

## **SIMULACIÓN DE LA CIRCULACIÓN DE VIENTO Y TEMPERATURA EN CAPAS BAJAS EN LA REGIÓN DE LA CIUDAD DE GUALEGUAYCHÚ, ARGENTINA.**

**César A. Aguirre<sup>a,c</sup>, Guillermo J. Berri<sup>b</sup>, Armando B. Brizuela<sup>a,c</sup> y Emiliana E. Orcellet<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>*Laboratorio de Ciencias de la Atmósfera, Centro de Investigaciones Científicas y Transferencia Tecnológica a la Producción (CICyTTP-CONICET), Materi y España s/n, (E3105BWA) Diamante, Argentina., cesaraguirredalotto@gmail.com, armando.brizuela@gmail.com, <http://www.cicyttp.org.ar>*

<sup>b</sup>*Servicio Meteorológico Nacional (SMN), 25 de mayo 658, (C1002ABN) Buenos Aires. Argentina. gberri@smn.gov.ar, <http://www.smn.gov.ar>*

<sup>c</sup>*Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos (FCA-UNER) Ruta 11, Km 10, Oro Verde, Argentina.*

**Palabras Clave:** Viento, Temperatura, Simulación de las Grandes Escalas, Gualeguaychú.

**Resumen.** Se presentan en este trabajo los resultados de la simulación de la circulación atmosférica en capas bajas sobre la región del río Uruguay en proximidades de la ciudad de Gualeguaychú, provincia de Entre Ríos, Argentina. Este caso de estudio compara el campo de viento y temperatura en capas bajas que se obtiene al integrar durante 12 horas el modelo ARPS (Advanced Regional Prediction System) desarrollado por la Universidad de Oklahoma (USA) y CAPS (Center of Analysis and Prediction of Storms) con mediciones de tres estaciones meteorológicas ubicadas en la zona que poseen sensores de viento a 10 metros y 40 metros de altura sobre el terreno y sensores de temperatura del aire a 2 metros y 40 metros. El modelo ARPS es inicializado con datos del sondeo de Ezeiza, provincia de Buenos Aires, Argentina, del día 1 de enero de 2011 a las 12 UTC y datos de temperatura del suelo, elevación del terreno y tipo de vegetación, obtenidos a partir de registros de sensores remotos montados en satélites. Se observa un buen acuerdo entre los valores simulados y observados en las tres torres para el caso de la temperatura. Sin embargo, la velocidad y dirección de viento no están bien simuladas. No obstante, la variación de la circulación de viento durante el día es bien representada por el modelo.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el año 2005 comienza una disputa entre Argentina y Uruguay por la construcción de una fábrica de celulosa para pasta de papel en la ciudad de Fray Bentos (Uruguay). La República Argentina alude que esta fábrica contamina tanto el río como el aire mientras que la República Oriental del Uruguay desestima tal afirmación. Esta disputa afectó el turismo y el transporte entre ambos países. Los procedimientos fueron llevados ante la Corte Internacional de Justicia. El Tribunal consideró que, si bien Uruguay no informó a la Argentina de la construcción de la fábrica, la misma no contamina el río por lo que el cierre de la planta de celulosa sería injustificado. El conflicto termina en 2010, con el establecimiento de una coordinación de las actividades en el río entre ambos países y la puesta en marcha de un sistema de monitoreo conjunto. A tal efecto se han llevado a cabo muestreos tanto en el río como en la atmósfera dentro del Programa de Vigilancia Ambiental de Río Uruguay. Particularmente, para el monitoreo de la calidad del aire se han instalado estaciones meteorológicas y se utilizan herramientas de simulación de la circulación atmosférica en capas bajas para pronosticar la dirección de la pluma de emanaciones gaseosas desde la chimenea de la fábrica. Estos modelos son calibrados y contrastados con mediciones de datos meteorológicos como así también con muestreos de sensores de gases. En este trabajo se emplea un modelo numérico para simular la circulación atmosférica en capas bajas sobre la región del Río Uruguay en proximidades de las ciudades de Gualeguaychú - Argentina y Fray Bentos - Uruguay. El objetivo es comparar los campos de viento y temperatura obtenidos como resultado del modelo con datos medidos por estaciones meteorológicas automáticas que poseen sensores de viento a 10 metros y 40 metros de altura y sensores de temperatura a 2 metros y 40 metros de altura. Las variables del modelo en la atmósfera son inicializadas a partir de datos obtenidos de un radiosondeo realizado en Ezeiza (Provincia de Buenos Aires) el 01 de enero de 2011, 12 UTC (9:00 hora local argentina) mientras que los valores que toman estas variables en la superficie fueron obtenidos a partir de los datos observados por sensores remotos montados en satélites. Se diseñó un mallado regular en la dirección horizontal con elementos prismáticos de 1000 metros de lado. La altura de cada elemento de la malla es variable según una función tangente hiperbólica de manera tal que los elementos más cercanos al terreno tienen una altura de 1 metro mientras que los cercanos al límite superior poseen una altura de 79 metros. La altura total del dominio de la simulación es de 2205 metros, de los cuales una capa de 400 metros en la parte superior del dominio es utilizada para amortiguar las ondas de presión. La extensión horizontal del dominio de la simulación es de 75 Km x 75 Km como se observa en la Figura 1.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio comprende la margen argentina y uruguaya del Río Uruguay en cercanías de las ciudades de Gualeguaychú - Argentina y Fray Bentos - Uruguay. En esta zona se ubican tres estaciones meteorológicas sobre la margen argentina del río. Las mismas están indicadas como Torre NORTE, Torre ESTE y Torre SUR en la Figura 1. Las estaciones pertenecen al Programa de Vigilancia Ambiental del Río Uruguay que desarrolla el Servicio Meteorológico Nacional mediante un convenio firmado con la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.



Figura 1: Dominio geográfico de la simulación y ubicación de las torres meteorológicas.

## 2.2. Descripción del modelo de simulación

El modelo utilizado puede caracterizarse dentro de los modelos de mesoescala, no-hidroestático y semi-compresible, desarrollado por el *Center of Analysis and Prediction of Storms* (CAPS) y la Universidad de Oklahoma (USA) denominado *Advanced Regional Prediction System* (AR-PS) en su versión 5.2.12, cuyos programas fuentes se encuentran disponibles en la página de CAPS <http://www.caps.ou.edu/ARPS>. Este modelo resuelve las ecuaciones de balance de masa, cantidad de movimiento, energía y utiliza la ecuación de estado del aire húmedo para resolver la presión (Proctor, 1987). El mismo ha sido diseñado específicamente para el seguimiento y descripción de tormentas, posee sub-modelos de flujo de calor y vapor de agua, formación de nubes, precipitación y tiene en cuenta el movimiento aparente del sol sobre el horizonte según la fecha de calendario y la latitud del lugar para calcular los flujos de energía entre el suelo y la atmósfera. Los datos de las condiciones iniciales del suelo pueden ser incorporados al modelo. Éstos son la orografía, tipo de vegetación, Índice de Vegetación Normalizado, parámetro de rugosidad del suelo y temperatura de la superficie. Las condiciones iniciales de la atmósfera pueden ser indicadas a partir de datos de radiosondeo o simular diferentes estados de la atmósfera (isoentrópica, isotérmica, de estabilidad constante a criterio del usuario) o pueden ser incorporadas desde un archivo externo. Este modelo es de tipo semi-compresible ya que tiene en cuenta que la densidad del aire varía solamente con la altura en las ecuaciones de balance de masa, cantidad de movimiento y transporte de escalares pero admite la compresibilidad en la resolución de la ecuación de la presión, utilizando un paso de tiempo más reducido que para las ecuaciones anteriores. Es decir, este modelo trabaja con dos pasos de tiempo, uno más grande para la resolución de las ecuaciones de balance y otro reducido para la presión. Las ecuaciones de balance de masa, de cantidad de movimiento y de energía son resueltas utilizando el esquema de diferencias finitas centradas sobre una celda de tipo *Arakawa C-grid* y utiliza un sistema de coordenadas curvilíneo que sigue las ondulaciones de terreno. El esquema numérico propuesto

para obtener la solución de las ecuaciones diferenciales integradas en el paso de tiempo grande es de 4° orden, centrado de tipo explícito, mientras que el utilizado para integrar las ecuaciones de resolución de la presión y de la componente vertical de la velocidad del aire es implícito de tipo Crank-Nicholson. Aguirre (2005) realizó algunas modificaciones al código introduciendo la opción de cálculo dinámico para el coeficiente de Smagorinsky (Smagorinsky, 1963) siguiendo la técnica de Germano et al. (1991) en el término de la viscosidad turbulenta de sub-malla. Aguirre et al. (2006) utilizaron este modelo acoplado a un modelo estocástico lagrangiano de seguimiento de partículas fluidas portadoras de especies químicamente reactivas para simular el transporte y reacción química de una emisión de  $NO_2$  desde una chimenea. Aguirre et al. (2007) compararon los resultados de la dinámica del flujo simulado con los obtenidos por mediciones en túnel de viento para el caso de suelo rugoso en presencia de una colina de suave pendiente realizadas por Gong and Ibbetson (1989). Aguirre et al. (2009) simularon un episodio de tormenta severa ocurrida en Aranguren, provincia de Entre Ríos, el 26 de enero de 1998. Más detalles acerca del funcionamiento del modelo ARPS pueden encontrarse en Xue et al. (1995, 2000, 2001, 2008).

### 2.3. Fuente de datos para las condiciones iniciales del modelo

En el modelo ARPS pueden utilizarse datos de las características de la superficie del suelo para ser incluidas como condiciones iniciales. Éstos fueron obtenidos a partir de un procesamiento de imágenes del satélite LANDSAT 5 TM que ofrece la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) <http://www.conae.gov.ar> y el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) <http://www.inpe.br>, entre otros organismos, para el día 01 de enero de 2011. Las bandas del espectro visible e infrarrojo cercano poseen una resolución espacial de 30 metros, mientras que la banda del infrarrojo térmico tiene una resolución espacial de 120 metros. Con las bandas del espectro de energía correspondientes al infrarrojo cercano, rojo y verde se realizó una clasificación no supervisada obteniéndose 6 clases de cobertura de suelo diferentes. Posteriormente, cada una de estas clases fue identificada realizando un muestreo a campo de la zona de estudio para definir el tipo de cobertura para cada clase. La Figura 2 muestra la imagen de la clasificación no supervisada de la cobertura del suelo con resolución espacial de 30 metros. El modelo de elevación de terreno (MDE) del área de estudio fue obtenido del banco de datos de U.S. Geological Survey (<http://srtm.usgs.gov>). La Figura 3 presenta el relieve de la zona. A partir de la imagen clasificada (Fig. 2) se obtuvieron datos de la cobertura del terreno como el tipo de vegetación en zonas rurales, zonas urbanas y zonas cubiertas por agua. Estos tipos de vegetación fueron llevados a categorías (Fig. 4) según la tipología de *Olson World Ecosystem Classes* (Olson et al., 1985) y a partir de la correspondencia que proponen los autores (Tabla 1) se obtuvo el mapa del parámetro de rugosidad del suelo (Fig. 5). Para la obtención del Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) se utilizaron los datos del sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) montado en el satélite TERRA. Éstos fueron adquiridos del banco de datos de *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP DAAC) de *USGS/Earth Resources Observation and Science* (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota ([http://lpdaac.usgs.gov/get\\_data](http://lpdaac.usgs.gov/get_data)). La Figura 6 presenta el NDVI. Los valores de energía emitida por los elementos de la superficie de la tierra obtenidos a partir de la imagen de satélite LANDSAT 5 en la banda del infrarrojo térmico fueron llevados a valores de temperatura siguiendo la metodología propuesta por Pérez et al. (2003). La Figura 7 representa la temperatura de la superficie. Para inicializar los perfiles de las variables meteorológicas se utilizaron datos obtenidos de un radiosondeo de Ezeiza correspondiente a las 12 UTC (9:00 hora local argentina) del 01 de enero de 2011. A pesar que la resolución espacial fue llevada a 1 Km, debido a la gran

asimetría de las celdas cercanas al suelo se debió recurrir a un paso de tiempo de 0,2 segundos para asegurar la convergencia a la solución de las ecuaciones de balance de masa, cantidad de movimiento y energía mientras que el paso de tiempo utilizado en la ecuación de la presión fue de 0,1 segundo. Se realizó la simulación de 12 horas comenzando a las 9:00 hs del día 01 de enero de 2011 y hasta las 21:00 hs del mismo día. Se impuso como condición de borde en todo el tiempo de la simulación la condición tipo Neumann o de flujo cero.

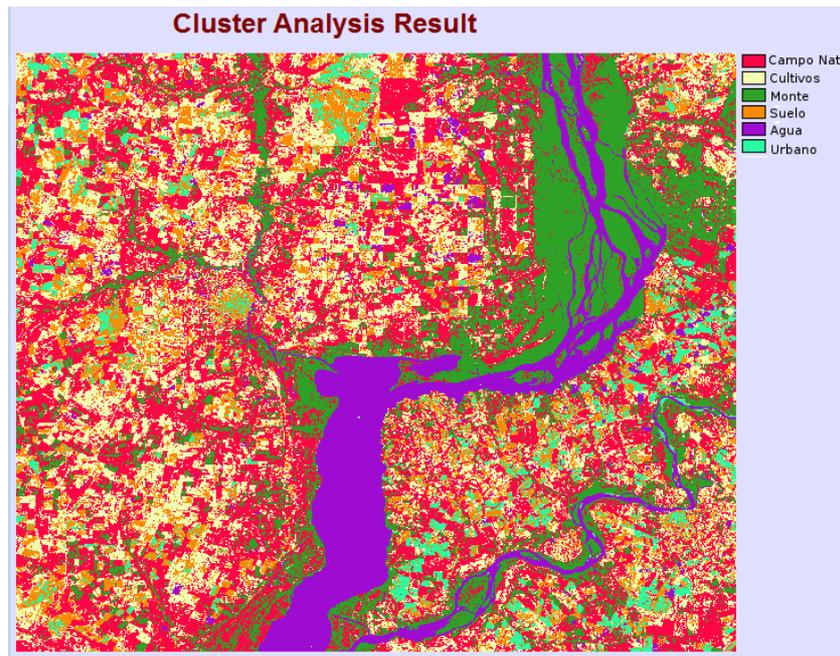


Figura 2: Clasificación no supervisada. Resolución espacial de 30 metros.

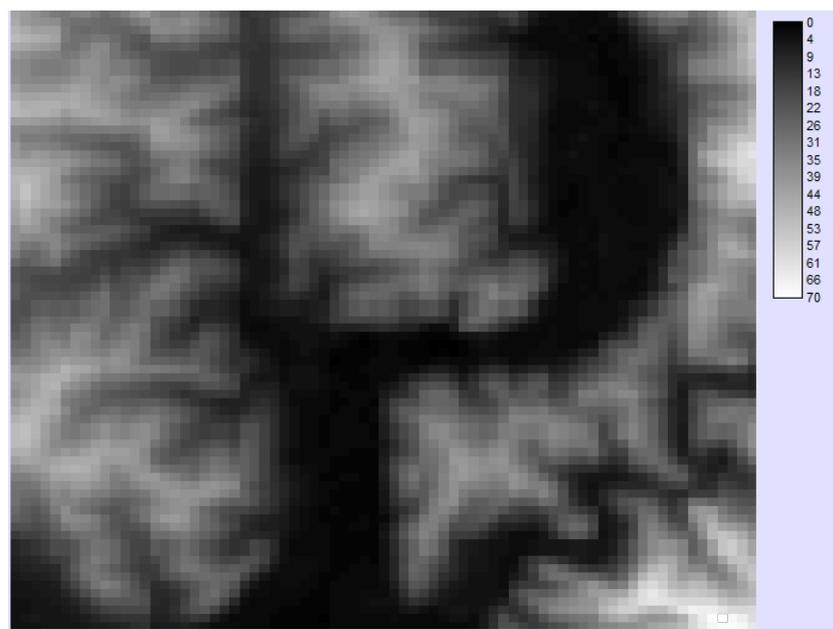


Figura 3: Modelo digital de elevación en metros. Resolución espacial de 1 Km.

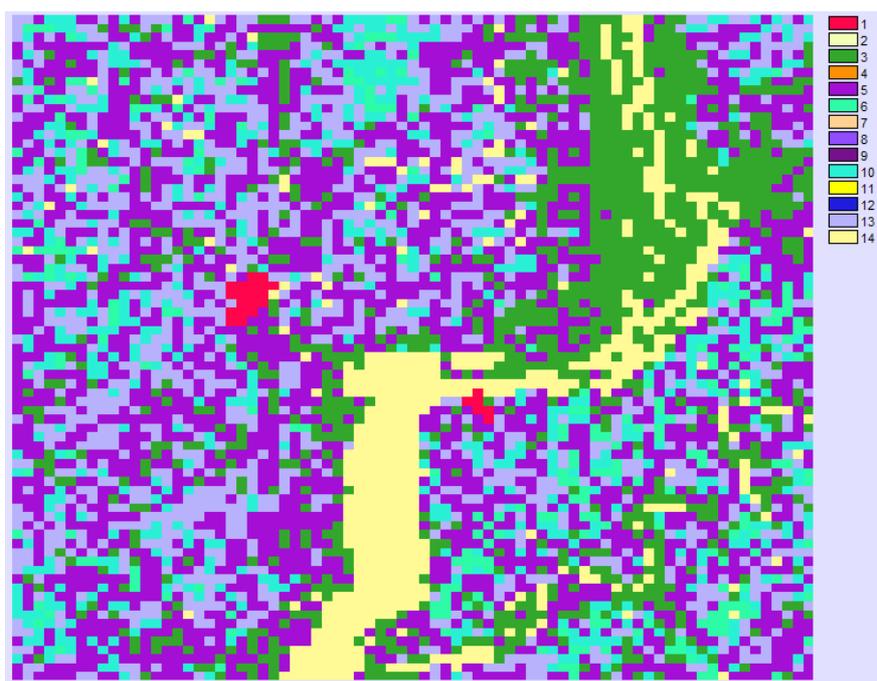


Figura 4: Tipos de cobertura vegetal. Resolución espacial de 1 Km.

Tipo de Vegetación	Definición	Olson World Ecosystem Classes	Herbáceo o Arbóreo	Parámetro de rugosidad
01	Desierto	01 08 50 69 71	Herbáceo	0,002
02	Tundra	42 53	Herbáceo	0,020
03	Gramíneas	16 30 37 40 52	Herbáceo	0,010
04	Gramíneas con vegetación arbustiva	02 41 43 49	Árboles	0,100
05	Gramíneas con vegetación arbórea	58	Árboles	0,150
06	Forestación caducifolia	24 25 26 27 29 56 61	Árboles	0,750
07	Forestación perenne	06 20 21 22 23 46 47 48 57 60 62	Árboles	1,000
08	Bosques	32 33 54	Árboles	2,000
09	Hielos permanentes	17 70	Herbáceo	0,005
10	Cultivos	28 31 36 38 39 55	Herbáceo	0,020
11	Manglares o pantanos	44 45	Herbáceo	0,020
12	Arbustos bajos	59 63 64	Herbáceo	0,060
13	Semidesértico	51	Herbáceo	0,040
14	Agua	00 65 66 67 68 72 73	No corresponde	0,001

Tabla 1: Tipos de vegetación según *Olson World Ecosystem Classes* y parámetro de rugosidad (Olson et al., 1985).

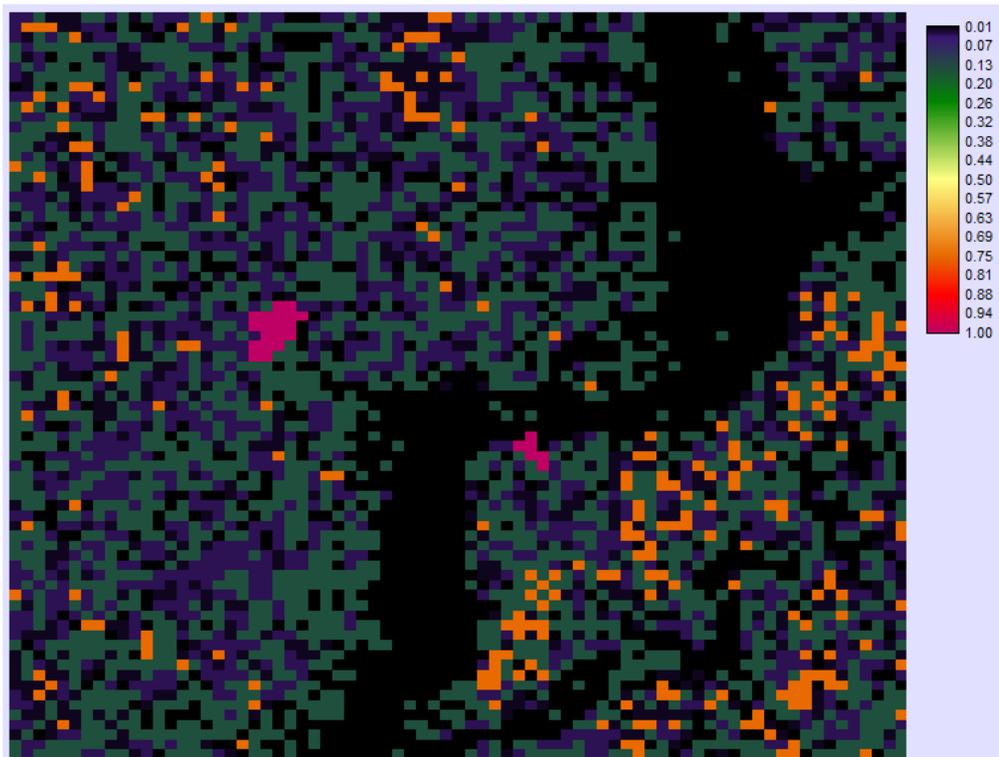


Figura 5: Parámetro de rugosidad del suelo en metros. Resolución espacial de 1 Km.

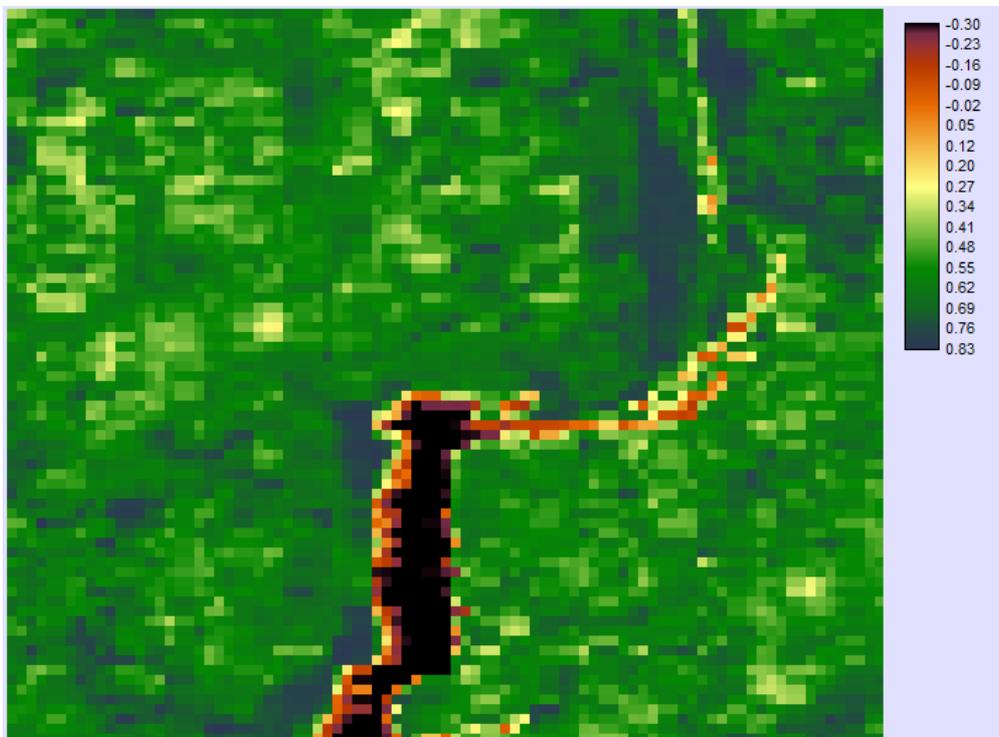


Figura 6: Índice de Vegetación Normalizado. Resolución espacial de 1 Km.

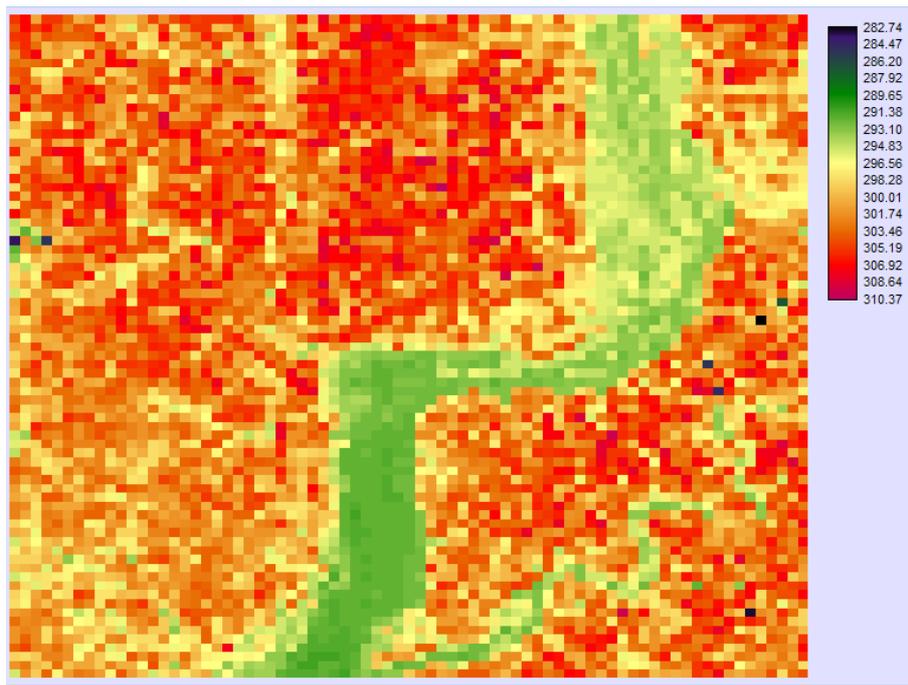


Figura 7: Temperatura de la superficie en  $^{\circ}K$ . Resolución espacial de 1 Km.

### 3. RESULTADOS

Las Figuras 8, 9, 10, 11 y 12 muestran el campo de viento a 10 metros para un sector de la zona de estudio a las 9:00 hs, 12:00 hs, 15:00 hs, 18:00 hs y 21:00 hs respectivamente. En las Figuras 13, 14 y 15 se observan las comparaciones entre los valores de temperatura observados por la estación ESTE, NORTE y SUR respectivamente (símbolos) y simulados por el modelo numérico (líneas) a 2 metros y 40 metros de altura sobre el terreno. Las Figuras 16, 17 y 18 muestran las comparaciones entre los valores de velocidad de viento registrados por las estaciones meteorológicas ESTE, NORTE y SUR respectivamente (símbolos) y los simulados por el modelo (líneas) a 10 metros y 40 metros de altura sobre el terreno. En la Figura 19 se muestra un gráfico de dispersión entre los valores de temperatura observados por todas las torres meteorológicas y los simulados por el modelo. Además, se muestra la recta de regresión lineal y la recta de pendiente unitaria. En este caso, el coeficiente de correlación es de  $R = 0,75$ . La Figura 20 presenta la dispersión entre los valores de la velocidad de viento observados por las tres torres de medición y simulados por el modelo. El coeficiente de correlación correspondiente es de  $R = 0,14$ . La Figura 21 muestra el mismo análisis pero sólo para los datos de las torres NORTE y SUR con un coeficiente de correlación  $R = 0,33$ . Se ha realizado también un análisis de la capacidad del modelo para predecir la dirección del viento. Como este dato es registrado por las estaciones meteorológicas en las 16 direcciones principales de la rosa de vientos y los valores de dirección de viento simulados por el modelo se calculan en grados, se llevaron éstos a las 16 direcciones para luego realizar dicha comparación. El error en este procedimiento de aproximación es a lo sumo de  $\pm 22,5^{\circ}$  por lo que se consideró que el modelo simula bien la dirección del viento cuando la diferencia entre la dirección observada y simulada no supera los  $45^{\circ}$ . Con esta metodología se obtuvo un porcentaje de acierto en la dirección del viento del 66 % para los datos registrados a 40 metros de altura y del 53 % para los registrados a 10 metros de altura considerando todos los registros.

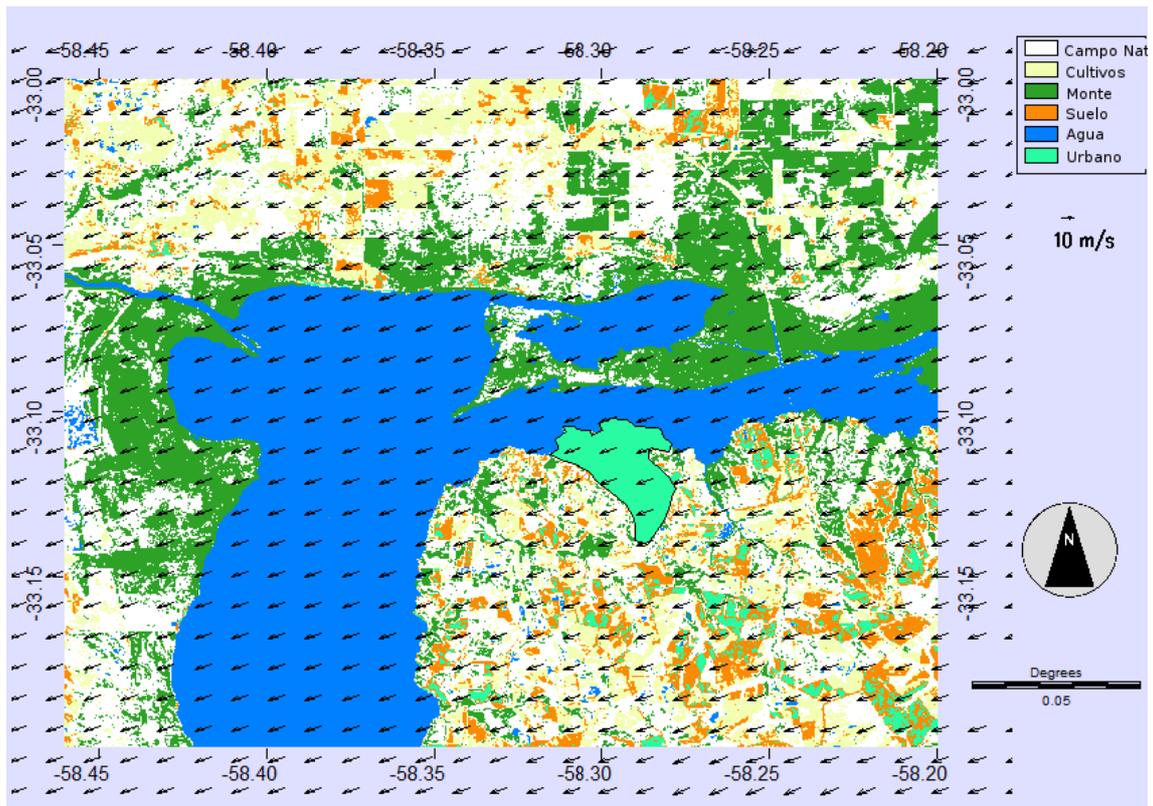


Figura 8: Campo de viento a 10 metros sobre el terreno las 9:00 hs.

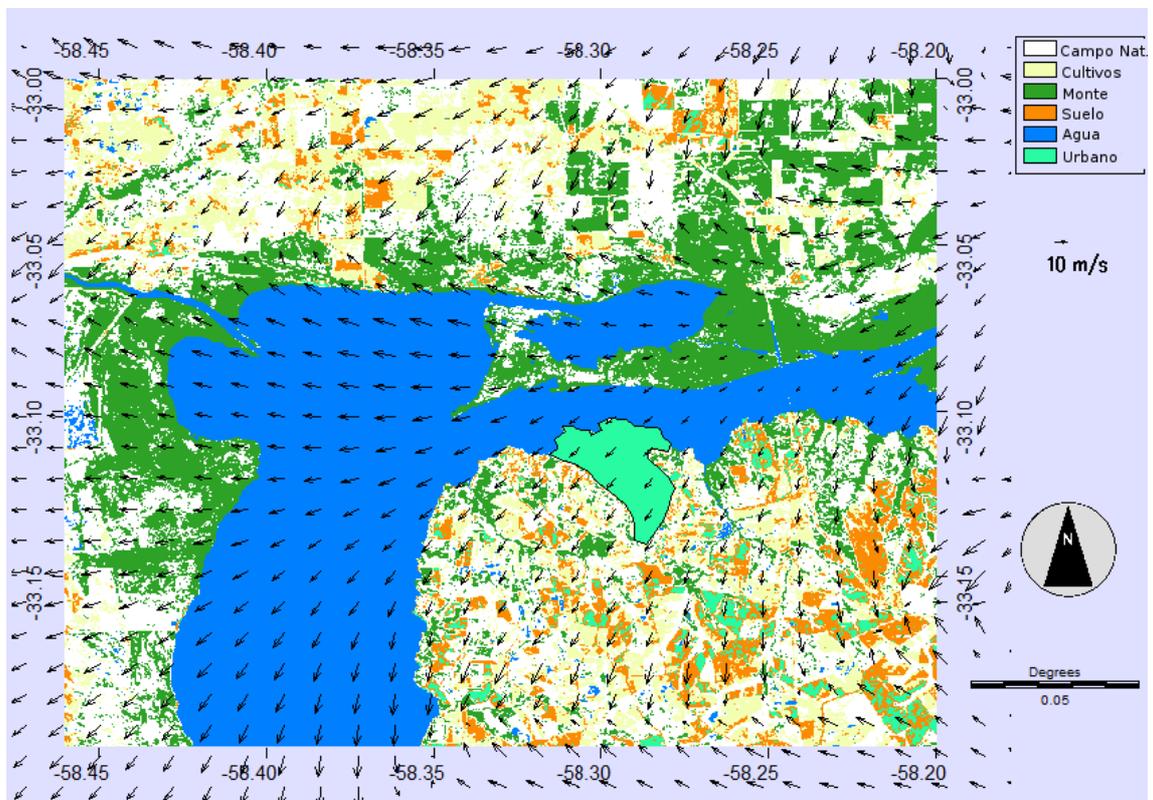


Figura 9: Campo de viento a 10 metros sobre el terreno las 12:00 hs.

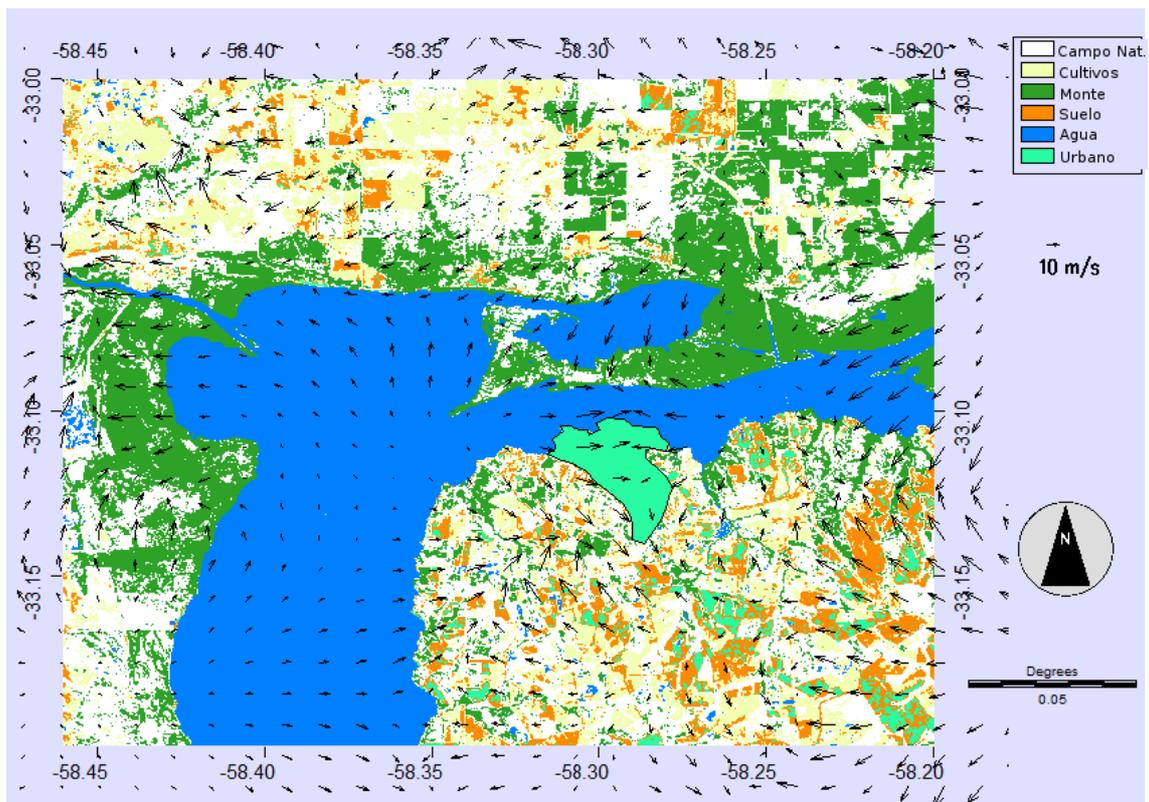


Figura 10: Campo de viento a 10 metros sobre el terreno a las 15:00 hs.

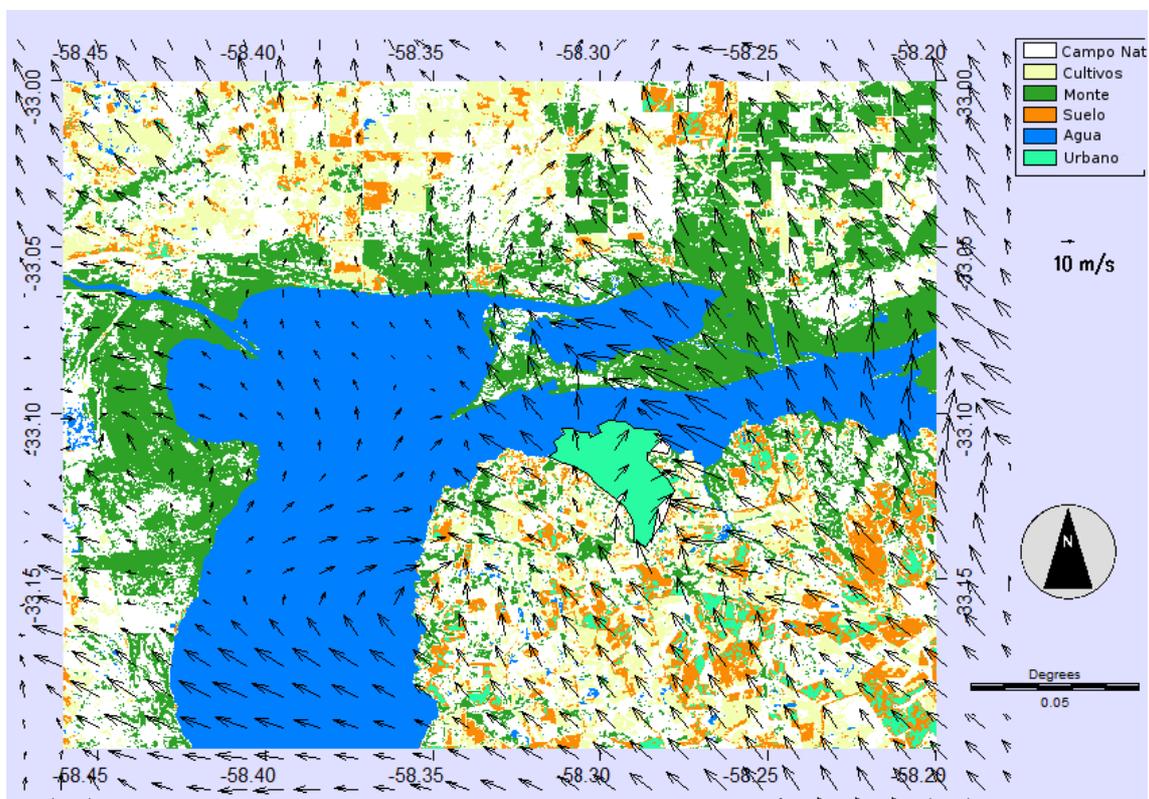


Figura 11: Campo de viento a 10 metros sobre el terreno a las 18:00 hs.

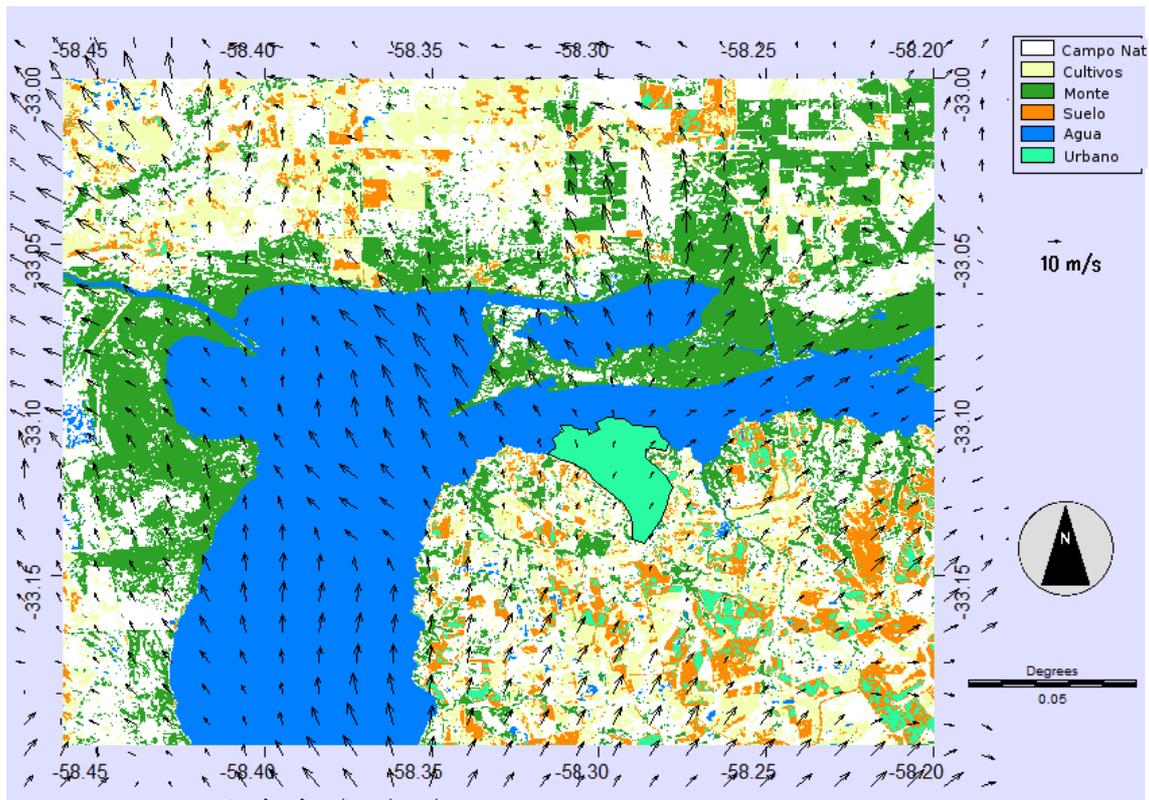


Figura 12: Campo de viento a 10 metros sobre el terreno a las 21:00 hs.

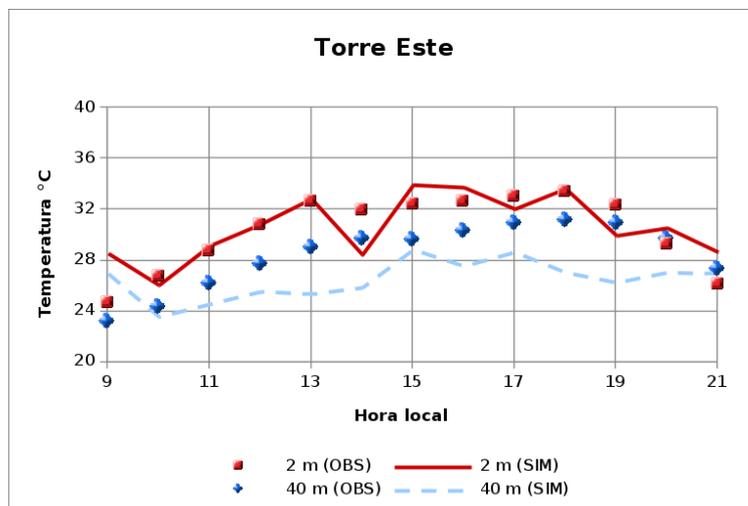


Figura 13: Marcha diaria de la temperatura registrada en la estación meteorológica ESTE (símbolos) y simulada por el modelo (lineas) a 2 metros y 40 metros de altura.

#### 4. DISCUSIÓN

Observando la Figura 8, es evidente que el campo de viento inicializado solamente utilizando un sondeo unidimensional (los datos varían sólo con la altura) no contempla las variaciones en sentido horizontal que pudiesen existir para esa hora del día (9:00 hora local). Por lo tanto no debería tenerse en cuenta en las comparaciones con los datos medidos por las torres. El mismo razonamiento debe hacerse cuando se observa la temperatura de esa misma hora en los dos ni-

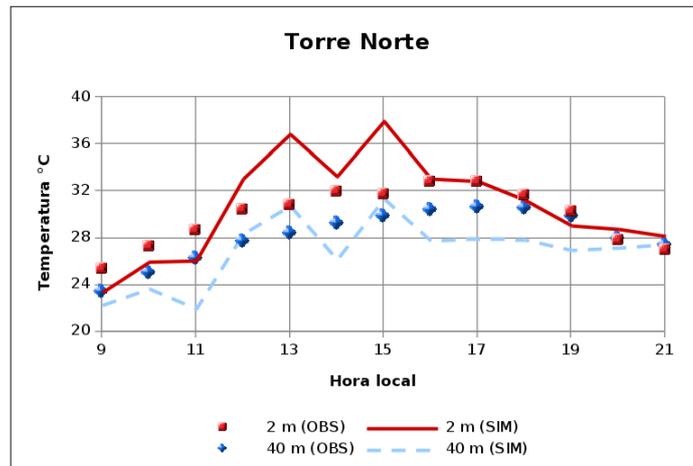


Figura 14: Marcha diaria de la temperatura registrada en la estación meteorológica NORTE (símbolos) y simulada por el modelo (lineas) a 2 metros y 40 metros de altura.

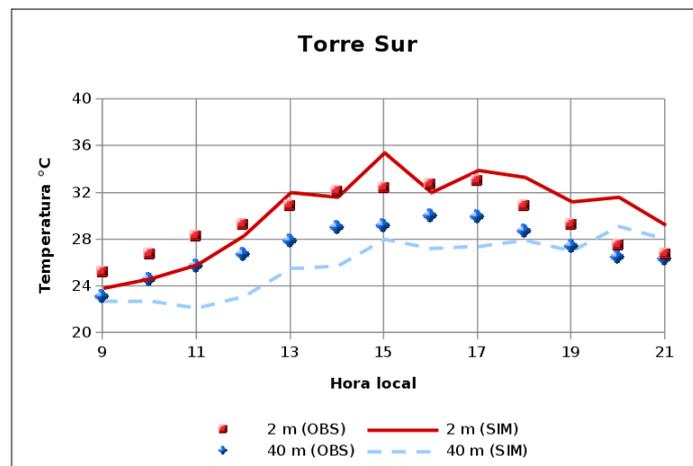


Figura 15: Marcha diaria de la temperatura registrada en la estación meteorológica SUR (símbolos) y simulada por el modelo (lineas) a 2 metros y 40 metros de altura.

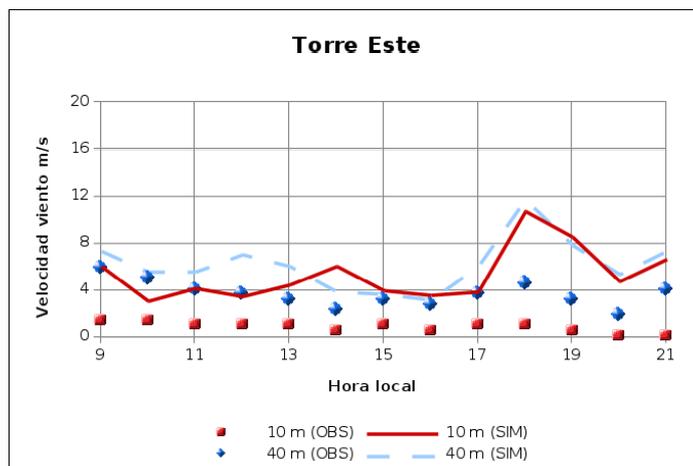


Figura 16: Marcha diaria de la velocidad del viento registrada en la estación meteorológica ESTE (símbolos) y simulada por el modelo (lineas) a 10 metros y 40 metros de altura.

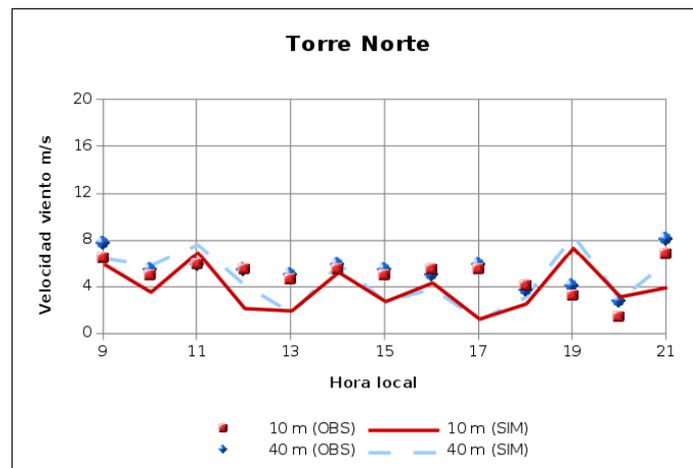


Figura 17: Marcha diaria de la velocidad del viento registrada en la estación meteorológica NORTE (símbolos) y simulada por el modelo (líneas) a 10 metros y 40 metros de altura.

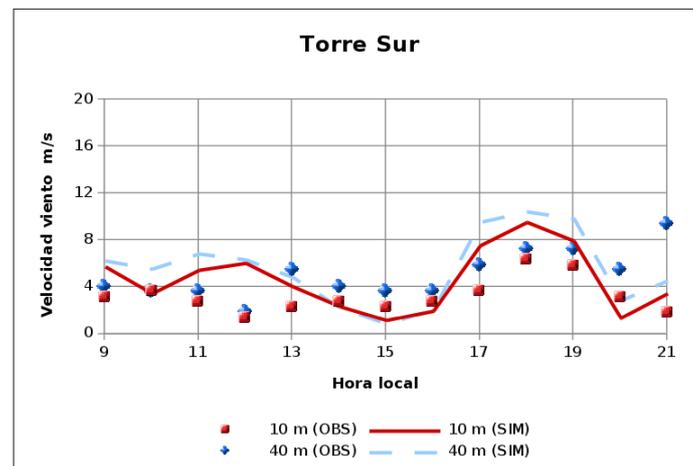


Figura 18: Marcha diaria de la velocidad del viento registrada en la estación meteorológica SUR (símbolos) y simulada por el modelo (líneas) a 10 metros y 40 metros de altura.

veles (2 metros y 40 metros). Bien se podrían haber utilizado los datos de viento y temperatura registrados por las torres de medición a esa hora para realizar un ajuste al inicio de la simulación pero, en este trabajo, se prefirió utilizar los datos de las estaciones meteorológicas solamente a fines de comparar con los resultados simulados.

Se observa en las Figuras 9, 10, 11 y 12 que el campo de viento inicial comienza a modificarse a medida que transcurre el tiempo debido a la interacción entre el flujo de aire en capas bajas y los elementos presentes en la superficie del suelo (zonas con parámetros de rugosidad, temperatura y elevación distintas según los datos obtenidos por los sensores remotos). Además, el modelo simula la variación de la radiación solar global recibida a lo largo del día debido al movimiento aparente del sol sobre el horizonte. Parte de esta energía es utilizada para aumentar la temperatura del suelo, lo que provoca que se intensifique sustancialmente el flujo de calor desde el suelo hacia las capas bajas de la atmósfera en horas cercanas al mediodía. Se observa además, en la Figura 10 (15:00 hora local) que la velocidad del viento disminuye en general pero con mayor énfasis en la zona del Río Uruguay, presentando la típica brisa de costa. Este comportamiento es consecuencia del ciclo diario de la brisa local que se manifiesta en capas bajas cerca de la costa del río. Posteriormente, vuelve a incrementar su velocidad y comienza a persistir la dirección

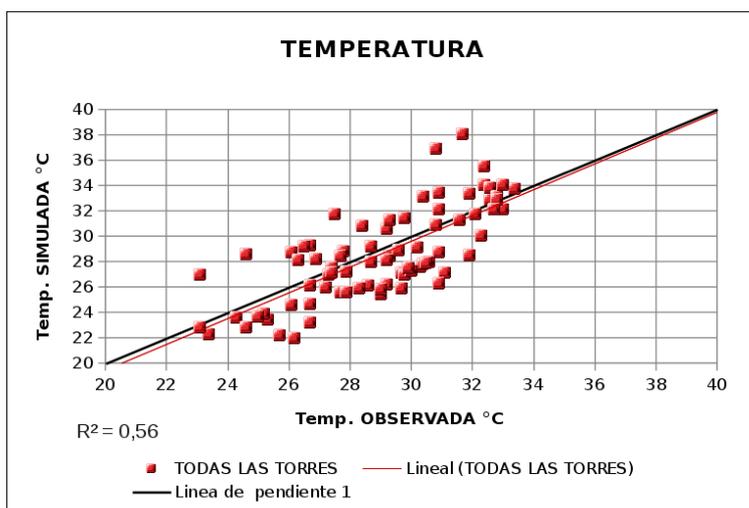


Figura 19: Dispersión entre los valores de temperatura observados por las estaciones de medición y simulados por el modelo (símbolos), línea de regresión y línea de pendiente unitaria.

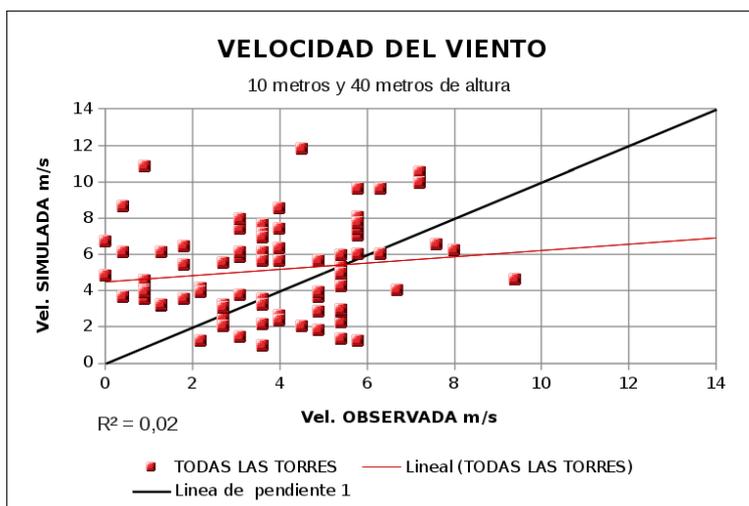


Figura 20: Dispersión entre los valores de velocidad del viento observados por las estaciones de medición y simulados por el modelo (símbolos), línea de regresión y línea de pendiente unitaria.

Sur hacia el final del día (Fig. 12). En las marchas diarias de la temperatura de los tres sitios (Fig. 13, 14 y 15) se observa un buen ajuste. El modelo simula satisfactoriamente la onda termal diaria. Sin embargo, en la Figura 15 puede apreciarse una sobrestimación de la temperatura a 2 metros de altura en la Torre SUR hacia el final del día.

Respecto de las marchas diarias de la velocidad del viento en los tres sitios (Fig. 16, 17 y 18) los resultados de las simulaciones acompañan la evolución diaria que muestran los datos registrados, sin embargo en la Torre ESTE se observa una sobrestimación de mayor magnitud respecto de los demás sitios. Los gráficos de dispersión de la temperatura y la velocidad del viento que muestran las Figuras 19, 20 y 21 ponen de relieve tal situación. Para la temperatura (Fig. 19) se observa un buen comportamiento del modelo ya que la recta de regresión lineal está muy cerca de la línea de pendiente unitaria y el coeficiente de correlación es bueno ( $R = 0,74$ ), mientras que no ocurre lo mismo con la velocidad del viento. Esta última variable está pobremente representada por los resultados de la simulación con un coeficiente de correlación  $R = 0,14$  si

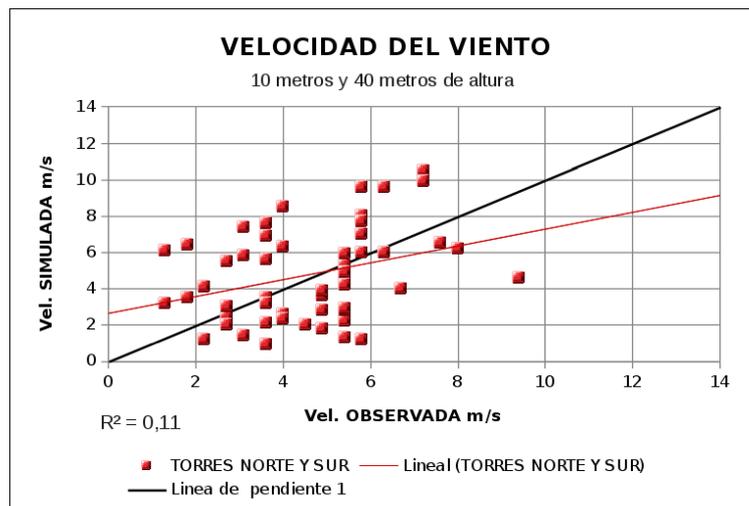


Figura 21: Dispersión entre los valores de velocidad del viento observados por las estaciones de medición NORTE y SUR y simulados por el modelo (símbolos), línea de regresión y línea de pendiente unitaria.

en el análisis se utilizan los datos de todas las torres de medición. Sin embargo, si sólo se usan los datos de las torres NORTE y SUR el ajuste mejora pero no sustancialmente, aumentando el coeficiente de correlación a  $R = 0,33$ . Una posible explicación radica en que las condiciones iniciales de la temperatura del suelo han sido impuestas con una resolución espacial horizontal de 1 Km mientras que para el viento, sólo se impuso un valor por nivel para todo el dominio a partir de datos del radiosondeo. Para la dirección del viento ocurre prácticamente lo mismo que para la velocidad, ya que el porcentaje de acierto es bajo para ambas alturas (66 % a 40 metros y 53 % a 10 metros). Las alternativas para abordar este problema podrían ser la utilización de datos registrados por estaciones meteorológicas como datos adicionales al radiosondeo en las condiciones iniciales o, mejor aún, utilizar condiciones de borde obtenidas a partir de los resultados de modelos de pronóstico regionales como el *Weather Research and Forecasting model* (WRF). No se ha realizado en este trabajo un estudio de sensibilidad de los resultados con las dimensiones de las celdas del mallado utilizado en la simulación. Es posible que los resultados referidos al campo de viento sean mejor ajustados a los datos medidos si se utiliza una celda más refinada en la dirección horizontal como se ha observado en otros casos de simulación con este modelo (Aguirre et al., 2012).

## 5. CONCLUSIONES

La velocidad y dirección de viento en capas bajas para este caso de estudio es pobremente representada por el modelo ARPS, sin embargo la temperatura es bien simulada. Esta diferencia de comportamiento podría deberse a que las condiciones iniciales de viento fueron impuestas solamente utilizando datos de un radiosondeo, mientras que los datos de temperatura del suelo fueron suministrados al inicio de la simulación con una resolución espacial de 1 Km. Aún así, la simulación mostró que la velocidad del viento, en cercanías del río Uruguay, representa el ciclo diario de la brisa local que se manifiesta en capas bajas cerca de la costa.

El modelo simula satisfactoriamente la onda termal diaria de los tres sitios. Las marchas diarias de la temperatura medida y simulada presentaron un buen ajuste, salvo una sobrestimación de la temperatura a 2 metros en la Torre SUR hacia el final del día.

**Reconocimientos:** Este trabajo se ha realizado con el apoyo de los proyectos PICT2008-1417 y PICT2010-2492 ambos de la Agencia Nacional de Promoción Científica (ANPCyT). Los datos ASTER L1B fueron obtenidos a partir de la base de datos de la NASA *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota [http://lpdaac.usgs.gov/get\\_data](http://lpdaac.usgs.gov/get_data).

## REFERENCIAS

- Aguirre C. A. Dispersión et Mélange Atmosphérique Euléro-lagrangien de Particules Fluides Réactives. Application à des cas simples et complexe. *Thèse de doctorat. Université Claude Bernard Lyon 1, France*, **115-2005**, 1-323, 2005.
- Aguirre C. A., A. B. Brizuela, I. Vinkovic and S. Simoëns. A Subgrid Lagrangian Stochastic Model for Turbulent Passive and Reactive Scalar Dispersion. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Ed. Elsevier S. A., **27 (4)**, 627-635, 2006.
- Aguirre C. A., J. M. Martínez Fayó, A. B. Brizuela y M. F. Moyano. Simulación de las Grandes Escalas de Flujo Turbulento sobre una Colina de Suave Pendiente. *Serie Mecánica Computacional, Argentina*, **Vol XXVI**, 1215-1235, 2007.
- Aguirre C. A., R. R. Paz, J. M. Martínez Fayó, G. Rearte y A. Brizuela. Simulación computacional de la tormenta severa ocurrida en Aranguren, Entre Ríos, Argentina. *Serie Mecánica Computacional, Argentina*, **Vol XXVIII**, 1337-1354, 2009.
- Aguirre C. A., R. R. Paz y A. B. Brizuela. Effect of mesh resolution for the simulation of severe thunderstorm: the need for high performance computing and distributed techniques. Submitted to Latin American Applied Research, 2012.
- Germano M., U. Piomelli, P. Moin and W. H. Cabot. A dynamic subgrid-scale eddy viscosity model. *J. of Physics Fluids*, **A 3**, 1760-1765, 1991.
- Gong W. and A. Ibbetson. A wind tunnel study of turbulent flow over models hill, *Boundary Layers Meteorology*, **49**, 113-148, 1989.
- Olson, J. S., J. A. Watts, and L. J. Allison. Major world ecosystem complexes ranked by carbon in live vegetation: a database. *Carbondioxide Information Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge*, **NDP-017**: Tennessee, 1985.
- Pérez A. M., A. Calle y J. L. Casanova. Cálculo de la Temperatura Superficial a partir de Datos LANDSAT TM. *Teledetección y Desarrollo Regional. X Congreso de Teledetección*. Cáceres, España, 95-98, 2003.
- Proctor F. H. The Terminal Area Simulation System. *Volume I: Theoretical Formulation*. NASA Contractor Report. **CR-4046**. 176 pp, 1987.
- Smagorinsky J. General Circulation Experiments with the Primitive Equations. I. The Basic Experiments", *Mon. Weather Rev.*, **91**, 99-164, 1963.
- Xue M., K. K. Droegemeier, V. Wong, A. Shapiro and K. Brewster. ARPS version 4.0 user's guid. *CAPS*, 380 pp. <http://www.caps.ou.edu/ARPS>, 1995.
- Xue M., K. Droegemeier and V. Wong. The Advanced Regional Prediction System (ARPS). A Multi-Scale Nonhydrostatic Atmospheric Simulation and Prediction Model. Part I: Model Dynamics and Verificatio. *Meteorology Atmospheric Physics*, **75**, 161-193, 2000.
- Xue M., K. Droegemeier, V. Wong, A. Shapiro, K. Brewster, F. Carr, D. Weber, Y. Lin and D. Wang. The Advanced Regional Prediction System (ARPS). A Multi-Scale Nonhydrostatic Atmospheric Simulation and Prediction Model. Part II: Model Physics and Applications, *Meteorology Atmospheric Physics*, **76**, 143-165, 2001.
- Xue M., K. Droegemeier and D. Weber. Numerical Prediction of High-Impact Local Weater: A Driver for Petascale Computing, *CRC Press LLC, Chapter 6*, 103-125, 2008.