

POSIBILIDAD DE LA AGRICULTURA Y LA FORESTACION URBANA Y PERIURBANA EN LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**Feldman S. R.⁽¹⁾, Coronel, A.⁽²⁾, Abalone, R.^(3,4), Terrile, R.⁽⁵⁾, Lattuca, A.⁽⁵⁾, Zimmermann E.^(3,6), Bracalenti L.⁽⁷⁾, Montico, S.⁽⁸⁾, Giandomenico, E.⁽⁹⁾ y Piacentini, R. D.^(3,9)**⁽¹⁾ Cátedra de Biología, Facultad de Ciencias Agrarias, UNR y CIUNR, Rosario, Argentina⁽²⁾ Cátedra de Climatología, Facultad de Ciencias Agrarias, UNR, Rosario, Argentina⁽³⁾ Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, (FCEIA), UNR, Rosario, Argentina⁽⁴⁾ Instituto de Física Rosario (CONICET – UNR), Rosario, Argentina⁽⁵⁾ Programa Agricultura Urbana, Municipalidad de Rosario, Rosario, Argentina⁽⁶⁾ Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales (CURIHAM - FCEIA) CONICET⁽⁷⁾ Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño, UNR, Rosario, Argentina⁽⁸⁾ Facultad de Ciencias Agrarias, UNR, Rosario, Argentina⁽⁹⁾ Laboratorio de Eficiencia Energética, Sustentabilidad y Cambio Climático, IMAE (FCEIA-UNR), Rosario, Argentina*Recibido: 13/08/12; Aceptado: 05/10/12*

RESUMEN: Debido a que el cambio climático se está acelerando, deben investigarse acciones tendientes a su mitigación y adecuación. Las ciudades son un lugar apropiado para aplicar medidas correctivas, ya que actualmente habita en ellas más de la mitad de la población mundial. Dentro del marco de un proyecto internacional, en el presente trabajo desarrollado por investigadores de la Universidad Nacional y la Municipalidad de Rosario, se presenta un estudio de los indicadores relativos a transporte y conservación de alimentos, isla de calor y reducción de escorrentía de agua en los ámbitos urbano y periurbano en relación a cambio climático, mediante la aplicación de agricultura y forestación. Se desarrolla además, ejemplos particulares sobre los indicadores propuestos de aplicación en Rosario, Argentina, obteniendo resultados que muestran que la agricultura urbana y periurbana, así como la forestación, son posibilidades de interés para contribuir a la reducción del calentamiento de ciudades (isla de calor) en particular y del planeta en general.

Palabras clave: Agricultura urbana, agricultura peri-urbana, forestación, isla de calor, escorrentía, cambio climático

INTRODUCCION*Agricultura urbana y peri-urbana y la situación en Rosario, Argentina*

Según la organización IPES de Promoción del Desarrollo Sostenible para la Seguridad alimentaria y nutricional (www.ipes.org/au): “Cuando hablamos de agricultura urbana (AU) nos referimos a producir o transformar (en forma inocua), productos agrícolas (hortalizas, frutales, plantas medicinales, ornamentales, etc.) y pecuarios (animales menores) para autoconsumo o comercialización (re) aprovechando eficiente y sosteniblemente recursos e insumos locales (suelo, agua, residuos, mano de obra, etc.), respetando los saberes y conocimientos locales y promoviendo la equidad de género a través del uso de tecnologías apropiadas (sociales, económicas, productivas, culturales, ambientales, etc.) y procesos participativos para la mejora de la calidad de vida de la población urbana (pobreza, nutrición, participación, generación de empleo e ingresos, etc.) y la gestión urbana social y ambientalmente sustentable de las ciudades”.

De acuerdo a lo señalado por Mougeot (2000), la característica que define la AU es el grado de integración de la producción en el medio urbano, en términos de acceso a los insumos y la tecnología y a la circulación de los productos. La AU es típicamente de carácter urbano, en la medida que depende de la proximidad a mercados y del acceso a recursos de base urbana, tales como los residuos orgánicos o el agua.

La agricultura peri-urbana (AP) es la que se realiza en las mismas condiciones que las indicadas anteriormente, pero en la zona que circunda una ciudad. Si se incluye la forestación (F) como otra importante posibilidad para atenuar la temperatura de una ciudad o bien de retirar anhídrido carbónico (CO₂) de la atmósfera, el conjunto de acciones se sintetiza en la sigla AUPF (UPAF, en inglés).

La ciudad como ecosistema

Desde el enfoque de la *ecología urbana*, la ciudad, no obstante su naturaleza esencialmente artificial, es considerada como *ecosistema*, por estar ocupada por organismos vivos (Rueda, 1998). Los *ecosistemas urbanos* son altamente consumidores de materia y energía y producen crecientes cantidades de desechos, normalmente procesados fuera de sus propios límites. Estos rasgos determinan su total dependencia de los ecosistemas naturales que hacen posible su existencia y el nivel de impacto progresivo que producen sobre los mismos.

Si bien cada ciudad presenta particularidades que la distinguen del resto, constituyen sistemas que concentran personas y recursos que se organizan y distribuyen según los criterios y posibilidades propios de cada región y cultura. Estos sistemas están conformados por áreas que han ido consolidándose a través del tiempo y alcanzado mayor diversidad y complejidad

cultural y funcional, así como densidades poblacionales y edificaciones significativas, denominadas *centralidades* de distinta jerarquía. Estas centralidades estructuran las áreas de tejido regular, constituyéndose así el denominado *intraurbano*.

La expansión de la ciudad sobre el territorio circundante va generando áreas en las que se desarrollan actividades diversas y que van construyéndose progresivamente de acuerdo a las lógicas y dinámicas de cada sector urbano. Estas áreas son frecuentemente ocupadas, previamente a la instalación de las redes infraestructurales que posibilitan la dotación de los servicios básicos y presentan una trama discontinua de baja densidad y escasa diversidad funcional, por lo que resultan altamente dependientes del intraurbano consolidado. Las mismas conforman, junto con el territorio rural y el suelo vacante, la *periferia urbana o sistema periurbano*.

Las áreas periurbanas presentan un alto grado de heterogeneidad porque son zonas de transición y de interacción, en las que se yuxtaponen las actividades urbanas y rurales y en las que las características del paisaje están sujetas a rápidas modificaciones inducidas por las actividades antrópicas (humanas). Morello (2000) define al *sistema periurbano* como un espacio muy dinámico y complejo que tiene todas las características de una interfase ecológica y de una frontera socio-productiva, que no es campo, ni tampoco ciudad, sino una interfase donde disminuyen varios servicios del sistema urbano y se atenúan los servicios ecológicos que provee el campo (Morello, 2000). Este concepto es útil, dado que enfatiza justamente aspectos que los enfoques tradicionales urbanísticos no consideran y que la conflictiva relación ciudad-territorio demanda.

La atemperación de los servicios que brindan los ecosistemas naturales (o sus remanentes) y los agro-productivos en áreas periurbanas, no debería formar parte de un proceso que inevitablemente signifique la anulación de los mismos, aún cuando gran parte del periurbano tenga que ocuparse y construirse. En función de esto, la periferia es un área estratégica para el estudio y la acción, sobre todo si se la considera como el futuro intraurbano, porque contiene las reservas de tierra manejable por parte de las administraciones locales.

El carácter concentrador y a la vez expansivo de las ciudades, se ha acentuado a escala global bajo el modelo económico-productivo vigente. Frente a los conflictos que plantean la acelerada concentración poblacional y el consecuente crecimiento urbano, la incertidumbre que genera el cambio climático y el agotamiento de los recursos, preservar áreas verdes en cantidad, calidad y conectividad adecuada es un modo de garantizar la prestación de indispensables servicios a la población urbana. La *agricultura y la forestación urbana y periurbana* constituyen estrategias valiosas para recuperar y consolidar la infraestructura verde en territorios urbanizados.

El Programa de Agricultura Urbana de Rosario se encamina a cumplir 10 años de su existencia y funcionamiento. Nacido en el marco de la emergencia institucional, política y socio económica por la que atravesó la Argentina en el año 2002, con el objetivo inmediato de promover y resguardar la seguridad alimentaria de las familias más vulnerables de la ciudad. La estrategia inmediata fue la de producir alimentos sanos (hortalizas agroecológicas), plantas aromáticas y ornamentales para la generación de ingresos a través de la instalación de huertas urbanas grupales y su comercialización en ferias (inexistentes en la ciudad hasta ese momento). El principio rector ha sido la de constituirse en un modelo de desarrollo local, de construcción de redes sociales, de promoción de una economía social donde existan otras formas de intercambios, donde se privilegie los valores sobre el lucro, donde las familias accedan al suelo para producir y los habitantes ejerzan su derecho a una alimentación sana, sin contaminantes y donde las familias en los barrios disfruten de espacios productivos, en vez de basurales.

Esta iniciativa fue producto de una alianza generada entre la Municipalidad de la ciudad de Rosario, la ONG CEPAR y el Programa Pro Huerta INTA. En la primera etapa se desarrolló un trabajo de modo de sentar las bases para integrar la AU a la ciudad. Así fue que el gobierno local institucionalizó la AU y la integró como política pública. Se crearon normativas locales específicas para regular la actividad productiva y de comercialización. Los espacios socio-productivos se reconocieron para su integración a la planificación urbana con el objetivo de disponer los espacios urbanos *vacíos* y otros públicos para la creación de huertas, parques huertas, agroindustrias y ferias de venta, logrando así una tenencia segura para los huerteros/as.

El Programa de AU de Rosario ha alcanzado resultados que superan aquel objetivo primario de dar respuesta a una situación de emergencia social, para constituirse en un programa con beneficios para amplios sectores de la ciudad. A modo de ejemplo se puede citar como logros, los siguientes:

- Las verduras que comercializan los huerteros/as constituyen la única fuente de este tipo de alimento sano producida sin uso de agroquímicos haciendo que consumidores sensibilizados ejerzan la noción de un consumo libre de los mismos.
- El cambio del paisaje barrial producido al transformar los espacios degradados en productivos,
- La integración de temas de educación ambiental en la enseñanza, mediante la articulación con las escuelas de distintos niveles y con la Universidad, para incluir el tema de la AU en sus temas de investigación y estudio, haciendo que nuevos profesionales de distintas disciplinas incluyan en su formación la visión de la economía social.
- La mejora en las condiciones de vida de aproximadamente 250 familias, en condiciones de vulnerabilidad social, que trabajan vinculados a la AU.
- La consolidación de las organizaciones claves de este proceso, como son las de productores a través de la Red de huerteras y huerteros y los consumidores a través de la asociación Verde Vida.
- La consolidación de los espacios productivos, de transformación y comercialización a través de su equipamiento, brindando condiciones dignas de trabajos y certidumbre a las familias productoras.
- La puesta en producción de 20 ha de tierras en espacios productivos con tenencia segura para los huerteros/as con infraestructura instalada.
- La instalación de 3 parques huertas, corredores verdes al margen de las vías del ferrocarril y huertas grupales agroecológicas, que han significado la recualificación del paisaje barrial.

- Un sistema de comercialización directa entre productores y consumidores, en el marco de una economía social a través de: a) la instalación de 6 ferias semanales que funcionan en distintos espacios públicos de la ciudad, b) un sistema de venta domiciliarias de bolsones de verduras agroecológica y c) la venta directa en los espacios productivos.
- La instalación y equipamiento de 3 agroindustrias urbanas sociales de procesamiento de hortalizas y de cosmética natural.
- La creación de una logo marca social que diferencia a los productos que se comercializan.

A partir de este escenario instalado, la consolidación de estos procesos se basa en lograr progresivamente la activa participación de sus actores.

Clima y calentamiento global del planeta

El clima es el promedio temporal, en un período razonablemente extenso, de las condiciones atmosféricas sobre las principales variables: temperatura, humedad, presión, precipitación y viento, entre otros. Esta condición se determina después de una larga serie de mediciones y estudios. Ha cambiado en el pasado y va a cambiar en el futuro. El último informe mundial del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC/WG1, 2007), ha determinado que es *muy probable* (con el 90% de probabilidad) que la actividad humana sea la responsable del fuerte aumento de la temperatura ambiente, desde el siglo 18 hasta la actualidad. En particular, Piacentini y Mujumdar (2009), utilizando los datos publicados sobre la variación de la temperatura del Hemisferio Norte durante el último siglo XX, determinaron que el aumento fue de $(0.57 \pm 0.06)^\circ\text{C}$ por siglo, en comparación con una disminución muy pequeña de $(-0.020 \pm 0.001)^\circ\text{C}$ por siglo en casi todo el último milenio. En consecuencia, el cambio en el clima en el mundo (ya que el comportamiento en el hemisferio Sur es similar con algunas diferencias) es en realidad un calentamiento global. De los cálculos del modelo realizados por las organizaciones más importantes que estudian el comportamiento de la temperatura ambiente en el presente siglo, el informe mundial del IPCC presentó una proyección hacia fin del presente siglo un aumento promedio de aproximadamente 3°C , con posibles variaciones entre alrededor de 1°C y 6°C , dependiendo del comportamiento humano con respecto a la emisión atmosférica de gases de efecto invernadero (GEI) y partículas. Las principales fuentes de GEI son: dióxido de carbono (CO_2 , principalmente a partir de combustibles fósiles: petróleo, gas y carbón), metano (CH_4 generado en ambientes húmedos y anaerobios como los cultivos de arroz, la producción bovina y la fermentación de residuos), óxido nitroso (N_2O , por agricultura intensiva) y los halocarbonos (HCFC, en circuitos de refrigeración y aire acondicionado). El valor final que se ha indicado anteriormente a ser alcanzado para el año 2100, dependerá del nivel (bajo, medio o alto) de la emisión.

En particular en Sud y Centro América, los cambios en la temperatura y en la precipitación, según los resultados del promedio de 21 modelos de clima global y escenario A1B (de desarrollo intermedio de la humanidad), resumidos en el informe mundial del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, Grupo de Trabajo 1: "La base física científica" (IPCC/WG1, 2007), predicen para fin del presente siglo en la región de Rosario, Argentina, incrementos de $(2.5 \pm 1.3)^\circ\text{C}$ y $(12.5 \pm 2.5)\%$, respectivamente.

Los impactos que produce el aumento de temperatura, son (IPCC/WG2, 2007): aumento del nivel del mar (unos 20 cm en el siglo pasado) debido a la expansión del agua y el derretimiento de la nieve/hielo, la expansión de enfermedades tropicales a mayores latitudes y altitudes, la modificación de las precipitaciones con mayores sequías e inundaciones en diferentes lugares del mundo, el riesgo de extinción de plantas y animales, entre otros.

Las posibles medidas para reducir la introducción en la atmósfera de gases de efecto invernadero y las partículas (principalmente humo de la quema de biomasa) son: mejorar significativamente el uso de energía y materiales, considerar el cambio a las energías renovables (solar, eólica, biomasa, biocombustibles de segunda generación que no compiten con los alimentos, geotérmica, del mar, etc), compensar emisiones, si no es posible eliminar la fuente, mediante plantación de vegetales (principalmente árboles) y captura de carbono, entre otras. Diferentes organizaciones no gubernamentales están ofreciendo la posibilidad de realizar estas compensaciones (ver por ejemplo las páginas web de la Fundación Nacional de la Energía, del Reino Unido: <http://www.nef.org.uk/greencompany/co2calculator.htm> y de la ONG CeroCO2: www.ceroco2.org).

DEFINICION DE INDICADORES RELATIVOS A LA AGRICULTURA Y FORESTACION URBANA Y PERIURBANA

Los indicadores permiten estimar la evolución espacio-temporal de variables que definen la situación de un dado sistema. En nuestro caso, consideraremos indicadores que se adaptan para la descripción de la posible acción de distintas medidas relativas a agricultura urbana y peri-urbana que permitan mitigar o al menos adaptarse al cambio que se está produciendo y que se va a incrementar en el futuro en el clima terrestre. Analizaremos a continuación algunos de ellos.

Isla de calor

El crecimiento de la población urbana es una de las principales características de nuestro planeta en las últimas décadas. Al presente (2012) alrededor de la mitad de la población mundial vive en las zonas urbanas y en un futuro próximo esta cifra aumentará, estimando Naciones Unidas que para el 2030 más del 60% de la población humana vivirá en las ciudades. Mientras que los centros urbanos sigan creciendo, el fenómeno de *isla de calor urbana* (el aumento de la temperatura en la

ciudad debido a la energía térmica producida por las actividades humanas y por los materiales de las construcciones urbanas, respecto de las zonas rurales) seguirá aumentando y en los diferentes escenarios de cambio climático (IPCC/WG1, 2007) será una retroalimentación positiva: las emisiones de gases de efecto invernadero aumentarán, provocando un aumento de la temperatura aún mayor.

Entre los factores que influyen en la generación de la *isla de calor*, se pueden nombrar la reducción de espacios verdes y el predominio de superficies impermeables en las ciudades, las propiedades térmicas y radiativas de los materiales utilizados en la construcción, la geometría urbana, las emisiones antropogénicas de calor, el clima, las condiciones meteorológicas y la ubicación geográfica de las ciudades.

En este trabajo presentamos indicadores que permiten determinar si la AUPF (Bryld, 2003; Lee-Smith, 2010) contribuye a reducir el efecto de *isla de calor*. La eficiencia en la reducción de la isla de calor puede ser calculada con datos obtenidos *in situ* o datos derivados de imágenes satelitales, de las diferentes áreas dentro de la ciudad. Estos datos van mostrando cómo evoluciona la AUPF en función del tiempo y permiten así estimar la variación porcentual de mejora, respecto de una situación de referencia (por ejemplo, antes de aplicar AUPF).

Definimos el indicador *isla de calor* a partir de la propuesta de Oke (1982) que muestra las diferencias máximas entre las temperaturas urbana y rural:

$$\Delta T_{\max} = T_{\max \text{ ciudad}} - T_{\max \text{ rural}} \quad (1)$$

Si se amplía el escenario de AU y F en una ciudad, la eficiencia que esto puede producir en la reducción de la isla de calor puede ser calculada a través del método planteado por Abalone et al. (2010), según la siguiente relación:

$$\eta_{\Delta T, j} = 100.(\Delta T_{\max, j}^* - \Delta T_{\max, j}) / \Delta T_{\max, j} \quad (\text{en } \%) \quad (2)$$

donde: $\Delta T_{\max, j}^*$: es la diferencia de temperatura para un determinado escenario j de AUPF. La eficiencia total es la suma pesada de las eficiencias individuales de cada escenario j (Abalone, et al., 2010).

Es de interés realizar diferentes análisis, comparando: a) distintas áreas dentro de una ciudad, con y sin AUPF; b) los cambios observados en una ciudad a lo largo del tiempo, al variar la ubicación y dimensión de las áreas asignadas a AUPF; c) ciudades de características similares (clima, número de habitantes, patrones de edificación), pero con diferentes áreas AUPF.

Otro indicador que permite analizar el efecto de AUPF sobre la isla de calor, es la variación (reducción o aumento) de la demanda energética de los sistemas de refrigeración bajo diferentes escenarios de AUPF. Deben analizarse las variaciones de la demanda de energía con o sin AUPF a lo largo del tiempo o entre zonas de la ciudad (con o sin AUPF). En todos los casos, deben seleccionarse casas y edificios corporativos con métodos adecuados de muestreo.

Todos los indicadores deben ser referenciados por área (urbana, peri-urbana y total) y *per cápita*. En una megalópolis y dada su extensión, puede ser conveniente tener en cuenta las áreas homogéneas dentro de la ciudad. Las mitigaciones se pueden expresar en porcentaje de reducción, sobre la base de datos sin aplicación de AUPF.

La primera variable a considerar es la masa de CO₂ (m_{CO_2}) que pueden retener vegetales diversos a ser incorporados vía agricultura o forestación urbana o peri-urbana.

Una de las principales medidas que se pueden tomar para disminuirla concentración del CO₂ es removerlo vía su fijación fotosintética. A través de ese proceso, el CO₂ pasa a ser materia orgánica y queda fijado por períodos prolongados en la biomasa arbórea o como materia orgánica del suelo. Existe una extensa bibliografía (Figueroa, 2007; Getter et al., 2009; Figueroa y Suarez-Inclán, 2009; Kiran y Kinnary, 2011) que muestra que la vegetación urbana, en su mayoría árboles, posee efectos benéficos que van más allá de secuestrar carbono, sino que incluyen también que disminuyen la contaminación que provocan compuestos orgánicos volátiles y las partículas de tamaño $\leq 10 \mu\text{m}$.

Las tasas de fijación dependen de las especies y se ven afectadas por la temperatura y la disponibilidad hídricas y para especies arbóreas valores están dentro del rango de 0.1 - 10 kg CO₂ por día (Escobedo et al., 2010).

Esguerrimiento y retención de agua mediante cubierta verde

En las ciudades, el aumento sostenido del exceso de precipitación -o *precipitación efectiva*- debido a la creciente impermeabilización del suelo, se ha convertido en una preocupación ambiental seria, a la que se suma el incremento de las lluvias anuales en determinadas áreas debido a las consecuencias del calentamiento global en la región (IPCC/WG1, 2007). Frente a las tendencias crecientes de los procesos de urbanización, este problema se tornará más complejo y difícil de resolver, si no se toman medidas inmediatas que puedan desarrollarse paralelamente a los mencionados procesos de pavimentación y edificación. La escorrentía (flujo de agua) superficial constituye un componente del ciclo hidrológico que provoca alto impacto en las áreas urbanas. Para su evaluación, es necesario considerar las entradas de agua por precipitación, los procesos de intercepción de la lluvia por parte del follaje y su infiltración en las áreas permeables. En función de cómo se den estos procesos, resultarán los volúmenes de agua almacenados en el suelo, los que permitirán, luego, la evapotranspiración y la recarga de acuíferos.

La adecuación necesaria de la infraestructura pluvial, demanda grandes inversiones e intervenciones muchas veces inviábiles en sectores con alta densidad edilicia, por lo que resulta prioritario definir estrategias sinérgicas de solución para éste y otros

problemas ambientales asociados, que permitan reducir los volúmenes de salida por escorrentía a través de incrementar el agua interceptada, la absorbida por el soporte edáfico y la almacenada en receptáculos de diverso tipo. Planificar y diseñar ciudades con mayores superficies permeables para reducir y retardar el volumen de agua a derivar a la red de drenaje, es una alternativa que puede implicar, además, otros muchos efectos positivos.

Como se ha mencionado, es un hecho probado que, frente a los conflictos que plantea el crecimiento urbano y la incertidumbre que genera el cambio climático, preservar áreas verdes en cantidad, calidad y conectividad adecuadas, es un modo de garantizar la prestación de servicios ecosistémicos indispensables para la vida en las ciudades.

Para cuantificar los efectos de coberturas vegetales asociadas a la agricultura y la forestación urbana se proponen los siguientes indicadores:

a) Porcentaje Área AUPF

Se define dicho porcentaje como:

$$Pg = 100 * \sum Ag / \sum A \quad (3)$$

Pg: Porcentaje áreas AUPF, incluyendo todas las superficies ocupadas por AUPF en el área de interés; Ag : Superficies ocupadas por AUPF (agricultura urbana, techos verdes, bosques urbanos y periurbanos), A : Total de áreas urbanas y periurbanas de interés.

b) ΔI = Reducción en áreas impermeables (AI) (%)

$$\Delta I = 200 * (AI_{t+1} - AI_t) / (AI_{t+1} + AI_t) \quad (4)$$

AI_{t+1}: Superficie impermeable posterior al incremento de AUPF, AI_t: ídem anterior al incremento de AUPF.

c) ΔC = Reducción del coeficiente de escorrentía (%)

$$\Delta C = 200 * (C_{t+1} - C_t) / (C_{t+1} + C_t) \quad (5)$$

C_{t+1}: Coeficiente de escorrentía posterior al incremento de AUPF, C_t: ídem anterior al incremento de AUPF, $C = \sum A_i C_i / \sum A$ donde: A_i= Área de características homogéneas, C_i= Coeficiente de escorrentía correspondiente a cada A_i.

A manera de ejemplo, se consideran las áreas reguladas, correspondientes a la planicie de inundación del Arroyo Ludueña en el municipio de Rosario (Ordenanzas 4557/88, 6299/96 y 7477/03). En la superficie afectada por cada ordenanza, se evidencia un incremento sostenido del área urbanizable. Partimos del supuesto que la misma será ocupada por una tipología edificatoria con un coeficiente de escorrentía (C) de 0.7 (barrio tradicional) y la no urbanizable por un 50% de parquización, un 25% de forestación y el 25% restante de horticultura con un C medio de 0.3. Como podemos observar en la Tabla 1, los valores de C ponderados que resultan de la anterior asignación propuesta para uso del suelo, aumentaron de 0.30 (año 1988) a 0.47 (año 2003), lo que implica un incremento del caudal específico de diseño superior al 50% (50 L/s.ha a 78 L/s.ha). Dicho caudal específico de diseño ha sido calculado aplicando la siguiente ecuación:

$$q_{esp} = Cu * C * I \quad (6)$$

donde q_{esp} es el caudal de diseño específico, Cu es un coeficiente de conversión de unidades, C es el coeficiente de escorrentía e I la intensidad de precipitación de diseño, adoptada de acuerdo a normativas municipales, en 60 mm/h.

Si se lograra reducir C en un 50% (C = 0.2) mediante manejos adecuados de suelo y coberturas vegetales apropiadas, el caudal de diseño específico podría reducirse a 67 L/s.ha, manteniendo la misma superficie urbanizable con igual tipología edilicia. Para una misma infraestructura de drenaje, esto implicaría una marcada disminución del riesgo de inundación.

	Ordenanza 4557/88	Ordenanza 6299/96	Ordenanza 7477/03
Área Total regulada aldeaña al Arroyo Ludueña (ha)	2974	2092	2101
Área Urbanizable (ha)	0	358	714
Área no Urbanizable (ha)	2974	1734	1387
Coeficiente de escorrentía (adimensional)	0.30	0.39	0.47
Caudal de diseño específico (L/s.ha)	50	64	78
Porcentaje de área AFUP, Pg (adimensional.)	100	83	66
Reducción de áreas impermeables, ΔI		200.00	66.42
Reducción del coeficiente de escorrentía, ΔC		24.96	19.72

Tabla 1. Áreas y otras cantidades de uso en el análisis de escorrentía.

Los valores de los indicadores propuestos reflejan similares conclusiones vertidas en el párrafo anterior. El signo positivo de los mismos indica que la situación en términos de riesgo se agrava con el tiempo. El porcentaje de AUPF se reduce de un 100% a un 66%. Las áreas urbanizables (impermeabilizables) potencialmente crecieron un 200% en el período 1988-1996 y algo más del 66% en el período 1996-2003. El coeficiente de escorrentía potencialmente podría crecer casi un 25% en el primer período y casi un 20% en el segundo.

Transporte y conservación de alimentos

Los procesos que garantizan un adecuado almacenamiento y conservación de alimentos, se basan en la reducción de las tasas de respiración y transpiración. Estos procesos implican un gasto de energía significativo, que aumenta al aumentar el tiempo de almacenamiento requerido. Además de las emisiones de CO₂ asociadas a este consumo, los equipos de refrigeración producen emisiones de compuestos de hidroc fluorocarbonos (HCFC) y clorofluorocarbonos (CFC), estos últimos en los países en los que no han sido aún reemplazados (IPCC/WG1, 2007).

Un posible indicador para medir este impacto, es el tiempo de retardo (τ) que cada producto requiere de transporte, almacenamiento y conservación. Corresponde al intervalo de tiempo entre la cosecha del producto en el lugar de producción (AUP) y la entrega al consumidor. Asociado con este indicador está la cantidad de CO₂ (m_{CO_2}) emitida por todo el proceso de almacenamiento y conservación, de acuerdo con las necesidades de cada producto. Las pérdidas que ocurren durante el proceso deben ser incluidas mediante la inclusión de un factor de pérdida, f_{loss} (mayor que uno). Por ejemplo, si las pérdidas son del 30%, entonces la masa emitida de CO₂ será:

$$m_{CO_2,tc\ total} = f_{loss} * m_{CO_2} \quad (7)$$

El uso de diversos medios de transporte para el traslado de productos alimenticios desde centros productivos alejados hacia la ciudad, involucra diferentes niveles de consumo energético y de emisiones de CO₂ asociadas, según el tipo de vehículo, estado general, distancia recorrida, infraestructura y logística requerida. Los transportes que disponen de sistemas de refrigeración tienen un consumo energético adicional, además de emisiones de otros gases altamente contaminantes (HCFC).

Un indicador adecuado para medir el impacto del transporte es la cantidad de kilómetros (o millas), μ , recorrida por cada producto para llegar a la ciudad, multiplicado por el coeficiente (c) que transforma esta cantidad a la masa de gases de efecto invernadero emitido, según los combustibles fósiles empleados.

Asociado a este indicador está la cantidad de CO₂ emitida, no sólo por el combustible que se consume, sino también el CO₂ emitido en el uso y el mantenimiento de los transportes, en seguridad, rutas y otros factores externos. De la misma manera, como ocurre con las pérdidas de alimentos, esta emisión adicional puede ser representada por un factor de f_{ext} (también mayor que uno), resultando

$$m_{CO_2,ff\ total} = f_{ext} * \mu * c \quad (8)$$

La distribución de los productos alimenticios dentro de la ciudad, puede separarse en dos circuitos claramente diferenciados:

- a) *Circuito minorista tradicional:* Los minoristas (verdulerías, minimercados) compran los productos en los grandes mercados concentradores de la ciudad, transportándolos con vehículos (camionetas en general no acondicionadas). Algunos minoristas disponen de sistemas de refrigeración para algunos productos. Los consumidores adquieren los productos en los locales en los días siguientes o mediante entrega domiciliaria (*delivery*). También suelen existir distribuidores minoristas que abastecen a las verdulerías y pequeños mercados. Esto incorpora un intermediario más en la cadena, aumentando el manipuleo de los productos transportados.
- b) *Circuito minorista de las huertas urbanas:* Debido a que la producción es propia, disminuye notablemente el manipuleo de los productos, ya que se eliminan los intermediarios. Los consumidores adquieren los productos directamente en las huertas, en las ferias o mediante entrega domiciliaria. Este circuito de distribución asegura un tiempo muy corto entre la cosecha de los alimentos y su destino, los consumidores, manteniendo un alto nivel de calidad y frescura, sin necesidad de sistemas de refrigeración y conservación.

La evaluación de la *distribución de alimentos dentro de la ciudad*, teniendo en cuenta estos dos circuitos distintos, puede ser realizada aplicando los indicadores anteriores al transporte, almacenamiento y conservación dentro de la ciudad.

El aumento de la producción de frutas y verduras en huertas urbanas próximas a los centros de consumo, producirá una reducción de los indicadores propuestos, con la consiguiente reducción en la emisión de gases de efecto invernadero.

Consumo de combustible por transporte de alimentos y emisión asociada de CO₂

Consideremos como ejemplo, la emisión del gas de efecto invernadero que se puede ahorrar de emitir, por la producción local (urbana o peri-urbana) de vegetales destinados a la alimentación, respecto del mismo vegetal que se debería traer desde una zona alejada.

La fórmula para la masa de CO₂ emitido a la atmósfera, es la siguiente:

$$M_t(CO_2) = N * D * C * f \quad (9)$$

donde: M_t es la masa total de CO_2 emitido, N el número de viajes por año que debe realizar un camión para transportar los vegetales, considerando una cantidad total M (vegetales) transportados llevando una carga M (por camión por viaje), D la distancia recorrida, C el consumo de combustible del camión y f el factor de conversión de masa de CO_2 emitida por cada litro de combustible consumido por el medio de transporte.

Analizaremos como caso particular ilustrativo el reemplazo mediante agricultura urbana en Rosario, del transporte de tomates por camión. Si la masa total en el año del vegetal tomate producido en Rosario y su región (zona urbana y periurbana) y que reemplaza al que debería traerse del Norte argentino es $M(\text{tomates})=200 \text{ Tn/año}$ y es transportado a razón de 20 Tn por viaje, se necesitan: $N = 10$ viajes de camión en el año. Además: $D = 1000 \text{ km}$ (distancia promedio del lugar de producción en el Norte argentino hasta Rosario), $C = \text{Consumo medio del camión viajando a un promedio de } 65 \text{ km/hora} = 32 \text{ litros diesel/100km} = 0.32 \text{ litros/km}$ (Marchese y Golato, 2011) y el factor de conversión de litros de combustible fósil contaminante a kg de CO_2 $f = 2.5725 \text{ kgCO}_2/\text{litro diesel}$ (NEF/UK). En consecuencia, de (9):

$$M(\text{CO}_2) = (10 \text{ viajes/año}) * (1000 \text{ Km}) * (0.32 \text{ l/Km}) * (2.5725 \text{ KgCO}_2/\text{litro diesel}) = 8232 \text{ KgCO}_2/\text{año} = 8.232 \text{ TnCO}_2/\text{año}.$$

Se logra de este modo reducir la contaminación en algo más de 8 Tn de CO_2 en el año por la reducción del transporte de este solo vegetal. Un análisis similar se puede hacer para el resto de los vegetales de la misma ciudad y para las demás ciudades del país y del mundo, lo que resultaría en una contribución de la agricultura urbana a la mitigación del calentamiento global del planeta, como otras tantas propuestas que incluyen principalmente las Energías renovables (NEF/UK, IPCC/SRRES).

CONCLUSIONES

El suelo urbano y periurbano es un recurso escaso y no renovable que, ante las tendencias crecientes de concentración y vulnerabilidad poblacional en las ciudades, debe transformar su rol casi excluyente como soporte tecnoestructural para incorporar -preservando y recuperando- el de soporte ecológico y producción primaria de alimentos (Viljoen, Bohn y Howe, 2005). En este sentido, la planificación del suelo en las ciudades y en sus áreas rurales inmediatas demanda renovar los criterios y estrategias atendiendo a la complejidad de los problemas e integrando nuevas variables al análisis. La preservación de los relictos ecosistémicos de valor (o puntos críticos de biodiversidad en entornos urbanizados) y de la tierra periurbana y urbana para un *uso agroecológico* dirigido a la generación de alimentos percederos e ingresos, constituye la base del mosaico interconectado de naturaleza. Esto significa pensar desde otro enfoque la interfase periurbana como futuro intraurbano preparado para dar respuesta a las nuevas problemáticas asociadas a la concentración poblacional, el aumento de la pobreza y la desocupación de los habitantes. Pero también reflexionar sobre articulaciones más armónicas y eficientes entre campo y ciudad las que, en términos físico-territoriales, encuentran en la periferia sus puntos de contacto y comunicación.

En relación al cambio climático, los últimos informes del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC/WG1, 2007) indican que se está acelerando, por lo que deben tomarse medidas urgentes para reducir el incremento de la temperatura ambiente y atemperar los efectos negativos de este incremento. A tal efecto, en el presente trabajo hemos propuesto el desarrollo de indicadores tendientes a evaluar el transporte y conservación de alimentos, la isla de calor urbana y la escorrentía del agua en la ciudad y hemos presentado resultados para algunos indicadores particulares. Continuaremos desarrollando este tema para contribuir a la mitigación y atenuación del calentamiento global del planeta, conjuntamente con otros Centros de investigación de diferentes países, dado que los resultados que se obtengan para Rosario, Argentina, serán replicados en otras ciudades del mundo, a través del proyecto internacional que coordina la Fundación RUAF (Resource Centres on Urban Agriculture and Food Security, www.ruaf.org).

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación RUAF, en especial a Marielle Dubbeling y Henk de Zeeuw; a la Subsecretaría de Medio Ambiente de la Municipalidad de Rosario, en particular al Subsecretario Ing. Ricardo Bertolino; a la Subsecretaría de Medio Ambiente de la Provincia de Santa Fe, en especial al Subsecretario, Lic. Ricardo Biasatti; al Dr Francisco Escobedo de la University of Florida/EUA, por importantes discusiones relativas al tema del presente trabajo. A la Universidad Nacional de Rosario y al CONICET.

REFERENCIAS

- Abalone R, Gaston A and Piacentini R D (2010). Calculation of emitted CO_2 and reduction efficiency of the drying process. Comunicación presentada en el World Congress of Engineering 2010, Buenos Aires, October 2010.
- Bryld, E. (2003). Potentials, problems, and policy implications for urban agriculture in developing countries. *Agriculture and Human Values* 20: 79-86
- Escobedo, F. Varela, S; Zhao, M.; Wagner, J.E. & Zipperer, W. (2010). Analyzing the efficacy of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities. *Environmental Science and Policy*, 13:362-372
- Figueroa, M.E. (Coordinador) (2007) La vegetación urbana como Sumidero de Dióxido de carbono. El árbol urbano una central energética eficiente ante el cambio Climático. Agencia de la Energía. Ayuntamiento de Sevilla. España.
- Figueroa, M.E. y Suarez-Inclán M. (2009) Ciudad y Cambio Climático. 707 medidas para luchar contra el cambio climático desde la ciudad. Agencia de la Energía de Sevilla. Ayuntamiento de Sevilla. Spain
- Getter, K.L.; Bradleyrowe, D.; Robertson. G.P.; Cregg, B.M. & Andresen, J.A. (2009). Carbon Sequestration Potential of Extensive Green Roofs. *Environment Science and Technology* 43: 7564–7570.
- IPCC/WG1 (Intergovernmental Panel on Climate Change), Working Group 1, on The physical science basis, (2001) Cambridge University Press, 2007 (disponible en www.ipcc.ch).

- IPCC/WG2 (Intergovernmental Panel on Climate Change), Working Group 2, on Impacts, Adaptation and Vulnerability, 2007 (available at www.ipcc.ch)
- IPCC/WG3 (Intergovernmental Panel on Climate Change), Working Group 3, on Mitigation and Adaptation, (2001) Cambridge University Press, 2007 (disponible en www.ipcc.org).
- IPCC/SRRES. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group III (IPCC/WGIII) .Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRRES) (<http://srren.ipcc-wg3.de/>)
- Kiran, G.S. & Kinnary, S. (2011). Carbon sequestration by urban trees on roadsides of Vadodara city. *International Journal of Engineering Science and Technology* 3: 3066-3070.
- Lee-Smith, S. (2010). Cities feeding people: an update on urban agriculture in equatorial Africa. *Environment & Urbanization* 22: 483–499.
- Marchese R. A. y Golato M. A. (2011). El Consumo de Combustible y Energía en el Transporte. *Revista CET/UNTucuman*, 33, 1-9, (<http://www.herrera.unt.edu.ar/revistacet/ultimonro/nro33/pdf/n33ext02.pdf>).
- Morello, J. (2000). *Manejo de Agrosistemas Periurbanos*. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de Mar del Plata. Editorial del Programa del Centro de Investigaciones Ambientales, 7.
- Mougeot, L. (2000). Achieving urban food and nutrition security in the developing world the hidden significance of urban agriculture. Disponible en http://www.ifpri.org/sites/default/files/pubs/2020/focus/focus03/focus03_06.pdf
- NEF/UK. National Energy Foundation (<http://www.nef.org.uk/greencompany/co2calculator.htm>)
- Oke T R. (1982).The energetic basis of urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 108, 1-24.
- Piacentini R D and Mujumdar A. 2009.Climate change and the drying of agricultural products. *Drying Technology*. An International Journal, 27 (5) 629-635.
- Rueda, S. (1998). Periferización y complejidad en los sistemas urbanos. En MONCLUS, F., editor, *La ciudad dispersa*. Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona. Barcelona, 83
- Viljoen A., Bohn K. y Howe, J. (2005) Continuous productive urban Landscapes CPULs: designing urban agriculture for sustainable cities. Oxford University Press, Inglaterra.

ABSTRACT

Because climate change is accelerating, actions should be investigated for its mitigation and adaptation. Cities are a place to apply corrective measures, since currently live there more than half of the world population. Within the framework of an international project, in this study developed by researchers at the National University and the Municipality of Rosario, we present a study of indicators related to transportation and food preservation, heat island reduction and runoff in the urban environment in relation to climate change through the implementation of agriculture and forestry. We develop further specific examples on implementing the proposed indicators in Rosario, Argentina, obtaining results which show that the agriculture as well as forestation, are likely of interest to help reduce the city warming (heat island) in particular and the world in general.

Keywords: Urban agriculture, peri-urban agriculture, forestry, heat island, runoff, climate change.