

URBANIZACIÓN E IMPACTO HIDROLÓGICO CERO EN LA CIUDAD DE RESISTENCIA, CHACO

***Pilar, Jorge V.; *Depettris, Carlos A.; *Ruberto, Alejandro R.; *Gómez, Marcelo J.M.; #Soto, Viviana**

* Grupo de Investigación y Servicios – Departamento de Hidráulica – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Nordeste

Dirección General de Ingeniería – Subsecretaría de Control y Fiscalización de Obras Urbanas, Municipalidad de la ciudad de Resistencia.

Av. Las Heras 727 - Resistencia – Chaco – 0362-4420076 – Int 142 – jvpilar@gmail.com

RESUMEN

El Área Metropolitana del Gran Resistencia está localizada en una geografía dominada por bajas pendientes (pocos centímetros por kilómetro), lo que representa un serio limitante para el drenaje pluvial urbano.

Para morigerar los problemas generados por lluvias de cierta intensidad y volumen precipitado, la Municipalidad de Resistencia puso en vigencia la Ordenanza 5403, que en su Anexo 3 regula la urbanización bajo el criterio de “impacto hidrológico cero”.

La norma incorporó dos nuevos indicadores: el FIS (factor de impermeabilización del suelo) y el FIT (factor de impermeabilización total), y es obligación, para proyectos de edificación nuevos, verificar su impacto hidrológico, entendiendo como tal que el pico del hidrograma de escurrimiento generado en el lote luego de la concreción del proyecto no sea superior al pico del hidrograma previo a la nueva construcción, debiendo preverse controles en el lote si fuere necesario.

La aplicación del concepto de “impacto hidrológico cero, en principio congela el efecto hidrológico de la impermeabilidad actual, lo que provocará que los caudales pico para escenarios futuros (de proyecto) se reduzcan, con lo cual las secciones de las obras necesarias para eliminar manchas de inundación disminuyan. Por otra parte, el valor esperado de daños a viviendas y sus contenidos también se reducirá, lo mismo que el riesgo de colapso (u obsolescencia) de obras proyectadas y construidas.

La cantidad de casos presentados durante el período 2001-2016 fueron 784, habiendo sido necesario en 621 de ellos colocar retardadores de escurrimiento.

Recientemente, el radio de aplicación original de la Ordenanza se amplió al denominado “anillo de densidad media” de la ciudad.

abstract

The Metropolitan area of Resistencia is located in a geographic zone dominated by low earrings (few centimeters per kilometer), which represents an important limitation for urban pluvial drainage.

In order to minimize the generated problems due to certain intensity and volumen precipitations, Resistencia Municipality put into effect the 5403 ordinance, which in its appendix 3 regulates urbanization under the criteria of “0 hydrologic impact”.

The policy incorporated two new indicators: FIS (soil imperviousness factor) and FIT (Total imperviousness factor), and it is an obligation for new building projects, to verify its hydrological impact, understanding that the peak of the generated runoff at the lot after the Project concretion must not be superior to the peak of the previous hydrogram of the new building, and some controls have to be foreseen if required.

The application of the concept “0 hydrologic impact” freezes the hydrologic effect of the current imperviousness, which will cause a reduction of the peak volumen for future stages (of projects), wherewith the sections of the needed works to eliminate flood spots will reduce, the same as the collapse risk of the projected and constructed works.

The quantity of presented cases during the period of 2001-2016 was 784, and it was necessary to place runoff retardants in only 621 of them.

Recently, the original application ratio of the ordinance was enlarged to the called “media density ring” of the city.

INTRODUCCIÓN

El Área Metropolitana del Gran Resistencia (AMGR), localizada en el nordeste argentino, a pocos kilómetros aguas abajo de la confluencia de los ríos Paraná y Paraguay (Figura 1), es muy vulnerable a lluvias de cierta intensidad, principalmente debido a las muy bajas pendientes que dominan el paisaje, que es de pocos centímetros por kilómetro.

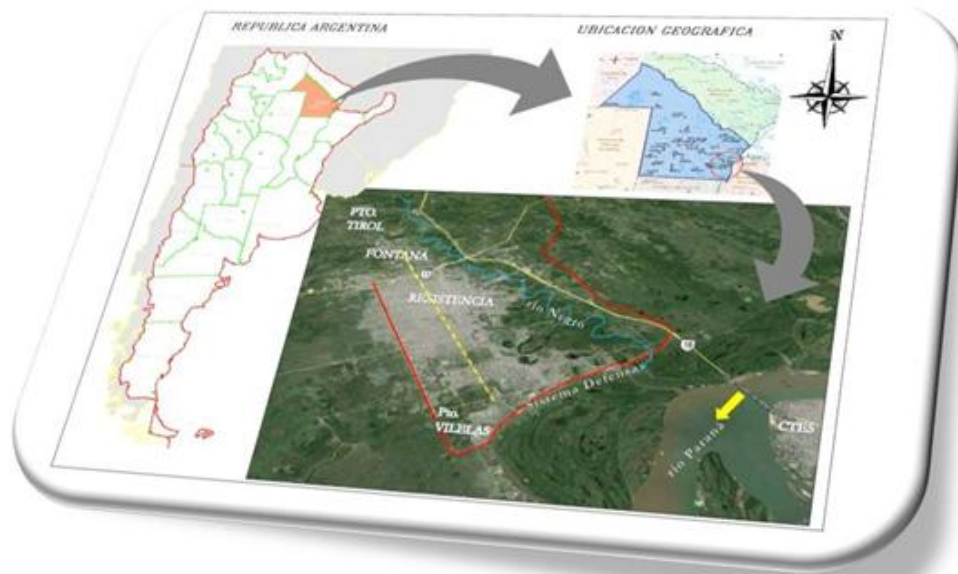


Figura1.- Ubicación geográfica del Área Metropolitana de la ciudad de Resistencia.
(Fuente: elaboración propia, con base en otras fuentes).

Las inundaciones que la afectan tienen distintas particularidades según su origen. Algunos de estos tipos son (Pilar & Depettris, 2000):

- a) inundaciones provocadas por las crecidas de los grandes ríos de la región, principalmente el Paraná y el Paraguay;
- b) inundaciones provocadas por lluvias de cierta intensidad (por ejemplo una de 25mm en media hora paraliza la ciudad durante horas) y debidas a la drástica reducción de la capacidad de almacenamiento de los reservorios naturales, especialmente las lagunas propias del ambiente en el que se asentó la ciudad, por relleno de las mismas y por ocupación de sus márgenes;
- c) inundaciones originadas por insuficiente capacidad de los conductos de drenaje pluviales (obsolescencia temporal).

Los dos últimos tipos de inundaciones se generan en el ámbito de la propia ciudad y son difíciles de resolver con medidas estructurales (obras). Esas inundaciones, generadas por lluvias y agravadas por la acción del hombre, si bien tienen una duración de apenas pocas horas, producen graves trastornos al normal funcionamiento de una ciudad como Resistencia. Las inundaciones urbanas tienen efectos muy fuertes en la economía local y en la sociedad, pues, por una parte las actividades económicas se ralentizan o paralizan, pero principalmente las familias de escasos recursos, que tienen sus viviendas en zonas bajas, muchas de ellas en las márgenes de lagunas, ven ingresar aguas a sus casas, destruyendo construcciones y mobiliario que tanto esfuerzo demandó conseguir. Además, como las aguas pluviales en esas circunstancias se mezclan con la de los drenajes cloacales, se compromete la situación sanitaria, no sólo de esas familias, sino la de toda la población.

Sería deseable que el control de los anegamientos urbanos sea encarado en un contexto de lo

que se denomina gestión sustentable del drenaje pluvial. Para ello es imprescindible la visión de conjunto de la cuenca, integrando racional y adecuadamente las obras de drenaje (medidas estructurales) con otras medidas de tipo preventivo –medidas no estructurales–, con la visión puesta en el desarrollo social y urbano.

Una gestión sustentable del drenaje pluvial urbano requiere un control de las aguas que escurren, o bien en el lote, o bien en el loteo, o en ambos. Es necesario que las obras generadas por el aumento de la urbanización no incrementen las crecidas (especialmente su caudal pico) de la situación antecedente, lo que debería ser aplicado en cualquier acción que incremente la impermeabilización de la ciudad.

En ese contexto, las medidas de control distribuido (también denominadas control en la fuente), aplicadas a lotes, estacionamientos y espacios verdes como plazas y paseos públicos, pueden ser muy eficaces y eficientes.

ANTECEDENTES

Las principales acciones que permitirían realizar un control distribuido consisten en el almacenamiento temporario de las aguas pluviales en cualquier tipo de reservorio, natural (suelos permeables) o construido al efecto, para amortiguar el caudal pico y el tiempo de base del hidrograma del escurrimiento del lote, más las medidas normativas que promuevan esas acciones.

En algunas ciudades de los Estados Unidos, como Seattle (Washington) y Denver (Colorado), o de Brasil, como Porto Alegre (Rio Grande do Sul), uno de los principales criterios adoptados es de establecer un caudal máximo que puede entrar en el sistema público de drenaje proveniente de los lotes, instalaciones comerciales o industriales. Este límite corresponde generalmente al caudal natural de la unidad de terreno para una cierta tormenta, con determinado tiempo de retorno (normalmente 1 hora de duración y 10 años de recurrencia). Ese caudal es restrictivo y obliga al emprendedor urbanístico a utilizar dispositivos de control dentro del área de desarrollo (Tucci, 2007).

Los dispositivos que podrían ser utilizados para retardar el drenaje y con ello lograr el control distribuido de las crecidas urbanas son: las superficies y/o trincheras de infiltración, las cuencas de percolación (que proponen un almacenamiento sub-superficial), los pavimentos permeables en sitios de circulación de poco tránsito y de baja velocidad, o el almacenamiento temporal en techos, pequeños reservorios residenciales, estacionamientos, o áreas para prácticas deportivas, entre otros (Urbonas y Stahre, 1993). Algunos de estos dispositivos, especialmente los que se basan en infiltración, tienen condicionantes físicos de significación, que en regiones tan planas y con suelos arcillosos, como la del AMGR, pueden hacer impracticable su utilización, ya que, por ejemplo, es deseable que la profundidad del nivel freático en el período de lluvias sea como mínimo 1m, que el estrato impermeable se encuentre a una profundidad mayor a 1m y que la tasa de infiltración del suelo saturado sea alta. Como estas condiciones restrictivas, en general no se dan en el AMGR, los dispositivos de almacenamiento temporario se presentan como los elementos más adecuados para cumplir los fines expuestos anteriormente.

En diversos trabajos académicos realizados en la Facultad de Ingeniería de la UNNE se han propuesto distintos esquemas de retardadores de escurrimiento y se ha simulado su funcionamiento, para verificar su eficacia y eficiencia. A continuación se presentan dos de esas propuestas.

i. Uso de retardadores (Pilar, A. y Biaín, 2000)

En este trabajo se analizó la efectividad de un mecanismo hidráulico que tiene por finalidad retardar el escurrimiento generado por una cubierta plana, muy común en el AMGR, para una tormenta crítica. El esquema del retardador y el hietograma analizados son mostrados en las Figuras 2 y 3.

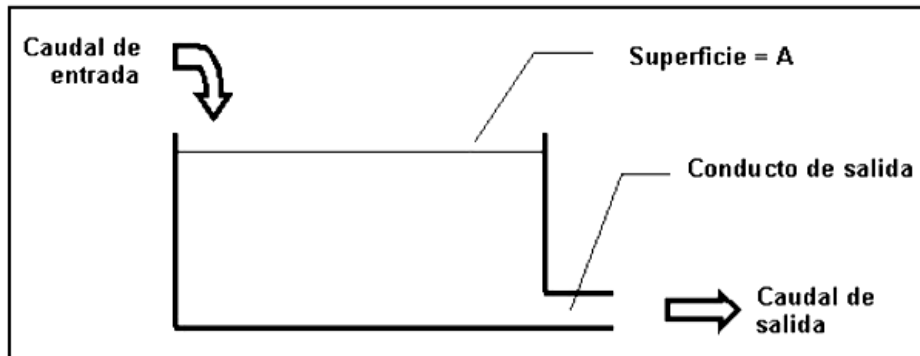


Figura 2.- Esquema del retardador analizado.

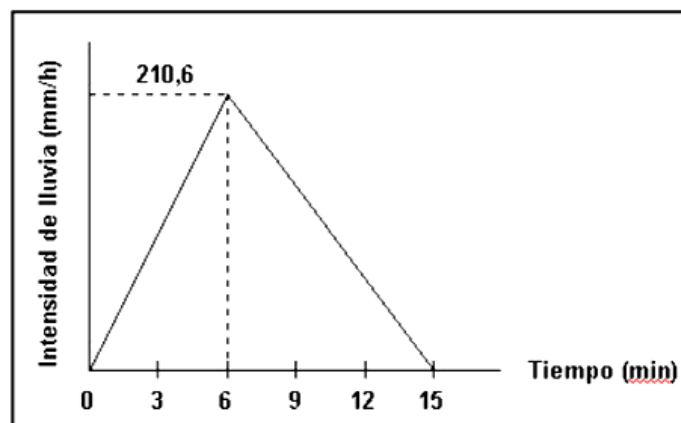


Figura 3.- Hietograma crítico utilizado.

Los autores simularon el funcionamiento de un dispositivo aplicando un dispositivo prismático, de planta rectangular, con salida “estrangulada”, planteando un sencillo modelo de conservación de masa (Chow, Maidment & Mays, 1994; Tucci, 1998):

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(H, t) \quad (1)$$

donde “S” es el almacenamiento; “t” la variable tiempo; “I (t)” el caudal de entrada, función del tiempo y “Q (H, t)” el caudal de salida, función de la carga hidráulica “H” y, por lo tanto, del tiempo.

Expresando la variación del almacenamiento como $dS = A \times dH$, donde “A” es el área de la sección horizontal del retardador, la ecuación (1) puede ser expresada de la siguiente forma:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{I(t) - Q(H, t)}{A} \quad (2)$$

Los autores del trabajo resolvieron la ecuación diferencial expresada en (2) en forma iterativa, utilizando el método de Runge – Kutta de de tercer orden (Chow, Maidment & Mays, 1994). Para calcular el caudal de salida en cada intervalo de simulación aplicaron la siguiente ecuación:

$$Q = C \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (3)$$

donde “C” es el coeficiente de descarga del conducto de salida, “D” su diámetro y “g” la aceleración de la gravedad.

Ellos verificaron el efecto que tendría la construcción de un mecanismo hidráulico de las características antes mencionadas en el escurrimiento generado por una cubierta plana de 50m² de superficie, con pendiente de 1% hacia una descarga de un caño de 0,10m de diámetro. El intervalo de tiempo de simulación utilizado fue 3 minutos, por lo que adoptaron la hipótesis de retardo nulo.

Se simularon tres tamaños de superficie del receptáculo: 1m², 1,50m² y 2m², que representan 2, 3 y 4% de la superficie de la cubierta, respectivamente. Además, consideraron dos tamaños para los diámetros de la descarga de un retardador: 1” y 1,50”. En la Tabla 1 se presenta una síntesis de los resultados de las simulaciones.

Tabla 1.- Resultados de las simulaciones

Diámetro de salida (mm)	Retardo (min)	Reducción del pico del hidrograma (en %)		
		2%*	3%*	4%*
25	6	53,47	59,03	62,93
38	3	25,12	32,18	37,62

* superficie en planta del receptáculo, en % del tamaño del techo

Este trabajo mostró que es físicamente posible y factible ejecutar estructuras hidráulicas retardadoras de escurrimiento en los lotes del AMGR: las alturas requeridas fueron inferiores a 0,45m, con excepción del receptáculo de superficie de 1m² y diámetro de salida 1”, en que la altura alcanzó 0,58m. La eficiencia mostrada por los retardadores puede considerarse como muy buena, ya que las reducciones en los picos de los hidrogramas variaron entre 25% y 62,9%.

ii. Evaluación del uso de patios impermeables deprimidos como retardadores (Cúdom & Gutiérrez, 2000):

Este trabajo fue planteado como continuación del de Pilar & Biaín, cambiando el receptáculo retardador por un patio impermeable con un nivel inferior al de la vereda. Los autores evaluaron el efecto que tendría en una vivienda tipo FONAVI, con 100m² de superficie cubierta y patio completamente embaldosado (situación que se repite con gran frecuencia en el AMGR), construida en un lote de 10m de frente por 20m de fondo, utilizar ese patio como reservorio de amortiguamiento.

Utilizaron la misma tormenta crítica adoptada por Pilar & Biaín y, al igual que ellos, evaluaron el efecto de utilizar para la descarga del receptáculo diámetros de 1” y 1,50”. Los resultados que obtuvieron están resumidos en la Tabla 2.

Tabla 2.- Resultados de las simulaciones

Diámetro de salida (mm)	Retardo del pico del hidrograma (min)	Reducción del pico del hidrograma (%)	Altura máxima H _{máx} (m)	Tiempo de permanencia (min)
25	9	92,30	0,051	233
38	8	83,40	0,050	85

La contribución de este trabajo fue la demostración de que un patio totalmente impermeable, pero con una salida estrangulada hacia la red colectora de drenaje pluvial, podría contribuir eficientemente a lograr el “impacto hidrológico cero”.

Además, las alturas que el agua alcanzaría en ese patio serían de apenas 5cm (que es el desnivel respecto a la vereda), aunque el tiempo de permanencia podría resultar excesivo, sobre todo para la salida de menor diámetro, y tal vez poco tolerable para los moradores de esa vivienda.

BUSCANDO EL IMPACTO HIDROLÓGICO CERO

Es necesario que las acciones orientadas al control de los efectos de las lluvias de cierta magnitud sean planificadas y encaradas en el contexto de un Plan Director de Drenaje Urbano, combinando medidas estructurales y no estructurales como parte de su política de desarrollo urbano sostenible y sustentable, tanto desde una óptica social, como ambiental.

En Argentina son muy pocas las ciudades que cuentan con ese Plan Director y que, por lo tanto, hayan formulado sus planes de ordenamiento del drenaje pluvial como herramienta de gestión dentro de un plan de desarrollo urbano.

Las redes troncales de drenaje pluvial de la mayor parte del AMGR ya tienen varias décadas de construidas, mientras que el área urbanizada de ese conurbano crece a una tasa de alrededor de 2 hectáreas por semana (Scornik, apud Depettris y Pilar, 2001). Ante esa realidad, la Municipalidad de Resistencia solicitó el apoyo técnico del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) y como consecuencia de esta interrelación se sancionó y puso en vigencia, a partir del año 2001, la Ordenanza 5403, que en su anexo 3 establece controles al incremento de la urbanización basados en el concepto de “impacto hidrológico cero”.

Esa norma plantea un control distribuido del escurrimiento e incorpora dos nuevos indicadores, como el FIS (factor de impermeabilización del suelo) y el FIT (factor de impermeabilización total), y la obligación, para todo proyecto nuevo de edificación, de verificar el impacto hidrológico cero, entendiendo como tal “que el pico del caudal generado no se incremente con el aumento de la impermeabilidad del terreno”.

Para la verificación se debe considerar una lluvia crítica (para cierto tiempo de recurrencia y teniendo en cuenta el tiempo de concentración propio del lote), determinar el FIS y el FIT y, en caso que sea necesario amortiguar el hidrograma generado por la nueva edificación, proponer esquemas de retardo y amortiguación del escurrimiento.

El FIS es definido en la Ordenanza como la relación entre la superficie total de cubiertas y pisos impermeables, en proyección horizontal, y la superficie total del terreno. Refleja el grado de impermeabilización o de áreas no absorbentes del lote.

Por su parte, el FIT se determina dividiendo la sumatoria de las superficies cubierta de cada nivel construido por la superficie total del terreno. Este factor busca reflejar el efecto de la impermeabilización en altura.

La norma establece valores límites admisibles para ambos factores: en los casos en que el FIS

$< 0,70$, el $FIT < 4$ FIS y los incrementos de FIS y FIT propuestos no superen el 10% respecto de los FIS y FIT antecedentes, no se requiere evaluación hidrológica. Para cualquier otra situación se exige esa evaluación, más las propuestas de amortiguación y retardo del escurrimiento.

Para la determinación del tiempo de concentración en el lote se han aplicado fórmulas como la de la Federal Aviation Agency de los Estados Unidos (Tucci et al., 1995):

$$t_c = 22,73 \cdot (11 - C) \cdot L^{0,5} \cdot S^{-0,33} \quad (4)$$

donde “ t_c ” es el tiempo de concentración (en minutos), “ C ” el coeficiente de escorrentía (adimensional), “ L ” la longitud del thalweg (en km) y “ S ” es la pendiente de ese thalweg (en m/m).

Ese tiempo de concentración determinará la duración de la lluvia crítica. Se deberá adoptar 10 años como tiempo de recurrencia crítico y se utilizarán las curvas I-D-F (Intensidad-Duración-Recurrencia) de la ciudad de Resistencia elaboradas por la Administración Provincial del Agua del Chaco – APA, o las actualizadas por Pilar, et al. (2007), que incorpora 7 años más de registros pluviográficos y mostradas en la Figura 4.

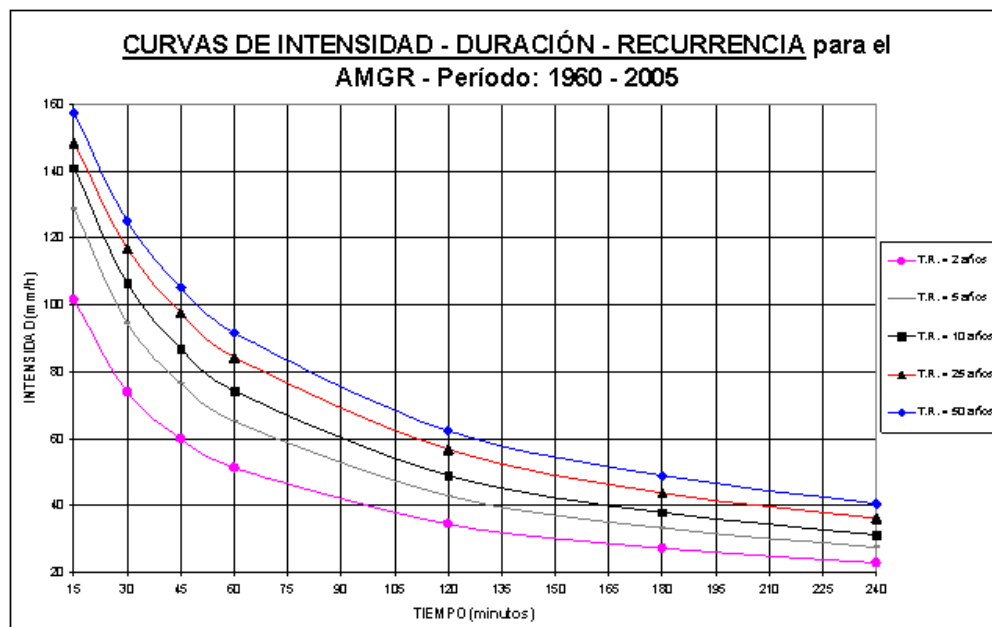


Figura 4.- Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de Resistencia, período 1960 – 2005
(Fuente: Pilar et al, 2007)..

Para realizar la distribución temporal de la lluvia crítica, se sugiere la adopción del método de los bloques alternos.

Para evaluar el escurrimiento generado por el agua captada por los paramentos verticales de los edificios en altura, se considera la captación de la/s cara/s de mayor exposición a las lluvias.

Con valores de lluvia crítica, distribución temporal y superficie de captación se determina el hidrograma de escurrimiento directo, tanto de la situación antecedente, como la con la nueva edificación, a partir de lo cual se realizan las verificaciones exigidas por la norma.

Desde la entrada en vigencia de la Ordenanza 5403, en la ciudad de Resistencia han sido evaluados 784 casos de nuevas construcciones. En 621 de esos casos fue necesario incorporar elementos retardadores del escurrimiento.

CONCLUSIONES

La puesta en vigencia de la Ordenanza 5403 representó una novedad en materia de gestión integrada de drenaje pluvial urbano, en el sentido que regula la urbanización y el incremento de impermeabilidad consiguiente, con una visión hidrológica.

No fue fácil su aplicación, aunque en la actualidad, 15 años después, los emprendedores inmobiliarios y los urbanizadores la aceptan sin ningún tipo de cuestionamientos, habiendo contribuido para ello la opinión pública, que fue informada a través de artículos periodísticos preparados al efecto.

La aplicación de esta normativa no pretende ni puede resolver completamente el problema de las inundaciones urbanas en la ciudad de Resistencia. Sin embargo, como ella, de alguna manera “congela” el efecto hidrológico de la impermeabilización antecedente. Su aplicación es obligatoria en todo el caso céntrico y todos los edificios en altura, sin restricción de superficie.

En este sentido, la Municipalidad de la ciudad de Resistencia ha sido pionera en la República Argentina en el abordaje de este problema a través de una acción que podría considerarse como una medida no estructural, que busca evitar un crecimiento desmedido de los volúmenes de escurrimiento pluvial como consecuencia del incremento de la impermeabilización.

El mayor inconveniente se presentó en la captación de los escurrimientos de los paramentos verticales de los edificios en altura, pues la normativa vigente permite la construcción de ese tipo de edificaciones entre medianeras. En varios casos, el problema se solucionó capturando ese escurrimiento con canaletas interceptoras colocadas sobre los mencionados paramentos.

Se podría afirmar que con el apoyo de la sociedad, adecuadamente informada de las ventajas de la aplicación de la Ordenanza 5403, los emprendedores inmobiliarios aceptaron la ampliación del radio de aplicación de la norma al denominado “anillo de densidad media”. A quince años de la puesta en vigencia de esta normativa, la mencionada aceptación social permite planificar la adecuación de las redes troncales de drenaje pluvial de la ciudad con la esperanza que su obsolescencia demore mucho más que en el pasado, lo que mejorará la calidad de vida de toda la población, en especial de la de menores recursos y localizadas en las zonas más bajas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chow, V.T., Maidment, D. & Mays, L. 1994. Hidrología aplicada. Santa Fe de Bogotá: Mc Graw-Hill. 584p.

Consejo Municipal De Resistencia, Chaco. 2001. Ordenanza n°5403. Cuerpo principal y tres Anexos. Resistencia, Chaco.

Cundom, G., Gutiérrez, G. 2000. Impacto cero en el drenaje pluvial urbano. Trabajo de conclusión. Segundo curso de posgrado en Hidrología Urbana, Facultad de Ingeniería, UNNE.

Depettris, C.A.; Pilar, J.V. 2001. Uso de medidas no estructurales para controlar el aumento de las áreas impermeables de la ciudad de Resistencia. In: Primer Seminario de Drenaje Urbano del Mercosur. Porto Alegre-RS, Brasil. Anales. Pp. 229-232.

Pilar, A. & Biaín, R. 2000. Estudio de la viabilidad técnica de la implantación de retardadores de escurrimiento pluvial en lotes urbanos. In: Tucci, C. E., Goldenfum, J., Depettris, C. & Pilar, J., org., Hidrologia Urbana na Bacia do Prata. Porto Alegre: CAPES-SETCIP/UFRGS-UNNE. pp. 99-107.

Pilar, J. V. & Depettris, C. 2000. Impacto Cero. Resistencia: Diario Norte, edición del 27/02/2000.

Pilar, J.V.; Ruberto, A.R.; Depettris, C.A.; Gabazza, S.; Kutnich, E.J. 2007. Actualización y análisis de las curvas en el Área Metropolitana del Gran Resistencia [AMGR]. Congreso Nacional del Agua - CONAGUA 2007. Tucumán, Argentina. Anales.

Urbonas, B.; Stahre, P. 1993. Stormwater Best Management Practice and Detection. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.

Tucci, C.; De Barros, M.T.; Porto, R. 1995. Drenagem Urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH.

Tucci, C. 1998. Modelos hidrológicos. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH. 669p.

Tucci, C. 2007. Gestión de inundaciones urbanas. Ed. Evangraf Ltda. Porto Alegre, Brasil. 288 p.