

Anticipando la Crecida, segundo capítulo

La meteorología y la oceanografía en el sistema de alerta por inundación

Magdalena Falco^{1, 2}, Federico Ariel Robledo^{1, 2}, Diego Moreira^{1, 2}, Elodie Briche², Ana Murgida³, Ignacio Gatti⁴, Mariano Duville⁴, Hugo Partucci³, Blas Amato³, Mariano Re⁵, Lucas Storto⁵, Emilio Lecertura^{5, 6}, Leandro Kazimierski^{5, 6}, Marcos Saucedo^{1, 2}, Claudia Campetella^{1, 2, 7}.

- (1) Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEN-UBA.
- (2) Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, CONICET-UBA - UMI IFAECI/CNRS.
- (3) Programa de Investigación en Recursos Naturales (PIRNA), Departamento de Antropología, Facultad de Filosofía y Letras, UBA.
- (4) Instituto Geográfico Nacional (IGN-Argentina).
- (5) Instituto Nacional del Agua (INA-Argentina).
- (6) Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UBA.
- (7) Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina).

E-mail: moreira@cima.fcen.uba.ar

RESUMEN: Los fenómenos climáticos extremos, la exposición y la vulnerabilidad están influenciados por una amplia gama de factores, incluidos el cambio climático antropogénico, la variabilidad natural del clima y el desarrollo económico. Los fenómenos naturales extremos pueden contribuir a la ocurrencia de desastres, pero los riesgos de desastre no solo obedecen a fenómenos físicos. Los riesgos de desastres surgen de la interacción entre fenómenos meteorológicos o climáticos extremos, junto con fenómenos sociales tales como la vulnerabilidad social y su distribución en el territorio. Los impactos relativos a los fenómenos climáticos extremos poseen una multicausalidad, que deriva en situaciones de riesgo o en desastres cuando existe población afectada, y se producen alteraciones graves en la organización de las comunidades involucradas. Entre dichos fenómenos destacamos la sudestada que se caracteriza por la ocurrencia de vientos persistentes, de intensidad moderada a fuerte, proveniente del sur-sudeste, generalmente acompañado con lluvias. En general las alertas meteorológicas por sudestadas o lluvias intensas son para regiones amplias y por un lapso de tiempo extendido, es decir no son para una determinada localidad o barrio, ni para momentos temporales fijos.

En este trabajo se presentan los avances del proyecto interdisciplinario e interinstitucional “Anticipando la crecida” que tiene como objetivo principal el de contribuir en la gestión de riesgos ante desastres asociados a inundaciones por sudestadas y lluvias intensas a través del dialogo con los diferentes actores de la Ribera, Partido de Quilmes. En este capítulo tratamos uno de los objetivos específicos que fue el de identificar las necesidades de pronóstico meteorológicos, así como la comunicación del mismo, para contribuir en la gestión ante dichos eventos. Además se presentan estadísticas preliminares de extremos de algunas variables meteorológicas de las estaciones disponibles en la zona de estudio.

EL PROYECTO ANTICIPANDO LA CRECIDA

Hay evidencias de que diferentes lugares del mundo, y en particular Sudamérica, están experimentando cambios significativos en la intensidad y/o frecuencia de eventos extremos -tales como lluvias e inundaciones-. El aumento en la ocurrencia de estos eventos acarrea impactos en diversos ámbitos de la población y en regiones extensas, en especial en las poblaciones con mayor vulnerabilidad socio-económica. Entre dichos fenómenos extremos, destacamos la sudestada que se caracteriza por la ocurrencia de vientos persistentes provenientes del sector sur-sureste, de intensidad moderada a fuerte, que puede estar acompañado con lluvias. Este es un fenómeno local que afecta el estuario del Río de la Plata provocando importantes crecidas del río e inundaciones por dicho evento. Las crecientes del Río de la Plata y sus afluentes (arroyos) debido a sudestadas o lluvias intensas en el área metropolitana del Gran Buenos Aires afectan a gran parte de la población que reside en el margen del río y sus arroyos.

El Proyecto Anticipando la Crecida surge a fines de 2012 a partir de la motivación de estudiar y comprender los procesos meteorológicos y oceanográficos involucrados en el fenómeno de inundaciones producidas por lluvias intensas y sudestada en el barrio de La Ribera de Quilmes, Provincia de Buenos Aires. Se complementó dicho estudio con una componente social para comprender el evento desde la mirada antropológica y geográfica, que se presenta en otros trabajos (capítulos). El objetivo general del proyecto "Anticipando la Crecida" es el de contribuir en la gestión de riesgos y el sistema de alerta ante desastres asociados a inundaciones por sudestadas y lluvias intensas en el barrio La Ribera del Partido de Quilmes y brindar información sobre el origen, las causas y la predicción de dichos eventos para reducir el riesgo social. Los estudiantes, docentes e investigadores que participan en el proyecto tienen como objetivos específicos:

- Identificar las necesidades de pronóstico meteorológico para la adecuación de la gestión de riesgos ante desastres como las inundaciones por sudestadas y lluvias intensas, a través de la interacción con los diferentes actores involucrados -vecinos, tomadores de decisiones de instituciones gubernamentales y no gubernamentales-.
- Desarrollar una herramienta de pronóstico meteorológico para contribuir en la gestión de riesgo en barrio La Ribera de Quilmes y transferirlo al Servicio Meteorológico Nacional.
- Generar un espacio educativo/científico dentro de escuelas o centros comunitarios para fomentar la vocación científica en los jóvenes y proveer de información acerca de los eventos meteorológicos que afectan su barrio.
- Formar capacitadores entre los estudiantes y los vecinos, para usar la herramienta de pronóstico meteorológico desarrollada como uno de los elementos de prevención de riesgos y desastres.

El proyecto se basa en investigaciones y actividades participativas entre los actores locales involucrados, tales como los habitantes de la región, funcionarios públicos y diferentes instituciones de investigación y desarrollo, junto con la colaboración de estudiantes, profesionales e investigadores pertenecientes a un amplio rango de disciplinas.

El proyecto explora los impactos sociales y ambientales asociados a las inundaciones y articula con estrategias de adaptación a tales eventos, con el conocimiento acerca de su predicción y las herramientas que se utilizan actualmente para su pronóstico. Se espera que el enfoque interdisciplinario integre el conocimiento científico (en el área de las ciencias sociales y naturales) acerca del fenómeno, con el conocimiento de la propia comunidad -personas e instituciones locales-. El enfoque interdisciplinario e intersectorial del proyecto permite obtener un diagnóstico que integra el saber de las ciencias exactas sobre el fenómeno, y el de las ciencias sociales sobre el sistema social amenazado y el saber de la propia comunidad y sus instituciones. Jóvenes investigadores, graduados, alumnos y docentes del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEN-UBA), del Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CONICET-UBA), del Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente del Instituto de Geografía (PIRNA) de la Facultad de Filosofía y Letras (UBA), del Instituto Nacional del Agua (INA), y del Instituto Geográfico Nacional (IGN), junto con tomadores de decisiones locales (Defensa Civil de Quilmes y diferentes áreas del Municipio de Quilmes), comenzaron con el desarrollo de la idea. Se presentaron dos proyectos de extensión universitaria con el fin de conseguir fondos para realizar este trabajo, uno a la convocatoria “Exactas con la Sociedad 4” y otro a “UBANEX - Malvinas Argentinas”, ambos proyectos fueron aprobados. El proyecto adquirió mucho interés dentro de la comunidad científica a raíz de las inundaciones que afectaron a la Ciudad de Buenos Aires y La Plata el 2 y 3 de abril de 2013. A partir de ese momento se sumaron al proyecto, investigadores del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Servicio de Hidrografía Naval (SHN), como así también de la Cruz Roja Argentina e Internacional.

En este trabajo se presentan los avances y resultados de la componente meteorológica y oceanográfica, segundo capítulo, que se dedicó al estudio del fenómeno mirado desde estas áreas, tratando de responder los objetivos propuestos. En particular se estudiaron los eventos locales producidos en el barrio de La Ribera de Quilmes en donde se localizó el proyecto que funcionó también como prueba piloto con el propósito de ser replicado en otros lugares. Para ello se realizaron reuniones con personal de Defensa Civil y de la Municipalidad de Quilmes quienes aportaron valiosos datos e información sobre los eventos de inundaciones producidas en el lugar. Asimismo se han recolectado datos históricos de variables meteorológicas y oceanográficas de diferentes fuentes y lugares de observación (viento, lluvia, etc). A continuación se hace una breve descripción sobre las inundaciones producidas por lluvias intensas y sudestadas y las herramientas elaboradas para contribuir en la gestión del riesgo.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio de este proyecto es La Ribera de Quilmes (Figura 1), que se encuentra entre la autopista Buenos Aires-La Plata y el Río de la Plata (RDP) a la altura de la bajada de Quilmes. En el barrio viven más de 10.000 personas, de las cuales 3.247 habitantes están en condición de elevada vulnerabilidad social de acuerdo al censo social de Quilmes 2010.



Figura 1.- Barrio La Ribera de Quilmes, área de estudio del Proyecto. La línea punteada delimita la región.

LA INUNDACIÓN POR LLUVIAS Y SUDESTADA

El objetivo específico del proyecto fue el de identificar las necesidades de pronósticos meteorológicos, así como la comunicación del mismo, para contribuir en la gestión ante dichos eventos. Se realizaron estadísticas preliminares de extremos de algunas variables meteorológicas de las estaciones disponibles en la zona de estudio. Junto con el equipo de ingenieros hidráulicos, los vecinos del barrio y el personal de Defensa Civil de Quilmes se identificaron los fenómenos meteorológicos y oceanográficos que pueden provocar inundaciones en el barrio, los eventos identificados están asociados a:

- 1) Viento intenso persistente del sector Sur-sureste (“Sudestada”)
- 2) Lluvias intensas
- 3) Lluvias no intensas + Vientos débil/moderado persistente
- 4) Vientos débiles a moderados + olas

La “Sudestada” es un fenómeno característico del RDP, producido por el efecto del viento sobre el agua. El RDP es uno de los estuario más grandes y caudalosos del mundo, tiene una orientación Oeste-Noroeste - Este-Sudeste y tiene un ancho que varía desde los 40 km en su parte superior hasta los 220 km en su boca. Este fenómeno se forma como consecuencia de fuertes interacciones entre el río y la atmósfera, siendo los principales forzantes de la sudestada la dirección e intensidad del viento a lo largo del estuario, las ondas de tormenta y las descargas de los ríos tributarios en menor medida (Simionato et al 2004; Dragani y D’Onofrio, comunicación personal). Simulaciones numéricas realizadas en el RDP (Simionato y otros 2004) muestran que hidrodinámica está fuertemente influenciada por la dirección del viento y la marea.

Desde un punto de vista atmosférico, debido a la orientación del RDP, la sudestada está asociada principalmente a situaciones sinópticas que presentan vientos de moderados a intensos del sector sudeste en capas bajas de la atmósfera. Esta dirección es la más favorable para el aumento del nivel del río sobre la costa argentina. La orientación de los vientos sobre el estuario está asociada a la circulación atmosférica en capas bajas, la cual puede representarse a partir de los campos de presión en superficie por ser la dirección del viento aproximadamente paralela a las isobaras. Diferentes investigadores han estudiado la ocurrencia e intensidad de estos eventos junto con la circulación atmosférica que los acompaña (Celemin (1984);

Ciappesoni y Salio (1997); Escobar y otros (2004); Possia y otros (2003)). Como resultados, los autores encuentran que la mayoría de las sudestadas están asociadas a un patrón atmosférico con presiones altas al sur del RDP y una zona de baja presión relativa o profunda al norte. Esta circulación atmosférica en niveles bajos es anómala con respecto a la circulación media, por lo que las sudestadas son una consecuencia de anomalías extremas de circulación en los niveles bajos atmosféricos (Escobar y otros, 2004).

Desde un punto de vista oceánico, debido a la acción de vientos del S-SE, se produce un mayor ingreso de agua de la que normalmente es aportada por la marea al RDP. La onda de tormenta (ODT) es la modificación del nivel del agua producida por cambios bruscos de presión atmosférica y fundamentalmente por efecto de arrastre del viento. Estas ondas modifican a la marea astronómica dando origen a inundaciones o bajantes. Su duración puede variar desde algunas horas hasta dos o tres días, ocurriendo las más importantes en regiones relativamente poco profundas, cuando el viento sopla durante varios días sobre superficies extensas. Una forma de calcular a la ODT es efectuando la diferencia entre la altura horaria de marea observada y su correspondiente predicha (marea astronómica). Los valores positivos, serán aquellos que originen ondas de tormenta causantes de inundaciones (Figura 2), mientras que los negativos originarán ondas de tormenta causantes de bajantes afectando la navegación y el suministro de agua potable (Dragani y D'Onofrio, comunicación personal).

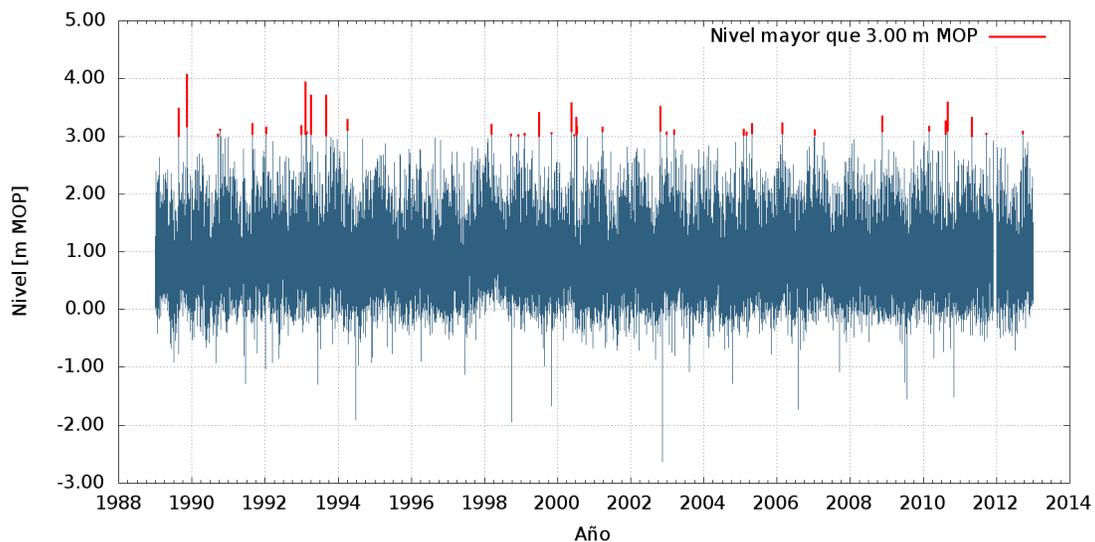


Figura 2.- Serie de nivel del agua registrado por el mareógrafo de Palermo (SHN), las barras rojas indican los eventos en los cuales el nivel superó los 3 mts. cota máxima de nivel de la defensa costera de La Ribera de Quilmes.

Se ha relevado la disponibilidad de estaciones meteorológicas en el Partido de Quilmes que permitan el monitoreo de situaciones de crecidas. Actualmente el SMN no dispone de observaciones de superficie en ese partido, sin embargo se han identificado tres estaciones automáticas que transmiten en tiempo real información meteorológica y se encuentran instaladas en el partido de Quilmes. Una es la estación automática de AySA ubicada en la toma de agua sobre el río a altura de Bernal. La estación mide intensidad y dirección del viento, temperatura, altura del río, corriente, precipitación, presión y humedad, sin embargo

los datos históricos no se encuentran disponibles en internet cada 5 minutos en tiempo real, se han iniciado las gestiones para obtener dichas observaciones. La segunda estación meteorológica identificada en el distrito es un instrumento automático de un aficionado de la zona que realiza observaciones desde el 1° de enero de 2008 en Ezpeleta partido de Quilmes. La estación registra, dirección e intensidad de viento, temperatura, presión, humedad, temperatura y precipitación en la escala de minutos, los datos históricos están disponibles en internet (<http://www.climasurgba.com.ar/>). La tercera estación solo realiza mediciones de viento y se ubica en la punta del muelle del club pejerrey de la Ribera de Quilmes. (<http://www.delviento.com/html/Spot.aspx?id=8&wid=8>). Esta estación es fundamental para el monitoreo de sudestadas. Se están realizando gestiones para conseguir los datos históricos de viento de esa estación.

Si bien el periodo de datos de la estación de Ezpeleta presentan un periodo corto para realizar una climatología, dado que son los únicos datos históricos disponibles en el distrito, se ha realizado una climatología básica (Figura 3) y un análisis de extremos de precipitación (Tabla 1). La climatología de precipitación muestra máximos en verano, el orden de magnitud de valores es semejante con los disponibles para Ezeiza y La Plata del Servicio Meteorológico Nacional. Sin embargo, la media de febrero en Ezpeleta presenta valores elevados (160 mm) en comparación con las estaciones antes mencionadas. Para analizar esta situación se analizó la situación particular de febrero que se presenta en la Figura 4.

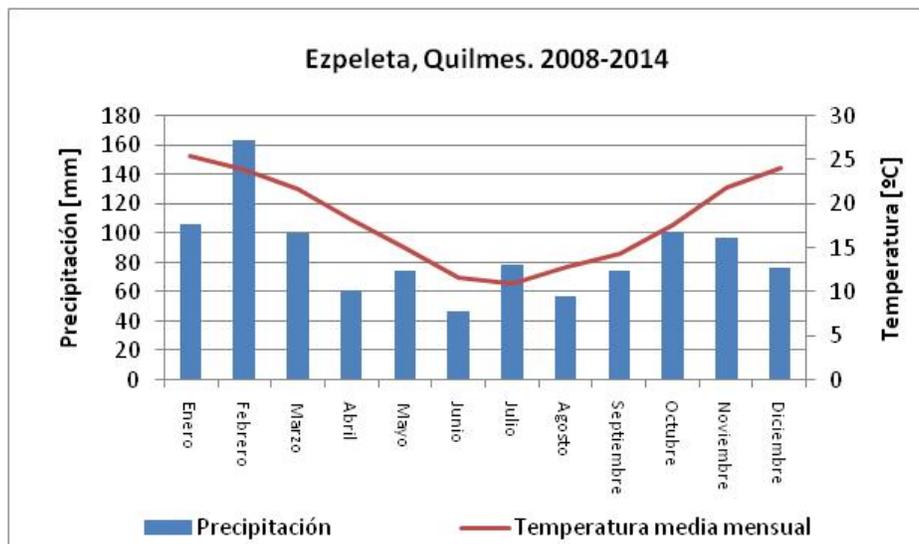


Figura 3.- Medias mensuales de temperatura y lluvia. Periodo: 1° de enero 2008 a 1° julio 2014.

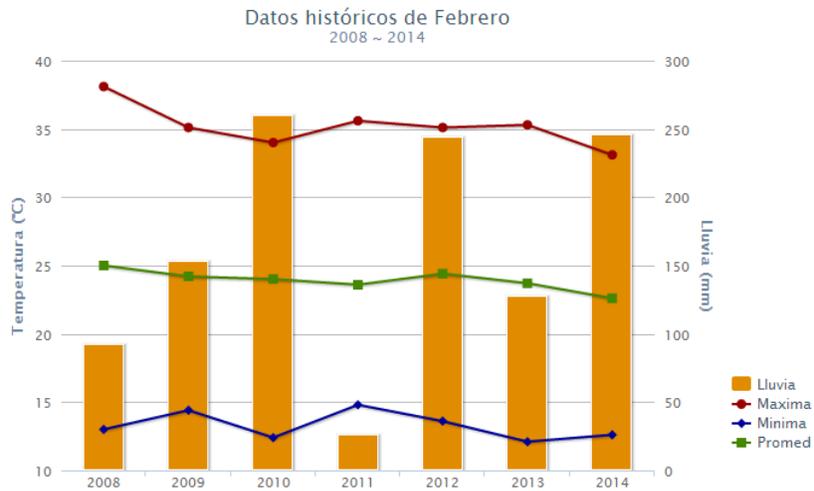


Figura 4.- Medias mensuales de febrero de temperatura media, máxima y mínima y lluvia. Periodo: 1° de enero 2008 a 1° julio 2014.

La precipitación de febrero en la estación automática de Ezpeleta muestra una variabilidad interanual marcada, e.g. los años 2010, 2012 y 2014 muestran acumulados de precipitación alrededor de 250 mm, en cambio para febrero 2011 dicho valor fue de tan solo 35 mm. Esto explica los valores elevados de precipitación media para el periodo de la estación.

La Tabla 1 muestra el ranking de eventos extremos medidos en Ezpeleta entre el 1° de enero de 2008 y 1° de julio de 2014. Los 15 eventos de mayor precipitación para el periodo en estudio registra precipitaciones superiores a los 50 mm, siendo el evento del 7 de febrero de 2014 el registro de mayor precipitación. Se consultó a Defensa Civil del Municipio sobre este evento, y manifestaron que se reportaron varios evacuados, debiéndose habilitar 11 centros de evacuados de zonas cercanas a los arroyos del partido. Mientras que en la zona de La Ribera no se registraron evacuados.

Tabla 1.- Ranking de eventos extremos de precipitación diaria medidos en Ezpeleta entre 1 de enero de 2008 y 1 de julio de 2014.

| Posición | Precipitación Total | |
|----------|---------------------|------------|
| | [mm] | Fecha |
| 1 | 125,1 | 07/02/2014 |
| 2 | 111,9 | 29/10/2012 |
| 3 | 89,9 | 06/12/2012 |
| 4 | 82,7 | 01/02/2012 |
| 5 | 77,4 | 21/07/2009 |
| 6 | 67,8 | 24/12/2009 |
| 7 | 65,4 | 03/02/2010 |
| 8 | 63,9 | 11/07/2013 |
| 9 | 63,8 | 07/09/2013 |
| 10 | 62,4 | 02/04/2013 |
| 11 | 60,3 | 12/07/2014 |
| 12 | 59,9 | 03/05/2013 |
| 13 | 58,2 | 21/03/2010 |
| 14 | 56,7 | 12/08/2011 |
| 15 | 56,1 | 19/02/2010 |

ANÁLISIS DE SITUACIONES SINÓPTICAS CON EVENTOS DE SUDESTADA ASOCIADAS

El SMN y el SHN son los encargados de emitir los alertas de inundación por sudestadas y lluvias intensas. Para emitir el alerta, el personal de estas instituciones considera tanto las salidas de los modelos de pronóstico a corto plazo, i.e. 3 a 5 días, como la combinación de factores naturales que desencadenan este tipo de fenómeno. Sin embargo, para poder realizar un alerta correcto de inundación por sudestadas y/o lluvias intensas, es necesario comprender no solo cuáles fueron los factores naturales involucrados, sino también los aspectos geográficos y antropogénicos como por ejemplo, el estado de saturación de la capa freática, basura en arroyos, obstrucción de alcantarillas pluviales, etc. El grupo de Anticipando la Crecida dedicado a la componente meteorológica y oceanográfica, recopiló la información disponible sobre eventos naturales que generaron inundaciones importantes en la costa bonaerense. A partir de los datos obtenidos, se realizó una tabla con las principales crecidas registradas en el período 1989 - 2012 (Tabla 2).

Tabla 2.- Principales crecidas del RDP registrado por el mareógrafo de Palermo y la hora de la medición máxima. Además se incluye la precipitación acumulada entre el día 0 y el día 5 del evento.

| Fecha | Hora | Nivel MOP [m] | Nivel IGN [m] | Total Precipitación (mm/5días) |
|----------|-------|---------------|---------------|--------------------------------|
| 12/11/89 | 15:00 | 4,07 | 3,51 | 26,4 |
| 07/02/93 | 19:00 | 3,93 | 3,37 | 98,3 |
| 03/04/93 | 13:00 | 3,70 | 3,14 | 87,2 |
| 30/08/93 | 18:00 | 3,70 | 3,14 | 39,2 |
| 01/09/10 | 22:00 | 3,59 | 3,03 | S/D |
| 16/05/00 | 21:00 | 3,57 | 3,01 | 177,0 |
| 20/10/02 | 05:00 | 3,51 | 2,95 | 15,0 |
| 20/08/89 | 09:00 | 3,48 | 2,92 | 154,2 |
| 29/06/99 | 06:00 | 3,40 | 2,84 | 9,2 |
| 15/11/08 | 21:00 | 3,34 | 2,78 | S/D |
| 08/07/00 | 12:00 | 3,32 | 2,76 | 8,6 |
| 01/05/11 | 19:00 | 3,32 | 2,76 | S/D |
| 06/04/94 | 17:00 | 3,29 | 2,73 | 157,7 |
| 13/08/10 | 09:00 | 3,26 | 2,70 | S/D |
| 24/02/06 | 16:00 | 3,23 | 2,67 | 96,6 |
| 31/08/91 | 10:00 | 3,21 | 2,65 | 37,1 |
| 24/04/05 | 19:00 | 3,21 | 2,65 | 2,9 |

| | | | | |
|----------|-------|------|------|-----|
| 10/03/98 | 19:00 | 3,20 | 2,64 | 0,2 |
| 31/12/92 | 22:00 | 3,18 | 2,62 | 1,0 |
| 25/02/10 | 01:00 | 3,16 | 2,60 | S/D |

Los profesionales del área de las ciencias naturales utilizan dos metodologías para analizar eventos extremos: por un lado se puede analizar cada evento de forma individual, estudiando las condiciones ambientales que generaron esta situación extrema (Possia y otros 2003) y por otro lado se puede realizar una climatología del fenómeno a partir de un análisis de todos los casos estudiados para comprender patrones comunes y caracterizar los diferentes eventos (Celemin (1984); Ciappesoni y Salio (1997); Escobar y otros (2004)). A continuación se realiza un análisis meteorológico sencillo de un evento individual.

Caso particular: Sudestada de Mayo del 2000

Dentro de la literatura se pueden encontrar diferentes definiciones de Sudestada y diferentes maneras de clasificar la intensidad del evento. Sin embargo, en todos los casos el evento de Sudestada se presenta como un fenómeno asociado a vientos persistentes del segundo cuadrante y/o anomalías positivas persistentes de la ODT. Si bien la precipitación no entra en la definición de sudestada, su ocurrencia durante estos eventos aumenta el riesgo y la probabilidad de inundación.

La crecida del RDP asociada al evento de Sudestada de Mayo del 2000 generó grandes daños en las zonas bajas de la ciudad de Buenos Aires y alrededores. Este evento fue analizado por Possia y otros (2003) y se caracterizó por estar asociado a una ciclogénesis que nace en la costa de Chile, propagándose y desarrollándose de manera inusual hacia el noreste (litoral argentino) y generando precipitación y vientos muy intensos en el RDP. Para analizar la circulación atmosférica asociada al evento se analizaron las variables de presión en superficie y viento en 10 metros considerando los datos de Reanálisis II (Kanamitsu y otros 2002) y los datos de precipitación derivados de datos satelitales obtenidos a partir de los cinco instrumentos del TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission; <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/trmm-tropical-rainfall-measuring-mission>).

El máximo de crecida del RDP se midió durante el día 16/05/2000 a las 21:00 hs (ver Tabla 2), por lo que se realiza un seguimiento de la circulación en la tropósfera baja y de la precipitación diaria para el período del 14/05/2000 – 17/05/2000 (Figura 5). En los campos se observa el desarrollo de un ciclón (ciclogénesis) sobre el litoral argentino, con una etapa de desarrollo (días 14/05/2000 y 15/05/2000) donde el centro de baja presión se intensifica y madurez (16/05/2000) donde el ciclón llega a su máximo desarrollo. Este ciclón produce fuertes vientos del este-sudeste sobre el estuario del RDP. El transporte de aire cálido y húmedo del norte en su rama este sobre Buenos Aires, junto con aire frío y seco en su rama oeste sobre los Andes genera inestabilidad en la atmósfera, produciendo precipitaciones intensas en la región del evento. En este caso, la precipitación es otro factor relevante en el aumento del nivel del río y la inundación de las áreas afectadas.

Cuando el ciclón entra en estado de oclusión (día 17/05/2000), el decaimiento y la propagación hacia el este hace genera una rotación de los vientos, finalizando el evento de Sudestada.

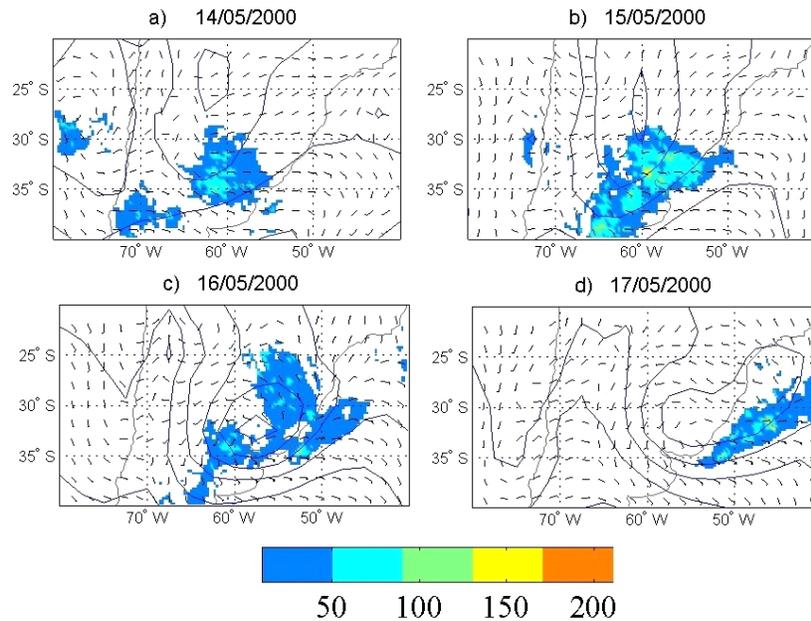


Figura 5.- Patrón de circulación y precipitación asociados al evento extremo de sudestada y crecida del RDP de Mayo del 2000. Campos medios diarios de presión en superficie (hPa; contornos), junto con la circulación atmosférica a 10 m (barbas) y precipitación diaria (mm/día) para los días a) 14/05/2000, b) 15/05/2000, c) 16/05/2000 y d) 17/05/2000.

SEGUIMIENTO EN TIEMPO REAL, PRONÓSTICOS Y ALERTAS

Si bien el análisis de eventos pasados es importante para mejorar la predicción de una inundación, es uno de los tantos elementos a tener en cuenta para un alerta eficiente. Por un lado, es fundamental que haya una validación de los modelos de pronóstico y los modelos numéricos de olas que se utilizan para la predicción del tiempo. Por otro lado, la transmisión del alerta tiene que ser efectiva, tanto desde las instituciones nacionales hacia las instituciones locales, como desde las de esta última a la población local. Finalmente, es necesario que haya información en tiempo real disponible acerca de las condiciones atmosféricas y oceánicas que pueda ser fácilmente interpretado por la población con el fin de tomar las medidas necesarias que minimicen los daños y las pérdidas ocasionadas por las inundaciones.

Actualmente, tanto el SMN como el SHN tienen información actualizada acerca de los datos de medición de sus estaciones meteorológicas/mareográficas, junto con el pronóstico meteorológico y de nivel del río (<http://www.smn.gov.ar>, <http://www.hidro.gov.ar>, respectivamente). Además, Agua y Saneamientos Argentinos S.A (AYSA) tiene tres estaciones meteorológicas y de nivel de marea con información diaria libre para cualquier usuario en las localidades de Berazategui, Bernal y la CABA (<http://www.aysa.com.ar>) y Prefectura Naval tiene datos actualizados de nivel de río en diversos puntos de los principales ríos del país

(<http://www.prefecturanaval.gov.ar>). Sin embargo, actualmente no existe una herramienta web que reúna toda la información acerca del tiempo y su pronóstico en un mismo sitio. Por esta razón, el equipo de Anticipando la Crecida, junto con personal técnico del CIMA están generando una herramienta accesible a toda la población de fácil lectura e interpretación de las condiciones meteorológicas y mareográficas, integrando toda la información que está actualmente disponible online.

Por otro lado, el equipo de Anticipando la Crecida, junto con el Grupo de Pronóstico del DCAO (UBA) realizan un seguimiento diario de las condiciones del tiempo presente y predicciones futuras. En este contexto, el equipo realiza seguimientos horarios en el caso de un posible evento de Sudestada, realiza visitas a la región afectada y está en contacto permanente con Defensa Civil de la localidad de Quilmes. A continuación se muestra como ejemplo el seguimiento de un evento de Sudestada que afectó la localidad entre los días 13/09/2013 - 16/09/2013.

Caso particular: Sudestada de septiembre del 2013

El evento de sudestada de septiembre del 2013 fue de intensidad moderada a baja que sin embargo generó crecidas del RDP y anegamiento en la zona de la ribera del partido de Quilmes. En esta ocasión se realizó un seguimiento de los datos meteorológicos y de altura de nivel del río de la estación de AYSA de Bernal (Figura 6). Al analizar las series horarias de las variables, se encuentra que la medición máxima del nivel del río es de 2,91m a las 2:00 hs del día lunes 16/09/2013. Suponemos que el evento de sudestada hubiese sido más severo en el caso de una menor variación en la dirección del viento y una mayor intensidad. El máximo crecimiento del río ocurre antes del máximo en la serie de precipitación, corroborando que esta última variable puede ser un factor importante pero no el determinante a la hora de pronosticar un evento y la hora del máximo crecimiento del río. Sin embargo, la serie de altura del río tiene un ciclo semi-diurno asociado a la marea que se encuentra predicha de manera anticipada (Tablas de marea del SHN), por lo que sería un buen alerta de cuando puede ocurrir la máxima crecida considerando esta variable.

El contacto con Defensa Civil de la localidad de Quilmes permitió obtener información acerca de la región afectada por la crecida del río, la cual generó un anegamiento de las calles, junto con la cantidad de evacuados. La cota de anegamiento provista por esta institución se muestra de forma gráfica en la Figura 7. En particular, en este evento hubo 27 personas evacuadas, y se habilitó un centro de evacuación por 48 horas para alojarlas temporalmente. Además, se registró un corte de luz de 10 horas y se suspendieron las clases en las escuelas locales.

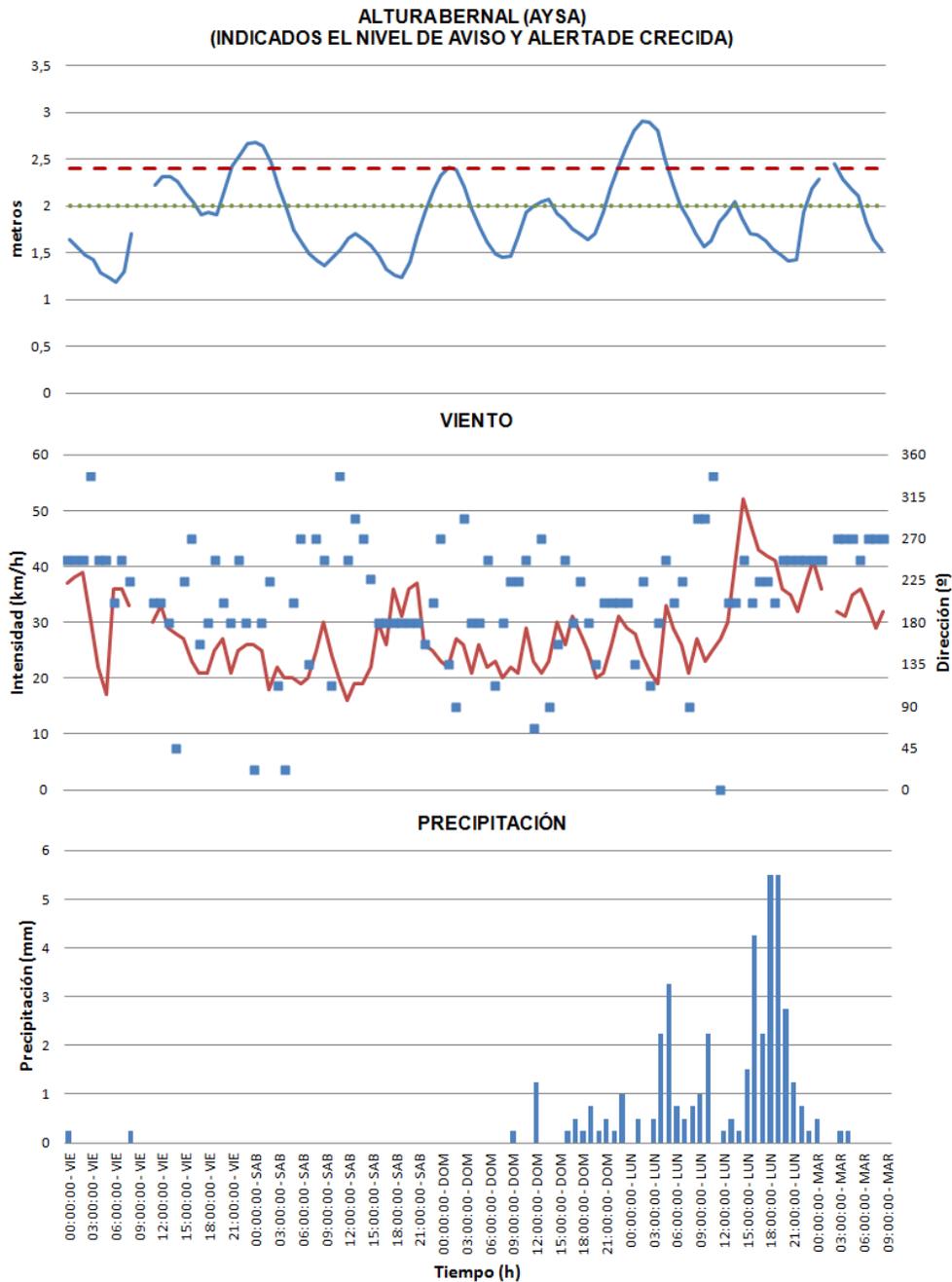


Figura 6.- Panel superior: Serie temporal de nivel de altura de río (m), dirección e intensidad del viento (km/h y °, respectivamente). Panel inferior: precipitación (mm/h) entre los días 13/09/2013 al 17/09/2013 durante un evento de sudestada. Datos obtenidos del mareógrafo de AYSA ubicado en la localidad de Bernal.



Figura 7.- Imagen satelital del barrio de La Ribera del Partido de Quilmes y la región de anegamiento durante el evento de Sudestada de Septiembre del 2013.

Como se comentó al comienzo de la sección, es fundamental realizar una validación de los pronósticos de altura de río. A lo largo del evento de septiembre del 2013 se hizo un seguimiento del aviso y alerta de la altura del río del SHN en Buenos Aires junto con los datos medidos en la estación mareográfica de Palermo (Figura 8). Al considerar el nivel crítico de crecida de 2,5 m, se observa que el mismo no fue pronosticado para la primera crecida crítica (14/09/2013) pero el alerta fue acertado en la crecida máxima (16/09/2013). Finalmente, hubo un tercer alerta emitido que resulto en una crecida menor al nivel crítico. Hacer un análisis y una validación de los pronósticos de niveles de río emitidos por los modelos numéricos de olas que son utilizados por el SMN y el SHN, son de utilidad con el fin de detectar desvíos sistemáticos de estos modelos.

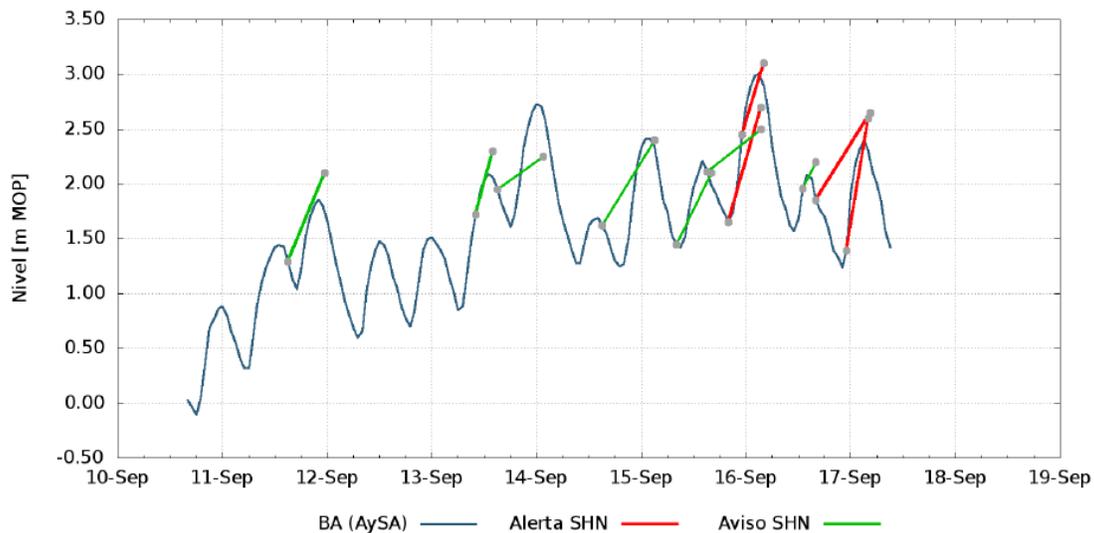


Figura 8.- Nivel de altura del río registrado en la estación mareográfica de Palermo (SHN) y aviso y alertas emitidos por el SHN para septiembre de 2013.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

El proyecto Anticipando la Crecida es un proyecto que busca mejorar el sistema de alerta temprano de inundaciones por sudestadas y/o lluvias intensas. Hasta ahora se ha logrado formar un grupo interdisciplinario de especialistas de diversas áreas de las ciencias tales como meteorólogos, oceanógrafos, geógrafos y antropólogos. Además, se ha logrado una colaboración estrecha entre los profesionales de todas las áreas y los tomadores de decisiones del Municipio de la Localidad de Quilmes. El mismo fue situado en ese barrio y puede ser replicado en otras regiones afectadas por eventos similares. Por otro lado, gracias a la colaboración entre los profesionales de diversas instituciones se ha logrado la recopilación de abundante información acerca de eventos de inundaciones extremas, la cual está siendo analizada por los participantes del proyecto. Esta información será útil para mejorar las actuales herramientas de pronóstico.

Desde el punto de vista meteorológico/oceanográfico, se está avanzando en la generación de una herramienta web de información centralizada y georeferenciada sobre altura del nivel del río disponible, la cual actualmente se presenta de forma dispersa, no referenciada y tabulada en diversos sitios. Además, se continuará realizando seguimientos de eventos de sudestada y estudios climatológicos sobre este fenómeno. Por último, se instalará una estación meteorológica en Defensa Civil de Quilmes y se capacitará al personal y a estudiantes para leer los datos de forma correcta y poder realizar sus propias predicciones. Asimismo, se ha identificado una meta científica concreta. En base a la información de viento horario de estaciones costeras del RDP del SMN y con los datos horarios del mareógrafo de Palermo se planteó la meta de elaborar algoritmos que permitan diseñar una herramienta de pronóstico de altura del río. La propuesta es elaborar patrones de intensidad, persistencia y dirección del viento para el RDP y provincia de Buenos Aires a partir

de análisis de componentes principales. Para esto se ha realizado ha comenzado una colaboración con matemáticos de la Universidad de Moreno.

Agradecimientos. Los avances de este proyecto fueron posibles gracias al esfuerzo de todos los participantes, quienes desde su área aportó su granito de arena y un poco más. Se le agradece a los Programas "Exactas con la Sociedad 4" (FECN) y la 5ta convocatoria de UBANEX (UBA) por el financiamiento del Proyecto.

REFERENCIAS

- Celemín, A. H. (1984). Meteorología práctica. Edición del autor, Mar del Plata.
- Ciappesoni, H., y Salio, P. (1997). Pronóstico de sudetada en el Río de la Plata. Meteorológica, 22(2), 67-81.
- Escobar, G., Vargas, W., y Bischoff, S. (2004). Wind tides in the Rio de la Plata estuary: meteorological conditions. International Journal of Climatology, 24(9), 1159-1169.
- Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S. K., Hnilo, J. J., Fiorino, M., & Potter, G. L. (2002). Ncep-doe amip-ii reanalysis (r-2). Bulletin of the American Meteorological Society, 83(11), 1631-1643.
- Possia, N., Ceme, S. B., y Campetella, C. (2003). A diagnostic analysis of the Río de la Plata Superstorm, May 2000. Meteorological Applications, 10(01), 87-99.
- Simionato CG., Dragani, WC, Meccia, V y Nuñez, M. (2004). A numerical study of the barotropic circulation of the Río de la Plata estuary: sensitivity to bathymetry, the Earth's rotation and low frequency wind variability. Estuarine, Coastal and Shelf Science 61, 261-273. doi:10.1016/j.ecss.2004.05.005