

OLORES-19
26-27 NOVIEMBRE 2019, SANTIAGO, CHILE

MODELACIÓN DE CONTAMINANTES EN TIEMPO REAL: DESAFÍOS Y COMPONENTES CLAVES
MODELLING CONTAMINANTS IN REAL TIME: CHALLENGES AND KEY COMPONENTS

Autores

A. González¹, R. Guerra² y V. Zorich³.

Palabras clave: Modelos Atmosféricos en tiempo real, WRF, Calpuff, Olores, Calidad del Aire.

Keywords: Atmospheric Models real time. WRF, Calpuff, Odours, Air Quality.

Resumen/Abstract

En los últimos años, la comunidad ha tomado un rol activo respecto a situaciones o factores que afectan su calidad del aire y la de su vida cotidiana, especialmente en aquellas zonas próximas a sitios industriales. Debido a que las zonas residenciales se están expandiendo, hasta alcanzar a éstos, surge en la industria la necesidad de contar con herramientas ágiles y dinámicas para evaluar de forma temprana este tipo de riesgo. En este contexto, surge la modelación de contaminantes atmosféricos en tiempo real como una herramienta con la capacidad de cuantificar los niveles de concentración de contaminantes en los receptores basados en registros meteorológicos en tiempo real. El objetivo del presente estudio es evaluar el desempeño que tendría la base meteorológica de un sistema de modelación en tiempo real al incorporar meteorología superficial. El desempeño de la base meteorológica está relacionado con la calidad de datos de las estaciones observadas. Esto podría afectar el sistema de modelación en tiempo real donde se comprobó que la variable dirección del viento, en sus componentes zonal y meridional, es de la mayor sensibilidad.

In recent years, the community has taken an active role regarding situations or factors that affect its air quality and that of its daily life, especially in those areas close to industrial sites. Because residential areas are expanding, until they reach them, the need arises in the industry for agile and dynamic tools to assess this type of risk early. In this context, modeling of atmospheric pollutants in real time emerges as a tool with the ability to quantify the concentration levels of pollutants in the receivers based on real-time meteorological records. The objective of this study is to evaluate the performance that the meteorological base of a real-time modeling system would have when incorporating surface meteorology. The performance of the meteorological base is related to the data quality of the observed stations. This could affect the real-time modeling system where it was found that the variable wind direction, in its zonal and southern components, is of the highest sensitivity.

¹ Envirometrika - Europa 2066 Providencia, Santiago, Chile agonzalez@envirometrika.com

² Envirometrika - Europa 2066 Providencia, Santiago, Chile rguerra@envirometrika.com

³ Envirometrika - Europa 2066 Providencia, Santiago, Chile vzorich@envirometrika.com

1. Introducción

Chile cuenta con sectores industriales que son susceptibles de emitir olor, gases o partículas a la atmósfera. Un ejemplo de ello, es la identificación de 5 sectores prioritarios como potenciales de emisión de olor, tales como PTAS, planta de harina de pescado, planteles porcinos, plantas de celulosa y sitios de disposición final de residuos (MMA, 2017). Dichos sectores generan emisiones a la atmósfera, alcanzando asentamientos humanos, aumentando el riesgo de exposición frente a estos contaminantes. Lo anterior, se ve intensificado al existir estrecha cercanía geográfica entre el sector industrial y la comunidad, producto de la planificación territorial. Se han encontrado casos en donde se ha modificado el plan regulador, aceptando el uso de suelo residencial frente a estas instalaciones, previendo riesgos de molestias al vecindario o incluso emanaciones desagradables (Delgado V., 2015). Conocer cuándo y cuánto será afectada la comunidad por las emisiones causadas por los procesos industriales, condicionados por la situación atmosférica, es el reto que tienen hoy las industrias. Respecto a la situación atmosférica, se debe considerar que la meteorología juega un rol fundamental en el transporte o dispersión de las emisiones y que condicionan la reacción, movimiento y dilución de contaminantes en las capas de la atmósfera. Frente a esta problemática, surge la idea de contar con un sistema de modelación de contaminantes en tiempo real, que les permita a los sectores industriales identificar y alertar sobre los niveles de concentración en la comunidad. Existen experiencias enfocadas al diagnóstico de situaciones de riesgo en la inmisión, por ejemplo Le, V. D., & Cha, S. K. (2018) propusieron un modelo de predicción de contaminación atmosférica en tiempo real, basado en el uso de Big Data y redes neuronales. Murguía et al. (2014), hizo una comparación de los niveles de exposición a olores pronosticados en Barcelona.

El sistema de modelación en tiempo real posee 3 componentes: datos meteorológicos, modelos meteorológicos y de dispersión. Los datos meteorológicos globales de pronóstico GFS alimentan al modelo numérico-Euleriano WRF cuyos datos de salida alimentan al modelo meteorológico local (CALMET). Este procesamiento incluye datos de uso de suelo y elevaciones de terreno, con opción de asimilar datos meteorológicos observados superficiales, para así generar campos de vientos en 3D, que son utilizados por un modelo de dispersión CALPUFF, modelo de tipo puff Gaussiano-Lagrangiano. Este modelo simula los procesos de dispersión y transformación de contaminantes (Scire et al., 2000). Los resultados del sistema de modelación pueden ser visualizados en una plataforma web en tiempo real. En caso de exceder un nivel de exposición de contaminantes, el sistema genera alertas instantáneas que contribuyen a la gestión y activación de protocolos de control.

Este sistema es sensible a la calidad de los datos de entrada (configuración y asimilación de datos observados). Estos datos tienen asociados incertidumbre, las que deben ser identificadas y cuantificadas para evitar su propagación en el sistema. Por lo anterior, es necesario evaluar la calidad de los datos a través del desarrollo de una etapa de preingeniería.

Esta etapa considera la evaluación de las estaciones meteorológicas observadas disponibles (representatividad, rango de incertidumbre, entre otros) y el diagnóstico de los registros horarios (validación de datos, confiabilidad de los registros, entre otros). Posteriormente estas estaciones son ingresadas al modelo CALMET para su procesamiento, discriminando aquellas que no cumplan con estos criterios. Como parte del aseguramiento de calidad del sistema de modelación en tiempo real, se evalúa el desempeño de la base meteorológica.

2. Materiales y métodos

El caso de estudio consideró la comparación de 2 metodologías para la construcción de la base meteorológica del sistema de modelación. El primero corresponde al método No Observado (NOBS), utilizando meteorología de altura y superficie directamente de WRF, (MMIF). El segundo es el método Híbrido (HIB), el que combina meteorología de altura y superficie de WRF más observaciones superficiales, siendo estas asimiladas en el procesador CALMET. Ambas metodologías fueron aplicadas a 2 dominios caracterizados por terreno: a) influencia costera (complejo); b) influencia cordillerana y costera (no complejo) (Tabla 2). Los lineamientos descritos por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA, 2012) fueron aplicados para la configuración y ejecución de los modelos (Tabla 1). La asimilación de datos consideró 10 estaciones superficiales validadas (EPA, 2000), las cuales se ingresaron en cada dominio del método híbrido. Los datos de las estaciones provinieron de la red del Sistema de Información de Calidad del Aire (SINCA), Iowa Environmental Mesonet y Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

Las metodologías fueron evaluadas mediante índices de desempeño de las bases meteorológicas, considerando error medio cuadrático (RMSE), sesgo (BIAS) y coeficiente de correlación (r) (Wilks, 2011). Comparando series extraídas desde las bases meteorológicas (NOBS e HIB) respecto a estación control, la cual no fue asimilada en CALMET. La extracción de las series se realizó en la georreferencia de cada estación, considerando sólo aquellas más cercanas a las fuentes de emisión (Figura 1 y 2). Las variables de dirección y velocidad del viento, han sido consideradas las cuales fueron medidas a 10 [m] de altura.

La evaluación del modelo de dispersión consideró CALPUFF (versión 7.2), mediante isóneas de concentración de olor bajo un criterio de 3 [ou_e/m³] percentil 99,5 de las concentraciones horarias de un periodo anual, a nivel de suelo 0 [m].

Tabla 1. Configuración de modelos meteorológicos

Características	WRF	CALMET
Versión	3.8	6.5
Tamaño y resolución	75 x 75 [km] , 1[km]	75 x 75 [km] , 1[km]
Año de simulación	2017	2017
Configuración	FNL - SEA, (2012)	Barclay et al. (2011).
Datos geográficos y resolución	MODIS, GMTED 2010, 1[km]	GLCC, GMTED 2010, 1[km]

Tabla 2. Ubicación dominios

Características	Dominio a) Valparaíso	Dominio b) Santiago
Coordenada centro	Lat:32.98° S ; Lon:71,49° O	Lat:33,44° S ; Lon:70,72° O
Localidad	Reñaca Alto	Lo Prado

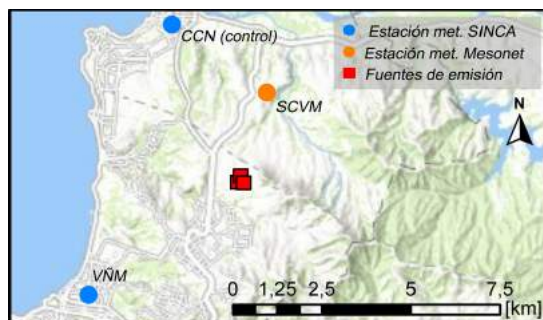


Figura 1 Mapa de ubicación de estaciones Dominio a)

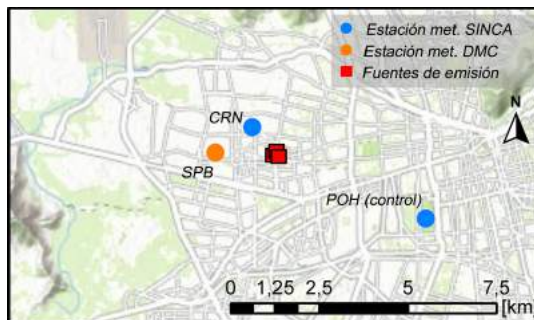


Figura 2 Mapa de ubicación de estaciones Dominio b)

Las fuentes de emisión empleadas para el cálculo de la dispersión de olor consideraron características estructurales, tasa de emisión de olor y cantidad de fuentes equivalentes para cada dominio (Tabla 3). La concentración de olor de las fuentes, fueron levantadas mediante metodologías de muestreo NCh 3386:2015 (INN, 2015) y análisis olfatómico NCh 3190:2010 (INN, 2010), para el periodo 2017.

Tabla 3. Fuentes de emisión de olor en dominios a) y b)

ID	Tipo de fuente	Emisión de Olor por sup. [ou _E /m ² s]	Tasa de Emisión de Olor [ou _E /s]
1	Puntual	189,64	372.350
2	Puntual	139,50	273.917
3	Difusa	3,27	9,15

3. Resultados y Discusión

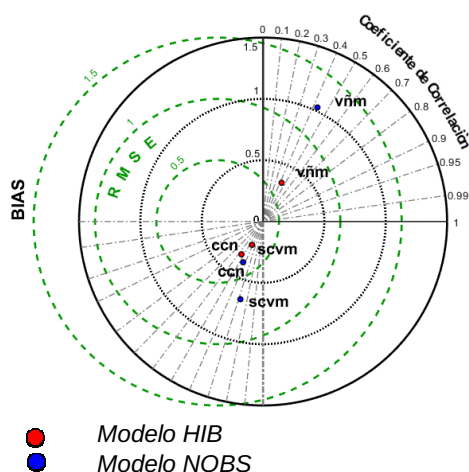


Figura 3. Gráfico de Taylor modificado Variable velocidad del viento en dominio a)

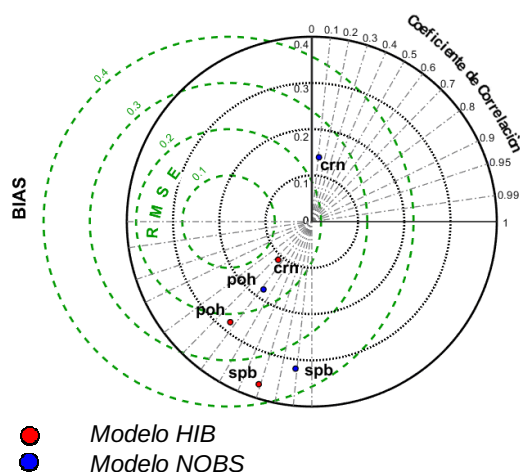


Figura 4. Gráfico de Taylor modificado Variable dirección del viento componente u en dominio b)

Los resultados en dominio a) (Figura 3), indicaron que se logró una mejora en el desempeño del modelo HIB, asociado a una disminución del error en las estaciones ubicadas en zonas del borde costero (VÑM) y de igual forma en zona con mayor complejidad del terreno (SCVM). El modelo HIB presentó mayor ajuste a lo observado, al disminuir el BIAS. Además el coeficiente de correlación, fue positivo e incrementado en el modelo HIB respecto del modelo NOBS.

Al evaluar la estación control (CCN), el modelo HIB logró reproducir la variabilidad meteorológica de la estación control.

En dominio b) (Figura 4), al evaluar el modelo HIB respecto de lo observado, el error de las estaciones disminuyó. Por otra parte el sesgo aumentó en todas las estaciones no obstante, el coeficiente de correlación fue positivo e incrementado.

En relación a la estación control (POH), se observó un aumento del error en la componente zonal del viento (vientos oeste-este).

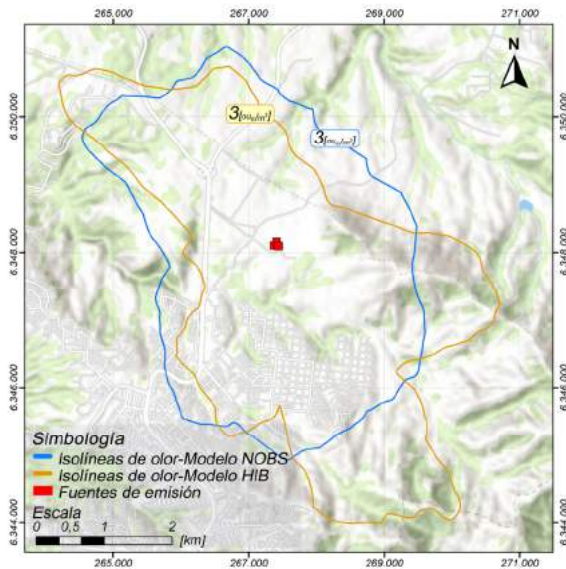


Figura 5 Isóneas de oro CP99,5-1h= 3 [ou_E/m³] dominio a) – Modelo NOBS vs Modelo HIB

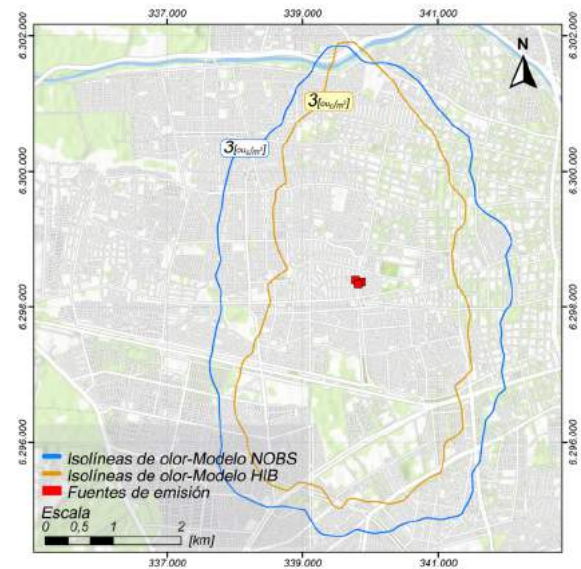


Figura 6 Isóneas de oro CP99,5-1h= 3 [ou_E/m³] dominio b) – Modelo NOBS vs Modelo HIB

En dominio a) el modelo NOBS subestimó el área de la isónea de 3 [ou_E/m³] respecto del modelo HIB (Figura 5). En este último, la trayectoria de la pluma se ajustó al terreno, dispersándose mayormente hacia el SE desde el punto de la emisión.

En dominio b), el modelo NOBS sobreestimó el área de la isónea respecto del modelo HIB con mayores diferencias en sentido oeste-este que norte-sur (Figura 6). Tras analizar la trayectoria de la pluma, ambas se ajustan al terreno.

Luego de observar los resultados, se apreció que en ambos dominios el modelo HIB logró un mayor ajuste respecto del modelo NOBS, en concordancia al estudio realizado por Murguía et al. (2014) sin embargo, el mayor ajuste se logró en el dominio de mayor complejidad (meteorología heterogénea). Esta característica es difícil de reproducir en un modelo que no haya sido alimentado por observaciones. En este sentido cobra relevancia la asimilación de datos superficiales para representar esta condición meteorológica. En cambio, en el dominio de menor complejidad (variabilidad meteorológica homogénea) el modelo NOBS sobreestimó los eventos de calma, otorgándole mayor amplitud a la isónea de 3 [ou_E/m³] respecto del modelo HIB.

En aquellos terrenos de menor complejidad existe un mayor aprovechamiento del uso de suelo, limitando la disponibilidad de localizaciones de estaciones meteorológicas que permitan alcanzar un menor grado de incertidumbre en la medición de las variables meteorológicas. Lo anterior estaría asociado a que barreras tales como altura de edificaciones, cobertura vegetal, entre otras, influyan en la medición y por ende en el desempeño del modelo en caso de ser consideradas en la base meteorológica. Por lo tanto, en un sistema de modelación en tiempo real, es clave realizar este tipo de análisis debido al mayor grado de sensibilidad (variables de dispersión), con el objetivo de reducir falsos positivos en las alertas generadas por este tipo de sistema frente a excedencias de un nivel de exposición de contaminantes.

4. Conclusión

El desempeño de la base meteorológica está relacionado con la calidad de los datos de las estaciones observadas superficiales. Esto podría afectar a sistemas de alta sensibilidad como los de modelación en tiempo real mayormente en la variable dirección del viento, en sus componentes zonal y meridional.

Por lo anterior es que, antes de incluir datos observados al sistema se sugiere el desarrollo de una etapa de preingeniería considerando lo siguiente:

- Validar variables meteorológicas según guía de validación EPA.
- Comprobar altura de medición estándar para las variables meteorológicas, según WMO (WMO, 2010).
- Verificar mantenciones realizadas a la estación.
- Caracterización del entorno (barreras que puedan influir en la medición).
- Comparar ciclos diarios y mensuales entre estaciones según radio de representatividad (5 [km]).
- Luego de ingresar las observaciones a la base meteorológica, evaluar desempeño mediante índices estadísticos tales como: RMSE, BIAS y Coeficiente de Correlación utilizando estaciones de control.
- Chequear periódicamente el desempeño del modelo.

En estaciones localizadas en zonas urbanas el desafío es mayor debido a la turbulencia generada por distintas edificaciones y por ello la necesidad del desarrollo de la etapa de preingeniería para el aseguramiento de la calidad en los datos de entrada del modelo.

Para asegurar de forma integral la calidad y la representatividad de los resultados del sistema, es recomendable realizar este tipo de análisis a los datos de emisión ingresados. Evaluando tendencias, estacionalidad, desviaciones entre otros. Del mismo modo chequear mantenciones, calibraciones y verificaciones a los equipos de medición continua de emisiones, para así minimizar la incertidumbre y evitar que estas se propaguen en el sistema.

5. Bibliografía

Barclay, J., & Scire, J. (2011). Generic Guidance and Optimum Model Settings for the CALPUFF Modeling System for Inclusion into the "Approved Methods for the Modeling and Assessments of Air Pollutants in NSW. CALPUFF Model Guidance.

Delgado, Veronica. (2015). La orden de "Trasladar" o "Retirar" una industria por razones ambientales en la ley y jurisprudencia chilenas. *Revista de Derecho (coquimbo)*, 22 (1), 481-506.

Environmental Protection Agency (2000). Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications. Office of Air and Radiation. Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park, NC 27711.

Instituto Nacional de Normalización. (2010). NCh 3190:2010 Calidad del aire – Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica. Chile.

Instituto Nacional de Normalización. (2015). NCh 3386:2015 Calidad del aire – Muestreo estático para olfatometría. Chile

Le, V. D., & Cha, S. K. (2018). Real-time Air Pollution prediction model based on Spatiotemporal Big data.

Ministerio del Medio Ambiente (2017). Estrategia para la gestión de olores en Chile – Actualización año 2017. Chile

Murguía, W., Pagans, E., Barclay, J., & Scire, J. (2014). Case study: A comparison of predicted odour exposure levels in Barcelona using CALPUFF Lite, CALPUFF NoObs and CALPUFF Hybrid Model. *Chem. Eng. Transact*, 40, 31-36.

Servicio de Evaluación Ambiental . (2012). Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA. Chile

Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Vol. 100). Academic press.

World Meteorological Organization (2010). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation-WMO-No. 8*, Geneva, Switzerland.