

Herramientas para evaluar y repensar la movilidad urbana: análisis multicriterio, modelado y simulación

Yamila S. Grassi

Instituto de Matemática de Bahía Blanca (UNS-CONICET), Argentina
Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Argentina

yamila.grassi@uns.edu.ar

Equipo de trabajo



Dra. Yamila Grassi



Dra. Mónica Díaz



Dr. Daniel Rossit



Dr. Diego Rossit

Movilidad urbana

- Todos los desplazamientos que realizan los ciudadanos.
- Acompañamiento del desarrollo urbano.
- Falta de planificación lleva al deterioro de la calidad de la movilidad urbana.
- Centrarse en las personas, fomentar el transporte público y la movilidad activa.



Encontrar un equilibrio sustentable

Movilidad urbana sustentable



Indicadores y análisis multicriterio

Indicador

Forma de medir la sustentabilidad de la
movilidad urbana

Indicadores y análisis multicriterio

Dimensión	Indicador
Ambiental	Índice de calidad de aire
	Emisiones de CO
	Emisiones de NOx
	Emisiones de COV
	Emisiones de MP
	Contaminación por ruido
	Emisiones de CO ₂
	Consumo de combustible fósil
	Consumo de combustible no fósil
	Accidentes vehicular con víctimas fatales
Social	Accidentes vehiculares con heridos
	Accidentes vehiculares con peatones
	Calidad de servicio del transporte público
	Accesibilidad del transporte público
	Accesibilidad para usuario vulnerables

Dimensión	Indicador
Económica	Costos de operación del TP
	Costos de mantenimiento del TP
	Beneficios de los operadores de TP
	Tarifas de TP
	Tarifas de estacionamiento
	Precio de los combustibles
Operacional y técnica	Inversión en infraestructura vial
	Nivel de servicio de las calles
	Antigüedad de la flota vehicular
	Segmentación de la flota
	Áreas de carga y descarga
	Calidad de las calles
Espacial urbano	Calles inteligentes
	Movilidad compartida
	Longitud de ciclovías
	Longitud de infraestructura peatonal
	Superficie de calles
	Densidad poblacional
Tasa de crecimiento de la población	
Cantidad de espacio de estacionamiento	

Indicadores y análisis multicriterio

Ponderación de indicadores

Analytic Hierarchy Process (AHP)
y Best-Worst Method (BWM)

Priorización de alternativas

TOPSIS, VIKOR, ELECTRE y
PROMETHEE

Indicadores y análisis multicriterio

- Los indicadores ambientales son los más frecuentemente usados para evaluar la movilidad urbana. También, suelen ser los que obtienen mayores pesos en las ponderaciones.
- Principalmente, aquellos relacionados con las emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero, así como calidad de aire.

Defining and Prioritizing Indicators to Assess the Sustainability of Mobility Systems in Emerging Cities

Juan Camilo Medina¹ ,
Jorge Pinho de Sousa¹ ,
and Edgar Jimenez Perez² 



Robust Multicriteria Sustainability Assessment in Urban Transportation

Sedat Gulcimen¹; Emel Kizilkaya Aydogan²; and Nigmet Uza³

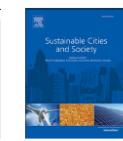
Sustainable Cities and Society 86 (2022) 104096



Contents lists available at ScienceDirect

Sustainable Cities and Society

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scs



A multi-criteria approach for urban mobility project selection in medium-sized cities

Rodrigo Rodrigues da Silva ^{a,*}, Gilson Ditzel Santos ^{a,b,c}, Dalmarino Setti ^{a,d}

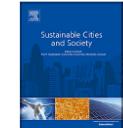
Sustainable Cities and Society 47 (2019) 101493



Contents lists available at ScienceDirect

Sustainable Cities and Society

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scs



Determining the relative importance of sustainability evaluation criteria of urban transportation network

Reza Mahmoudi^a, Seyyed-Nader Shetab-Boushehri^a, Seyed Reza Hejazi^a, Ali Emrouznejad^{b,*}

Emisión y calidad de aire

EMISIÓN

Generada directamente en la fuente

CALIDAD DE AIRE

Concentración en el aire de un determinado contaminante

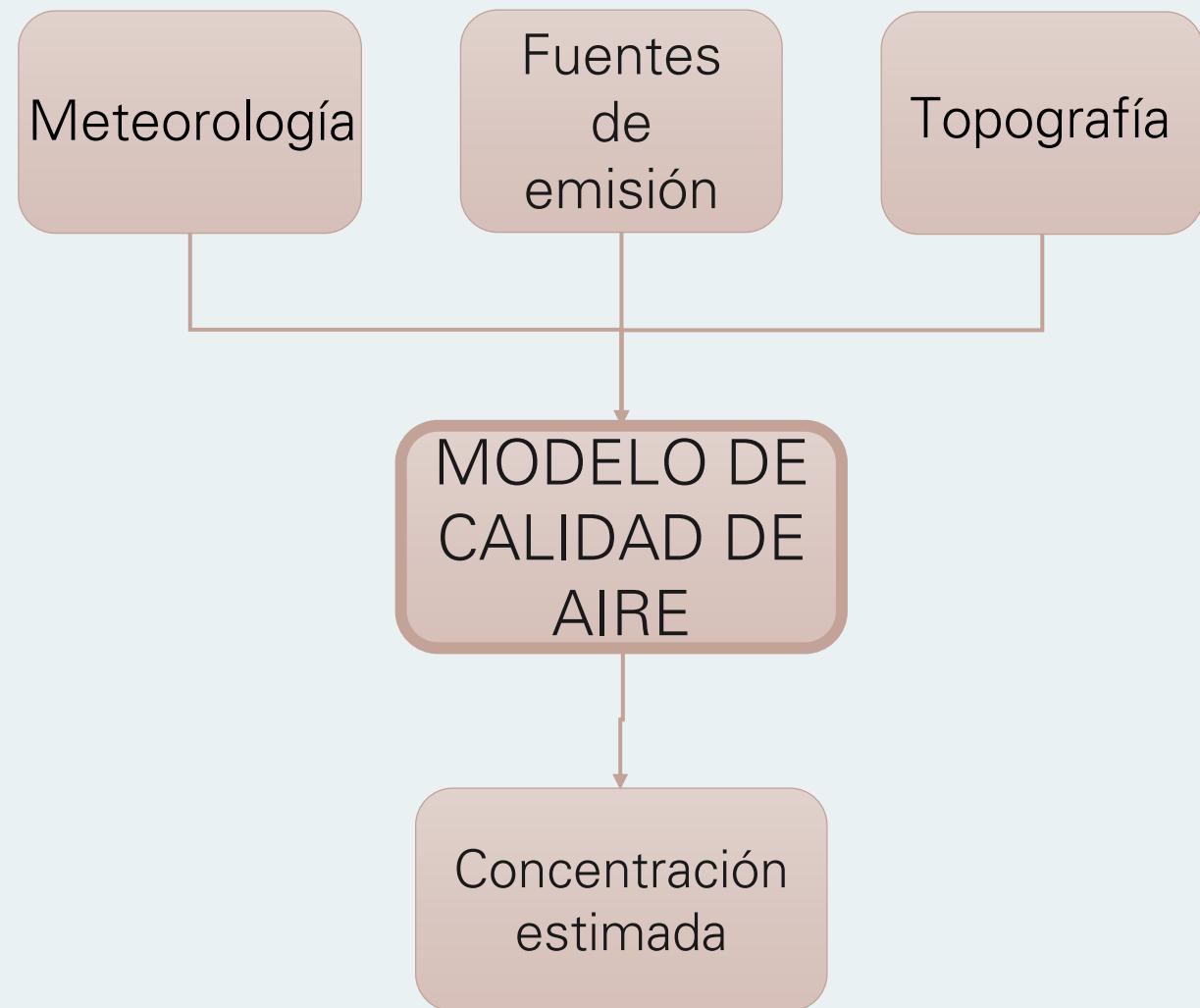
INMISIÓN

¿Qué pasa cuando no tenemos datos para trabajar con los indicadores ambientales?

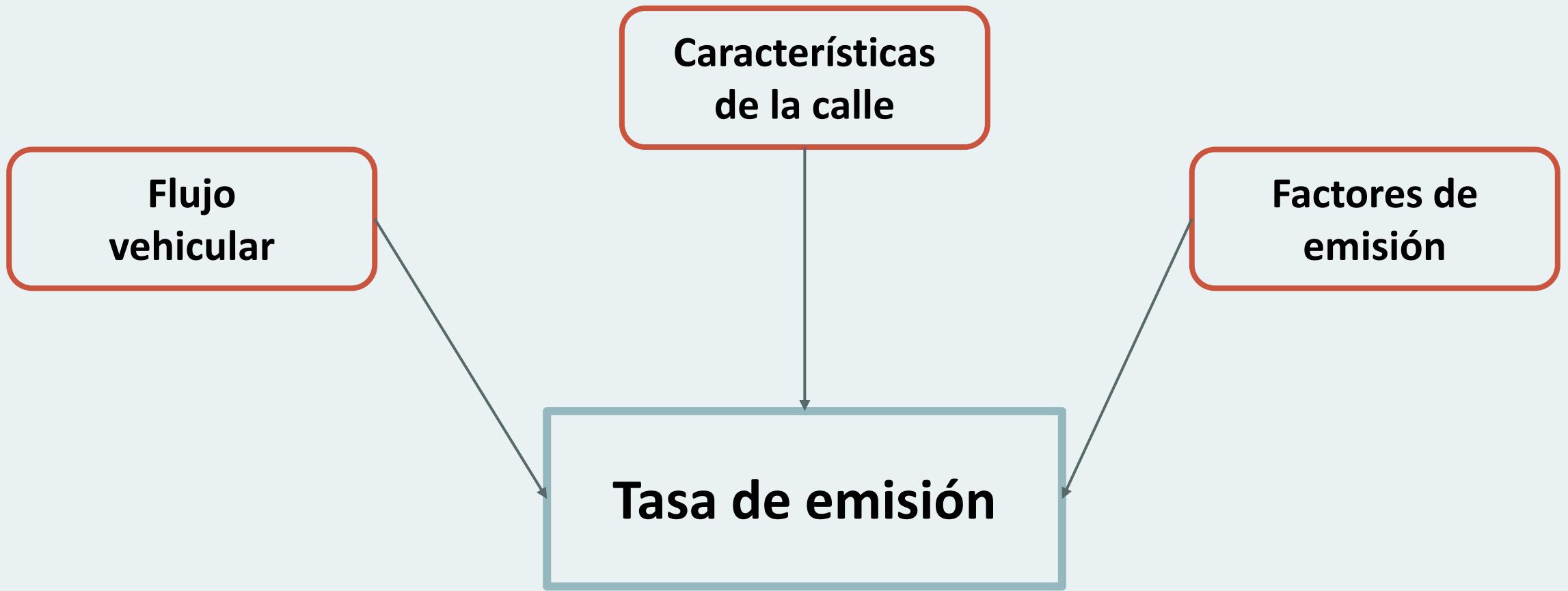
¿Cómo podemos subsanar la falta de datos?

Modelos de calidad de aire o de dispersión de contaminantes

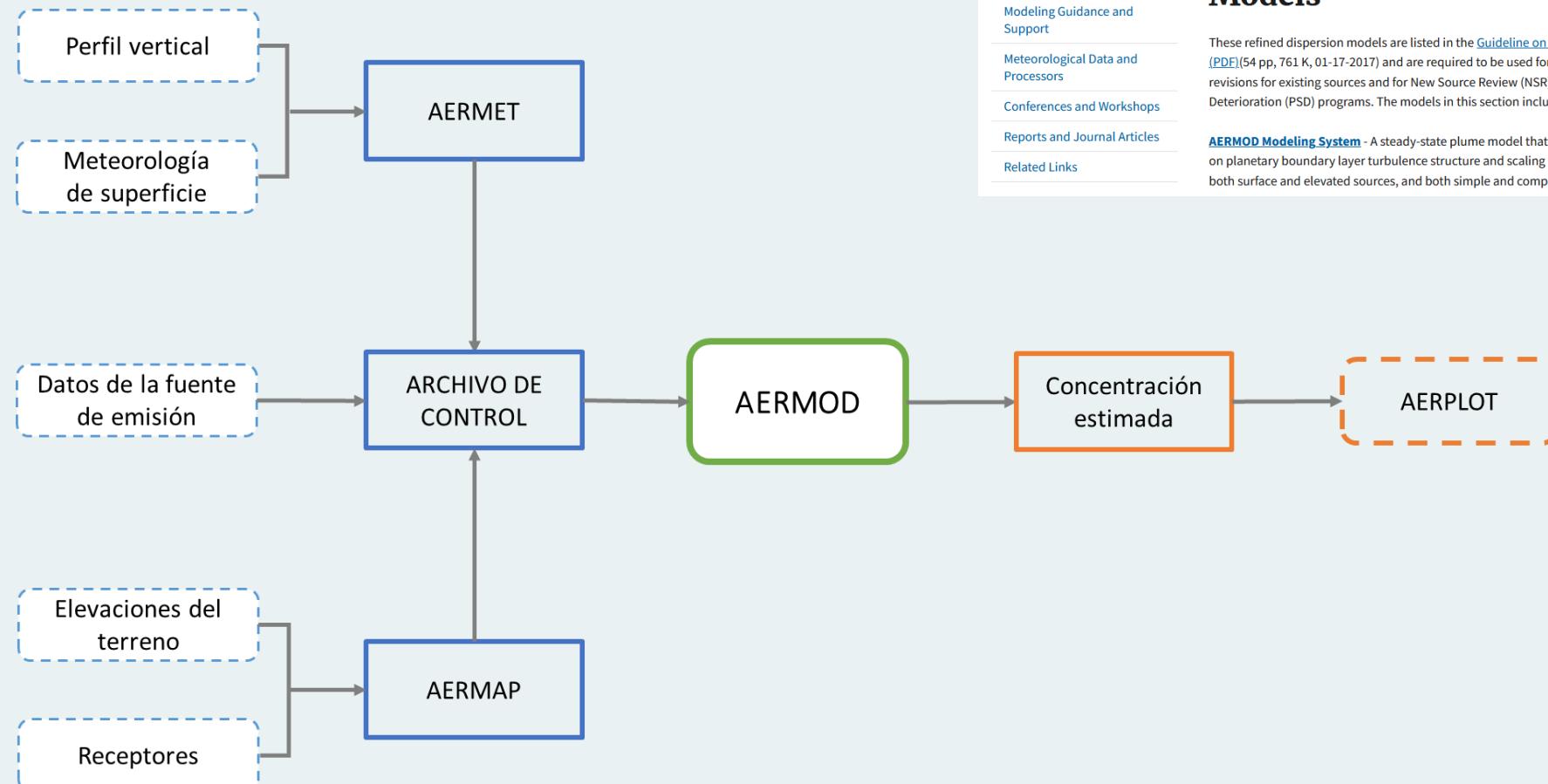
Encontrar una **relación** entre las sustancias que son emitidas a la atmósfera, y las concentraciones de estas sustancias en determinados receptores, u otras que se originan a partir de ellas en la atmósfera.



Tasa de emisión



AERMOD (versión US-EPA)



EPA United States Environmental Protection Agency

Search EPA.gov

Environmental Topics ▾ Laws & Regulations ▾ Report a Violation ▾ About EPA ▾

Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling (SCRAM) [CONTACT US](#)

SCRAM Home
Air Quality Models
Model Applications and Tools
Modeling Guidance and Support
Meteorological Data and Processors
Conferences and Workshops
Reports and Journal Articles
Related Links

Air Quality Dispersion Modeling - Preferred and Recommended Models

These refined dispersion models are listed in the [Guideline on Air Quality Models - Appendix W \(PDF\)](#)(54 pp, 761 K, 01-17-2017) and are required to be used for State Implementation Plan (SIP) revisions for existing sources and for New Source Review (NSR) and Prevention of Significant Deterioration (PSD) programs. The models in this section include the following:

AERMOD Modeling System - A steady-state plume model that incorporates air dispersion based on planetary boundary layer turbulence structure and scaling concepts, including treatment of both surface and elevated sources, and both simple and complex terrain.

AERMOD (versión US-EPA) - Archivo de control

CONTROL

FUENTES

RECEPTORES

METEOROLOGÍA

SALIDA

```
CO STARTING
TITLEONE A Simple Example Problem for the AERMOD Model with PRIME
MODELOPT ALPHA BETA CONC FLAT NODRYDPLT NOWETDPLT
AVERTIME 1 PERIOD
POLLUTID NOx
RUNORNOT RUN
ERRORFIL ERRORS.OUT
CO FINISHED

SO STARTING
ELEVUNIT METERS
LOCATION SARMI RLINE 563885.00 5714508.97 563784.70 5714398.68 0.0
LOCATION ZELAR RLINE 563913.19 5714384.61 563808.14 5714490.41 0.0
LOCATION ESTOM RLINE 563340.85 5714662.93 563446.61 5714560.15 0.0
LOCATION ROCA1 RLINE 563319.49 5714521.15 563429.32 5714627.05 0.0
LOCATION BROWN RLINE 563957.34 5713708.84 563850.45 5713810.57 0.0
LOCATION FTROY RLINE 563835.62 5713699.35 563935.97 5713811.54 0.0

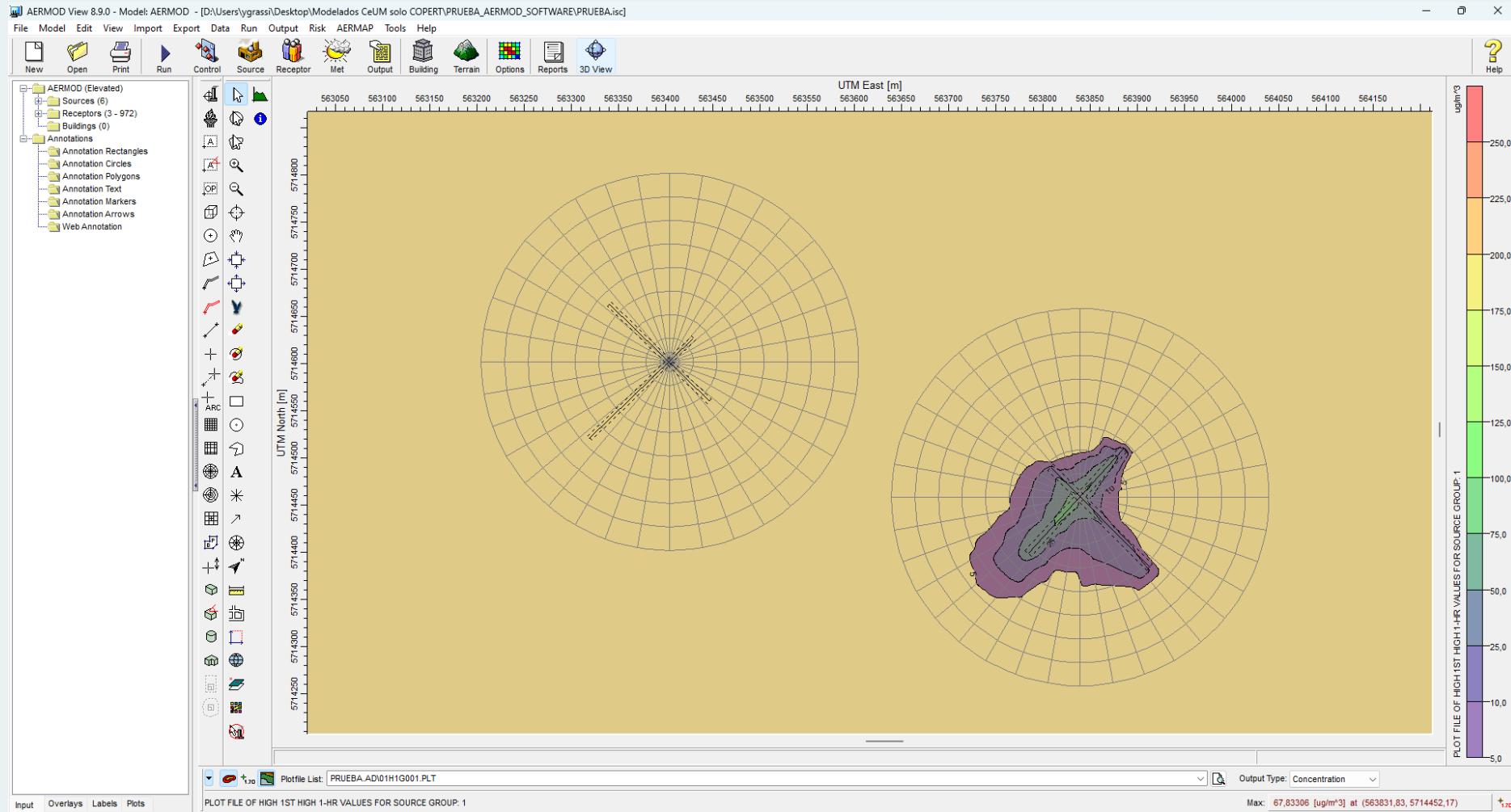
** Line Source      ER      AH      WT      IVD
** Parameters:     ----    ----    ----    ----
SRCPARAM SARMI 0.00001147 1.426   9.    1.32
SRCPARAM ZELAR 0.00000974 1.426   9.    1.32
SRCPARAM ESTOM 0.00001811 1.426   6.    1.32
SRCPARAM ROCA1 0.00000953 1.426   6.    1.32
SRCPARAM BROWN 0.00001549 1.426   9.    1.32
SRCPARAM FTROY 0.00000838 1.426   6.    1.32
SRCGROUP 1 SARMI ZELAR
SRCGROUP 2 ESTOM ROCA1
SRCGROUP 3 BROWN FTROY
SRCGROUP ALL
SO FINISHED
```

```
RE STARTING
GRIDPOLR POL1 STA
ORIG 563839.49 5714458.60
DIST 10. 25. 50. 75. 100. 125. 150. 175. 200.
GDIR 36 0 10
GRIDPOLR POL1 END
GRIDPOLR POL2 STA
ORIG 563404.47 5714602.20
DIST 10. 25. 50. 75. 100. 125. 150. 175. 200.
GDIR 36 0 10
GRIDPOLR POL2 END
GRIDPOLR POL3 STA
ORIG 563897.26 5713766.56
DIST 10. 25. 50. 75. 100. 125. 150. 175. 200.
GDIR 36 0 10
GRIDPOLR POL3 END
RE FINISHED
```

```
ME STARTING
SURFFILE EX01_MP.sfc
PROFILE EX01_MP.pf1
SURFDATA 87750 2020 BAHIA BLANCA
UAIRDATA 87576 2020 BUENOS AIRES
PROFBASE 10.0 METERS
ME FINISHED
```

```
OU STARTING
RECTABLE ALLAVE 1
RECTABLE 1 FIRST
SUMMFILE RESUMEN.SUM
PLOTFILE 1 1 FIRST 01H1G001.PLT
PLOTFILE 1 2 FIRST 01H1G002.PLT
PLOTFILE 1 3 FIRST 01H1G003.PLT
PLOTFILE 1 ALL FIRST 01H1GALL.PLT
PLOTFILE PERIOD 1 PLT1PDALL.PLT
PLOTFILE PERIOD 2 PLT2PDALL.PLT
PLOTFILE PERIOD ALL PLTPDALL.PLT
OU FINISHED
```

AERMOD View – Amigable con el usuario



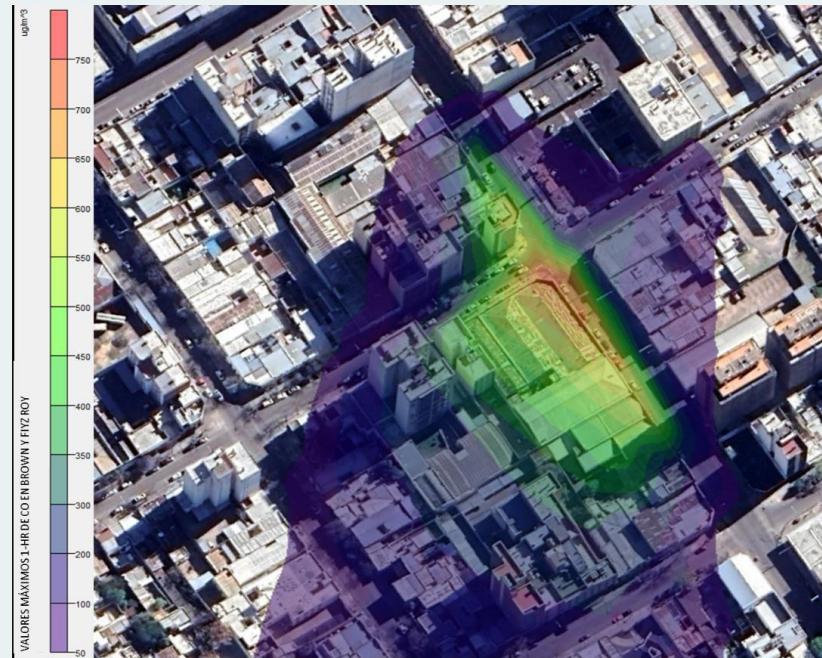
Urban air pollution evaluation in downtown streets
of a medium-sized Latin American city using AERMOD
dispersion model

Yamila Soledad Grassi  · Mónica Fátima Diaz 

AERMOD (versión US-EPA) – Caso de aplicación microcentro de Bahía Blanca

CO

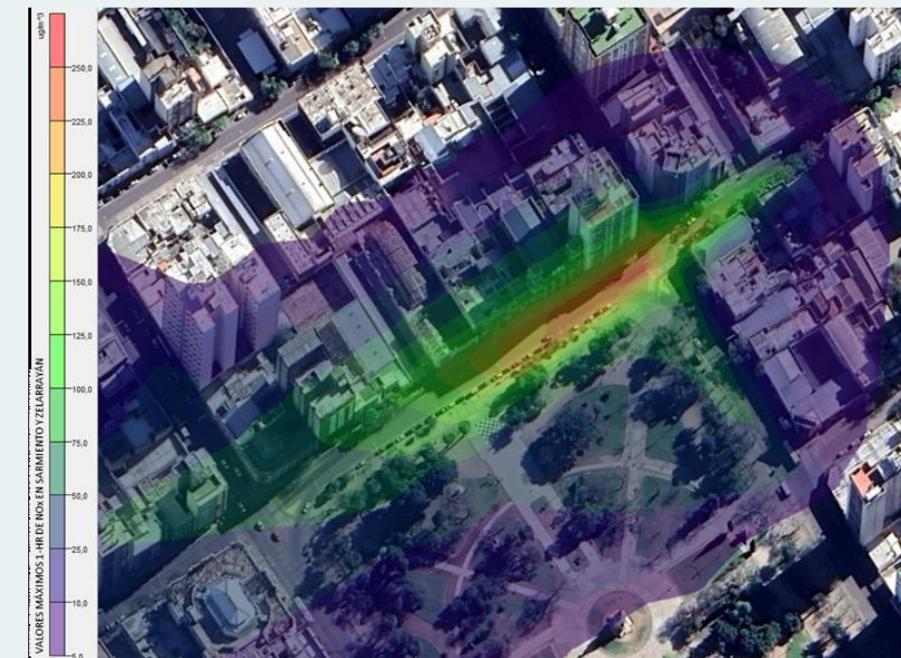
Brown y Fitz Roy



738.85 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
3/05/2022 - 8 a.m.

NO_x

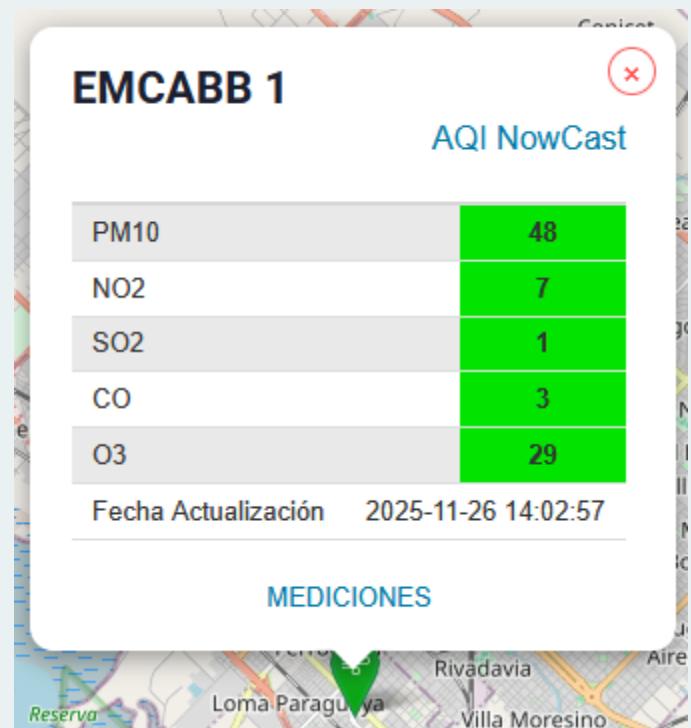
Sarmiento y Zelarrayán



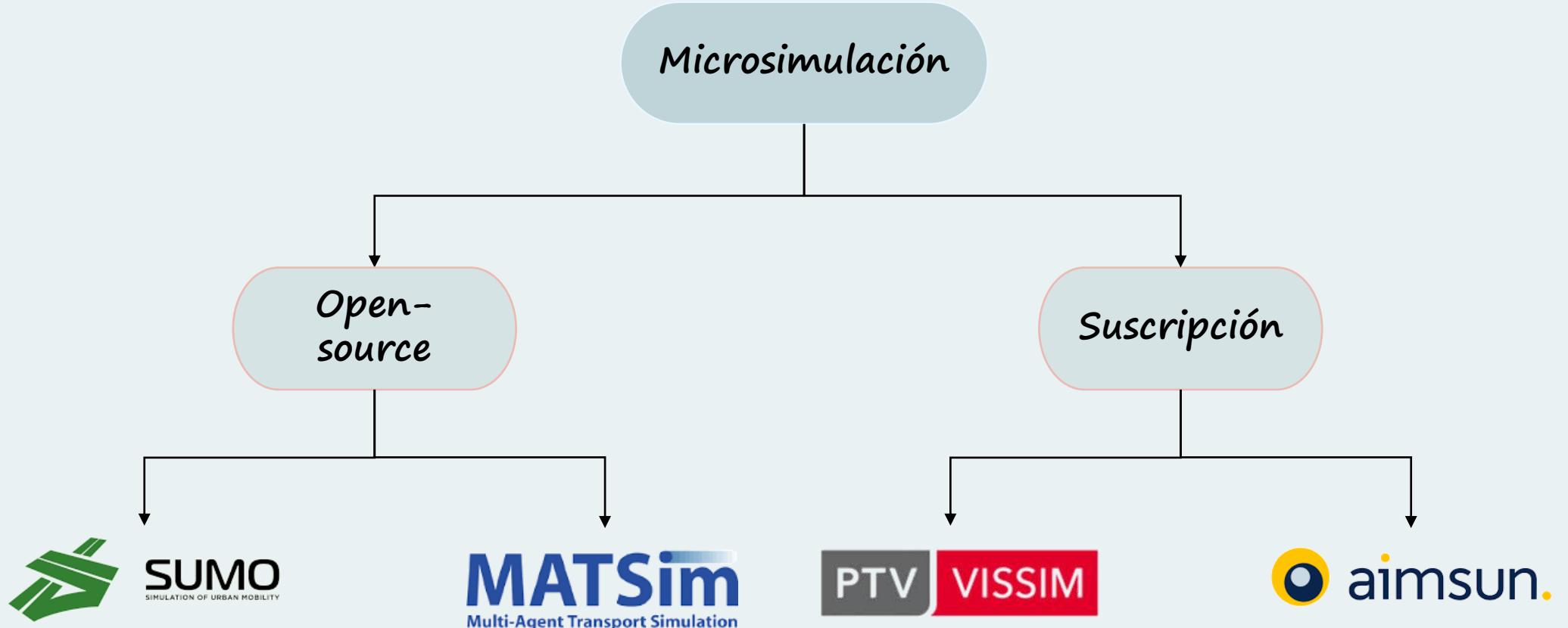
232.96 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
10/05/2022 - 8 a.m.

Índice de calidad de aire (ICA)

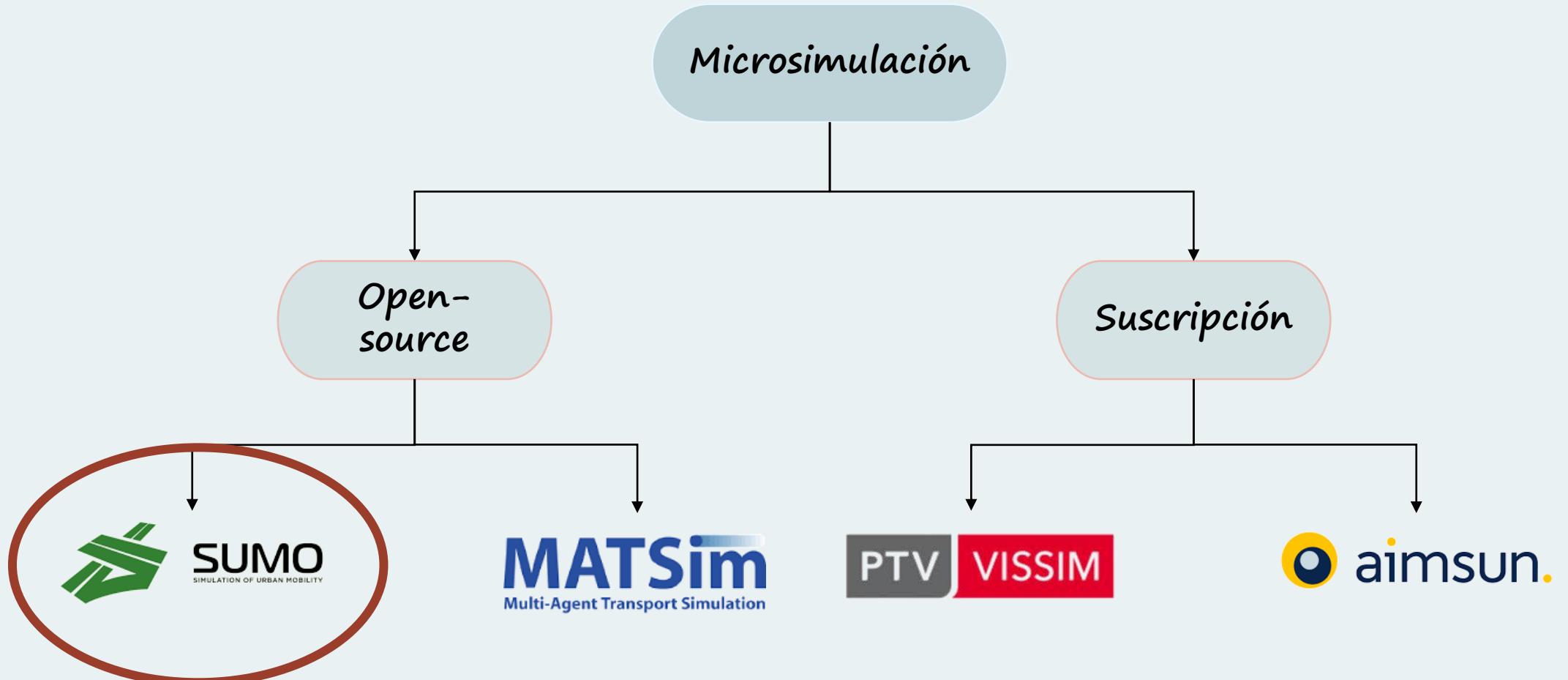
Categorías de ICA	CO - 8 horas [ppm] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ - 1 hora [ppb] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Significado
<i>Bueno (hasta 50)</i>	0 - 4.4 (0 - 5039)	0 - 53 (0 - 100)	La contaminación del aire se considera satisfactoria y la contaminación atmosférica presenta un riesgo escaso o nulo.
<i>Moderado (51-100)</i>	4.5 - 9.4 (5040 - 10765)	54 - 100 (101 - 188) Inusualmente las personas sensibles deben considerar la posibilidad de limitar los esfuerzos prolongados, especialmente cerca de calles muy transitadas.	La calidad del aire es aceptable, pero para algunos contaminantes podría existir una preocupación moderada para la salud de un grupo muy pequeño de personas excepcionalmente sensibles a la contaminación ambiental.
<i>Insalubre para grupos sensibles (101-150)</i>	9.5 - 12.4 (10766 - 14200) Las personas con cardiopatías, como la angina de pecho, deben limitar los esfuerzos intensos y evitar las fuentes de CO, como el tránsito intenso.	101 - 360 (189 - 677) Las personas asmáticas, los niños y los ancianos deben limitar los esfuerzos prolongados, sobre todo cerca de calles con mucho tráfico.	Los miembros de grupos sensibles pueden padecer efectos en la salud. Probablemente no afectará a las personas en general.
<i>Insalubre (151-200)</i>	12.5 - 15.4 (14201 - 17636) Las personas con cardiopatías, como la angina de pecho, deben limitar los esfuerzos intensos y evitar las fuentes de CO, como el tránsito intenso.	361 - 649 (678 - 1221) Personas con asma, niños y ancianos deben evitar esfuerzos prolongados cerca de las calles; los demás deben limitar esfuerzos prolongados especialmente cerca de calles.	Todos pueden comenzar a padecer efectos en la salud y los miembros de grupos sensibles pueden padecer efectos más graves.
<i>Muy insalubre (201-300)</i>	15.5 - 30.4 (17637 - 34814) Las personas con cardiopatías, como la angina de pecho, deben limitar los esfuerzos intensos y evitar las fuentes de CO, como el tránsito intenso.	650 - 1249 (1222 - 2350) Las personas asmáticas, los niños y los ancianos deben evitar todo esfuerzo al aire libre; todos los demás deben evitar los esfuerzos prolongados, especialmente cerca de calles muy transitadas.	Advertencias sanitarias de condiciones de emergencia. Son mayores las probabilidades de que toda la población esté afectada.
<i>Peligroso (301-500)</i>	30.5 - 50.4 (34815 - 57718) Las personas con cardiopatías, como la angina de pecho, deben evitar los esfuerzos y las fuentes de CO, como el tránsito intenso; todos los demás deben limitar los esfuerzos intensos.	1250 - 2049 (2351 - 3854) Las personas asmáticas, los niños y los ancianos deben permanecer en el interior; todos los demás deben evitar cualquier esfuerzo al aire libre.	Alerta sanitaria: todos pueden padecer efectos sanitarios más graves.



Microsimulación de tránsito



Microsimulación de tránsito



Indicadores de movilidad con SUMO



Ambiental:

- Emisiones de gases contaminantes (CO, NOx, HC, MP)
- Emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂)
- Consumo de combustible
- Nivel de ruido



Técnicos:

- Velocidades máximas
- Tiempos de viaje
- Longitud de colas
- Nivel de servicio de las calles



Social:

- Puntos calientes de accidentes viales



Económica:

- No se obtienen de manera directa por simulación

Entradas al software

- Flujo vehicular
- Segmentación de la flota
- Topología de la red de calles
- Velocidades permitidas
- Semaforización
- Flujo peatonal
- Distancia mínima entre vehículos en espera o tiempo mínimo de seguimiento

Car-following models



- Permite correr la simulación
- Calibrar y validar la misma mediante el uso de recolectores de datos.

Entradas al software



- Datos de flujo y segmentación en puntos estratégicos de la ciudad de Bahía Blanca

Research Article

Post-pandemic urban mobility in a medium-sized Latin American city. Is sustainable micro-mobility gaining ground?

Yamila S. Grassi & Mónica F. Díaz

Pages 1579-1595 | Published online: 31 Mar 2023

ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: <https://doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.837>

Measuring urban mobility: methodological aspects of vehicle counting applied to Argentine cities

Yamila S. Grassi^{a,b}; Mónica F. Díaz^b

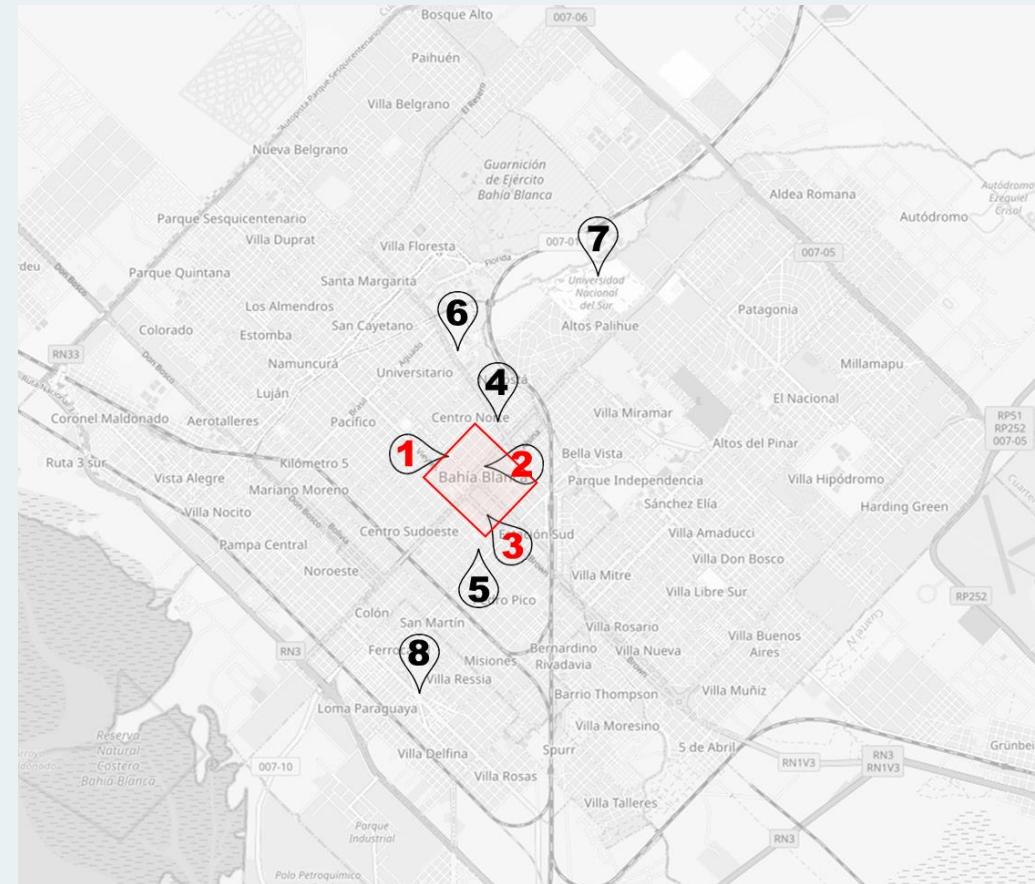
^a Instituto de Matemática de Bahía Blanca (UNS-CONICET) y Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Argentina, yamila.grassi@uns.edu.ar

^b Planta Piloto de Ingeniería Química (UNS-CONICET), y Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Sur, Argentina, mdiaz@plapiqui.edu.ar

Informe Técnico:
Flujo vehicular en el
microcentro de Bahía Blanca

Anual 2024

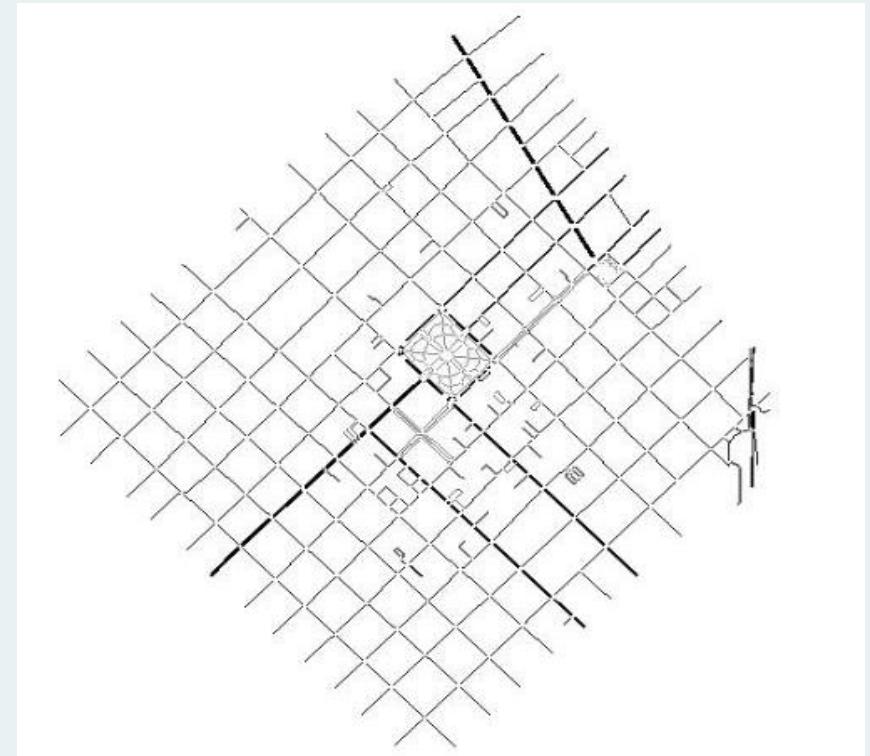
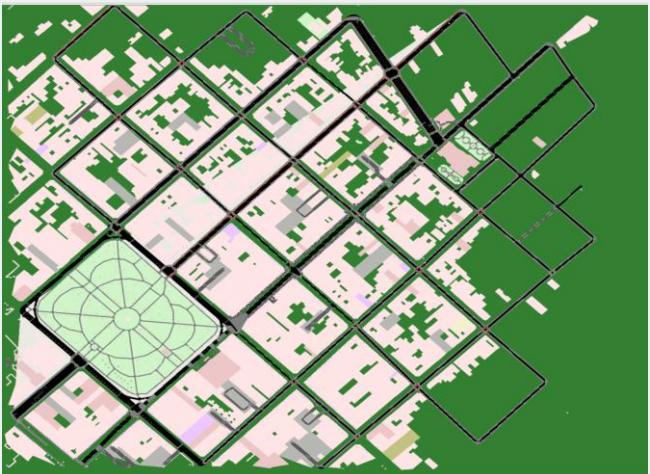
Yamila Soledad Grassi ^{a,b} y Mónica Fátima Díaz ^{c,d}



Entradas al software



- Topografía de las calles y velocidades permitidas precargadas en el archivo .osm usando JOSM



Entradas al software



- Datos de flujo y segmentación en puntos estratégicos de la ciudad de Bahía Blanca
- Topografía de las calles y velocidades permitidas precargadas en el archivo .osm usando JOSM



- Afinar tiempos de semaforización y giros
- Calcular la distancia mínima entre vehículos



- Afinar tiempos de semaforización y giros
- Calcular la distancia mínima entre vehículos



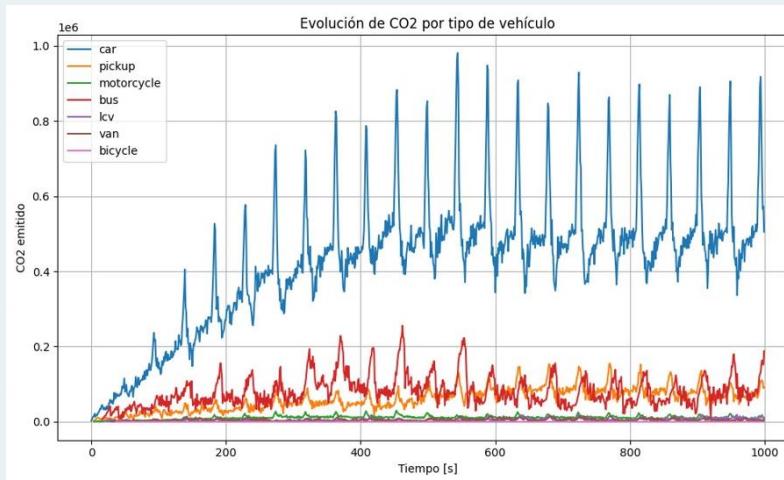
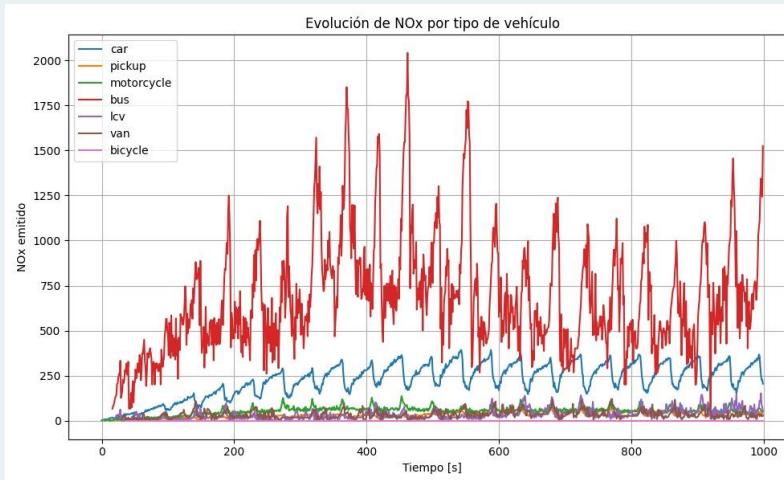
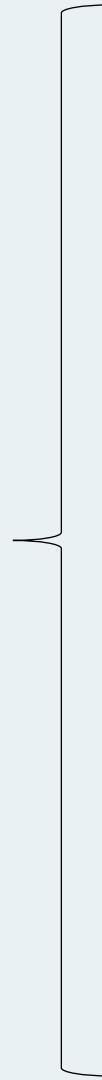
- Permite correr la simulación
- Calibrar y validar la misma mediante el uso de recolectores de datos.



Salidas del software



SUMO
SIMULATION OF URBAN MOBILITY



Emisiones de NOx
[mg/s]

Emisiones de CO₂
[mg/s]

¿Qué aprendimos hasta aquí?



Indicadores claves de movilidad urbana

Uso de indicadores ponderados por métodos MCDM.



Estimación de indicadores ambientales

El modelado de calidad de aire y la microsimulación de tránsito tienen el potencial de subsanar la falta de datos a la hora de confeccionar indicadores claves de movilidad.



Toma de decisiones basada en evidencia

El uso de indicadores actualizados fortalece la toma de decisiones basada en evidencia, apoyando la gestión pública.



Trabajo futuro

Calibrar y validar la microsimulación para puntos estratégicos.
Trabajar en otros puntos de la ciudad con el modelado de calidad de aire.

Gracias por su atención

Si tienen alguna pregunta no duden en contactarme:

yamila.grassi@uns.edu.ar