



SEGUNDO CONGRESO LATINOAMERICANO
DE AREAS METROPOLITANAS
Y SEMINARIO DE TRABAJO

"ECOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE
EN LAS GRANDES CIUDADES"

PONENCIA:

PREDICCIÓN Y ALERTA DE INUNDACIONES URBANAS
CON EL EMPLEO DE SENSORES REMOTOS

Octubre de 1988. -

TEMA:II: "Prevención de catástrofes y modos de actuación frente a las mismas".

Lic. Alberto FLORES

Lic. Mario Alberto HERNANDEZ

Lic. Inés VELASCO

"PREDICCIÓN Y ALERTA DE INUNDACIONES URBANAS CON EL EMPLEO DE SENSORES REMOTOS"

Lic. Alberto FLORES*
Lic. Mario Alberto HERNANDEZ**
Lic. Inés VELASCO*

R E S U M E N

Uno de los trastornos ecológicos en las grandes ciudades es la ocurrencia de fenómenos de inundación, de consecuencia muchas veces catastróficas, magnificadas por la trama urbana en paisajes poco favorables desde el punto de vista hidrológico. En este trabajo se propone un sistema de predicción y alerta a tiempo real que combina el uso del sistema satelital meteorológico GOES, con una red urbana y periurbana de medición automatizada de lluvias y caudales, sobre la base de cartas de riesgo hídrico que tengan en cuenta, además de las condiciones naturales, las modificaciones antrópicas producidas y sus efectos esperables.

La operación de un sistema como el propuesto permitiría un alerta temprano sobre el cual operar las acciones de la defensa civil y la reacción de los entes responsables de los servicios urbanos (transportes, electricidad, comunicaciones, asistencia sanitaria, educación).

Su implementación para Buenos Aires y su conurbano es posible a un costo comparativamente reducido, respecto a los perjuicios económicos y sociales que acaecieron con las severas inundaciones de los últimos tiempos.

I. INTRODUCCION

El crecimiento demográfico de la ciudad de Buenos Aires y su Conurbano, como ocurre con el producido en otras grandes metrópolis, trajo aparejado un efecto de graves consecuencias como el de las inundaciones urbanas, no sólo por la catástrofe momentánea sino por las se-

* Departamento Meteorología. Fac. de Cs. Exactas y Naturales UBA.

** CONICET - Fac. de Ciencias Naturales y Museo UNLP - SVOA.

cuelas sociales y económicas que involucra.

De recurrencia dispar, este fenómeno se abate periódicamente sobre la metrópoli con resultados calamitosos y pérdida de vidas. Sus -- más recientes expresiones, como las del 31 de mayo de 1985, 23 de marzo de 1987 y de marzo de 1988 reiteran la necesidad de una intervención al menos preventiva de posibles efectos.

Es conocido lo dificultoso que resulta un ordenamiento hidrológico en áreas urbanas de alta densidad poblacional, tanto por la aceleración de los escurrimientos por impermeabilización urbana, como por la desaparición del rol de los colectores naturales, la nivelación topográfica, el trasvase de cuencas por construcción de desagües pluviales, el inconveniente diseño de muchos de ellos, la incorporación al drenaje de áreas periféricas no previstas, los obstáculos urbanos, - - etc.

Todo esto implica que, pese a los esfuerzos que se realicen, la magnitud de las consecuencias lejos de atemperarse, crezcan progresivamente tornando cada vez más difícil o hasta imposible su corrección.

Sin embargo hay un aspecto que es posible mejorar en 'grado sumo: la producción de un alerta oportuno que permita operar el sistema de defensa civil y optimizar la respuesta a la calamidad.

En este trabajo se plantea conceptualmente un sistema de predicción y alerta que tiene en cuenta no solamente los aspectos operacionales o teóricos sino también particularidades locales. Una de ellas es la concurrencia en el área objeto, de ascensos en el nivel de base - - (Río de La Plata) motivados por vientos del cuadrante Sudeste que, junto con una pluviosidad elevada, acrecienta los efectos negativos del fenómeno. Otra resulta del entubamiento de la casi totalidad de los -- arroyos que surcaban el ejido capitalino y parte del conurbano lo - -- cual, a diferencia de otras grandes ciudades, elimina el rol de los alveos en su función de colector superficial de los derrames.

Las nuevas tecnologías disponibles hacen factible la puesta en marcha de un sistema como el propuesto; a continuación se han de enumerar los principales aspectos de definición.

II. COMPONENTES DEL SISTEMA

Gran parte de los sistemas de alerta de crecidas se basan en modelos que simulan la respuesta del medio ante tormentas de distinta intensidad, frecuencia y duración, conocidas las características morfológicas e hidrológicas de las cuencas. Mediante una red de medición de lluvias, automatizada, convencional o aún con teletransmisión, se despierta un alerta en función del desarrollo de la precipitación.

En este caso, se incorpora el factor predictivo utilizando la información secuencial provista por los satélites meteorológicos, en este caso los GOES con capacidad para detectar la génesis de las tormentas y seguir su desarrollo. Este es la primer componente: Uso de los satélites meteorológicos con capacidad de predicción.

La segunda componente es una red monitorea de registraci3n y transmisi3n de informaci3n terrestre, esencialmente de lluvia, vientos y -- temperatura. Esta red debe ser dise1ada de tal manera que exceda el -- 1rea objeto e incluya a las cuencas fluviales de aporte que, en el caso de Buenos Aires y excepci3n hecha del sistema fluvial del Plata, -- son de reducida extensi3n.

Una tercer componente que puede o no estar en coincidencia con la geometrfa de la anterior, es la red monitorea de medici3n y transmisi3n de caudales no solamente los fluviales (para el ejemplo r3os Reconquista, Matanza, Aos. Sarand3, de las Piedras-San Francisco, Sto. Domingo y otros) en distintos tramos, ya que deben incluirse los transportados por los desag3es pluviales. Una parte de la red la constituye el propio R3o de La Plata, por el mencionado efecto combinatorio de -- las "sudestadas" con las tormentas copiosas.

Otra componente de car1cter b1sico, es la carta de riesgos h3dricos que marcar1 aquellas zonas de alto, medianamente alto y mediano -- riesgo h3drico respecto a los anegamientos, resultante de las caracterfsticas morfol3gicas e hidrogr1ficas naturales y de los cambios introducidos por el hombre en el sistema natural. De din1mica mucho m1s lenta que las anteriores, ya que los cambios en el grado de riesgo se producen a intervalos m1s largos, requiere de una actualizaci3n peri3dica -- conforme la actividad antr3pica incorpora modificaciones. Su utilizaci3n marcar1 las zonas donde concentrar los esfuerzos para producir el aviso y operar las previsiones.

Estas cuatro piezas del sistema requieren de una quinta, que es

la central operativa del alerta (COA). En ella se centraliza la recepción y procesamiento de la información relevada por los satélites meteorológicos, la proveniente de la red (o redes) monitoras terrestres, se radica la carta de riesgos y se operan los modelos productores del grado de alerta a establecer, además de ser responsable de la emisión de los niveles de aviso y la incorporación de información durante el fenómeno para perfeccionar el sistema a tiempo.

III. USO DE LOS SATELITES METEOROLOGICOS

En los últimos 25 años el desarrollo de dos nuevas tecnologías en el campo de la meteorología han impactado positivamente el pronóstico del tiempo operativo, que es el tema inherente al sistema. Estas son: a) el pronóstico numérico; b) los satélites meteorológicos. La primera lo hizo en los pronósticos de mediano plazo (1 a 3 días) y la segunda en los de corto plazo (1 a 12 horas) y en especial debido al sistema GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites).

El sistema GOES es operado por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y está constituido por dos satélites: GOES-E en 75°W y GOES-W en 135°W para observación, y un tercero en 110°W de alternativa y para la transmisión de datos.

Los satélites GOES proveen imágenes en la banda visible del espectro durante el día con una frecuencia de media hora y una resolución de 1 Km. Estas imágenes son obtenidas a través de la radiación reflejada por la superficie de la tierra y las distintas formaciones nubosas. También se obtienen imágenes en la banda del infrarojo durante las 24 hs., con la misma frecuencia que las imágenes visibles, pero con menor resolución (8 Km).

Esta información permite un seguimiento casi continuo de la atmósfera y la determinación y evolución de las temperaturas de las nubes, del suelo y de los océanos. A través de la aplicación de esta información se han desarrollado técnicas que posibilitan estimaciones de la precipitación areal acumulada, que resultan sumamente valiosas dada la creciente demanda de datos pluviométricos para el manejo del recurso hídrico y el increíble deterioro de las redes convencionales de observación.

Por otra parte, y esto es precisamente lo que más interesa en esta propuesta, esta información permite detectar la génesis de tormentas y seguir su evolución, y a través del análisis de ciertos rasgos - característicos, un pronosticador entrenado puede preparar pronósticos a corto plazo (nowcasting) del desarrollo de convección intensa, proceso que conduce a la ocurrencia de grandes lluvias.

Desde 1983 en NOAA-NESDIS se vienen desarrollando técnicas de pronóstico de precipitación que proveen no sólo la probabilidad de ocurrencia, sino también la de cantidad y hora. En ese proyecto se utiliza la información convencional conjuntamente con la satelitaria y se elaboran boletines que emiten la cantidad de precipitación estimada hasta el momento y la perspectiva a tres horas, difundidos unos 20 a 30 minutos después de la última observación satelitaria.

La oportunidad de haber realizado trabajos de investigación en este tema, permite presentar esta propuesta por resultar totalmente posible el empleo de la información de los mismos satélites. Actualmente se están ajustando las técnicas de trabajo para el área Sudamericana - (Velasco, 1987; González y Velasco, 1987; Flores, 1986).

Las aplicaciones de la información proveniente de los satélites meteorológicos va más allá de la predicción y el alerta al permitir la detección del estado de humedad del suelo (Flores y Carlson, 1987). Este aspecto es importante de conocer, especialmente para las áreas metropolitanas situadas en las grandes llanuras, puesto que sería un factor de ajuste para la carta de riesgos hídricos descrita en VI.

IV. RED MONITORA HIDROMETEORICA

Existe amplia bibliografía y experiencia sobre redes de medición de parámetros hidrometeorológicos, por lo cual solamente se harán las consideraciones generales para el caso aquí planteado.

Las estaciones pretendidas son de registro de lluvia, temperatura, presión barométrica, vientos, con capacidad de teletransmisión, para permitir una operación desde la COA en tiempo real. Su utilidad es múltiple, ya que se propone emplearlas para: a) control terrestre de las predicciones emanadas del uso de satélites meteorológicos, b) control de evolución de las tormentas ya desarrolladas, c) calibrado y optimización de los modelos operados por la COA, d) interés general como

parte de una red mayor.

La teletransmisión es la condición esencial y puede ser provista por cualquiera de los medios conocidos (VHF, satélites, estela de meteoritos) de acuerdo a los condicionantes económicos u operativos.

En general, la red monitora sería parte de una mayor, de modo de que los costos de instalación no resultarían elevados por tratarse de una densificación impuesta por las características de las áreas urbanas problema. La información pluviográfica es básica para este caso, - pero también lo es la termográfica, ya que se utiliza para ajustar permanentemente los pronósticos al igual que la barográfica. La atinente a los vientos (cuadrante y velocidad) resulta particularmente importante en el ejemplo planteado para Buenos Aires, por la mencionada incidencia de los vientos SE sobre las aguas del estuario y de estas sobre el escurrimiento superficial. Información hidrométrica subterránea puede también ser de interés (Hernández, 1975).

Obviamente, de disponerse de una red regional o territorial como la planteada por la Dirección Provincial de Hidráulica para Buenos Aires con capacidad de teletransmisión, los resultados serán optimizados al posibilitarse seguir la evolución de las tormentas con testigos terrestres más consistentes.

V. RED MONITORA FLUVIOMETRICA

En realidad se pretende no sólo obtener información instantánea de los caudales escurridos fluvialmente, sino también de los transportados por los colectores pluviales que, en el caso de Buenos Aires y alrededores, son en muchos casos arroyos entubados.

También en este aspecto se requiere de una teletransmisión de la información: la fluviométrica a partir de datos limnigráficos (convertidos en erogaciones en m^3/seg) y los desagües pluviales desde la instalación de caudalímetros en lugares estratégicos.

Además de proveer información para el seguimiento del fenómeno, esta microred permite advertir acerca de la ocurrencia de derrames inminentes, orientar las tareas de la defensa civil e incluso situar - - aquellos puntos donde ocurren obstrucciones cuya atención inmediata -- pueda mejorar situaciones puntuales. En algunos lugares, los puntos de esta red pueden coincidir con los de la hidrometeórica a fin de optimi

zar y economizar el sistema de almacenaje y transmisión de los datos.

Esta red, que puede proveer información permanente desde estaciones limnigráficas en los arroyos principales, puede ser activada para emitir información continua únicamente en momentos en que se pronostican tormentas de importancia. Esto es particularmente importante para el caso de los grandes colectores pluviales, que no requieren de una operación continua. Se destaca aquí el rol de la predicción temprana por el uso de los satélites meteorológicos, para la señal de activación de esta red.

VI. CARTA DE RIESGOS HIDRICOS

Los aspectos hasta aquí expuestos hacen a los elementos dinámicos del problema, reconocidos a través de las técnicas satelitarias e hidrométricas. Pero existe otro elemento indispensable, que es el rol de la morfología en relación con las inundaciones. De dinámica mucho más lenta dependiente de los cambios que el hombre introduzca, la forma de expresión es la carta de riesgos hídricos, donde se definen áreas con distintos niveles, desde muy bajo o casi inexistente a alto pasando por los estadíos intermedios (Benavídez et al., 1987).

Normalmente estas cartas se elaboran a partir de la interpretación de aerofotogramas o imágenes satelitarias, de mapas topográficos o hipsométricos y de información geomorfológica de campo. Pero al tratarse de áreas urbanas, donde sobre la plantilla natural se ha superpuesto otra antrópica que ha llegado a desdibujarla totalmente, resulta en extremo difícil construir una carta de riesgos sobre la base descrita. Hay que acudir entonces a información histórica (cartográfica y documental) y a un inventario muy completo de obras públicas y privadas (loteos, pavimentos, desagües pluviales, caminos, autopistas, vías férreas, entubamientos, etc.) que puedan haber transformado o alterado el mecanismo hidrológico en relación con los anegamientos.

Ejemplos de alteraciones vinculadas a inundaciones urbanas en el aglomerado bonaerense son: a) entubamiento de arroyos, hoy colectores pluviales, que colmados por los aportes de sectores tributarios alóctonos, derraman por las bocas de tormenta en posiciones situadas sobre su antigua planicie de inundación (Aos. Cildañez y Maldonado), b) Eje-

cución de obras viales y de circulación urbana sin previsión hidráulica suficiente, que actúan durante las crecidas como verdaderos azudes con anegamiento aguas arriba, c) trasvase de cuencas por derivación de la red de desagües pluviales (Ej. zona Norte del Gran Buenos Aires), - d) Nivelación de antiguos planos aluviales con la consecuente desaparición del colector natural.

Estos hechos, comunes a las grandes metrópolis, resaltan la importancia del inventario de obras y su efecto respecto a los riesgos hídricos. La carta que se construya, a escala de detalle, deberá ser actualizada periódicamente con los cambios que se introduzcan por acción antropogénica, y en base a la operación misma del sistema que permite verificar los efectos y, consecuentemente, localizar las causas.

VII. CENTRAL OPERATIVA

El sistema deberá contar con una Central Operativa que centralice la recepción de la información proveniente de las redes monitoras y del/los satélites meteorológicos, la procese, elabore y actualice los modelos de respuesta ante lluvias intensas, siendo responsable de la emisión de los grados de alerta que resulten de la situación, en conocimiento de la capacidad de respuesta del medio natural y antrópico -- (carta de riesgos).

Un diagrama tentativo de funcionamiento de esta central (COA) debe partir de:

- a) Una unidad de recepción y procesamiento de información meteorológica (satelitaria y terrestre).
- b) Una unidad de recepción y procesamiento de información de las redes monitoras y carga de datos a un modelo de funcionamiento hidrológico.
- c) Una unidad de operación del modelo y emisión de los alertas respectivos.

Toda información proveniente de instituciones que operan ante la emergencia, será cargada al modelo para proceder a su actualización y eventual corrección pudiendo llegarse inclusive a modificar el grado de alerta sobre evidencias de respuesta.

La COA estará enlazada con las instituciones emisoras de informa

ción (Servicio Meteorológico Nacional, Prefectura Naval, Servicio de - Hidrografía Naval, etc.) y receptoras del alerta (Defensa Civil, Municipios, Servicios de Emergencia, entes de información pública, sistema asistencial, Policía, etc.).

La dotación de personal afectado a la COA es relativamente pequeña y su número dependerá de la institución donde sea radicado el sistema, ya que en alguna de ellas existe una infraestructura operativa que puede suplir en parte las necesidades.

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La implementación del Sistema de Alerta Hidrológica Urbana es relativamente sencilla y practicable a un costo razonable, indudablemente menor al valor de los daños de uno solo de los eventos de inundación urbana.
- La instalación del sistema completo requeriría una inversión bruta - que en general no supera el 2% de los posibles daños, estimados en - el orden de U\$ 150-180 millones.
- El alerta oportuno no impide la catástrofe, sino que atenúa los daños, pudiendo estos disminuir casi seguramente en un 10-15%.
- El uso de satélites meteorológicos es indispensable, tanto para activar la totalidad del sistema como para el seguimiento del fenómeno - meteórico. Todo esfuerzo para procurar una recepción continua de información de los satélites GOES en Argentina será un paso decisivo para la concreción de la propuesta, además de su uso general para -- pronóstico del tiempo.
- Las cartas de riesgo hídrico son otra componente indispensable del - sistema, como única forma de advertir físicamente las consecuencias - de inundaciones urbanas y sectorizar las respuestas al alerta en - - áreas definidas.
- La instalación de las redes monitoras de información hidrométrica teletransmisoras puede integrarse a una red mayor nacional o provin- -- cial, de modo que su información pueda ser utilizada por otros usuarios. Su implementación puede hacerse de manera progresiva, tanto -- por razones de costo como de autooptimización, en función de una red

- elemental que permita situar óptimamente las restantes estaciones.
- Las crecientes complicaciones urbanas por problemas de inundaciones o crecidas exigen toma de decisiones que, como en el caso de un sistema de alerta eficaz y operativo, no deberían ser demoradas a la -- vista de los resultados de cada una de las catástrofes acaecidas.

LISTA BIBLIOGRAFICA

- BENAVIDEZ, R.; O. CANZIANI; V. FERREIRO; M.A. HERNANDEZ y J. SARAVIA. "Lineamientos generales y regionales para un Plan Maestro de Ordenamiento Hídrico del Territorio Bonaerense". Grupo Consultor. Convenio MOSP Nación-MOSP PBA., 316 pp.. La Plata, 1987.
- CANZIANI, O. y R.N. QUINTELA - "Informe sobre inundaciones en la ciudad de Buenos Aires y el Conurbano producidas por lluvias intensas". CIBIOM. Bs. As., 1985 (inéd.).
- CHOW, V.T. - "Handbook of Applied Hydrology". Mc. Graw Hill Inc. N. York, 1964.
- FLORES, A.L. - "On the estimation of antecedent precipitation index from remote sensing measurements". 2nd. Conference on Satellite Meteorology/remote sensing and applications, pp. 519-522, Williamsburg (USA), 1986.
- FLORES, A.L. y T.N. CARLSON - "Estimation of surface moisture availability from remote temperature measurements". Journal of Geophysical Research, Vol. 92, No. D8, pp. 9581-9585. USA, 1987.
- GONZALEZ, M.H. e I. VELASCO - "Factibilidad de evaluar la precipitación en Argentina con información satelitaria". Anal. II Congr. Interam. de Meteorol. Bs. As., 1987.
- HERNANDEZ, M.A. - "Efectos de la sobreexplotación de aguas subterráneas en el Gran Buenos Aires y alrededores, R. Argentina". Actas II Congr. Iberoam. de Geol. Econom., T. 1, pp. 435-465. Bs. As., 1975.
- LINSLEY, R. y M. KOHLER - "Variations in storm rainfall over small areas". Trans. of Am. Geoph. Union, Vol. 32, No.2, USA, 1951.
- MARCHETTI, A. - "Frecuencia de las lluvias intensas de corta duración en la ciudad de Buenos Aires". Meteoros, V.11 No.2. Bs. As., -- 1952.
- VELASCO, I. y J.M. FRITSCH - "Mesoscale convective complexes in the Americas". Journal of Geoph. Research, Vol. 92, No. D8, 1987.