1302	652
11:00:00	PESADO	190	1347	1291	1518	1487	1429	646
12:00:00	PESADO	173	1380	1355	1460	1421	1406	603
13:00:00	PESADO	174	1289	1366	1364	1411	1347	562
14:00:00	PESADO	209	1281	1336	1430	1378	1381	518
15:00:00	PESADO	227	1247	1350	1298	1351	1330	467
16:00:00	PESADO	234	1172	1235	1259	1279	1212	360
17:00:00	PESADO	253	1006	1132	1112	1039	1114	314
18:00:00	PESADO	261	949	951	881	967	968	329
19:00:00	PESADO	297	725	715	684	807	829	259
20:00:00	PESADO	252	527	612	623	598	646	242
21:00:00	PESADO	284	429	451	461	442	488	187
22:00:00	PESADO	272	336	381	365	342	358	183
23:00:00	PESADO	218	263	303	271	337	277	120
Total Resultado		4860	19377	20078	20073	20966	20768	9276

Tabla 29: Conteos en autopistas – Vehículos Livianos y Pesados – Tabla simplificada

La misma no se incluye en el presente documento, ya que resulta ser demasiada extensa para poder colocar todos los datos en una cantidad de hojas aceptable como para un trabajo final de tesis.

**Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS
para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental**

4.6 Coeficientes δ – Vehículos Livianos y Pesados

A continuación, se presenta una serie de tablas que muestran el coeficiente δ para vehículos livianos y pesados, el cual representa la variación horaria según el momento de la semana.

Lunes a viernes

Hora	Coeficiente δ											
	Alberdi		Dellepiane Centro		Dellepiane Liniers		Avellaneda		Illia		Promedio	
	Liviano	Pesado	Liviano	Pesado	Liviano	Pesado	Liviano	Pesado	Liviano	Pesado	Liviano	Pesado
0	0,104	0,119	0,140	0,154	0,303	0,191	0,216	0,183	0,185	0,158	0,182	0,161
1	0,067	0,065	0,089	0,161	0,199	0,172	0,119	0,177	0,100	0,128	0,111	0,141
2	0,040	0,071	0,065	0,143	0,151	0,177	0,067	0,148	0,055	0,141	0,073	0,136
3	0,028	0,075	0,059	0,170	0,147	0,186	0,049	0,156	0,050	0,155	0,064	0,149
4	0,031	0,125	0,115	0,358	0,167	0,201	0,080	0,221	0,071	0,269	0,090	0,232
5	0,122	0,251	0,364	0,828	0,289	0,309	0,245	0,446	0,169	0,508	0,236	0,460
6	0,378	0,683	0,724	1,206	0,511	0,547	0,690	0,769	0,529	1,195	0,562	0,863
7	0,858	1,106	0,984	1,107	0,858	0,736	1,117	0,904	1,081	1,372	0,974	1,032
8	1,038	1,034	1,097	1,011	1,027	0,883	1,067	0,892	1,152	1,275	1,076	1,012
9	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10	0,853	1,091	0,890	0,943	0,945	0,984	0,990	1,041	0,930	0,976	0,916	1,008
11	0,791	1,108	0,892	0,997	0,943	0,989	1,052	1,091	0,906	0,922	0,907	1,023
12	0,800	1,149	0,836	0,978	1,014	0,936	1,094	1,102	0,933	0,930	0,922	1,019
13	0,858	1,012	0,882	0,928	1,069	0,892	1,171	1,058	0,987	1,002	0,979	0,976
14	0,884	1,018	0,831	0,966	1,138	0,833	1,192	1,040	1,002	1,038	0,992	0,974
15	0,895	1,110	0,759	0,951	1,120	0,757	1,198	1,023	1,040	1,057	0,984	0,973
16	0,906	1,035	0,735	0,904	1,112	0,657	1,244	0,962	1,082	1,016	0,996	0,907
17	0,921	0,782	0,807	0,756	1,049	0,567	1,298	0,836	1,211	0,944	1,039	0,769
18	0,875	0,541	0,756	0,612	1,070	0,573	1,257	0,728	1,207	0,864	1,012	0,657
19	0,675	0,468	0,559	0,440	1,088	0,521	1,006	0,553	0,924	0,566	0,826	0,509
20	0,527	0,290	0,539	0,392	1,042	0,439	0,849	0,448	0,726	0,349	0,714	0,385
21	0,386	0,262	0,444	0,342	0,824	0,366	0,634	0,347	0,511	0,268	0,543	0,318
22	0,240	0,197	0,340	0,273	0,588	0,307	0,433	0,282	0,374	0,263	0,382	0,265
23	0,162	0,144	0,224	0,201	0,399	0,217	0,311	0,221	0,276	0,200	0,265	0,197

**Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS
para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental**

Sábados

Coeficiente δ

Hora	Alberdi		Dellepiane Centro		Dellepiane Liniers		Avellaneda		Illia		Promedio	
	Liviano	Pesado	Liviano	Pesado	Liviano	Pesado	Liviano	Pesado	Liviano	Pesado	Liviano	Pesado
0	0,265	0,302	0,320	0,330	0,506	0,251	0,408	0,288	0,462	0,653	0,387	0,303
1	0,209	0,229	0,253	0,303	0,446	0,205	0,346	0,233	0,365	0,592	0,319	0,282
2	0,138	0,190	0,198	0,227	0,302	0,194	0,220	0,196	0,229	0,429	0,214	0,230
3	0,088	0,209	0,130	0,231	0,224	0,206	0,144	0,200	0,149	0,510	0,145	0,196
4	0,084	0,211	0,180	0,305	0,228	0,315	0,147	0,305	0,164	0,388	0,158	0,385
5	0,170	0,329	0,403	0,512	0,336	0,452	0,256	0,513	0,264	0,878	0,282	0,576
6	0,300	0,573	0,584	0,776	0,451	0,858	0,421	0,876	0,393	0,653	0,426	0,787
7	0,583	0,753	0,756	0,905	0,590	1,117	0,633	1,066	0,584	1,653	0,628	0,907
8	0,902	0,865	0,963	0,917	0,799	1,076	0,883	1,080	0,846	1,122	0,880	1,032
9	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10	1,008	1,067	1,051	0,979	1,047	0,997	1,049	1,007	1,047	0,918	1,039	0,884
11	0,997	0,946	1,004	0,935	1,141	0,868	1,132	0,904	1,126	0,918	1,077	0,867
12	1,093	0,866	1,022	0,886	1,303	0,891	1,227	0,899	1,234	1,265	1,172	0,779
13	1,108	0,689	1,004	0,797	1,299	0,854	1,253	0,798	1,216	1,286	1,173	0,836
14	0,929	0,648	0,905	0,717	1,166	0,737	1,069	0,727	1,062	1,061	1,022	0,800
15	0,792	0,629	0,909	0,623	0,972	0,612	0,958	0,649	0,941	1,286	0,910	0,860
16	0,784	0,540	0,875	0,490	0,914	0,552	0,948	0,552	0,935	1,143	0,887	0,847
17	0,781	0,494	0,936	0,440	0,910	0,638	0,972	0,575	0,993	1,245	0,914	0,826
18	0,800	0,483	1,027	0,411	0,919	0,597	1,030	0,552	1,107	1,673	0,970	0,974
19	0,853	0,395	1,107	0,370	0,954	0,537	1,096	0,468	1,130	1,367	1,022	0,916
20	0,932	0,377	1,179	0,330	0,974	0,512	1,176	0,405	1,152	1,041	1,078	0,779
21	0,862	0,321	1,095	0,270	0,881	0,379	1,059	0,332	0,958	1,429	0,967	0,847
22	0,534	0,288	0,683	0,194	0,625	0,305	0,653	0,290	0,607	0,857	0,618	0,852
23	0,337	0,209	0,469	0,156	0,458	0,271	0,451	0,236	0,465	0,776	0,432	0,750

**Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS
para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental**

Domingos y feriados

Hora	Coeficiente δ											
	Alberdi		Dellepiane Centro		Dellepiane Liniers		Avellaneda		Illia		Promedio	
	Liviano	Pesado	Liviano	Pesado	Liviano	Pesado	Liviano	Pesado	Liviano	Pesado	Liviano	Pesado
0	0,949	0,653	0,846	0,303	0,844	0,548	1,061	0,463	1,018	0,379	0,935	0,458
1	0,832	0,592	0,703	0,282	0,797	0,392	0,976	0,424	0,930	0,369	0,841	0,401
2	0,608	0,429	0,512	0,230	0,613	0,294	0,728	0,379	0,708	0,321	0,630	0,323
3	0,378	0,510	0,318	0,196	0,501	0,356	0,437	0,293	0,434	0,302	0,417	0,322
4	0,277	0,388	0,378	0,385	0,411	0,358	0,347	0,399	0,362	0,341	0,359	0,373
5	0,480	0,878	0,620	0,576	0,473	0,377	0,447	0,546	0,483	0,578	0,501	0,579
6	0,539	0,653	0,642	0,787	0,601	0,580	0,557	0,713	0,632	0,982	0,596	0,748
7	0,592	1,653	0,677	0,907	0,662	0,725	0,594	0,841	0,693	0,998	0,645	0,999
8	0,688	1,122	0,745	1,032	0,798	0,834	0,739	0,906	0,749	0,939	0,747	0,962
9	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10	1,337	0,918	1,148	0,884	1,225	0,942	1,392	0,915	1,420	0,974	1,295	0,927
11	1,892	0,918	1,373	0,867	1,533	0,928	1,859	0,987	1,918	0,854	1,694	0,908
12	2,440	1,265	1,574	0,779	1,771	0,936	2,231	0,983	2,376	0,878	2,044	0,951
13	2,322	1,286	1,576	0,836	1,549	0,842	2,006	0,984	2,065	1,030	1,871	0,979
14	1,692	1,061	1,432	0,800	1,096	0,932	1,518	1,034	1,681	0,864	1,456	0,927
15	1,852	1,286	1,652	0,860	1,041	0,855	1,657	1,096	1,895	0,933	1,581	0,988
16	2,319	1,143	1,979	0,847	1,217	0,904	2,091	1,110	2,476	0,998	1,961	0,988
17	2,576	1,245	2,148	0,826	1,321	0,910	2,206	1,218	2,632	1,083	2,118	1,039
18	2,497	1,673	2,104	0,974	1,454	0,962	2,261	1,326	2,465	1,051	2,108	1,168
19	2,528	1,367	2,040	0,916	1,448	1,134	2,198	1,309	2,282	1,047	2,054	1,137
20	2,301	1,041	2,030	0,779	1,510	1,104	2,164	1,302	2,158	1,020	1,998	1,037
21	1,768	1,429	1,708	0,847	1,274	1,190	1,751	1,432	1,790	0,911	1,634	1,137
22	1,175	0,857	1,311	0,852	0,866	0,896	1,201	1,326	1,276	0,830	1,150	0,944
23	0,865	0,776	0,867	0,750	0,738	0,857	0,985	1,154	1,042	0,649	0,888	0,829

4.7 Cálculo de caudal másico – Vehículos Livianos

Se muestra a continuación las tablas con los datos para llevar a cabo el cálculo de caudal másico en cada vehículo al cual se le midió emisiones vehiculares con un analizador a bordo.

Volkswagen Up

Velocidad	Temp. absoluta	Presión	δ HC	δ CO	régimen	Cilindrada	Carga (Marip)	Caud más. HC	Caud más. CO
6	294	101,4	1,825	1,162	1642	0,999	20%	0,008	0,497
40	295	101,3	1,817	1,156	2365	0,999	21%	0,012	0,945
60	295	101,3	1,817	1,156	2009	0,999	24%	0,030	0,753
80	295	101,3	1,817	1,156	3329	0,999	27%	0,072	9,408
100	295	101,3	1,817	1,156	3297	0,999	29%	0,104	17,068
km/h	K	kPa	kg/ m ³	kg/ m ³	rpm	l	%	µg/s	µg/s

Tabla 30: Tabla de conversión de caudal volumétrico a másico. – Volkswagen Up

Tesis Final – Estudio y análisis para implementación de un sistema Eco ITS para la Ciudad de Buenos Aires (CABA). – Maestría en Ingeniería Ambiental

Chrysler Neon

Velocidad	Temp. absoluta	Presión	δ HC	δ CO	régimen	Cilindrada	Carga (Marip)	Caud más. HC	Caud más. CO
6	300	100,8	1,77906	1,13213	1344	1,996	0,08	0,102	5,899
40	301	100,7	1,77139	1,12725	2670	1,996	0,19	0,364	2,208
60	301	100,7	1,77139	1,12725	2590	1,996	0,21	0,499	6,486
80	302	100,7	1,76553	1,12352	2580	1,996	0,27	0,978	36,194
100	302	100,6	1,76377	1,12240	2250	1,996	0,38	2,307	197,209
km/h	K	kPa	kg/ m ³	kg/ m ³	rpm	l	%	µg/s	µg/s

Tabla 31: Tabla de conversión de caudal volumétrico a másico. – Chrysler Neon

Peugeot 207 Compact

Velocidad	Temp. absoluta	Presión	δ HC	δ CO	régimen	Cilindrada	Carga (Marip)	Caud más. HC	Caud más. CO
6	295	101,4	1,81909	1,15760	1642	1,587	0,206	0,013	0,815
40	295	101,4	1,81909	1,15760	1955	1,587	0,223	0,016	1,287
60	297	101,4	1,80684	1,14981	3016	1,587	0,244	0,073	1,850
80	297	101,4	1,80684	1,14981	2401	1,587	0,280	0,084	11,100
100	297	101,4	1,80684	1,14981	3297	1,587	0,304	0,170	27,921
km/h	K	kPa	kg/ m ³	kg/ m ³	rpm	l	%	µg/s	µg/s

Tabla 32: Tabla de conversión de caudal volumétrico a másico. – Peugeot 207 Compact

Bibliografía

Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, “Flujo Vehicular por Unidades de Peaje AUSA,” Información del paso de vehículos por las unidades de peaje AUSA., 2022. [Online]. Available: <https://data.buenosaires.gob.ar/dataset/flujo-vehicular-por-unidades-de-peaje-ausa>. [Accessed: 01-Oct-2020].