



Bloque 2: Educación en Química mediada por tecnologías (Web 2.0, Web 3.0).

EXPERIENCIA DE NIVEL UNIVERSITARIO EN EL USO DE DOS HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES DE MODELADO DE CALIDAD DE AIRE

Facundo Manuel Carrizo¹, Giuliana Munafo¹, Yamila Soledad Grassi²⁻³, Mónica Fátima Díaz¹⁻⁴

¹Planta Piloto de Ingeniería Química (PLAPIQUI - UNS - CONICET), Bahía Blanca, Argentina

²Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina

³Instituto de Matemática de Bahía Blanca (INMABB - UNS - CONICET), Bahía Blanca, Argentina

⁴Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina

facundomanuelcarrizo@gmail.com, giuligiam123@gmail.com, yamila.grassi@uns.edu.ar, mdiaz@plapiqui.edu.ar

Resumen

Hoy en día las herramientas computacionales son esenciales para la enseñanza, no solo sirven como instrumentos para futuros profesionales sino también para generar un mejor entendimiento de lo que se está enseñando. Este trabajo presenta la experiencia, tanto de docentes como de alumnos, en el empleo de dos softwares de modelado de calidad de aire, de diferente complejidad, en el marco de la cátedra de Contaminación Atmosférica y Control de Emisiones (3er año) de la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional del Sur. Las dos herramientas brindan información sobre la dispersión de contaminantes en la atmósfera. En particular, Screen View (software libre) fue usado en horario de clase por su sencillez y accesibilidad, en cambio, AERMOD se empleó en un trabajo final de carrera (TFC) debido a su alta complejidad y costo. En este sentido, se destaca que el primero permitió comprender mejor el comportamiento de los contaminantes en la atmósfera emitidos por fuentes fijas en una única clase de 2 horas. Mientras que, el uso de AERMOD requirió aproximadamente 16 horas de enseñanza para el desarrollo del TFC, pero obteniendo mayor precisión y detalle en los resultados, ajustado al trabajo que se realizaba con fuentes lineales.

Palabras clave: Educación para el desarrollo sostenible; contaminación atmosférica, modelado de calidad de aire; experiencia del alumno; Bahía Blanca.

1. INTRODUCCIÓN

Las herramientas computacionales son hoy en día esenciales para la enseñanza de nivel universitario, no solo para formar profesionales íntegros sino también, para facilitar el aprendizaje y entendimiento de los fenómenos que se están enseñando. La meta 4.7 de los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS), asociado a asegurar que todos los alumnos adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible, promueve la Educación para el Desarrollo Sustentable (EDS) (ONU, 2015). En este sentido, se fomenta que los alumnos puedan desarrollar una mentalidad crítica y que aprendan herramientas aplicadas en el seno de las universidades. En particular, este trabajo se aboca a compartir la experiencia de los alumnos avanzados de la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional del Sur (UNS), relacionada al uso de herramientas computacionales aplicadas a modelado de calidad de aire.

Es sabido que la contaminación del aire es una problemática que enfrentan las ciudades a nivel mundial. El rápido crecimiento económico de los países en desarrollo genera un aumento de la industrialización y de la cantidad de vehículos, lo cual conlleva a elevar los niveles de contaminación atmosférica. Esta situación ha quedado evidenciada con el cierre estricto durante la pandemia de COVID-19, donde los países han visto descender los niveles de contaminación, principalmente por la reducción del tránsito vehicular en las ciudades (Navinya et al., 2022). Se debe destacar que la contaminación del aire también se encuentra relacionada con algunos de los ODS. Además, la

concentración con la que un contaminante atmosférico llega a la población depende del grado de dispersión del mismo (De Visscher, 2013). En este sentido, cuando no existe la posibilidad de monitorear *in situ* el nivel de contaminación y/o se necesita evaluar una proyección a futuro, el modelado de calidad de aire resulta ser una herramienta que permite analizar si una determinada fuente de emisión crea o creará un problema para la comunidad. Un modelo de dispersión atmosférica es una simulación matemática que describe el transporte y la dispersión de los contaminantes atmosféricos en la atmósfera, así como también pueden incluir el análisis de la transformación química en la atmósfera dependiendo de la complejidad del modelo (Farzaneh et al., 2010). Además, debe tenerse en cuenta que no todos los factores que influyen en la dispersión atmosférica pueden incluirse en un modelo, es por ello que los resultados obtenidos son estimativos y deben validarse (De Visscher, 2013).

En base a todo lo expuesto, destacamos que resulta de gran importancia brindarles a los alumnos universitarios de la Licenciatura en Ciencias Ambientales, diversas herramientas computacionales para su posterior desarrollo profesional. En el presente trabajo compartimos la experiencia de enseñanza de un software básico de modelado de calidad de aire dentro del aula, y la comparamos con la brindada para realizar una tesis final de grado en la cual se aplicó un software de mayor complejidad. Finalmente, incluimos la experiencia contada por los alumnos inspirados en algunas preguntas como: ¿qué opinaron del aspecto didáctico de la práctica? ¿Qué aprendieron? ¿Qué limitaciones encontraron?

2. SOFTWARE PARA MODELADO DE CALIDAD DE AIRE

En la actualidad, existe una gran variedad de modelos de calidad de aire, que van desde simples representaciones matemáticas hasta complejas herramientas basadas en la dinámica de fluidos computacionales (CFD). Estos modelos se emplean para estimar la concentración de un determinado contaminante en la atmósfera, en base a diversas variables que intervienen en el proceso (ver Fig. 1), como son las meteorológicas, las topográficas, el comportamiento químico del contaminante, así como también características propias de la emisión (altura, cantidad, velocidad, temperatura, entre otras).

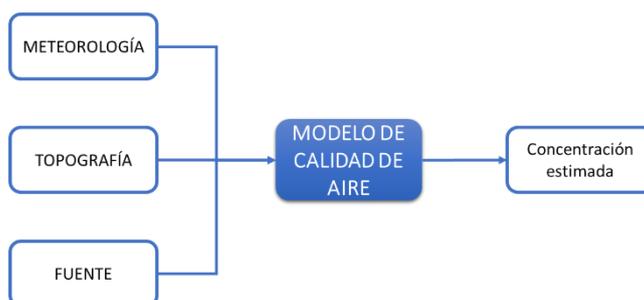


FIGURA 1. Esquema simple de las principales variables que intervienen en un modelo de calidad de aire.
Elaboración propia.

Este tipo de herramienta es ampliamente usada para evaluar estrategias de control destinadas a reducir la contaminación del aire y analizar el diseño de políticas sustentables, así como también cumplir con los objetivos de calidad de aire (Grassi & Díaz, 2024). Entre todos los modelos de calidad de aire disponibles, los gaussianos son los más empleados debido a su sencillez y facilidad de uso (requieren poco esfuerzo computacional). La desventaja es que son menos precisos después de los 10-20km, debido a la suposición de estado estacionario (variables meteorológicas y emisión constantes en un periodo de tiempo, normalmente una hora) (Farzaneh et al., 2010). A continuación,



se presenta una breve descripción de los dos softwares analizados en este trabajo: Screen View y AERMOD View.

2.1. Modelo Screen View.

SCREEN View es una interfaz amigable con el usuario del modelo SCREEN3 diseñado por la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (US-EPA). El software puede obtenerse de la página web oficial de la empresa Web Lakes de manera gratuita (<https://www.weblakes.com/software/freeware/screen-view/>). Este modelo puede utilizarse para estimar las concentraciones de un contaminante a nivel del suelo provenientes de una única fuente de emisión, considerando el peor caso detectado. SCREEN View puede modelar escenarios con terreno simple o complejo, considerando o no el impacto de edificios aledaños y dar resultados a distancias discretas o automatizadas. Además, este software posee entrada de datos intuitiva y brinda diagramas de distancia versus concentración. También, soporta fuentes de tipo: puntual, de área, de volumen y tipo llamarada (flare), a su vez permite analizar un amplio abanico de condiciones meteorológicas (Buitrago Torres & Rojas Gómez, 2017). El modelo SCREEN View permite analizar de manera sencilla el área de estudio pudiendo eliminar la necesidad de tener que realizar un modelado más complejo. Nota: el decreto reglamentario 1074/18, que regula calidad de aire en provincia de Buenos Aires, acepta el uso de este software para la obtención de la Licencia de Emisiones Gaseosas a la Atmósfera (LEGA), cuando hay una única fuente de emisión en una industria de categoría 1 o 2 (menor complejidad).

2.2. Modelo AERMOD View.

AERMOD View es una interfaz amigable con el usuario del modelo de calidad de aire AERMOD desarrollado por la US-EPA. El software puede comprarse a través de la página web oficial de la empresa Web Lakes (<https://www.weblakes.com/software/air-dispersion/aermod-view/>). Este modelo es más complejo que el anterior ya que requiere más y mejores datos de entrada, tanto meteorológicos, como de la fuente. Por ejemplo, requiere de información de la meteorología de superficie y el perfil vertical de temperaturas del lugar analizado. AERMOD View es un modelo de pluma en estado estacionario, que se basa en las estructuras turbulentas en la capa límite planetaria; es aplicable tanto para zonas rurales como urbanas, así como también se puede usar considerando terrenos planos o complejos. Además, este software permite desarrollar un análisis de múltiples fuentes emitiendo en simultáneo, e incorpora más cantidad de tipos de fuentes incluyendo, a diferencia de SCREEN View, las fuentes de tipo lineales. Para llevar a cabo el modelo, el software cuenta con el programa principal (AERMOD) y dos preprocesadores: AERMET y AERMAP. AERMET calcula los parámetros de la capa límite con el fin de generar perfiles de las variables meteorológicas necesarias, para lo cual requiere del seteo de diversos parámetros, como ser la relación de Bowen, el albedo, entre otros. Por otro lado, AERMAP es un preprocesador de terreno diseñado para simplificar y estandarizar los datos de terrenos de AERMOD (Buitrago Torres & Rojas Gómez, 2017), el cual no es necesario de emplear si se trabaja en terreno plano. Finalmente, se debe destacar que este es el software recomendado por la US-EPA para emplear en regulaciones y controles de calidad de aire, pudiendo aplicarse para cualquier categoría de industria, en especial las de mayor complejidad.

3. EXPERIENCIAS

3.1. La experiencia docente

Desde la cátedra de Contaminación Atmosférica y Control de Emisiones de la UNS, se realizan prácticas empleando software específico para estimar la calidad del aire en zonas linderas a industrias con emisiones provenientes de una fuente fija. La herramienta computacional empleada en clase es



Screen View (libre), y aunque posee limitaciones como las mencionadas previamente, permite un acercamiento de los alumnos al modelado de calidad de aire de manera práctica y posible de desarrollar en el horario de clase de la cátedra (2 h reloj). De este modo, se puede realizar un estudio inicial y que los alumnos sean capaces de determinar los factores de mayor influencia que afectan la calidad del aire, lo que les permitirá, en un futuro, tomar decisiones más acertadas como profesionales. Desde la cátedra siempre se han intentado realizar experiencias reales que enriquezcan la formación de los alumnos, no solo mediante el uso de herramientas informáticas sino también mediante prácticas de campo, las cuales han sido previamente presentadas en diversos foros (González Martínez et al., 2022; Grassi et al., 2022b; Grassi et al., 2022c; Grassi et al., 2022d).

Por otro lado, en el marco del plan de estudio de la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la UNS, los alumnos deben realizar un trabajo final de carrera (TFC) para cumplimentar con los requisitos para alcanzar el título de grado. Para ello, es necesario que realicen una pasantía en una empresa o tengan una experiencia de investigación que les permita desarrollar su TFC. Es en esta oportunidad donde es necesario emplear todo lo aprendido en las cursadas y sumarle complejidad, para lograr un trabajo lo más cercano a la realidad como profesionales. Para ello, se propuso realizar un TFC en el cual se emplee el software AERMOD View (pago), con la finalidad de modelar y analizar la calidad de aire en una zona lindante a la UNS, debido al alto tránsito del lugar en horario pico del mediodía (Carrizo et al., 2024). Se debe tener en cuenta que el grupo de investigación en el cual el alumno desarrolló su TFC ya contaba con experiencia en este tipo de tareas (Grassi & Díaz, 2024; Grassi et al., 2022a). Este trabajo requirió no solo varios días de enseñanza del nuevo software y la adaptación del mismo a la ciudad de estudio (Bahía Blanca, Argentina), sino que también fue necesario que el alumno recolecte datos *in situ* para su desarrollo. Esta situación, claramente es muy difícil de realizar en los horarios de clase, ya que demanda no solo tiempo de aprendizaje y explicación personalizada, sino también recolección y análisis de datos de entrada del modelo, así como también una erogación de dinero para la adquisición del software. Sin embargo, genera un desafío personal y conocimiento agregado a los futuros profesionales.

3.2. La experiencia de los alumnos

Desde la experiencia estudiantil, la utilización del software Screen View en la Cátedra de Contaminación Atmosférica y Control de Emisiones durante el año 2023 resultó sumamente positiva. Aprender a utilizar esta herramienta de libre acceso, fue sencillo y ágil. Como alumnos, y contando con los datos necesarios para operar el software, como el caudal másico de emisión de gases, la altura de la chimenea, el diámetro interno, la temperatura del gas, la velocidad de salida del gas de la chimenea y la temperatura del aire circundante, el desarrollo de la actividad y la interpretación de los resultados se convirtieron en una experiencia amena y enriquecedora para la futura vida profesional. Esta experiencia permitió comprender mejor el comportamiento de los contaminantes en la atmósfera emitidos por fuentes fijas, especialmente las plumas de contaminantes provenientes de chimeneas industriales y cómo afectan la calidad del aire. Un aspecto destacable del software es que, tras solo una clase de 2 h, se pudo aprender a manejarlo y obtener conclusiones valiosas. Este programa proporciona resultados para el peor caso posible a nivel del suelo, estimando la máxima concentración de contaminantes a cualquier distancia de la fuente y a cualquier elevación del terreno (ver Fig. 2). Además, si el estudio lo requiere, se pueden obtener valores considerando la presencia de edificaciones cercanas a la fuente de emisión. Otro factor de gran utilidad es la capacidad del software para calcular estas concentraciones máximas a distancias determinadas, tanto a 1 h como a 8 h, lo que permite comparar los resultados con la legislación vigente en la localidad donde se esté realizando el análisis. El uso de Screen View también permitió observar cómo un pequeño cambio en un parámetro, como la altura de la chimenea, tipo de estabilidad atmosférica o velocidad de viento, puede afectar significativamente la dispersión de los contaminantes. Esto ayudó a comprender de manera mucho

más profunda el comportamiento de las plumas de contaminantes y la importancia de considerar múltiples variables para predecir su impacto en la calidad del aire.

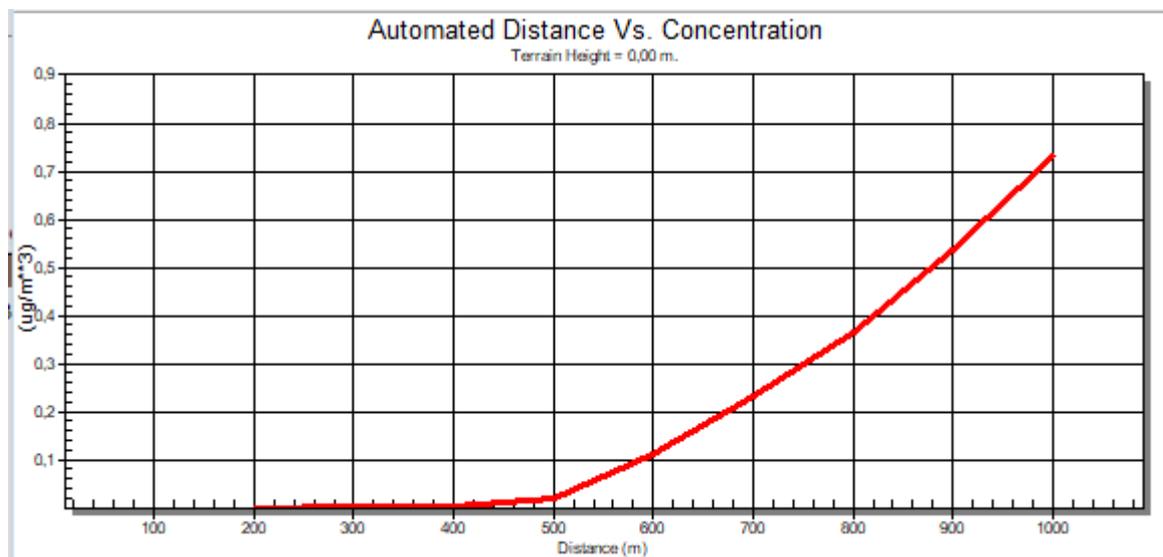


FIGURA 2. Salida típica del software Screen View para la concentración de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vs distancia a la fuente fija. Elaboración propia.

En el marco del desarrollo de un TFC de un alumno de la Licenciatura en Ciencias Ambientales, se utilizó el software AERMOD View para realizar el modelado de dispersión de emisiones provenientes de fuentes móviles que circulan por la zona del Complejo Alem de la UNS. Este es un software avanzado que cuenta con importantes funciones, por ejemplo, permite contemplar las emisiones de múltiples fuentes en un mismo modelado, a su vez estas fuentes pueden ser de distintos tipos: puntuales, volumétricas, lineales o de área. También, se genera como salida una gráfica que consta de un mapa de calor con geolocalización (exportable a Google Earth) en la que se pueden distinguir las diferentes concentraciones de los contaminantes en cuestión (ver Fig. 3). El aprendizaje de este software, llevó aproximadamente 16 horas reloj, lo que incluye el entrenamiento personalizado y luego las consultas particulares. Uno de los objetivos del TFC fue modelar la contaminación atmosférica debida a fuentes móviles en la zona de Complejo Alem de UNS, para lo que fue necesario recolectar 8 meses (agosto 2023 - marzo 2024) de datos de movilidad urbana segmentada, a través de un conteo por visualización directa de filmaciones *in situ* en dos esquinas Alem y Córdoba, y Agustín Álvarez y Córdoba. Con la utilización del flujo vehicular, factores de emisión y dimensiones de las calles, se calcularon tasas de emisión que, junto con datos meteorológicos tomados de la base de datos de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), específicamente para Bahía Blanca en los años 2023 y 2024, fueron los principales parámetros necesarios para proceder a la utilización de AERMOD View. El aprendizaje, además de días de explicaciones, requirió tiempo para el tratamiento de datos que se necesitaban para adaptar el procedimiento al área de estudio. También debemos considerar que, para poder modelar correctamente la dispersión de las emisiones, los datos meteorológicos se tuvieron que preprocesar en el software AERMET. Es común que se presenten diferentes problemáticas en el proceso de aprendizaje, por ejemplo, algunos de los valores meteorológicos necesarios no se encontraban disponibles en la base de datos, por lo que tuvieron que ser reemplazados por valores de días cercanos con condiciones meteorológicas similares y en horarios contiguos (de la misma base de datos). Todas estas cuestiones, además de que se trata de un software pago, sugieren que AERMOD View es una herramienta dificultosa para enseñar dentro del contenido de una materia como un

tópico más, ya que debe ser desarrollada en varias clases (16 h reloj). Su utilización se adapta más a un curso de posgrado específico, uso en tesina o en algún módulo diferenciado.

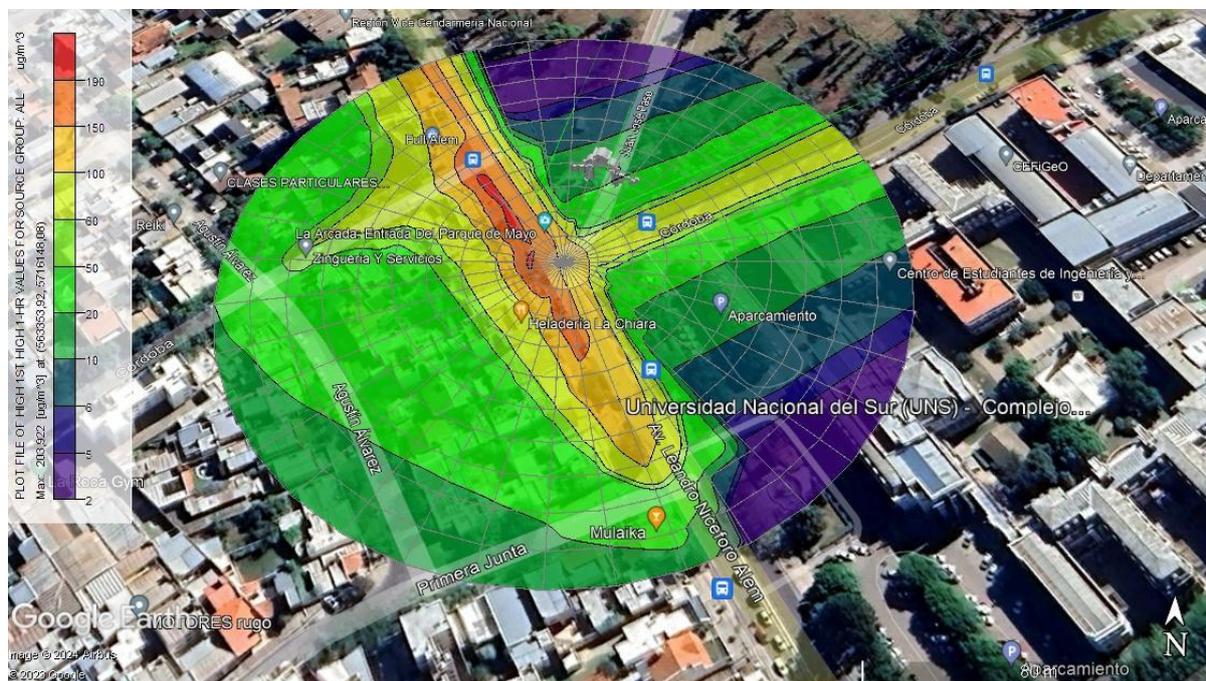


FIGURA 3. Salida típica del software AERMOD View, exportada a Google Earth, que presenta la dispersión de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el área de estudio, considerando múltiples fuentes lineales. Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

La contaminación del aire es una problemática en las ciudades del mundo, es por ello que contar con herramientas computacionales que nos permitan estudiarla y proyectarla siempre es de gran ayuda para la toma de decisiones basadas en datos. En esta situación, resulta esencial para el desarrollo como futuros profesionales que, alumnos de la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la UNS alcancen su título de grado, conociendo cómo se usan este tipo de softwares y cuáles son sus principales ventajas y desventajas.

Si bien ambos softwares presentados en este trabajo, brindan información sobre la dispersión de contaminantes en la atmósfera, AERMOD (software pago) resulta muy complejo de enseñar en una materia de grado, en comparación con Screen View (software libre). Este último se puede desarrollar en forma completa y con varios ejemplos en una única clase de 2 h reloj. Teniendo en cuenta sus limitaciones, como por ejemplo que solo contempla una única fuente de emisiones, se recomienda a los alumnos que escalen sus conocimientos al uso de AERMOD. Esto se puede lograr con una iniciación en la investigación, una pasantía en alguna consultora/empresa, o con un curso de posgrado específico. De este modo, se completaría el nivel más solicitado por las industrias de alta complejidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente por el financiamiento otorgado para realización de este trabajo al CONICET (proyecto PIP 11220210100683CO), y a la UNS, (proyecto PGI 24/M179). Además, agradecemos al Consejo Interuniversitario Nacional por las becas EVC CIN de iniciación a la investigación.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Buitrago Torres, D., y Rojas Gómez, D. (2017). *Estimación de factores de emisión de una ladrillera en la localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá D.C.* [Tesis de Grado. Universidad de La Salle, Colombia]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/476/
- Carrizo, F., Grassi, Y., y Díaz, M. (2024). *Estudio de la calidad de aire debido a fuentes móviles en puntos estratégicos de Bahía Blanca (Argentina) mediante el modelado de dispersión de gases.* V Jornadas Internacionales y VI Nacionales de Ambiente, Viedma, Argentina. *En prensa.*
- De Visscher, A. (2013). *Air dispersion modeling: foundations and applications.* John Wiley & Sons.
- Farzaneh, R., Vallamsundar, S., Jaikumar, R., Venugopal, M., Askariyeh, M., Johnson, J., Li, W., Chavez, M., y Ramirez, I. (2010). Evaluation of air quality models with near-road monitoring data: Technical Report. Recuperado de <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/56552> en julio, 2024.
- González Martínez, J., Mayer, A., Carrizo, F., Martin, F., Rial, J., Grassi, Y., y Díaz, M. (2022). *Medición manual de calidad de aire (CO y NO₂) en un punto del microcentro de Bahía Blanca (Argentina) en época de alto tránsito vehicular.* 2º Foro Ambiental, Bahía Blanca, Argentina. <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/7913>
- Grassi, Y., Brignole, N., y Díaz, M. (2022a). Pandemic impact on urban air pollution and mobility in a Latin American medium-size city. *International Journal of Environmental Studies*, 79(4), 624-650. <https://doi.org/10.1080/00207233.2021.1941662>
- Grassi, Y., Rial, J., Martin, F., González, M., Ostertag Naumik, L., Pérez Garate, L., Quispe, C., Ríos, L., y Díaz, M. (2022b). *Experiencia de nivel universitario de medición de calidad de aire en el microcentro de la ciudad de Bahía Blanca.* XII Jornadas Nacionales y IX Jornadas Internacionales de Enseñanza de la Química Universitaria, Superior, Secundaria y Técnica (Virtual). <https://www.aqa.org.ar/images/EducacionQuimica/Jornadas2022.pdf>
- Grassi, Y., Rial, J., Martin, F., y Díaz, M. (2022c). *Metodología de medición manual de CO y NO₂ en el aire urbano de Bahía Blanca, Argentina.* VIII Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental, Mar del Plata, Argentina. <https://setacargentina.setac.org/wp-content/uploads/2022/05/Libro-de-Resumenes-VIII-Congreso-Argentino-SETAC-2022.pdf>
- Grassi, Y., Rial, J., Sorichetti, A., Martin, F., y Díaz, M. (2022d). *Monitoreo de material particulado sedimentable en el aire circundante del predio Alem de la Universidad Nacional del Sur.* VIII Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental, Mar del Plata, Argentina. <https://setacargentina.setac.org/wp-content/uploads/2022/05/Libro-de-Resumenes-VIII-Congreso-Argentino-SETAC-2022.pdf>
- Grassi, Y., y Díaz, M. (2024). Urban air pollution evaluation in downtown streets of a medium-sized Latin American city using AERMOD dispersion model. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196, 521. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12699-8>
- Navinya, C., Yadav, S., Karri, R., y Phuleria, H. (2022). Air quality during COVID-19 lockdown and its implication toward sustainable development goals. En M. Dehghani, R. Karri y S. Roy (Eds.), *COVID-19 and the Sustainable Development Goals* (pp. 177-210). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91307-2.00008-0>
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2015). *Objetivo 4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.* Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/education/> en julio, 2024.