

SIMULACIÓN CFD Y VALIDACIÓN EN TÚNEL DE VIENTO PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOBRE LOS NIVELES DE MATERIAL PARTICULADO EN SUSPENSIÓN (MP) AMBIENTAL DE UNA PLANTA DE COQUE

CFD SIMULATION AND WIND TUNNEL VALIDATION FOR THE EVALUATION OF THE IMPACT OF A COKE PLANT ON THE LEVELS OF SUSPENDED PARTICULATE MATTER (PM) IN THE ENVIRONMENT

Micaela B. Del Sole^a, Santiago Aguilar Ferraro^a, Julián Carloni^b, Ariel N. Gamarra^b, Jorge E. Colman Lerner^c, Erica Y. Sanchez^d

^a*Centro de investigación de Medio Ambiente (CIM, CCT CONICET La Plata-FCE UNLP), Blvd. 120 e/ 63 y 64, La Plata 1900, Argentina.*

^b*Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental, Universidad Nacional de La Plata, La Plata 1900, Argentina.*

^c*Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas (CINDECA, CCT CONICET La Plata-FCE UNLP), 47 e/1 y 115, La Plata 1900, Argentina.*

^d*Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires (CIFICEN, UNCPBA-CONICET-CICPBA), Tandil, Argentina.*

Palabras claves: Calidad de aire, túnel de viento, Material particulado, Modelado numérico.

Resumen. En la zona mixta urbano-industrial de Ensenada y Berisso (Prov. Bs. As., Argentina), se emplaza un importante polo petroquímico y se evidencia un progresivo deterioro en la calidad del aire. Resulta de interés evaluar la concentración de material particulado en suspensión (MP) en los entornos de una planta de coque (PC) del mencionado polo. Este estudio evalúa los patrones de dispersión de MP emitido desde dos ductos de la PC usando herramientas de simulación CFD y ensayos en túnel de viento, como paso previo a evaluar el impacto de esta fuente de emisión en su área de influencia. Se encontró una buena correspondencia en los resultados simulados y en túnel, permitiendo obtener una buena descripción del desarrollo de la pluma.

Keywords: Air Quality, Wind Tunnel, Particulate Matter, Numerical Modelling.

Abstract. In the mixed urban-industrial area of Ensenada and Berisso (Bs.As., Argentina), an important petrochemical pole is located and a progressive deterioration in air quality is evident. It is of interest to evaluate the concentration of suspended particulate matter (PM) in the surroundings of a coke plant (CP) of the mentioned pole. This study evaluates the dispersion patterns of PM emitted from two ducts of the CP using CFD simulation tools and wind tunnel tests, as a preliminary step to assess the impact of this emission source in its area of influence. A good correspondence was found between the simulated and tunnel results, allowing a good description of the development of the plume.

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la dispersión de contaminantes dentro de las zonas urbanas ha afectado gravemente la salud de la población y el ambiente. Teniendo en cuenta que se estima que la mayoría de las personas en el mundo viven en áreas urbanas, este problema se vuelve relevante en la agenda ambiental y política de distintos países, por lo que garantizar una buena calidad del aire en las ciudades es una tarea vigente.

Entre los posibles contaminantes, en el cual se ha puesto mayor atención son las partículas respirables asociadas a fracciones menores a 10 micras (MP_{10}) por su efecto en la salud humana debido principalmente a su composición, ya que puede asociarse a la presencia de sulfatos, nitratos, ácidos, metales, hidrocarburos y carbono negro que incrementa considerablemente su toxicidad ([Bond et al. 2004](#)).

El monitoreo de la concentración de partículas y predicción de concentraciones en diferentes sitios es una tarea importante en el control de la calidad del aire en las ciudades ([Alonso et al. 2010](#); [SINCA 2022](#); [RMCAB, 2022](#)). Sin embargo, la evaluación en campo no solo es costosa sino que también consume una gran cantidad de tiempo y arroja datos sólo en el sitio de monitoreo. Con el fin de obtener un continuo de datos y poder predecir las concentraciones, se complementan las campañas de monitoreo con el modelado de la dispersión.

En situaciones donde se busca simular los flujos y patrones de dispersión en una escala local, se recomienda utilizar modelos de dispersión convencionales como los modelos gaussianos ([Aguilar Ferraro, 2021](#)) o los modelos lagrangianos ([Allende et al. 2016](#)). En cambio, si se busca realizar un estudio en una escala pequeña, donde el principal factor que afecta la dispersión de los contaminantes atmosféricos es la interacción de la pluma con edificios y otras estructuras, es necesario la aplicación de modelos numéricos, que permiten describir mejor los fundamentos de difusión y las diferencias de distribución espacial y temporal de MP ([Lauriks et al. 2021](#)). Los modelos numéricos basados en dinámica de fluidos computacional (CFD), en la actualidad se están desarrollando activamente y se posicionan en la disciplina como prometedores para la predicción de concentraciones de contaminantes en las proximidades de complejos edificios a microescala ([Ghobadi y Nasrollahi, 2021](#); [Zhang et al. 2022](#)).

La región de estudio comprende a los municipios de Ensenada y Berisso (Prov. Bs. As., Argentina), en donde se emplaza unos de los polos petroquímicos más grandes del país, en convivencia con espacios urbanizados. Debido a las reiteradas denuncias de las población se han realizado estudios que muestran un deterioro en la calidad del aire en dicha región y efectos negativos en la salud de la población particularmente asociados a efectos adversos a la función respiratoria y alteraciones oculares ([Massolo, 2004](#); [Gutiérrez, 2016](#); [Colman Lerner, 2013](#); [Mellado, 2020](#); [Giuliani, 2020](#); [RSA-CONICET, 2021](#)). Con el propósito de salvaguardar la salud de la población resulta de interés evaluar la concentración de material particulado en suspensión (MP) en los entornos de una planta de coque (PC) del mencionado polo, una de las fuentes fijas más importantes de la zona. En el presente estudio se evalúan los patrones de dispersión de MP emitido desde dos ductos de la PC usando herramientas de simulación CFD y ensayos en túnel de viento, como paso previo a evaluar el impacto de esta fuente de emisión en su área de influencia.

2 METODOLOGÍA

La metodología de esta investigación está diseñada como una primera aproximación para entender la fluidodinámica de la zona de estudio, para evaluar en trabajos futuros, el impacto de una planta de coque en las zonas urbanas aledañas. Buscando simular escenarios representativos, se procesó una base de datos meteorológica para obtener valores promedio de

la intensidad y dirección del viento (Sección 2.1). Complementariamente, se estimó la emisión de MP_{10} por ductos a través de la AP-42 ([US. EPA, 1993](#)) (Sección 2.2). La simulación física se realizó en túnel de viento con mediciones de presión dinámica en altura en túnel y visualizaciones mediante la técnica de inyección de humo (Sección 2.3). La simulación computacional se realizó utilizando ANSYS-Fluent, recreando en Spaceclaim la zona de estudio y el mallado en ANSYS Meshing (Sección 2.4). Se realizó una simulación estacionaria, con un modelo de turbulencia k- ϵ realizable. Para finalizar el trabajo, se compararon los valores simulados con los registros obtenidos en los ensayos en túnel de viento (Sección 2.5).

2.1. Datos meteorológicos

Se analizó una base de datos meteorológica con datos horarios registrados en la estación AERO La Plata (34°58'S;57°54'O) para el período 2015-2020, la cual fue proveída por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Su procesamiento muestra frecuencias predominantes para los vientos Este (20,94%), Sur (18,11%), Norte (15,60%), Noreste (10,05%). La base de datos estaba completa en registros para el período. Si bien las variables para realizar la rosa de los vientos son medidas de la estación meteorológica, que dista 10 km del área de estudio, son los datos oficiales disponibles en la región y describen la meteorología regional.

Las simulaciones tanto en CFD como el túnel de viento se realizaron teniendo en cuenta vientos con dirección Noreste. Si bien no es la dirección más frecuente, se encuentra en proceso de instalación una torre anemométrica y equipamiento de monitoreo in situ, a sotavento de esta dirección, que será de utilidad para estudios futuros de validación. Complementariamente, es la dirección que nos permitió contemplar en el túnel de viento los puntos de importancia mencionados (fuente de emisión, estación meteorológica y estación de monitoreo).

2.2. Estimación de la emisión

Con el objetivo de simular un escenario representativo se estimó la emisión de MP aplicando una metodología que adopta el enfoque bottom-up, la cual parte de información detallada, como la materia prima con la que cada instalación inicia sus productos, hasta llegar al dato de emisión. Los caudales de emisión se estimaron a partir de información primaria de actividad de la fuente, y ajustando la metodología a los recursos disponibles (Ec.1).

$$ER = \sum_{i=1}^n (FE_{j,i} \times FA_{i,t}) \quad (1)$$

Donde ER es la tasa de emisión

$FE_{j,i}$ corresponde al factor de emisión de la sustancia (j) para la actividad (i)

$FA_{i,t}$ factor de actividad de la actividad (i) durante el tiempo (t).

El FE relaciona cuánta cantidad de MP es emitido a la atmósfera en función del tipo de materia prima. Para la cuantificación de las emisiones de los procesos industriales se consideraron los factores de emisión (FE) reportados en el documento AP-42 *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* ([US. EPA, 1993](#)), previa verificación de la consistencia en el tipo y el diseño del equipo, así como en las materias primas utilizadas, en común acuerdo a lo recomendado por la Agencia Ambiental (US EPA).

Para calcular los FA se consideró la cantidad de coque procesado o calcinado por año, con un consumo de 440.000 toneladas/año de materia prima (carbón de petróleo).

En este trabajo, se estimaron las emisiones de manera conservadora. No se tuvo en cuenta los procesos de remoción de partículas. Sólo se asumen aquellas emisiones canalizadas por los ductos, las cuales son inputs en la modelización de dispersión del material particulado.

2.3. Configuración experimental del túnel de viento

Los experimentos en túnel de viento se realizaron en el Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental, Universidad Nacional de La Plata. El túnel de viento tiene una longitud total de 24m y funciona por aspiración del aire. Este entra por una tobera hasta un conducto rectangular de sección transversal constante de $2,6 \times 1,8 \text{ m}^2$, con el área de pruebas cerca del final del mencionado conducto. Una descripción detallada del túnel de viento puede encontrarse en [Colman Lerner et al. \(2012\)](#).

Para este trabajo, se construyó una maqueta de los entornos de la planta de coque en madera, en una escala 1:228, dicha escala nos permite alejarnos de los laterales del túnel y evitar el efecto de la capa límite de los laterales.

Se colocaron dos emisores de humo cilíndricos que simulaban los ductos de la planta. Con el objetivo de simular la pluma de los ductos se realizaron ensayos mediante inyección de humo a través de estos y visualizando el entorno, realizándose para diferentes condiciones de inyección de humo y de velocidad incidente hasta obtener una pluma cualitativamente similar a la simulada previamente. Una vez obtenida la condición de caudal y velocidad incidente se realizó la medición de la pluma mediante un rack de presiones de 16 puntos por detrás de la pluma en diferentes posiciones para medir los resultados arrojados por la visualización ([Figura 1](#)). Complementariamente, con el objetivo de generar un perfil de presiones en toda la planta del modelo, se realizaron mediciones de presión dinámica en altura en 16 puntos para 20 posiciones diferentes ([Figura 1](#)). Las mismas se llevaron a cabo en 4 situaciones diferentes, dos con una velocidad promedio de 3 m/s, una sin emisión desde los ductos y otra con emisión de caudal del 250 l/min. Los dos ensayos restantes fueron en las mismas situaciones, pero con una velocidad promedio de 4 m/s. Se consideraron dos condiciones de intensidad del viento para independizarnos del Reynolds.

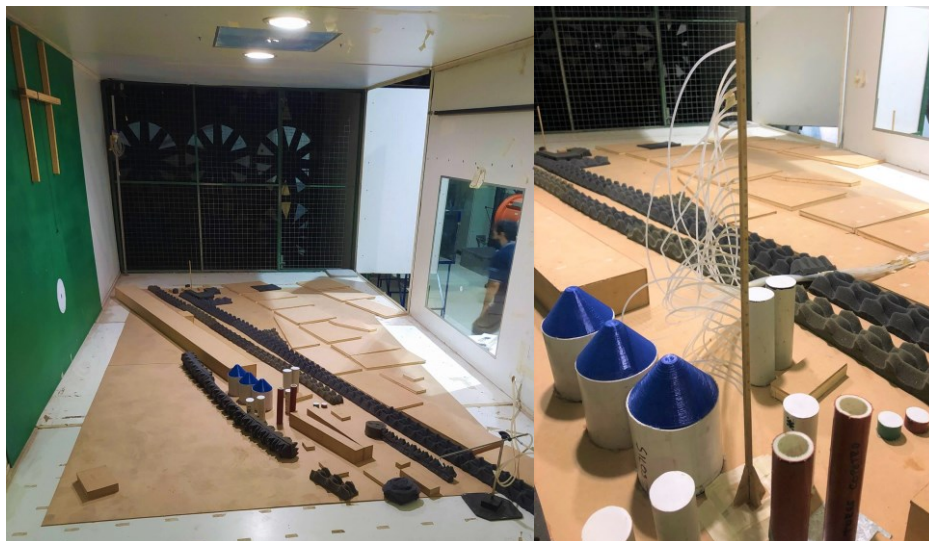


Figura 1: Izquierda, maqueta en el túnel de viento. Derecha, torre de medida de presión con 16 puntos en altura.

2.4. Descripción del modelo CFD y configuración de la simulación

2.4.1 Geometría y mallado

El modelo CFD se implementó en ANSYS Fluent. Se generó un CAD 3D en Spaceclaim utilizando como base Google Earth y se lo escaló a la escala del túnel 1:228. El dominio

computacional que se muestra en la [figura 2](#), es de un tamaño 9,79m x 2,50m x 1,85m. La longitud del flujo de entrada es de 2 metros, respetando el criterio de buenas prácticas de ser de más de $5 H_{max}$, siendo H_{max} 30cm de altura, y porque proporciona suficiente longitud para desarrollar la capa límite ([Sini et al. 1996](#)). La distancia entre los edificios y el plano de salida del flujo es $10 H_{max}$, es decir 3m ([Solazzo et al., 2011](#)).

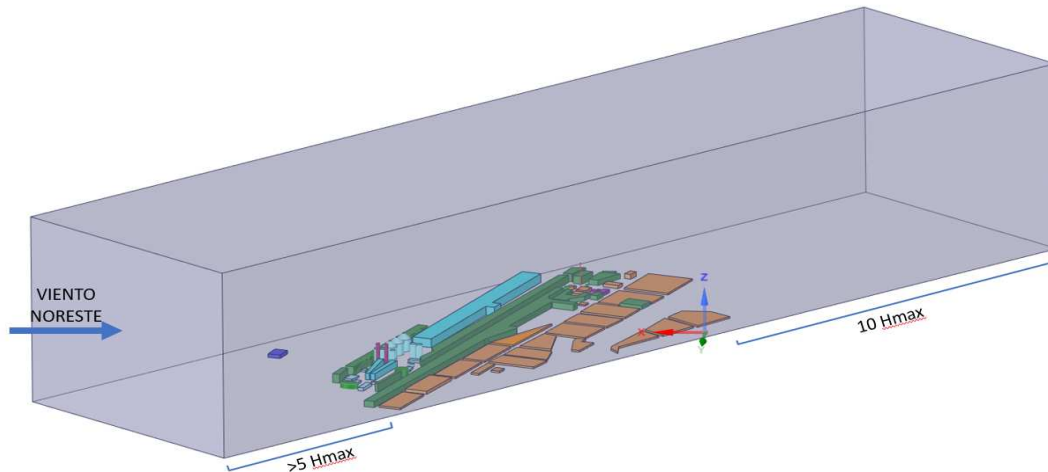


Figura 2: Dominio de estudio computacional.

El área de estudio es verticalmente heterogénea, hacia el Oeste de la planta de coque se encuentra una zona urbana con casas de único nivel y una arboleda de gran altura, hacia el Este se ubica el puerto donde hay edificaciones de dos plantas que alcanzan los 15 m la altura. El mallado se construyó utilizando ANSYS Meshing. El dominio se dividió agregando una caja para refinar localmente la malla próximo a las edificaciones. Se probaron tres niveles de refinamiento para obtener una solución independiente del mallado. Se aplicó una malla tetraédrica con la resolución de cuadrícula de 0,025 metros en el área de investigación y, externamente, se aumenta progresivamente hasta los 0,40 metros. Dando como resultado un total de $4,4 \times 10^6$ elementos de la malla ([Figura 3](#)). Las superficies consideradas en la simulación se representaron sin deslizamiento y adiabáticas, entendiendo que es una simplificación al sistema real.

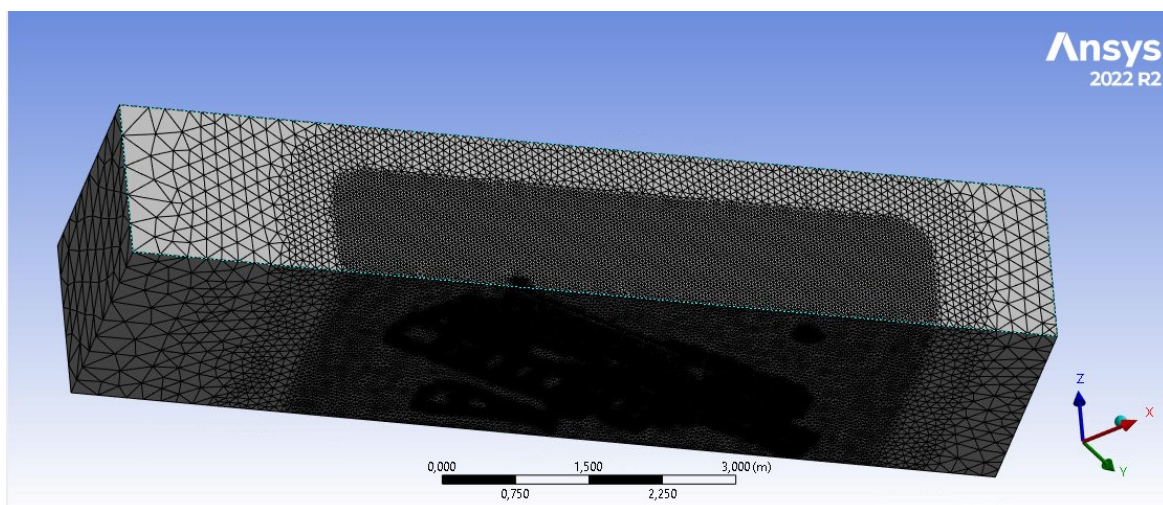


Figura 3: Configuración del mallado.

2.4.2 Configuración de la simulación

La configuración de la simulación computacional busca representar los aspectos relevantes del modelo físico emplazado en el túnel de viento. Para ello, se realizó una modelización en estado estacionario utilizando un modelo de turbulencia RANS k- ϵ realizable con la opción de tratamiento de pared mejorado. Para resolver las ecuaciones se utilizó un método de acoplamiento de presión velocidad con algoritmo PISO, ya que entrega mejores resultados en mallas con exceso de curvatura, con un esquema de discretización espacial contra el viento de segundo orden para todas las ecuaciones (Norambuena Abaca, 2019).

Se utilizó un modelo de fase discreta (DPM) para simular la inyección y dispersión de MP₁₀ desde las chimeneas. El DPM se basa en un enfoque euleriano para la fase continua y un enfoque lagrangiano para la fase discreta. El DPM tuvo en cuenta la interacción entre las fases discretas. La inyección de la fase discreta de partículas de carbón se estableció en la cara superior de las chimeneas con un diámetro de 10⁻⁵ m (MP₁₀), una velocidad de salida del ducto de 15,1 m/s y un caudal másico de partículas de 4,86 g/s, calculado como se indica en la sección 2.2.

Se utilizaron los perfiles verticales de la velocidad media del viento $u(z)$ del túnel limpio descrito en Colman Lerner et al (2012), con una ecuación logarítmica del tipo:

$$v(z) = v_0 + A_1 (R_0 * z) \quad (2)$$

donde v_0 es la velocidad de fricción, A_1 y R_0 son constantes, y z la altura en el punto donde se estima la velocidad.

3 RESULTADOS

Posteriormente de la obtención de datos en el túnel de viento y de igual manera la obtención de resultados en las simulaciones se procede a analizar los resultados para comprobar así la fiabilidad del programa ANSYS Fluent en ensayos de túnel de viento.

Se comienza con un análisis cualitativo del comportamiento de la pluma de dispersión de MP (Figura 4). Se observa una similitud en el comportamiento entre ambas simulaciones, física y computacional. En las condiciones simuladas la pluma de MP se desarrolla por encima de los 0,28 m, alcanzando una altura máxima a los 0,42 m. En el dominio de estudio no se observa una bajada de la pluma.

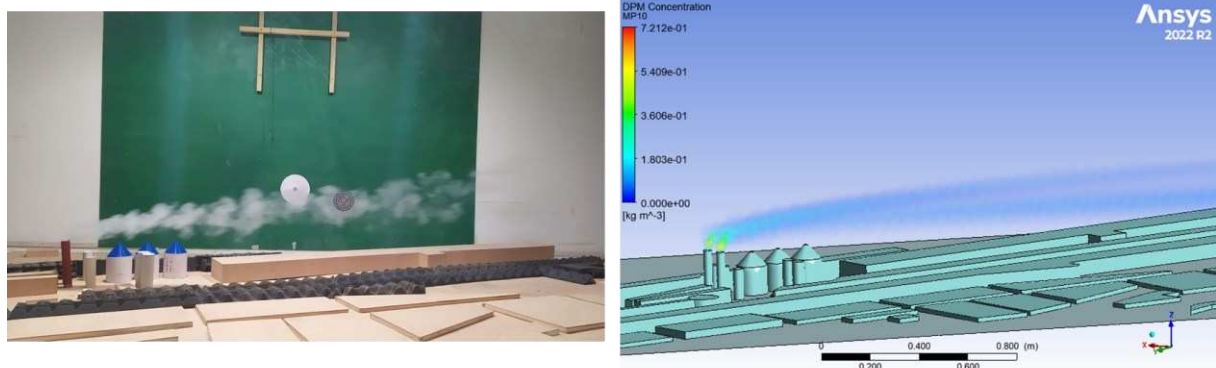


Figura 4: A la izquierda se muestra el ensayo de inyección de humo, a la derecha la dispersión de MP simulada.

Para comprender el comportamiento fluidodinámico y así, evaluar la calidad de la simulación, se comparan los perfiles de presiones medidos en 20 posiciones en la planta del modelo con los obtenidos a partir de la simulación en ANSYS. En la figura 5 se muestra la

distribución de los sitios de medición.

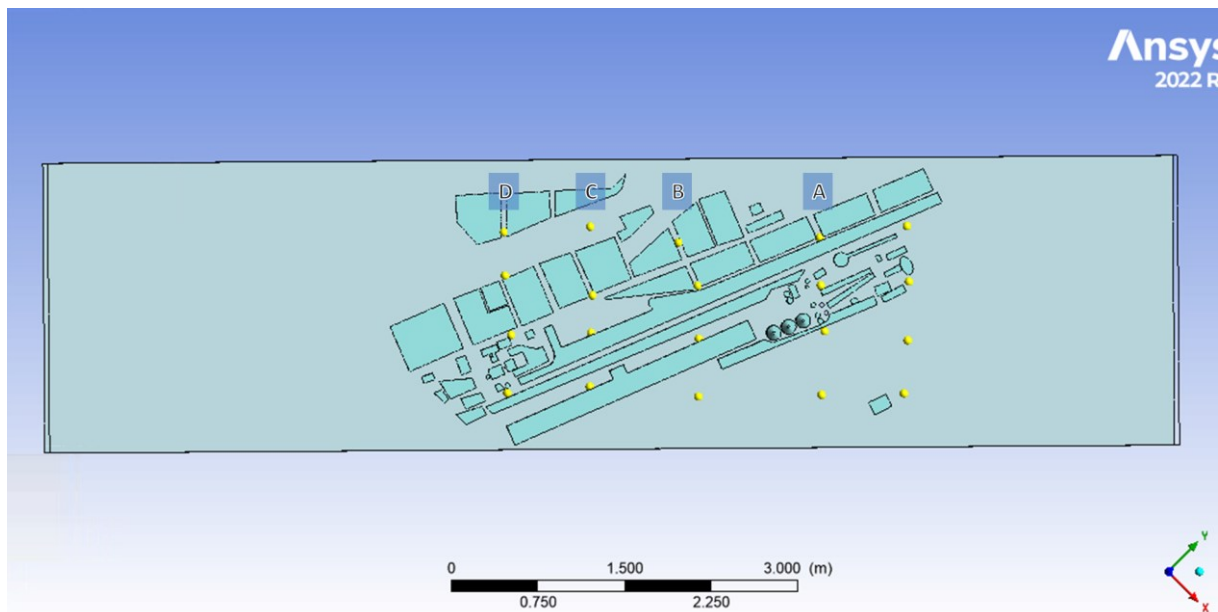


Figura 5: Puntos de medidas de presión dinámica en el dominio estudiado.

A continuación, en la [figura 6](#), se muestran los perfiles de presión para los puntos A, B, C y D resaltados en la [figura 5](#) en donde se considera la emisión desde las chimeneas con una velocidad promedio de 3 m/s. Claramente, se denota la cercanía que existe entre los valores experimentales y los computacionales. Si bien hay sitios de medida donde existen considerables variaciones uno del otro, como en el punto D, es importante resaltar que siguen una tendencia semejante.

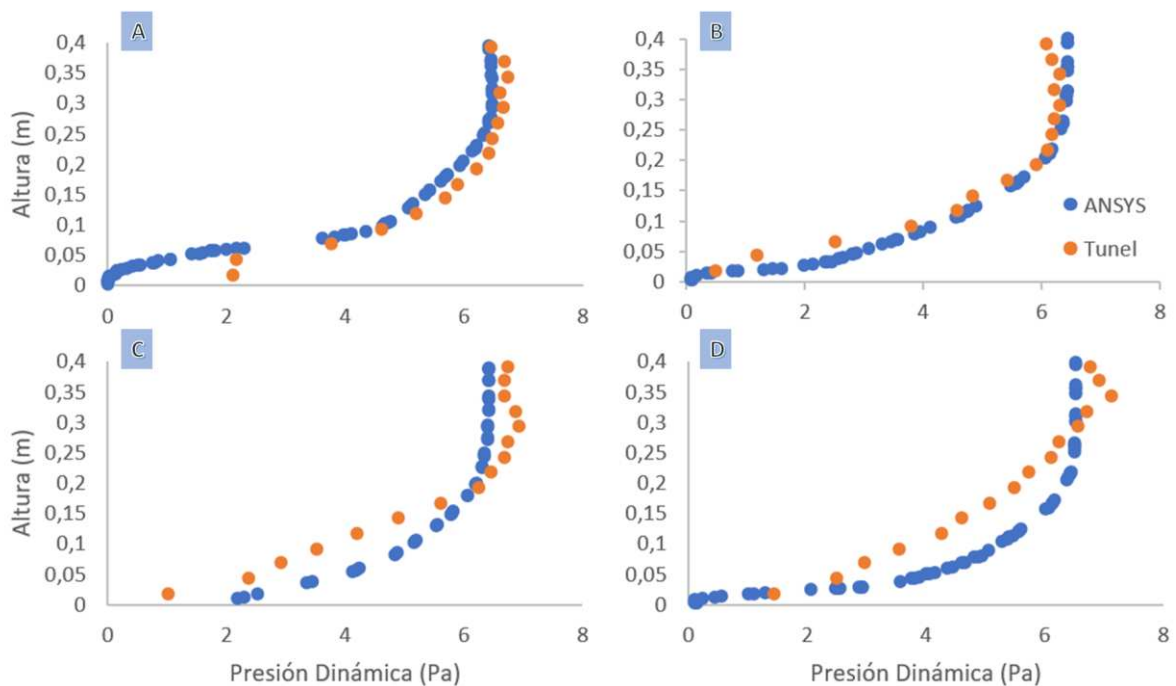


Figura 6: Perfil de presiones simuladas vs las medidas en túnel de viento.

Los posibles factores que podrían explicar la diferencia entre los valores simulados y medidos en túnel de viento serían los siguientes:

- Aproximación del perfil del viento en el túnel, ya que se adaptó para simular a 3m/s y 4m/s.
- Fallas en la ubicación exacta de los puntos de medida en la simulación.
- Pequeños desperfectos en los modelos como ciertas diferencias en las dimensiones o la rugosidad del material, por lo que la capa límite afectaría aún más el comportamiento del viento.

4 CONCLUSIÓN

La predicción precisa de la dispersión de contaminantes en áreas urbanas está lejos de ser sencilla. Esto se relaciona principalmente con la naturaleza compleja de los flujos atmosféricos y con la orografía urbana, compuesta por variadas geometrías, formas y alturas, que influyen fuertemente en la dispersión y distribución de contaminantes. Sin embargo, el CFD se considera hoy en día como un poderoso instrumento para predecir patrones de dispersión.

Este trabajo intenta ser una primera aproximación a estudios en la región con ANSYS CFD, si bien aún no se han tenido en cuenta aspectos como turbulencia térmica, rugosidad del terreno, y validación con datos en campo (*in situ*), entre otras, creemos que es un gran paso para evaluar la fluidodinámica de esta zona lindera al río, entendiendo la componente mecánica de la turbulencia como un aspecto destacable.

Luego de evaluar los patrones de dispersión de MP emitido desde dos ductos de la planta de coque usando herramientas de simulación CFD y ensayos en túnel de viento, se puede concluir que es factible tomar la configuración utilizada en CFD como un primer paso para describir la dinámica de la pluma en túnel de viento. Evaluar el impacto de esta fuente de emisión en su área de influencia real conlleva la validación de estos resultados con datos de monitoreo realizados en la zona. Si bien algunos avances ya han sido evaluados en trabajos previos ([Del Sole, 2021](#); [Aguilar Ferraro, 2022](#)), la correlación alcanzada entre la simulación física y computacional nos motiva a seguir profundizando en el estudio de la representatividad de la simulación con el escenario real y su validación con datos *in situ*. No obstante, es necesario optimizar la configuración utilizada en ANSYS CFD para minimizar la diferencia con los valores observados en túnel.

REFERENCIAS

- Aguilar Ferraro, S., Estimación del aporte a los niveles de material particulado ambiental, por parte de las centrales térmicas del Gran La Plata, mediante el diseño de una red de monitoreo de calidad de aire . Dissertation. Universidad Nacional de La Plata. *SEDICI*, 2021. Available at: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/115747> [Accessed May 26, 2022].
- Aguilar Ferraro, S., Del Sole, M.B., Sanchez, E.Y., and Colman Lerner, J.E., Simulación anidada con AERMOD y CFD, para el estudio de la dinámica del material particulado en zonas mixtas industrial-residencial. *XXIX Jornadas de Jóvenes Investigadores (AUGM)*, Sucre, Bolivia, 2022. *En Prensa*.
- Allende, D., Ruggeri, F., Puliafito, E., Sanchez, E. Y., and Porta, A. A., Modelo de calidad de aire urbana en alta resolución para el Gran La Plata. In *XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES)*, La Plata, 2016. In *SEDICI*. Available at: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/65278> [Accessed May 26, 2022].
- Alonso, M. F., Longo, K. M., Freitas, S. R., da Fonseca, R. M., Marécal, V., Pirre, M., and Klenner, L. G., An urban emissions inventory for South America and its application in

- numerical modeling of atmospheric chemical composition at local and regional scales. *Atmospheric Environment*, 44(39), 5072-5083, 2010.
- Bond, T. C., Streets, D. G., Yarber, K. F., Nelson, S. M., Woo, J. H., and Klimont, Z., A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D14), 2004.
- Colman Lerner, J. E., Contaminación ambiental: análisis y mitigación/remoción de material particulado (MP) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) y semivolátiles (COSVs). Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata. *SEDICI*. 2013. Available at: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27002> [Accessed May 26, 2022]
- Colman Lerner, J. L., Marañón Di Leo, J., Delnero, J. S., García Saínz, M. O., & Boldes, U., Sobre el túnel de viento de capa límite de circuito abierto del laboratorio de capa límite y fluidodinámica ambiental (LACLYFA), Facultad de Ingeniería, UNLP. In *II Congreso Latinoamericano de Ingeniería de Vientos (CLIV)*, 2012, In *SEDICI*. Available at: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/100226> [Accessed May 26, 2022].
- Del Sole, M.B., Aguilar Ferraro, S., Guiliani, D., Colman Lerner, J.E., Porta, A.A., and Sanchez, E.Y., Design of a monitoring network to assess the impact of a coke plant using ANSYS CFD, *Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública (CASAP)*, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/CASAP54985.2021.9703328.
- Ghobadi, P., and Nasrollahi, N., Assessment of pollutant dispersion in deep street canyons under different source positions: Numerical simulation. *Urban Climate*, 40, 101027, 2021.
- Giuliani, D. S., Especiación de compuestos asociados a material particulado (MP 10 y MP 2.5) en La Plata y alrededores: metales, hidrocarburos policíclicos aromáticos, simples y derivados . Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata. *SEDICI*. 2020. Available at: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/110949> [Accessed May 26, 2022]
- Gutiérrez, M. A., Alteraciones oculares relacionadas con la contaminación del aire. Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata. *SEDICI*, 2016. Available at: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/52404> [Accessed May 26, 2022]
- Lauriks, T., Longo, R., Baetens, D., Derudi, M., Parente, A., Bellemans, A., van Beeck, J., and Denys, S., Application of improved CFD modeling for prediction and mitigation of traffic-related air pollution hotspots in a realistic urban street. *Atmospheric Environment*, 246, 118127, 2021.
- Massolo, L. A., Exposición a contaminantes atmosféricos y factores de riesgo asociados a la calidad de aire en La Plata y alrededores . Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata. *SEDICI*, 2004. Available at: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/2267> [Accessed May 26, 2022].
- Mellado, D., Estudio de zonas críticas de emisión con modelos de receptores en regiones urbanas con entornos industrializados . Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata. *SEDICI*. 2020. Available at: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/103477> [Accessed May 26, 2022]
- Norambuena Abaca, M. A., Análisis aerodinámico en CFD para la reducción del arrastre en un auto solar., Dissertation. Universidad Técnica Federico Santa María . *Repositorio USM*, 2019. Available at: <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/49278> [Accessed May 26, 2022].
- Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB), Secretaría Distrital de Ambiente. Available at: <https://www.ambientebogota.gov.co/red-de-monitoreo-de-calidad-del-aire-de-bogota-rmcab> [Accessed May 26, 2022].
- Red de Seguridad Alimentaria del CONICET, Polvo de Carbón en la región del Gran La Plata, Provincia de Buenos Aires, 2021. ISSN: 2618-2785. Available at: <https://rsa.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/2021/03/Informe-Polvo-de-carbon-en-la>

- region del-Gran-La-Plata-RSA-AC.pdf [Accessed May 26, 2022]
- Sini, J. F., Anquetin, S., and Mestayer, P. G., Pollutant dispersion and thermal effects in urban street canyons. *Atmospheric environment*, 30(15), 2659-2677, 1996.
- Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA), Estado de Calidad del Aire en Línea. Available at: <https://sinca.mma.gob.cl/mapainteractivo/index.html> [Accessed May 26, 2022].
- Solazzo, E., Vardoulakis, S., and Cai, X., A novel methodology for interpreting air quality measurements from urban streets using CFD modelling. *Atmospheric environment*, 45(29), 5230-5239, 2011.
- US. EPA., AP-42: Compilation of Air Emissions Factors. Sewage sludge incineration, 1993. Available at: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/b02s02.pdf> [Accessed May 26, 2022].
- Zhang, S., Zhou, L., Jia, L., Li, J., Liu, B., and Yuan, Y., Numerical simulation on particulate matter emissions from a layer house during summer in Northeast China. *Atmosphere*, 13(3), 435, 2022.