

## VULNERABILIDAD DE LA POBLACIÓN DE LA CIUDAD DE PLATA (ARGENTINA) A PRECIPITACIONES EXTRAORDINARIAS

### VULNERABILITY OF THE POPULATION OF THE CITY OF LA PLATA (ARGENTINA) TO EXTRAORDINARY RAINFALLS

Marcos Cipponeri<sup>1</sup>, Mónica Laura Salvioli<sup>1</sup>, Guillermo Larrivey<sup>1</sup>,  
Andrea Vanina Afranchi<sup>1</sup>, Gustavo Adrián Colli<sup>1</sup>

#### Resumen:

Las precipitaciones extraordinarias en cuencas urbanas en el Área Metropolitana del Gran Buenos Aires (AMBA) son un fenómeno meteorológico que se percibe año a año con mayor frecuencia, aunque ello es material de estudio en el marco de las consecuencias del cambio climático. En la Región Capital (Municipios de La Plata, Berisso y Ensenada, incluida en el AMBA) se han producido precipitaciones de este tipo en los últimos diez años y se han inundado, como consecuencia de ello, vastas áreas de los municipios mencionados; entre las más importantes se destacan las inundaciones de los años 2002, 2008 y 2013.

Debe considerarse que las cuencas estudiadas son pequeñas (suman alrededor de 15.000 has), de baja pendiente (entre 1,5 y 2,5/100) (Hurtado *et al*, 2006), con un tiempo de concentración reducido (menos de 2 horas) y un alto grado de intervención antrópica, y las precipitaciones consideradas son intensas y distribuidas de manera heterogénea, lo cual da como resultado un escurrimiento superficial que se desarrolla rápidamente y que produce inundaciones de importancia en pocas horas.

Los sistemas pluviales, diseñados para recurrencias de 2 a 5 años, son absolutamente sobrepasados en este tipo de acontecimientos, razón por la cuál es necesario conocer la situación de vulnerabilidad de la población para: a) trabajar de manera preventiva intentando bajar dicha vulnerabilidad, b) poder diseñar planes de alerta temprana y de contingencias, c) identificar qué sectores de la población necesitarán prioritariamente ayuda para recomponerse luego de finalizado el evento.

En este marco se están realizando investigaciones tendientes a determinar la vulnerabilidad de la población a precipitaciones extraordinarias. Para ello se ha analizado la información de base existente en las cuencas del Partido de La Plata, tanto referente al medio natural (clima, geomorfología, hidrología, etc.) como a nivel antrópico (población, vivienda, infraestructura, etc.), para seleccionar variables o indicadores representativos de la mencionada vulnerabilidad. Luego de un exhaustivo análisis de la información disponible se han seleccionado las siguientes variables: geomorfología de las cuencas, indicadora del grado de exposición a la inundación; densidad de población a nivel de radio censal, indicadora de cuantas personas pueden ser afectadas por unidad de superficie en un determinado lugar; calidad de las viviendas a nivel de radio censal, indicadoras tanto del nivel socioeconómico de los habitantes para afrontar el evento y para recuperarse del mismo como de la protección de los mismos habitantes al paso del agua en situación de inundación.

Se han seleccionado cuatro cuencas urbanas adyacentes del Partido de La Plata pertenecientes a la vertiente del río de la Plata, las correspondientes a los arroyos Del Gato, Jardín Zoológico, Circunvalación y Maldonado, se han diseñado mapas de vulnerabilidad asociados a cada una de las variables indicadas con la ayuda de un Sistema de Información Geográfico (SIG), y se ha propuesto un Índice de Vulnerabilidad de la Población a Precipitaciones Extraordinarias (In-VuPPE) que integra los indicadores individuales y se lo muestra a través de un mapa en una escala de cinco grados de vulnerabilidad: muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto.

Para validar los resultados obtenidos a través de la generación del InVuPPE, se ha superpuesto el mapa del mismo con los mapas de: a) la mancha de inundación producida los días 2 y 3 de abril de 2013, y b) ubicación de la mayor parte de las 89 personas fallecidas en la misma inundación. Cabe indicar que dicha inundación es la históricamente más importante registrada en la Región Capital en los 100 años que existen de registro.

Por último se puede mencionar que si bien el mapa que muestra el InVuPPE no es de los denominados "de riesgo hídrico", tiene una alta correlación con los mismos, ya que la geomorfología es una variable determinante en ambos casos, al menos para las cuencas estudiadas.

**Palabras Clave:** precipitaciones extraordinarias, riesgo hídrico, vulnerabilidad, cuencas urbanas.

1 Unidad de Investigación, Desarrollo y Extensión y Transferencia Gestión Ambiental (UIDET GA), Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Tel: 54 221 4272963, gestión.abiental@ing.unlp.edu.ar; mcipponeri@ing.unlp.edu.ar

## Abstract:

The extraordinary rainfalls in urban watersheds in the Greater Metropolitan Area of Buenos Aires (GMABA) are a weather phenomenon that is perceived every year more often, although this is material of study in the context of the consequences of climate change. In the Capital Region (Municipalities of La Plata, Berisso and Ensenada, included in the GMABA) rainfalls of this kind have occurred in the last ten years and large areas of this municipalities, consequently, have flooded; among the most important are the floods of 2002, 2008 and 2013.

It should be considered that the studied watersheds are small (total about 15,000 ha), low slope (between 1,5 y 2,5/100) (Hurtado *et al*, 2006), with a reduced time of concentration (less than 2 hours) and a high degree of human intervention, and considered rainfalls are intense and heterogeneously distributed, which results in a surface flow that develops rapidly and produces significant floods in a few hours.

The urban drainage, designed with recurrences from 2 to 5 years, are absolutely overwhelmed at such events, which is why it is necessary to know the situation of vulnerability of the population to: a) work proactively trying to decrease the vulnerability, b) design early warning and contingency plans, c) identify which sectors of the population will primarily need help to recompose after finished the event.

In this context, we are investigating to determine the vulnerability of the population to extraordinary rainfall. For this, we analyzed the existing information of the Partido de La Plata's watersheds, both relating to the natural environment (climate, geomorphology, hydrology, etc.) as well as anthropic level (population, housing, infrastructure, etc.), to select variables or representative indicators of the mentioned vulnerability. The following variables have been selected after an exhaustive analysis of the available information: geomorphology of the watersheds, indicator of the degree of exposure to the flood; density of population census-radio level, indicator of how many people may be affected by unit area in a certain place; quality of housing census-radio level, both indicator of the socioeconomic status of the population to face the event and to recover from it, and the protection of the same people to the passage of water in flood situation.

We have selected four adjacent urban watersheds of the Partido de La Plata, belonging to the watershed of the Río de La Plata, corresponding to the streams El Gato, Jardín Zoológico, Circunvalación and Maldonado. Vulnerability maps associated to each of the variables indicated have been designed with the help of a Geographical Information System (GIS), and a Vulnerability Index of Population to Extraordinary Rainfall (VIPER) which integrates individual indicators and displayed it through a map on a scale of five degrees of vulnerability (very low, low, medium, high, very high) has been proposed.

To validate the results obtained through the generation of the VIPER, we superposed the map with the maps of: a) the flood stain produced on 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> of April 2013, and b) the location of most of the 89 dead people in the same flood. It should be noted that this flooding is the most historically important registered in the Capital Region in 100 years that there are registered.

Finally, it may be mentioned that although the map showing the VIPER is not one of the called "water risk", it has a high correlation with them, since geomorphology is a determining variable in both cases, at least for the studied watersheds.

**Key words:** extraordinary rainfalls, water risk, vulnerability, urban watershed.

## INTRODUCCIÓN

### Conceptos introductorios vinculados a Desastres Socio-ambientales

En términos genéricos se puede indicar que el riesgo de que se produzca un desastre socio-ambiental aumenta con la probabilidad de ocurrencia e intensidad de una amenaza (causa) y con la vulnerabilidad de una comunidad pasible de ser afectada por dicha amenaza. La fórmula que los vincula es ampliamente conocida:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad} \quad \text{Fórmula 1}$$

Un desastre es una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos (2009, UN).

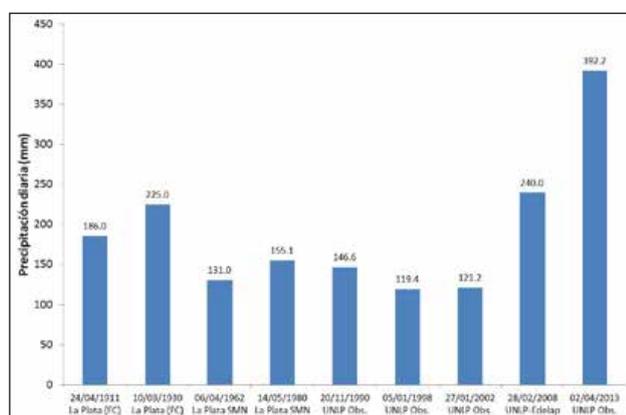
Una forma de medir los desastres locales (Cardona, 2007) es a través de un indicador compuesto que considera las muertes, las personas afectadas y las pérdidas materiales y económicas.

Las amenazas pueden ser de origen natural o de origen antrópico o una combinación de ambos orígenes, las precipitaciones y sus consecuentes inundaciones están incluidas dentro de los denominados eventos hidro-meteorológicos, definidos como *un proceso o fenómeno de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales* (2009, UN).

En la Argentina los desastres más predominantes, tanto por los daños que ocasionan como por sus recurrencias, son aquellos vinculados a amenazas de origen hidro-meteorológico, y en particular, las inundaciones (2009, Celis *et al*). Asimismo, el

creciente impacto de determinados eventos a lo largo del tiempo, especialmente aquellos de origen hidrometeorológico, no puede explicarse a través de un aumento de las amenazas. Estas constituyen una condición necesaria para la ocurrencia del desastre pero operan como detonadoras y no como sus causas básicas, que deben asociarse a procesos de construcción de vulnerabilidades (2009, Celiz et al).

En el caso de estudio la amenaza es el producto del proceso de transformación lluvia – escurrimiento superficial en cuencas urbanas de pequeña extensión y con un alto grado ocupación. El orden de magnitud de las precipitaciones extraordinarias es un porcentaje importante de las precipitaciones anuales en la región (1040 mm/año) (Hurtado Martin et al, 2006), y se puede observar en la siguiente figura:



**Figura 1:** Registro de las mayores precipitaciones en el Partido de La Plata en el último siglo.

Fuente: Estudio sobre la inundación ocurrida los días 2 y 3 de abril de 2013 en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada (Liscia et al, 2013)

Denominamos como vulnerabilidad a la susceptibilidad de la población, y los recursos asociados a la misma (que permiten el desarrollo de sus actividades económicas, culturales y sociales), de ser afectada por una amenaza natural o antrópica. Naciones Unidas (2009) la define como “*las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza.*”.

La vulnerabilidad no es intrínseca en sí misma, sino que en general está asociada a distintos tipos de amenazas, según Gallopin (2003) *un sistema se muestra vulnerable frente a ciertas perturbaciones pero robusto frente a otras. Sin embargo, algunos sistemas son tan frágiles que exhiben vulnerabilidad frente a muchos tipos de perturbaciones, y en ese sentido se les podría atribuir una “vulnerabilidad genérica”.*

En el caso de estudio la vulnerabilidad analizada está vinculada a un fenómeno específico, que es una precipitación extraordinaria, de modo que los

resultados de este estudio no son generalizables a otras amenazas.

Hay fórmulas que desagregan la vulnerabilidad incluyendo otros conceptos o variables como los de exposición, susceptibilidad y resiliencia, como la que muestra el CIIFEN (2013)<sup>1</sup>, definiendo a esta última como:

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{Exposición} \times \text{Susceptibilidad} / \text{Resiliencia}$$

### Fórmula 2

Donde:

Grado de Exposición: la población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y, por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales (2009, UN). Las medidas del grado de exposición pueden incluir la cantidad de personas o los tipos de bienes en una zona (2009, UN).

Susceptibilidad es el grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso. (2013, CIIFEN).

Resiliencia es la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas. (2009, UN).

Algunos autores presentan a la resiliencia como la inversa de la vulnerabilidad (2009, Torres Mora Oscar): *lo contrario a la resiliencia, es entonces, la vulnerabilidad, característica que se presenta cuando un sistema social pierde la capacidad de absorber un desastre y los daños que éste genera son devastadores.*

Las variables seleccionadas en nuestro caso para medir la vulnerabilidad apuntan a contemplar la definición de Naciones Universidad (2009) pero también abordan, de alguna forma, los conceptos incluidos en la Fórmula 2.

Se puede afirmar entonces que el riesgo de que ocurra un desastre está vinculado básicamente a la probabilidad de que la amenaza se efectivice y a la existencia de una población (y recursos asociados) vulnerable, y que la magnitud del desastre socio-ambiental está asociada a la intensidad con que se desarrolle el evento y a la vulnerabilidad de la población o del área susceptibles de ser afectadas.

Con la ayuda de un Sistema de Información Geográfico (SIG) y con una base de datos consistente y pertinente, se pueden elaborar mapas que ayuden a identificar aquellas áreas de una región o de una cuenca que sean más o menos susceptibles (vulnerables) de ser afectadas por determinados eventos.

<sup>1</sup> Centro Internacional para la Investigación del fenómeno del Niño.

## Vulnerabilidad a las Precipitaciones

Como se dijo anteriormente, la vulnerabilidad de una población está asociada al tipo de evento o amenaza que se estudia, en este caso se trata de un evento hidro-meteorológico como lo es una precipitación que, dependiendo de la recurrencia, se puede decir que es una precipitación ordinaria (baja recurrencia) o extraordinaria (alta recurrencia).

Definiremos como:

- Precipitación ordinaria: aquellas precipitaciones cuya recurrencia está en el orden de magnitud de la recurrencia de diseño del sistema de desagües pluviales.
- Precipitación extraordinaria: aquellas precipitaciones cuya recurrencia es mayor que la recurrencia para la que fueron diseñados los desagües pluviales de una ciudad.

En el caso de las precipitaciones ordinarias la vulnerabilidad de la población es baja ya que, con un adecuado mantenimiento del sistema de desagües pluviales, la amenaza estará controlada y los excedentes hídricos serán conducidos por los mencionados desagües.

Los sistemas pluviales tienen una incidencia significativa cuando se trata de precipitaciones ordinarias, ya que el escurrimiento superficial se deriva a través de dichos sistemas en caso que se produzcan esos eventos; a medida que la recurrencia de la precipitación aumenta, los desagües pluviales son superados en su capacidad de conducción, su efecto mitigador disminuye y comienzan a tener preponderancia las características geomorfológicas de la cuenca en la forma en que se desarrolla el escurrimiento superficial de las aguas.

Para las precipitaciones extraordinarias será necesario definir o trabajar sobre la vulnerabilidad de la población, ya que el sistema de desagües pluviales se verá sobrepasado y los excedentes escurrirán por calles, avenidas y por las mismas manzanas atravesando viviendas, escuelas, hospitales, edificios públicos, industrias y demás infraestructura urbana.

En este último caso, y para las cuencas estudiadas, serán determinantes en la vulnerabilidad de la población: a) aspectos del medio natural tales como la geomorfología de las cuencas, b) características de la población como densidad, nivel socioeconómico y distribución etárea, c) características de las viviendas como su calidad y número de niveles, entre los principales aspectos.

En definitiva se ha buscado un modelo que represente adecuadamente la realidad (aunque lógicamente la

simplifique) y para el mismo se han seleccionado las siguientes variables:

- ubicación relativa en la cuenca o sub-cuenca (área más o menos baja, distancia al cauce), representativa de la exposición de la población,
- densidad poblacional, representativo de la susceptibilidad, ya que a mayor densidad poblacional más se afectará a la comunidad,
- características constructivas de las viviendas, representativas de:
  - a) la resiliencia: porque es un indicador del nivel socioeconómico de la población y de su capacidad de recuperarse del evento y
  - b) de la susceptibilidad: ya que las viviendas y su capacidad de resistir el evento son una medida de la posible afectación de sus habitantes y sus bienes.

Los factores identificados no son los únicos que influyen en la vulnerabilidad, sino que son algunos de los que más significativamente influyen en la misma, y de los que se dispone información.

## METODOLOGÍA

### Vulnerabilidad a las Precipitaciones Extraordinarias en el Partido de La Plata

La misma será determinada en función de los factores mencionados anteriormente (posición en cuenca o sub-cuenca, densidad poblacional y características constructivas de las viviendas). A continuación se indica cómo será abordada la temática desde un punto de vista metodológico.

Se generará la información en distintas capas, vinculadas a cada variable seleccionada, en un programa SIG que permita el procesamiento y fácil visualización de los resultados; veamos el origen de los datos en cada caso:

- Ubicación relativa en la cuenca o sub-cuenca: determinada a través de un mapa de geomorfología del Partido de La Plata (2006, Hurtado Martín *et al.*).
- Densidad Poblacional: basada en los datos del CENSO 2010 a nivel de radio censal.
- Características de las viviendas: se define un indicador de precariedad de las viviendas a nivel de radio censal; el mismo se aborda con los datos aportados por el CENSO 2001 (ya que no se pudo disponer de los datos del CENSO 2010)<sup>2</sup>. El tipo de vivienda es definido por el INDEC por un indicador sintético denominado CALMAT que se categoriza de

<sup>2</sup> Hubo dos radios censales en los cuales se cumplían dos condiciones que quitaban fiabilidad al resultado: 1) la población censada en el radio difería notablemente de aquella de la cual se contaba con el CALMAT y 2) el indicador de vulnerabilidad no se ajustaba a las condiciones de contexto. En esos casos se adoptó el indicador de un radio adyacente de similares características según análisis realizado a través de imágenes satelitales. En definitiva para los radios censales N° 4209 y 4251 se adoptaron las vulnerabilidades de los radios 4208 y 2309 respectivamente. Recordar que todo este procesamiento se realizó con datos del CENSO 2001 ya que no se cuenta, en este caso, con los del CENSO 2010.

I a V<sup>3</sup> (de mayor a menor calidad) según las características combinadas de sus materiales.

Como se puede observar, la vulnerabilidad será determinada a nivel de radio censal, ya que es la mínima unidad territorial de la que se cuentan con datos confiables. El Índice de Vulnerabilidad de la Población a Precipitaciones Extraordinarias (InVuPPE) quedará determinado por: la densidad poblacional, la calidad de los materiales de las viviendas y por geomorfología de la cuenca o sub-cuenca.

Con el objeto de definir una escala única para los Indicadores de Vulnerabilidad de cada uno de los factores, se adopta la siguiente graduación:

**Tabla 1:** Escala de Vulnerabilidad

Valor	Grado de Vulnerabilidad
5	Muy Alta
4	Alta
3	Media
2	Baja
1	Muy Baja

como significativas, se indican las vulnerabilidades asociadas a dichas variables:

**Vulnerabilidad asociada a la ubicación relativa en la cuenca o sub-cuenca (V.URC):**

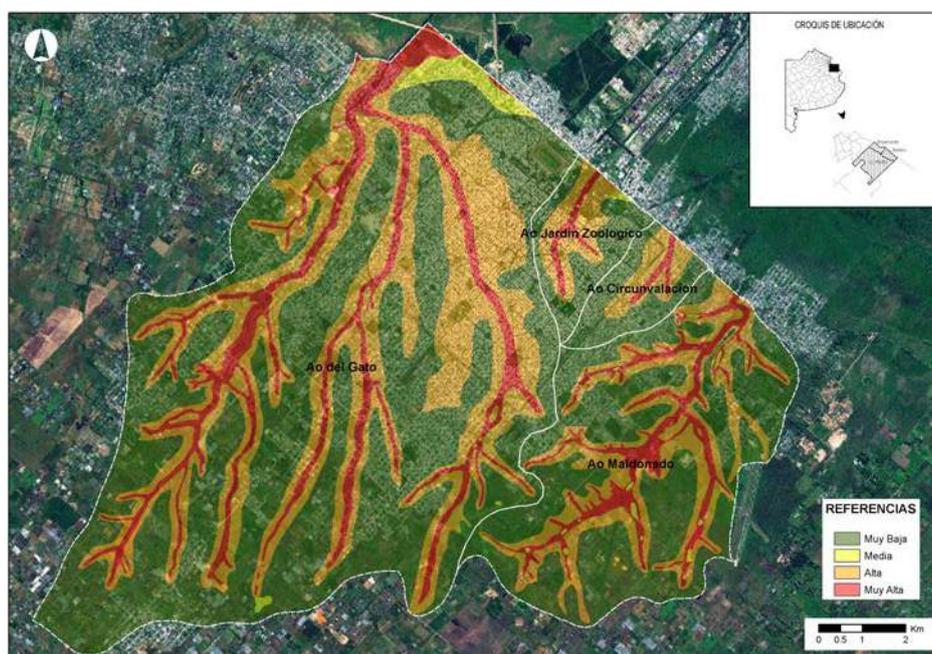
**Tabla 2:** Vulnerabilidad asociada a la ubicación relativa en la cuenca o sub-cuenca

Ubicación relativa en la cuenca o sub-cuenca	Vulnerabilidad asociada (V.URC)
Planicie de inundación	5
Llanura de fango	5
Área con pendiente adyacente a la planicie de inundación	4
Antiguo estuario interior	4
Antigua franja costera	3
Cubetas de deflación	3
En Interfluvio convexo	1
Interfluvio plano	1

**RESULTADOS**

Sobre la base de la escala definida más arriba, y considerando cada una de las variables definidas

Los resultados de aplicar la vinculación indicada en la tabla precedente al mapa de geomorfología mencionado más arriba da como resultado el Mapa 1:



**Mapa 1: Vulnerabilidad asociada a la ubicación relativa en la cuenca (V.URC).** Fuente: adaptación propia del Mapa 5 de geomorfología del Análisis Ambiental del Partido de La Plata (2006, Hurtado Martin *et al*)

<sup>3</sup> CALMAT I: La vivienda presenta materiales resistentes en todos los componentes e incorpora todos los elementos de aislación y terminación.  
 CALMAT II: La vivienda presenta materiales resistentes en todos los componentes pero le faltan elementos de aislación o terminación al menos en uno de sus componentes pero no en todos.  
 CALMAT III: La vivienda presenta materiales resistentes en todos los componentes pero le faltan elementos de aislación o terminación en todos sus componentes, o bien presenta techos de chapa de metal o fibrocemento u otros sin cielorraso; o paredes de chapa de metal o fibrocemento.  
 CALMAT IV: La vivienda presenta materiales no resistentes al menos en uno de los componentes pero no en todos.  
 CALMAT V: La vivienda presenta materiales no resistentes en todos los componentes.

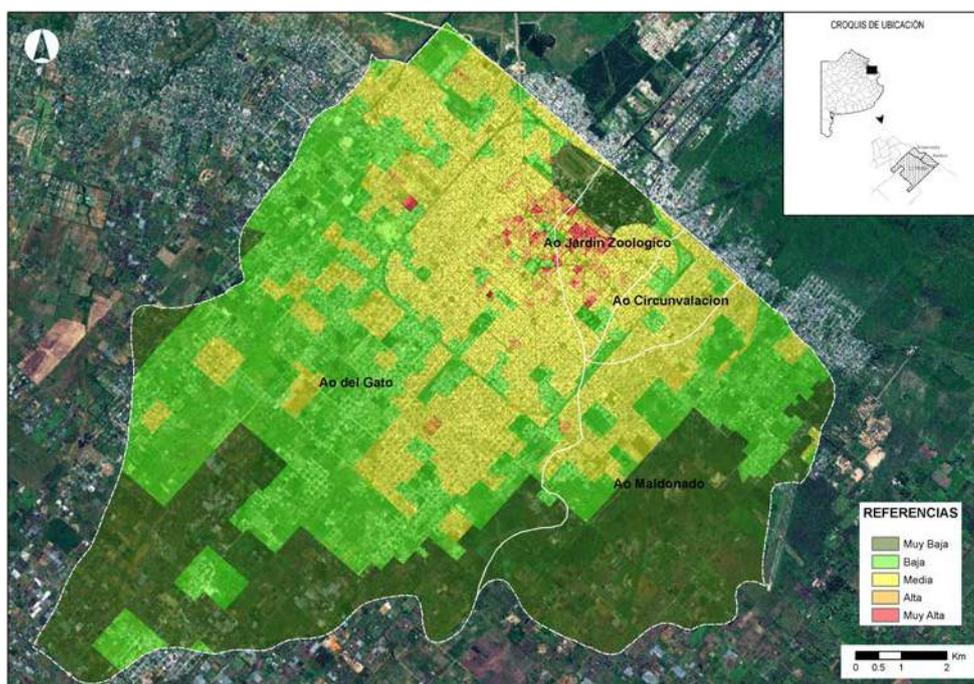
**Vulnerabilidad asociada a la densidad poblacional (V.DP):**

Se definió la vulnerabilidad de manera creciente con la densidad, a mayor densidad mayor cantidad de personas expuestas a la amenaza: para definir los rangos asociados a la vulnerabilidad se analizaron las densidades poblacionales de los distintos radios censales en el Partido de La Plata y se definieron intervalos de 50 habitantes por hectárea, excepto en los dos primeros intervalos, el primero de 0 a 10 hab/ha que define áreas rurales, el segundo de 10 a 50 hab/ha define áreas suburbanas y el resto de los intervalos (por encima de los 50 hab/ha) definen áreas eminentemente urbanas.

**Tabla 3:** Vulnerabilidad asociada a la densidad poblacional

Densidad Poblacional (Ver Mapa N°2)	Rango (habitantes/hectárea)	Vulnerabilidad asociada (V.DP)
Muy Alta	+ de 150	5
Alta	e/ 100 y 150	4
Media	e/ 50 y 100	3
Baja	e/ 10 y 50	2
Muy Baja	Menos de 10	1

Los resultados de aplicar las vinculaciones de la tabla precedente a las cuencas estudiadas es el siguiente:



**Mapa 2:** Vulnerabilidad asociada a la densidad poblacional (V.DP). Fuente: elaboración propia con datos del Censo 2010 (INDEC)

**Vulnerabilidad asociada a la precariedad de las viviendas (V.PV):**

se diseñó un indicador de la precariedad de las viviendas representativo a nivel de radio censal. El mismo surge de una suma ponderada en la cual hay cinco variables que son los porcentajes relativos de viviendas, con CALMAT I a V, en el radio censal estudiado, dándosele mayor peso a las viviendas más precarias y ajustando dicha suma ponderada por un factor de ajuste de escala; en definitiva el indicador queda como se indica a continuación:

**Tabla 4:** Vulnerabilidad asociada a la precariedad de las viviendas

Precariedad de las Viviendas	Rango <sup>4</sup>	Vulnerabilidad asociada (V.PV)
Muy Alta	3,55 a 4,97	5
Alta	2,85 a 3,55	4
Media	2,25 a 2,84	3
Baja	1,85 a 2,24	2
Muy baja	1,12 a 1,84	1

Indicador de Precariedad de las Viviendas=

$$(1x(\%CALMAT I) + 2x(\%CALMAT II) + 3x(\%CALMAT III) + 4x (\%CALMAT IV) + 5x(\%CALMAT V))/(2,99*100)x5$$

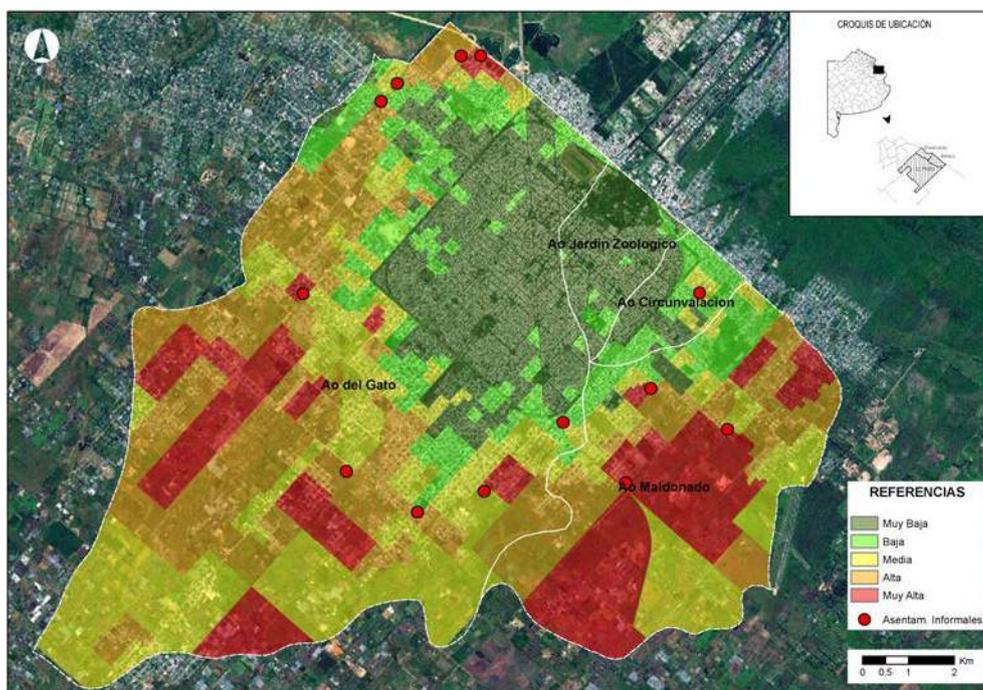
**Fórmula 3**

<sup>4</sup> Para definir los intervalos se utilizó el método de intervalos naturales o "natural breaks" (Jenks 1963). Este método de clasificación se encuentra implementado en el software ArcGis e identifica los puntos de corte entre clases mediante el algoritmo de optimización de Jenks. Esta fórmula consiste básicamente en la minimización de la suma de la varianza intracase para obtener la máxima homogeneización (mínima dispersión) dentro de cada intervalo y la máxima dispersión entre intervalos. Los límites entre clases se establecen en donde hay un salto relativamente importante entre los valores.

La Dirección de Estadística de la Provincia de Buenos Aires informa en su página WEB sobre la ubicación de los asentamientos informales al año 2010, dichos asentamientos fueron incluidos en el Mapa 3 y se los considera con una vulnerabilidad muy alta en cuanto a la precariedad de los materiales. La ubicación

de dichos asentamientos fue revisada a través de imágenes satelitales para ajustar el trabajo de la mencionada Dirección de Estadística.

Los resultados de procesar la información en SIG según lo indicado en la tabla precedente se pueden visualizar en el siguiente mapa:



**Mapa 3:** Vulnerabilidad asociada a la precariedad de las viviendas (V.PV).  
Fuente: elaboración propia

**Índice de Vulnerabilidad de la Población a Precipitaciones Extraordinarias (InVuPPE):**

quedará definido por una combinación de los tres indicadores anteriores. Se propone una suma ponderada de las tres vulnerabilidades, en la cual el mayor peso lo tiene la V.URC ya que la misma es determinante para que haya exposición al evento, y en un segundo escalón de importancia se propone a las potenciadoras de las consecuencias del mismo, que son las V.DP y V.PV, los coeficientes fijados son, de manera correspondiente: 0,6, 0,20 y 0,20.

Se ha realizado un análisis de sensibilidad cambiando la magnitud de los coeficientes y la variación de los resultados no ha resultado significativa.

De esta forma el InVuPPE quedará determinado por la siguiente fórmula:

$$\text{InVuPPE} = 0,6 \times \text{V.URC} + 0,20 \times \text{V.DP} + 0,20 \times \text{V.PV}$$

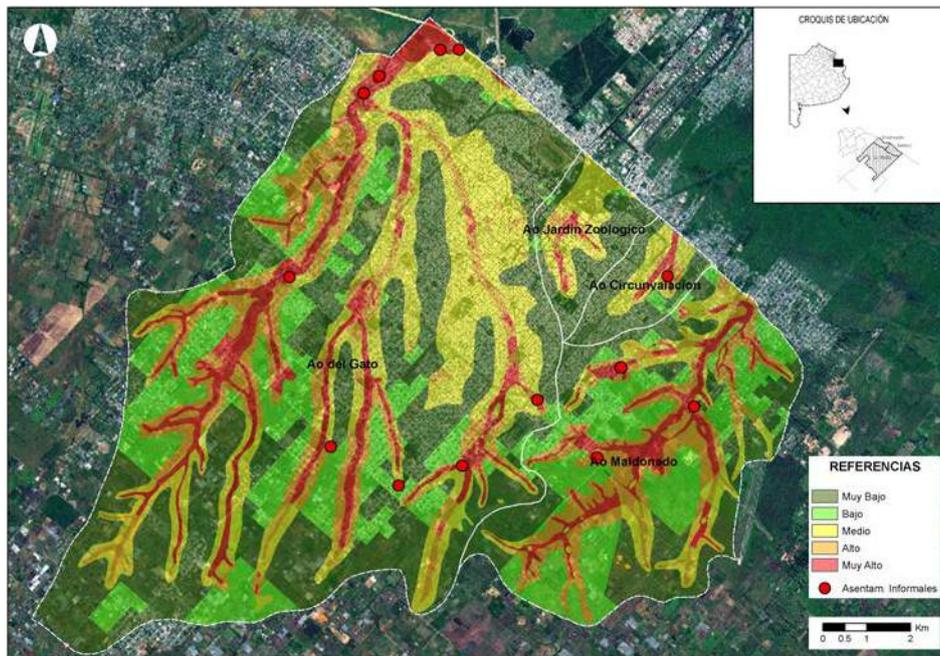
**Fórmula 4**

**Tabla 5:** Vulnerabilidad asociada a precipitaciones extraordinarias

Vulnerabilidad de la Población por Precipitaciones Extraordinarias	Rango <sup>5</sup>	(InVuPPE)
Muy Alta	3,80 a 4,60	5
Alta	3,40 a 3,80	4
Media	2,40 a 3,40	3
Baja	1,60 a 2,40	2
Muy Baja	1 a 1,60	1

Los resultados de procesar la información en SIG según lo indicado en la tabla precedente se pueden visualizar en el siguiente mapa:

<sup>5</sup> Para definir los intervalos se utilizó el método de intervalos naturales o “natural breaks” (Jenks 1963).

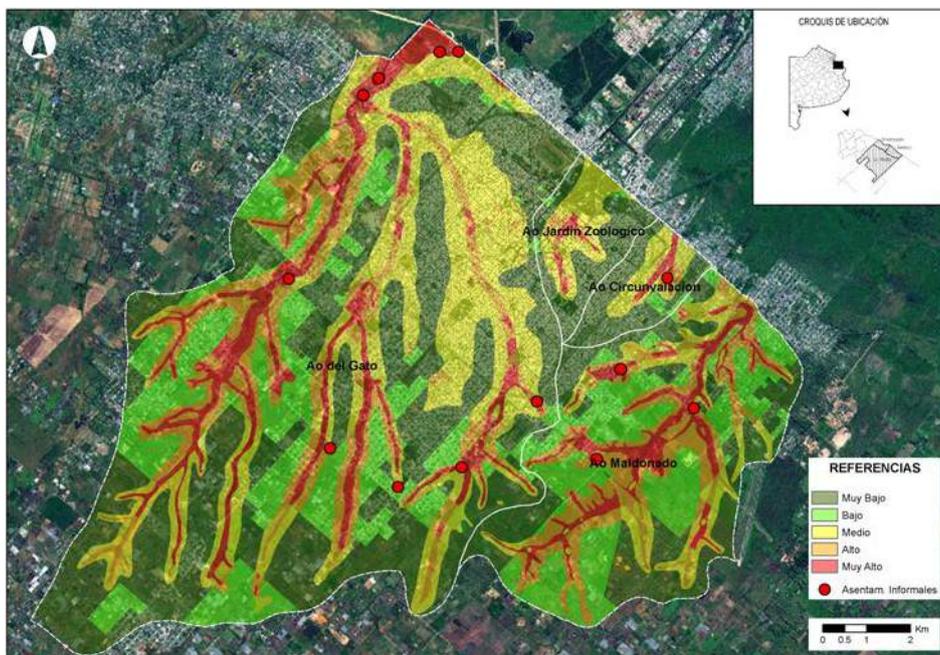


**Mapa 4:** Índice de Vulnerabilidad de la Población por Precipitaciones Extraordinarias (InVuPPE). Fuente: elaboración propia.

Cabe indicar que el Mapa 4 indica valores relativos de vulnerabilidad, siendo la escala numérica propuesta una escala arbitraria, y los distintos rangos deben interpretarse de manera también relativa, para conocer a qué áreas se debe prestar atención de manera prioritaria.

Como validación de la metodología propuesta para la determinación del InVuPPE se analizaron las

consecuencias de la inundación producida en el año 2013 en relación a dicho indicador, para ello se superpusieron en un mismo mapa: a) mapa 4 de este estudio (InVuPEE), b) el mapa del área inundada en el evento extraordinario de los días 2 y 3 de abril de 2013<sup>6</sup> y c) la ubicación donde se produjeron la mayor parte de las muertes consecuencia de la mencionada inundación<sup>7</sup>.



**Mapa 5:** Superposición de InVuPEE, Área Inundada, y Muertes. Fuente: elaboración propia

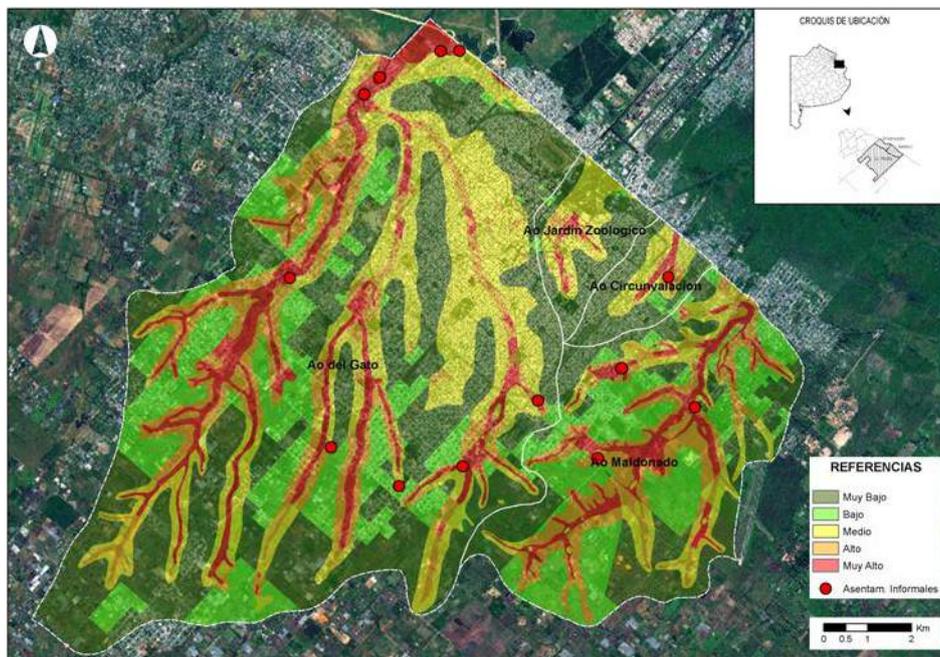
<sup>6</sup> Producto de procesar datos de los mapas generados en el Informe sobre la Inundación ocurrida los días 2 y 3 de abril de 2013 (2013, Liscia et al). Las líneas negras que limitan la mancha de inundación indican los límites de aplicación de la modelación, no los de la mancha real. Le mencionada modelación fue ajustada con datos de campo, los detalles se pueden visualizar en el mencionado informe.

<sup>7</sup> Elaboración propia sobre la base de datos aportados por medios de comunicación

Como se puede observar las áreas inundadas tienen un alto grado de coincidencia con áreas con InVuPEE medio, alto o muy alto, y por otro lado la ubicación donde se produjeron la mayor cantidad de muertes es en lugares donde el InVuPEE es alto o muy alto. Lo indicado muestra que el InVuPEE, si bien es

mejorable, es una buena aproximación de la realidad y facilita las tareas de prevención y contingencia.

Para facilitar el análisis de las conclusiones y la discusión se presenta el InVuPEE de la cuenca del arroyo Maldonado en el Mapa 6, la cual tiene una heterogeneidad mayor que las otras cuencas incluidas en el estudio.



Mapa 6: InVuPEE cuenca arroyo Maldonado. Fuente: elaboración propia

## CONCLUSIONES

En los Mapas 4 y 6 se puede observar:

- Que las áreas más vulnerables son aquellas que se encuentran sobre actuales y antiguos cauces de arroyos y que, en algunos casos, la misma se ve atemperada por la calidad de las viviendas, en particular en la cuenca del Arroyo del Gato. De cualquier modo, la vulnerabilidad sobre los cauces siempre está en el rango de alta a muy alta.
- Que los asentamientos informales se hayan sistemáticamente ubicados en áreas de vulnerabilidad alta o muy alta,
- Hay áreas con un alto grado de vulnerabilidad que, o tienen baja densidad poblacional o se hayan despobladas. Este aspecto debería considerarse en la planificación del uso del suelo y en la ocupación efectiva del territorio (muchas veces *de facto*),
- Los mapas permiten identificar corredores y áreas menos vulnerables a considerar para el diseño los planes de contingencia.

## DISCUSIÓN:

Si bien los mapas elaborados no son de los llamados de riesgo hídrico, tienen una alta relación con los mismos, ya que uno de los factores determinantes

de la vulnerabilidad, la geomorfología, también es determinante en la forma en que se produce el escurrimiento superficial en situaciones de precipitaciones extraordinarias. La modelación del escurrimiento superficial en situaciones de precipitaciones extraordinarias considerando, además de la geomorfología, las grandes obras de infraestructura que la modifican, facilitará acercarse con mayor precisión a los mapas de riesgo hídrico, ya que permitirán determinar: manchas, alturas y permanencia de inundación y velocidad del escurrimiento de las aguas.

## AGRADECIMIENTOS

Sergio Oscar Liscia, Mirta Cabral, Martín Hurtado, Juan Carlos Etulain, Laura Mordasini y Jessica Biagoni, quienes de una u otra forma facilitaron la concreción de este artículo.

## BIBLIOGRAFÍA

Cardona Omar Darío. 2007. Indicadores de Riesgo de Desastres y de Gestión del Riesgo. División de Medio Ambiente, Departamento de Desarrollo Sostenible, Banco Interamericano de Desarrollo. p 9. [http://www.iadb.org/exr/disaster/IDEA\\_IndicatorsReport\\_sp.pdf](http://www.iadb.org/exr/disaster/IDEA_IndicatorsReport_sp.pdf) (29/07/14)

Celis et al. 2009. Cruz Roja. Riesgo de Desastre en Argentina. Federación Internacional de la Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja. p 34. [http://ec.europa.eu/echo/files/funding/opportunities/interest\\_dipecho6\\_argentina.pdf](http://ec.europa.eu/echo/files/funding/opportunities/interest_dipecho6_argentina.pdf) (29/07/14)

Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR). 2009. Terminología sobre Reducción de Riesgo de Desastres. Naciones Unidas. Ginebra, Suiza. p 2, 3, 13, 17, 28, [http://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf) (29/07/14)

Hurtado Martín et al. 2006. *Análisis Ambiental del Partido de La Plata*. Instituto de Geomorfología y Suelos del CISAUA (UNLP). Consejo Federal de Inversiones. La Plata, Buenos Aires, Argentina. p 7, 9, 10. p 5 Anexo. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27046> (29/07/14)

Instituto Nacional de Estadística y Censos. Censos de Población y Viviendas 2001 y 2010. <http://www.indec.mecon.ar/> (29/07/14)

Liscia S.O et al. 2013. *Estudio sobre la inundación ocurrida los días 2 y 3 de abril de 2013 en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada*. Departamento e Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP.

La Plata, Buenos Aires, Argentina. p 3. p 15 a 26 del Anexo. <http://hdl.handle.net/10915/27334> (29/07/14)

Torres Mora Oscar. 2011. La Cultura Preventiva como factor de Resiliencia frente a los Desastres. Conferencia Virtual Iberoamericana. Dirección General de Protección Civil y Emergencias – Ministerio del Interior. España. p 28. [http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sinae.gub.uy%2Findex.php%3Foption%3Dcom\\_docman%26task%3Ddoc\\_download%26gid%3D42%26Itemid%3D36&ei=Z47bU96gJOTisATzo4GYDQ&usg=AFQjCNGDOCh\\_iGCvG\\_YXcrqqs9dmgZ1AQ&bvm=bv.72197243,d.cWc](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sinae.gub.uy%2Findex.php%3Foption%3Dcom_docman%26task%3Ddoc_download%26gid%3D42%26Itemid%3D36&ei=Z47bU96gJOTisATzo4GYDQ&usg=AFQjCNGDOCh_iGCvG_YXcrqqs9dmgZ1AQ&bvm=bv.72197243,d.cWc) (29/07/14)

Zapata Martí Ricardo y Gallopin Gilberto et al. 2007. Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los Desastres. CEPAL. p 3. [http://www.cepal.org/publicaciones/xml/7/12707/lcmexg5e\\_TOMO\\_la.pdf](http://www.cepal.org/publicaciones/xml/7/12707/lcmexg5e_TOMO_la.pdf) (29/07/14)

### Páginas WEB

Centro Internacional para la Investigación del fenómeno del Niño. [http://www.ciifen.org/index.php?option=com\\_content&view=category&id=84&layout=blog&Itemid=111&lang=es](http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&id=84&layout=blog&Itemid=111&lang=es) (29/07/2014)