

RECYT

Año 21 / N° 31 / 2019 / 9–15

# Validación del modelo ARPS-STO-MCLM empleando el modelo HYSPLIT

## Validation of ARPS-STO-MCLM model with Hyplit model

## Validação do modelo ARPS-STO-MCLM com o modelo Hyplit

Emiliana E. Orcellet<sup>1, \*</sup>, Martina Villanova<sup>1</sup>, Jorge O. Noir<sup>1</sup>

1- Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Entre Ríos. Lorenzo Sartorio 2160, Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina

\* E-mail: orcelletemiliana@gmail.com

### Resumen

El objetivo general de este trabajo es validar los resultados del modelo ARPS-STO-MCLM obtenidos por Orcellet *et al.* (2016) [1], para los 11 eventos de mal olor registrados por el Plan de Vigilancia Ambiental de Gualeguaychú, Entre Ríos, Argentina, entre los meses de septiembre-diciembre de 2009. Para ello se emplea el modelo HYSPLIT desarrollado por la NOAA de los Estados Unidos, en sus dos versiones, off-line y on-line. Esta última versión muestra mayor coincidencia con los resultados de ARPS-STO-MCLM en relación con la versión off-line. En términos generales, el resultado de la comparación se considera positivo y los contrastes entre ambos modelos se atribuyen a su diferente formulación física, ya que ARPS-STO-MCLM es un modelo de ecuaciones primitivas y HYSPLIT es un modelo de trayectorias lagrangianas.

Palabras clave: Dispersión Atmosférica; Modelos Numéricos; Compuestos TRS; HYSPLIT; ARPS-STO-MCLM.

### Abstract

The aim of the study is to validate the results of the ARPS-STO-MCLM model obtained by Orcellet *et al.* (2016) [1] for the 11 bad smell events registered by the Environmental Monitoring Program of Gualeguaychú city, Entre Ríos, Argentina, between September and December 2009. Off-line and on-line versions of the HYSPLIT model developed by NOAA of the United States are used for this purpose. The on-line version shows greater agreement with the results of ARPS-STO-MCLM in relation to the off-line version. In general terms, the result of the comparison is considered positive and the contrasts between both models are attributed to the different physical formulation, since ARPS-STO-MCLM is a model of primitive equations and HYSPLIT is a Lagrangian trajectory model.

Keywords: Atmospheric dispersion; Numerical models; TRS compounds, HYSPLIT, ARPS-STO-MCLM.

### Abstract

O objetivo geral deste trabalho é validar os resultados do modelo ARPS-STO-MCLM obtido por Orcellet *et al.* (2016) [1], para os 11 eventos de odor registrados pelo Monitoramento Ambiental Plano de Gualeguaychu, Entre Rios, Argentina, entre os meses de setembro a dezembro de 2009. Para este fim o modelo HYSPLIT desenvolvido pela NOAA Unidos usaram Unidos, em duas versões, off-line e on-line. Esta última versão apresenta melhor acordo com os resultados da ARPS-STO-MCLM em relação à versão off-line. No geral, o resultado da comparação é considerado positivo e contrastes entre diferentes modelos físicos à sua formulação atribuída como ARPS-STO-MCLM é um modelo de equação primitiva é HYSPLIT um modelo e trajetórias Lagrange.

Palavras-chave: Dispersão atmosférica, Modelos numéricos, Compostos TRS, HYSPLIT, ARPS-STO-MCLM.

### Introducción

Como consecuencia de la instalación de la fábrica de pasta celulosa en la Localidad de Fray Bentos, Uruguay, (Ver Fig. 1) las denuncias sociales por la percepción de ma-

los olores registradas por el Plan de Vigilancia Ambiental (PVA) de la ciudad de Gualeguaychú, Entre Ríos, Argentina, se han incrementado durante el período 2008-2010.



**Figura 1:** Mapa de la región y ubicación de la fábrica de pasta celulosa (punto rojo), donde se identifican los potenciales receptores argentinos (puntos amarillos).

Las emisiones gaseosas de este tipo de industrias se caracterizan por la presencia de compuestos de azufre total reducido (Total Reduced Sulfur - TRS), entre otros, los cuales presentan olores desagradables característicos y pueden ser detectados a muy bajas concentraciones. Estos compuestos TRS son emitidos en bajas concentraciones en condiciones normales de operación, sin embargo en condiciones de arranque y puesta a punto del proceso, las emisiones pueden ser considerablemente mayores (Ecometrix, 2006)[2].

Los modelos de dispersión atmosférica son una herramienta útil para simular el transporte y la difusión de las emisiones gaseosas generadas en la fábrica de pasta celulosa y estimar las concentraciones de los compuestos TRS.

En este sentido Orcellet *et al.* (2016) [1] realizó la simulación de 11 casos en los cuales se registraron denuncias sociales por malos olores, por parte del PVA, empleando el modelo ARPS-STO-MCLM desarrollado específicamente para las condiciones particulares de la zona de influencia del Río Uruguay, en inmediaciones de la localidad de Gualeguaychú.

Con el objeto de corroborar los resultados obtenidos con el modelo desarrollado, ARPS-STO-MCLM, (Orcellet *et al.* 2016) [1] se emplea el modelo HYSPLIT desarrollado por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), científicamente reconocido y ampliamente utilizado, para simular los mismos eventos y verificar la coincidencia o no de los resultados obtenidos por ambas herramientas.

## Materiales y Métodos

El modelo ARPS-STO-MCLM es una combinación de dos reconocidos modelos, uno de pronóstico operativo de capa límite atmosférica (Modelo de Capa Límite de Mesoescala - MCLM) y el otro de transporte y difusión de contaminantes (Advance Regional Prediction System, Lagrangian Stochastic Model, ARPS-STO) adaptados para la simulación en zonas ribereñas del Río Uruguay. (Orcellet *et al.*, 2016)[1].

El MCLM fue desarrollado específicamente para estudiar la circulación atmosférica en capas bajas sobre el estuario del Río de La Plata y su zona de influencia (Berri *et al.*, 2010)[3], y el modelo ARPS-STO fue desarrollado originalmente por el CAPS (Center of Analysis and Prediction Storm) de la Universidad de Oklahoma (USA) y modificado por Aguirre (2005)[4] para el estudio de la dispersión de contaminantes en la atmósfera.

El modelo HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) permite el cálculo tanto de simples trayectorias de parcelas de aire, como así también simulaciones complejas de dispersión y deposición de contaminantes. El método de cálculo es una conjunción del método lagrangiano, en el cual las parcelas de aire se mueven dentro de un marco de referencia hacia su posición final para los cálculos de advección y difusión, y el método euleriano que emplea un retículo tridimensional fijo como marco de referencia para el cálculo de las concentraciones de contaminantes atmosféricos.

El modelo HYSPLIT tiene incorporados los datos geográficos y solamente es necesario proporcionar los datos meteorológicos de viento, temperatura y presión, lo que puede realizarse de dos formas, off-line y on-line.

En la versión off-line el modelo permite emplear datos meteorológicos de otra fuente, en este caso MCLM, en tanto que la versión on-line utiliza los datos meteorológicos del Global Forecast System (GFS) de NOAA.

Los días y períodos modelados se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Fecha, horario y localización de los eventos modelados.

Fecha	Horario	Localización	Lat - Lon
10 Sep 2009	09:45–11:45	Puente Internacional	33°5'56.71"S, 58°14'54.73"W
12 Oct 2009	10:30–12:30	Puente Internacional	33°5'56.71"S, 58°14'54.73"W
03 Nov 2009	22:00–02:20	Gualeguaychú	33°0'26.66"S, 58°30'42.48"W
05 Nov 2009	08:00–10:00	Balneario Nandubaysal	33°4'5.80"S, 58°22'34.42"W
10 Nov 2009	14:00–20:00	Gualeguaychú	33°0'26.66"S, 58°30'42.48"W
29 Nov 2009	21:00–22:30	Gualeguaychú	33°0'26.66"S, 58°30'42.48"W
30 Nov 2009	10:30–10:50	Gualeguaychú	33°0'26.66"S, 58°30'42.48"W
30 Nov 2009	14:30–21:30	Puente Internacional	33°5'56.71"S, 58°14'54.73"W
01 Dic 2009	21:30–23:45	Gualeguaychú	33°0'26.66"S, 58°30'42.48"W
03 Dic 2009	05:00–06:30	General Belgrano	33°1'18.64"S, 58°29' 8.63"W
15 Dic 2009	10:40–12:00	Gualeguaychú	33°0'26.66"S, 58°30'42.48"W

En la Tabla 2 se detallan los datos de las fuentes consideradas y las tasas de emisión estimada para los compuestos TRS.

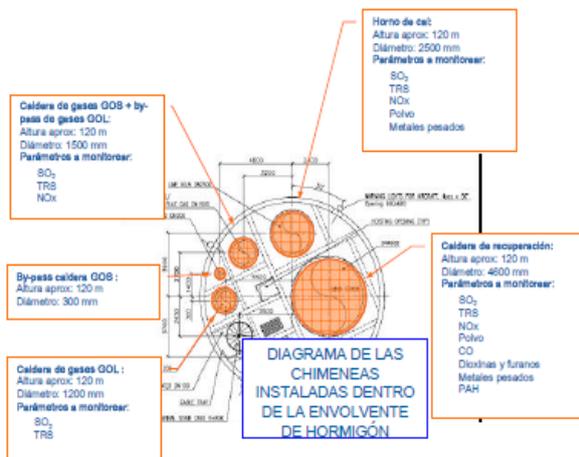
**Tabla 2:** Propiedades físicas de las Fuentes puntuales y tasas de emisión de compuestos TRS estimadas en promedio anual y en condiciones normales de operación (información basada en las Tablas C2.1-1 y C2.3-1 de Ecometrix, 2006).

Fuente	Altura de chimenea (m)	Diámetro (m)	Velocidad de Salida (m s <sup>-1</sup> )	Temperatura de salida (°C)	Tasas de emisión (g s <sup>-1</sup> )
Caldera de recuperación	120	4.6	22	160	4.73
Incinerador de gases no condensables	120	4.6	22	160	0.49
Horno de cal	120	2.5	14	220	0.43

En ambos casos se emplean los mismos valores de las tasas de emisión y la hora de inicio que se usaron con el modelo ARPS-STO-MCLM (Orcellet *et al.* 2016) [1].

Sin embargo el modelo requiere tasas de emisión horarias, por lo cual para que los resultados sean comparables con los de ARPS-STO-MCLM la tasa de emisión total de 5.71 g/s, se convierte a las unidades obteniendo una tasa de emisión 20556 g/h.

Cabe destacar que todas las fuentes puntuales de emisión están ubicadas dentro de una gran estructura de hormigón (Ver Fig. 2), lo que hace que visualmente las mismas no puedan ser identificadas.



**Figura 2:** Diagrama de chimeneas instaladas dentro del envoltorio de hormigón. Monitoreo Ambiental de la Operación- Comisión de Seguimiento- Fray Bentos, 19 de octubre de 2007. Botnia. [5]

Con el modelo ARPS-STO-MCLM, estas fuentes puntuales fueron identificadas y modeladas de manera diferenciada, atribuyendo a cada fuente los parámetros físicos particulares detallados en la Tabla 2. Sin embargo el modelo HYSPLIT, si bien permite diferenciar dos fuentes ubicadas en diferentes puntos, no permite atribuir parámetros físicos particulares, a excepción de la altura de emisión.

En este caso la altura de emisión es la misma para todas las fuentes puntuales y la separación entre ellas es despreciable, por lo cual con HYSPLIT se modelaron como una única fuente puntual de 120 m de altura con una tasa de emisión horaria de 20556 g/h.

En primera instancia se empleó la versión off-line del modelo, la cual permite realizar simulaciones por un período mínimo de 12 horas, para modelar 10 casos. Posteriormente se simuló una serie de 8 casos, (7 días), considerando aquellos en los cuales los resultados de la versión off-line no coincidían con los de ARPS-STO-MCLM, empleando la versión on-line del modelo, la cual permite modelar períodos menores a las 12 horas, ajustando dicho período a los detallados en la Tabla 1.

Es conveniente mencionar que ambos modelos (ARPS-STO-MCLM y HYSPLIT), simulan el transporte y la difusión de una sustancia genérica, es decir no consideran la química del compuesto gaseoso que se está emitiendo, por lo cual las concentraciones calculadas por ambos modelos son estimativas y no se consideran confiables, salvo que exista una verificación y medición in situ de las mismas.

Por lo antedicho lo que se evaluó principalmente en este trabajo es la posición, extensión y el alcance territorial de la pluma en referencia a los potenciales receptores argentinos, de acuerdo a la Fig. 1.

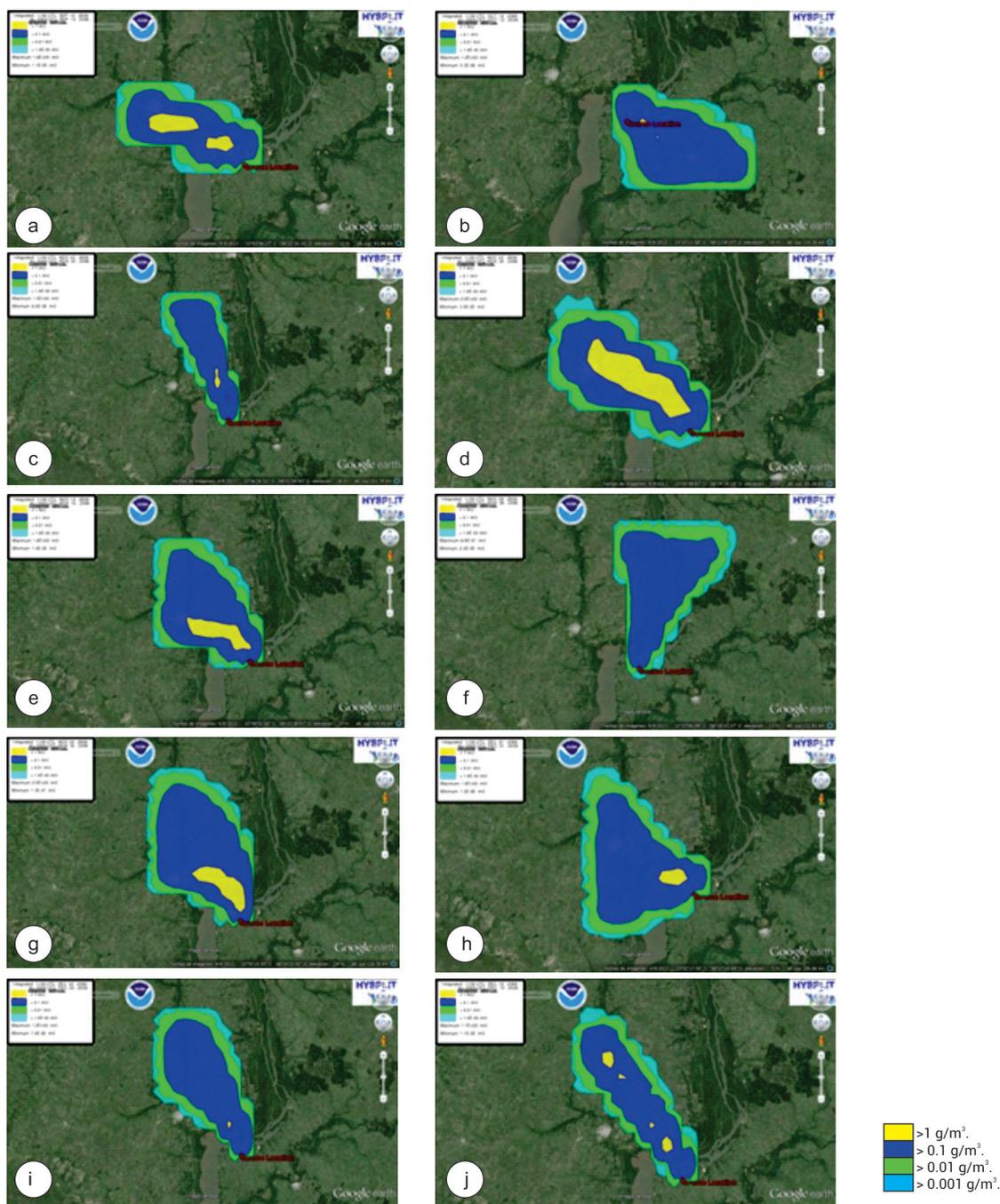
## Resultados y Discusión

### Resultado de la modelación con HYSPLIT versión off-line

En la Fig. 3 se presentan los resultados de la modelación realizada con la versión off-line del modelo. La Fig. 3(a) muestra la concentración de TRS calculada para el día 10 de septiembre de 2009 en que la dirección de la pluma coincide con la simulada por ARPS-STO-MCLM, aunque la extensión de la misma en el entorno a la fuente de emisión es mayor y alcanza al Puente Internacional con concentraciones del orden de 0.01-0.1 g/m<sup>3</sup>. Los resultados obtenidos para el día 12 de octubre de 2009 se muestran en la Fig. 3(b), los que coinciden plenamente con los simulados por ARPS-STO-MCLM, con valores de concentración que se encuentran en el rango de 0.1-1 g/m<sup>3</sup>. La Fig. 3(c) muestra el resultado de la modelación del día 03 de noviembre de 2009, la que también coincide plenamente con lo simulado por ARPS-STO-MCLM, aunque la pluma no impacta en la ciudad de Gualeguaychú pero sí sobre el Puente Internacional con concentraciones del orden de 0.01-0.1 g/m<sup>3</sup>. Comparando los resultados de ambos modelos para el día 05 de noviembre de 2009 (Fig. 3d) se puede apreciar que en efecto coincide la dirección de propagación de la pluma, aunque la extensión transversal de la misma es mayor que la simulada por ARPS-STO-MCLM, la cual impacta en la zona del balneario Ñandubaysal e incluso la ciudad de Gualeguaychú. Las concentraciones en el punto de la denuncia superan el valor de 1 g/m<sup>3</sup>. Los resultados del día 10 de noviembre de 2009 se muestran en la Fig. 3(e). En esta simulación la dirección de propagación de la pluma coincide con la de ARPS-STO-MCLM, pero la extensión de la misma es mayor y alcanza a la ciudad de Gualeguaychú con concentraciones del orden

de 0.1-1 g/m<sup>3</sup>. Para el día 29 de noviembre de 2009 (Fig. 3f) las simulaciones de HYSPLIT y ARPS-STO-MCLM coinciden en dirección y en extensión. En la Fig. 3(g), se pueden observar los resultados para el día 30 de noviembre de 2009. Estos son coincidentes con los de ARPS-STO-MCLM en cuanto a la dirección predominante de la pluma, aunque la extensión de la misma es mayor e impacta sobre la ciudad de Gualeguaychú. Las concentraciones en el punto de la denuncia se encuentran en el rango de a 0.1-1 g/m<sup>3</sup>. Los resultados para el 01 de diciembre de 2009 Fig. 3(h) coinciden con los simulados por ARPS-STO-MCLM y las concentraciones obtenidas para la ciudad de Gua-

leguaychú y el Puente Internacional están en el rango de 0.1-1 g/m<sup>3</sup>. La Fig. 3(i) muestra el resultado para el día 03 de diciembre de 2009. La pluma resultante coincide en dirección con la simulada con ARPS-STO-MCLM, sin embargo la extensión de la misma es mayor y alcanza a Pueblo General Belgrano con concentraciones inferiores a 0.01 g/m<sup>3</sup>. Los resultados para el día 15 de diciembre de 2009, que se presentan en la Fig. 3(j), no coinciden con los modelados por ARPS-STO-MCLM, tanto en alcance como extensión y la concentración en el punto de la denuncia es del orden de 0.01-0.1 g/m<sup>3</sup>.



**Figura 3:** Resultados del modelo HYSPLIT off-line. Concentración de TRS en ug/m<sup>3</sup>, modelada con la versión off-line de HYSPLIT para los días: a) 10 de septiembre; b) 12 de octubre, c) 03 de noviembre; d) 05 de noviembre; e) 10 de noviembre; f) 29 de noviembre; g) 30 de noviembre; h) 01 de diciembre; i) 03 de diciembre; j) 15 de diciembre de 2009.

### Resumen de resultados con HYSPLIT versión off-line

Los resultados obtenidos con la versión off-line se resumen en la Tabla 3, en la que el “Si” (“No”) de la tercera columna indica que la denuncia “fue” (“no fue”) constatada por el PVA. De un total de 10 casos simulados, 5 de ellos coinciden con las actuaciones del PVA.

En la cuarta columna de la Tabla 3 el “Si” (“No”) indica que la pluma modelada por HYSPLIT “coincide” (“no coincide”) con la denuncia registrada por el PVA. En ese caso 5 de las 10 simulaciones son coincidentes.

**Tabla 3:** Resumen de los resultados obtenidos con el modelo HYSPLIT off-line y su comparación con las actuaciones registradas por el Plan de Vigilancia.

Fecha	Lugar de denuncia	Denuncia Verificada	Coincidencia pluma/constatación
10/09/2009	Puente Internacional	Si	Si
12/10/2009	Puente Internacional	Si	Si
03/11/2009	Ciudad de Gualeguaychú	No	Si
05/11/2009	Balneario Nandubaysal	No	No
10/11/2009	Ciudad de Gualeguaychú	No	No
29/11/2009	Ciudad de Gualeguaychú	No	Si
30/11/2009	Ciudad de Gualeguaychú/ Puente Internacional	No	No
01/12/2009	Ciudad de Gualeguaychú	No	No
03/12/2009	Pueblo General Belgrano	No	No
15/12/2009	Ciudad de Gualeguaychú	No	Si

En la Tabla 4 se comparan los resultados de HYSPLIT versión off-line con los de ARPS-STO-MCLM. El “Si” de la segunda columna indica que la dirección hacia donde se dirige la pluma coincide en ambos modelos mientras que el “No” indica el caso contrario. El “Si” de la cuarta columna indica que la extensión superficial de la pluma simulada por HYSPLIT coincide con la simulada por ARPS-STO-MCLM, mientras que el “No” indica el caso contrario.

En el caso de la dirección predominante de propagación de la pluma resulta que 9 de los 10 casos son coincidentes. En cuanto a la extensión de la pluma, en 3 de los 10 casos las mismas coinciden con los resultados de ARPS-STO-MCLM. Dado que la versión off-line de HYSPLIT no permite calcular concentraciones por períodos menores que 12 horas, como se indicó, no se puede comparar estrictamente sus resultados con los de ARPS-STO-MCLM, el cual se ejecutó por el período específico de cada caso que en la mayoría de los casos es menor que aquel.

**Tabla 4:** Resumen de los resultados obtenidos con el modelo HYSPLIT off-line y su comparación con los resultados de ARPS-STO-MCLM.

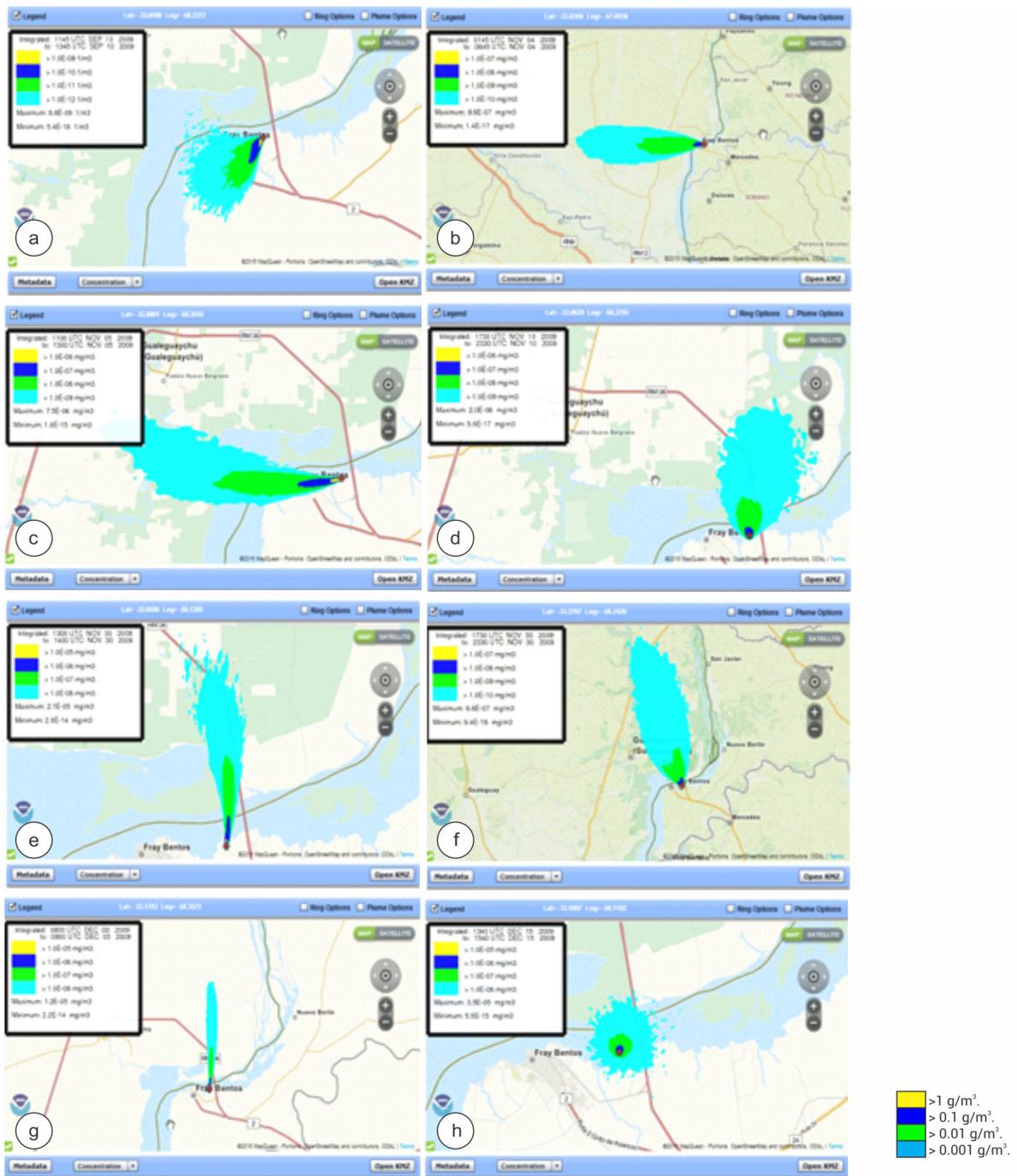
Fecha	Coincidencia dirección ARPS-STO-MCLM /HYSPLIT	Coincidencia extensión de la pluma ARPS-STO-MCLM/HYSPLIT
10/09/2009	Si	No
12/10/2009	Si	Si
03/11/2009	Si	No
05/11/2009	Si	No
10/11/2009	Si	No
29/11/2009	Si	Si
30/11/2009	Si	No
01/12/2009	Si	Si
03/12/2009	Si	No
15/12/2009	No	No

Las concentraciones calculadas con HYSPLIT son inferiores a las de ARPS-STO-MCLM, a pesar que se emplean las mismas tasas de emisión. Ello es consecuencia de que esta versión de HYSPLIT calcula la concentración promedio de un período mínimo de 12 horas, que resultará siempre inferior al promedio en períodos menores debido a las variaciones en la dirección e intensidad del viento.

### Resultado de la modelación con HYSPLIT versión on-line

Se realizó entonces la modelación con HYSPLIT versión on-line de los 7 casos en que los resultados obtenidos con la versión off-line no coincidían con los de ARPS-STO-MCLM, ya que la versión on-line permite modelar períodos de tiempo específicos. Es conveniente recordar que la simulación del día 30 de noviembre de 2009 incluye dos períodos próximos entre sí (Ver Tabla 1), uno por la mañana y otro por la tarde, que en el caso de la versión off-line se modelaron como un único caso. Ahora, ambos se modelan por separado de modo que se trata de 8 casos, cuyos resultados se muestran en la Fig. 4.

La Fig. 4(a) muestra para el día 10 de septiembre de 2009 una pluma que viaja en dirección sudoeste y no impacta en el Puente Internacional, en coincidencia con los resultados de ARPS-STO-MCLM. El resultado para el día 03 de noviembre de 2009 se presenta en la Fig. 4(b), en la cual se ve que la pluma viaja en dirección oeste, en discrepancia con ARPS-STO-MCLM en que lo hace hacia el norte. En el caso del día 05 de noviembre de 2009 la Fig. 4(c) muestra a la pluma hacia el oeste mientras que ARPS-STO-MCLM la ubica hacia el nor-noroeste. En la Fig. 4(d) se muestra el resultado del día 10 de noviembre de 2009 en la cual la pluma viaja en dirección norte en coincidencia con ARPS-STO-MCLM. En las Fig. 4(e) y (f) se presentan los resultados del día 30 de noviembre de 2009 por la mañana y por la tarde, respectivamente, los cuales coinciden con los resultados de ARPS-STO-MCLM. En la Fig. 4(g) se muestra el resultado del día 03 de diciembre de 2009, y en la Fig. 4(h) los del día 15 de diciembre de 2009, y en ambos casos hay coincidencia con los resultados de ARPS-STO-MCLM.



**Fig. 4:** Resultados del modelo HYSPLIT on-line. Concentración de TRS en ug/m3, modelada para los días: a) 10 de septiembre; b) 03 de noviembre; c) 05 de noviembre; d) 10 de noviembre; e) 30 de noviembre (mañana); f) 30 de noviembre (tarde); g) 03 de diciembre; h) 15 de diciembre de 2009.

**Resumen men de resultados con HYSPLIT versión on-line**

En la Tabla 5 se resumen los resultados de la modelación con la versión on-line de HYSPLIT. El “Si” de la segunda columna indica la coincidencia de los resultados de ambas versiones off-line y on-line, mientras que el “No” indica el caso contrario. En la cuarta columna el “Si” (“No”) indica la coincidencia (“o no”) entre los resultados de HYSPLIT on-line y ARPS-STO-MCLM. Todos los ca-

sos la coincidencia se refiere a la dirección de propagación de la pluma.

De un total de 8 simulaciones efectuadas con el modelo HYSPLIT on-line, en 6 de ellas los resultados coinciden con los obtenidos con ARPS-STO-MCLM. Pero al comparar los resultados de ambas versiones de HYSPLIT on-line y off-line, de las 8 simulaciones realizadas solamente en 3 de ellas son coincidentes.

**Tabla 5:** Comparación de los resultados obtenidos con el modelo HYSPLIT on-line con los de la versión off-line y con ARPS-STO-MCLM. (Nota: \*mañana - \*\*tarde)

Fecha	Coincidencia HYSPLIT off-line / HYSPLIT on-line	Coincidencia ARPS-STO-MCLM / HYSPLIT on-line
10/09/2009	No	Si
03/11/2009	No	No
05/11/2009	No	No
10/11/2009	Si	Si
30/11/2009*	No	Si
30/11/2009**	Si	Si
03/12/2009	Si	Si
15/12/2009	No	Si

## Conclusiones

Los resultados obtenidos mediante el empleo del modelo HYSPLIT off-line muestran que de un total de 10 eventos, 5 coinciden con la verificación del PVA, 9 muestran una trayectoria similar a la obtenida con ARPS-STO-MCLM y 3 de ellos son coincidentes en la extensión de la pluma, la cual impacta en el lugar de la denuncia. El resultado de la comparación se considera positivo y los contrastes entre ambos modelos se atribuyen a su diferente formulación física, ya que ARPS-STO-MCLM es un modelo de ecuaciones primitivas y HYSPLIT es un modelo de trayectorias lagrangianas.

Al emplear la versión on-line del modelo HYSPLIT, de las 8 simulaciones realizadas, 6 de las mismas coinciden en sus resultados con los obtenidos con ARPS-STO-MCLM. Al comparar los resultados obtenidos con el modelo HYSPLIT en sus versiones on-line y off-line, de las 8 simulaciones realizadas solamente 3 coinciden en ambas versiones. Tal resultado es atribuible al hecho que ambas versiones emplean diferentes fuentes de datos meteorológicos; la versión HYSPLIT on-line utiliza los pronósticos de NOAA mientras que la versión off-line utiliza los pronósticos del modelo MCLM.

Las concentraciones calculadas por ambos modelos se consideran estimadas no resultando un parámetro confiable puesto que el modelo simula la dispersión de una sustancia genérica, no especificándose la química del compuesto, por lo cual la concentración final puede verse modificada por las reacciones químicas que los mismos sufren en el seno de la atmósfera.

## Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado y financiado en el marco del PID N° 10062, de la Universidad Nacional de Entre Ríos.

## RBibliografía

1. Orcellet E.E, Berri G.J, Aguirre C.A, y Müller G.V 2016. "Atmospheric Dispersion Study of TRS Compounds Emitted from a Pulp Mill Plant in Coastal Regions of the Uruguay River, South America" *Aerosol and Air Quality Research*, 16: 1473–1482, 2016.
2. Ecometrix 2006. "Estudio de Impacto Acumulativo Plantas de Celulosa en Uruguay" – Anexo C "Evaluación de la Calidad de Aire". <http://www.upm.uy/SiteCollectionDocuments/fundacion/Cumulative-Impact-Study-Uruguay-Pulp-Mills-Oct2006-UPM-Fray-Bentos.pdf>. Consultado Febrero 2017.
3. Berri G.J., L. Sraibman, R. Tanco and G. Bertossa 2010. *Low-level wind field climatology over the La Plata River region obtained with a mesoscale atmospheric boundary layer model forced with local weather observations*, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49, 6, 1293-1305, doi: 10.1175/2010JAMC2370.1.
4. Aguirre C. A. 2005. *Dispersión et Mélange Atmosphérique Euléro-lagrangien de Particules Fluides Réactives*. Application à des cas simples et complexe. Tesis de doctorado. Université Claude Bernard Lyon 1, France, 115-2005, 1-323.
5. Monitoreo Ambiental de la Operación – Comisión de Seguimiento de BOTNIA Fray Bentos 2007. Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA), Uruguay, Disponible en: [http://www.mvotma.gub.uy/images/anex\\_8-2\\_monitoreo-op-botnia\\_071019.pdf](http://www.mvotma.gub.uy/images/anex_8-2_monitoreo-op-botnia_071019.pdf). Consultado Febrero 2017.

Recibido: 17/02/2017.

Aprobado: 24/10/2018.