

## **BENEFICIOS DEL ARBOLADO URBANO EVALUACIÓN DEL BALANCE ENTRE SECUESTRO, DEMANDA ENERGÉTICA Y OTROS IMPACTOS**

**F.A. Seoane<sup>1</sup>, J.M. Evans<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería – Universidad de Flores  
Camacú 282, (1406), Ciudad de Buenos Aires, Argentina  
Teléfono: (011) 4641-6950. E-mail: [fas1@sion.com](mailto:fas1@sion.com)

<sup>2</sup> Centro de Investigación, Hábitat y Energía,  
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires  
Pabellón III, Piso 4, Ciudad Universitaria (1428), Ciudad de Buenos Aires, Argentina  
Teléfono: (011) 4789-6274. E-mail: [evans@fadu.uba.ar](mailto:evans@fadu.uba.ar)

**RESUMEN:** Las tasas de emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son la principal causa del aumento del efecto invernadero. En este trabajo se evaluó y ajustó un nuevo modelo para la cuantificación de los efectos sobre las tasas de emisión de este compuesto en espacios urbanos. A través de la implementación de un programa que prevé la implantación de 50 árboles en sitios cercanos a viviendas, en un área residencial de la Ciudad de Buenos Aires, se analizaron las emisiones de CO<sub>2</sub> que serían liberadas y las que, por causa del arbolado, evitarían ser emitidas. Los resultados indican que por efectos de la interceptación solar, del viento y de las tasas de secuestro del arbolado, en un período de 40 años, 85,19 toneladas de CO<sub>2</sub> evitarían ser emitidas al ambiente, con la consecuente disminución de gastos de energía eléctrica y gas natural, además de los otros beneficios del arbolado en áreas urbanas.

**Palabras clave:** arbolado urbano, cambio climático, dióxido de carbono.

### **INTRODUCCION**

El aumento en las tasas de emisión del CO<sub>2</sub> tiene implicancias directas con la problemática del efecto invernadero y el cambio climático global. En este marco, muchos esfuerzos se han llevado a cabo de manera conjunta e individual por algunos países para poder minimizar, o al menos mantener en determinados niveles, las actuales tasas de emisión de este compuesto a la atmósfera. Dicho aumento podría ser reducido a un problema de fuentes y sumideros: mientras por un lado las emisiones debidas a las actividades antropogénicas aumentan, los sumideros (capaces de retener, secuestrar o transformar el CO<sub>2</sub>) se mantienen en niveles constantes o con poca variación respecto a los primeros. No debe olvidarse, al mismo tiempo, que el problema conlleva un factor social muy importante debido al incremento de la población y la consecuente demanda de satisfacer sus necesidades.

Dentro de las actividades humanas que emiten mayor cantidad de CO<sub>2</sub> se encuentra la producción de electricidad y calor, como puede observarse en la Tabla 1. Esto es debido a la amplia utilización de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica. En esta franja se ubican las emisiones debidas al consumo energético en viviendas y edificios.

Fuente	Emisión de CO <sub>2</sub> en millones de toneladas	Aporte porcentual
Producción de electricidad y calor	7296,4	32 %
Industrias manufactureras y de la construcción	4943,1	22 %
Otras industrias energéticas	1147,7	5 %
Transporte	4604,6	20 %
Otros	4749,9	21 %

*Tabla 1. Emisión de CO<sub>2</sub> de origen antropogénico por tipo de fuente en el mundo. Datos extraídos de International Energy Agency (1998) para el año 1996.*

El sumidero de este compuesto es en primer término la atmósfera, y posteriormente, puede ser almacenado principalmente en plantas, árboles y océanos. Dentro de estos, es evidente que las plantas y los árboles son los que nos permiten llevar a cabo acciones de mitigación de manera más sencilla y eficiente. Los árboles actúan como secuestradores, y por otro lado, el efecto de la sombra producida en áreas urbanas puede reducir el consumo de energía eléctrica para refrigeración de las viviendas, así como también, en invierno pueden actuar como rompevientos, disminuyendo de esta manera el consumo de gas para calefacción. Más aún, la utilización de árboles en áreas urbanas puede producir una caída en la demanda para refrigeración debido a la menor temperatura y mayor humedad que puede darse en corredores arbolados (Folla y otros, 2000).

<sup>1</sup> Pasante CIHE-FADU-UBA, Programa de Pasantías para Tesistas Visitantes, dirigido por Silvia de Schiller.

<sup>2</sup> Director CIHE-FADU-UBA y Tutor del Pasante.

Otros estudios llevados a cabo cuantifican las menores emisiones provenientes de automóviles cuando los mismos se encuentran estacionados en sitios con sombra y a la intemperie (Scott y otros, 1999)

Los efectos negativos que se presentan con el arbolado urbano, están relacionados con el aumento de consumo de gas natural para calefacción en los meses de invierno debido a la intercepción solar.

Dentro de este marco se encuentra el trabajo realizado: la aplicación y el ajuste del modelo diseñado por McPherson y Simpson (1999) que tiene como objetivo evaluar el balance entre los efectos de sombra, tasas de secuestro y climáticos (a nivel local), sobre un conjunto de viviendas de la Ciudad de Buenos Aires. Este nuevo modelo cuantifica los impactos sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> debidos a la utilización de árboles en áreas urbanas y realiza un balance de dichas emisiones diferenciándolas por tipo. En este no se analizan los efectos en términos de permeabilidad a la radiación incidente sobre el arbolado urbano; trabajos de este tipo pueden encontrarse en Cantón y otros (2000).

Los objetivos de este trabajo son, entonces, ajustar el modelo a un área determinada de la Ciudad de Buenos Aires, y evaluar los impactos correspondientes a un supuesto programa de forestación que prevé la implantación de 50 árboles.

## DESCRIPCIÓN DEL MODELO UTILIZADO

El modelo aquí utilizado se basa sobre el supuesto de que la utilización de árboles en espacios urbanos pueden reducir en verano el consumo energético para refrigeración de las viviendas, y consecuentemente al reducir este consumo, las centrales térmicas emiten menor cantidad de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. En invierno el efecto se manifiesta de manera similar: los árboles actúan como rompevientos y disminuyen la utilización de energía para calefacción. Además de este efecto de sombra y rompeviento también puede producirse una disminución de la temperatura a nivel local debido a la transpiración.

El punto central del modelo es la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> que los árboles pueden evitar ser liberados a la atmósfera. Estos valores fueron hallados por los autores del modelo a través de la utilización del programa MICROPAS 4 (Enercomp, 1992) siguiendo los lineamientos detallados por G. McPherson y J. Simpson (1998).

Las entradas principales del modelo son las siguientes:

- Tasa de emisión de CO<sub>2</sub> por MWh.
- Superficie porcentual (respecto al área bajo estudio) de espacio ocupado por edificios y árboles existentes.
- Clasificación climática del área.
- Tipología de viviendas.
- Cantidad de árboles a ser implantados (por tipo, tamaño y distancia a la vivienda).
- Superficie acondicionada de la vivienda - SA (del inglés CFA: Conditioned Floor Area)
- Tipo de equipamiento para calefacción y refrigeración.
- Consumo anual energético en kWh/m<sup>2</sup>/año
- Tasa de supervivencia, secuestro de CO<sub>2</sub> y descomposición de los árboles.

A partir de estas variables de entrada, el modelo calcula las tasas de CO<sub>2</sub> no liberado a la atmósfera dividido en períodos de 5 años, hasta los 40 años. Las salidas del mismo son clasificadas según:

- Refrigeración por sombra,
- Calefacción por sombra y rompeviento,
- Refrigeración por variación en el clima local,
- Calefacción por variación en el clima local,
- Secuestro, y
- Liberación de CO<sub>2</sub> debida al mantenimiento y la descomposición de los árboles. Dichas salidas están expresadas en toneladas de CO<sub>2</sub>.

Una de las características más importantes del modelo es su flexibilidad. Se pueden ajustar la gran mayoría de los parámetros de cálculo debido a que el mismo no está compilado en un formato de programación determinado, sino que los cálculos se realizan a través de tablas y formularios debidamente indicados. El modelo realiza los cálculos sobre un caso base, de manera que los parámetros son evaluados en función de un valor por defecto y un valor seleccionado; de esta manera, la cantidad de CO<sub>2</sub> que un árbol evita ser liberado a la atmósfera se modifica de acuerdo a los parámetros de entrada. Esto ocurre en particular con las tasas de emisión de CO<sub>2</sub>/MWh, el tipo de equipamiento para acondicionamiento, la SA y el consumo energético anual en kWh/m<sup>2</sup>/año.

## METODOLOGÍA

El modelo se aplicó a un conjunto de viviendas de la Ciudad de Buenos Aires, de iguales características constructivas y de dimensiones similares. Para poder ajustar las características climáticas de la zona, se optó por la elección de la ciudad de Charlotte NC USA, para representar de manera más equivalente la situación bajo análisis. El programa planteado, supone la implantación de 50 árboles de hoja caduca a distancias menores a los 15 m desde la vivienda. La altura de los mismos en edad madura se encuentra entre los 6 y 10 m.

Respecto a la tipología de viviendas, aquellas construidas entre los años 1950 y 1980 representaban la situación más equivalente al área estudiada, según la clasificación de McPherson y Simpson (1999).

Las tasa de emisión en toneladas de CO<sub>2</sub>/MWh se ajustó en 0,8 y la SA en 50 m<sup>2</sup>/unidad.

El tipo de acondicionamiento de las viviendas se ajustó de la siguiente manera:

Para refrigeración en ningún caso se utilizan equipos de aire acondicionado central, ni de habitación; si bien el modelo no presenta algún tipo de cuantificación para el uso de ventilación mecánica, como ser ventiladores portátiles o de techo, se introdujo un factor de ajuste empírico de 0,01 para evaluar el uso de los mismos (Tabla VI, campo 20 y 21, en McPherson y Simpson, 1999).

Para calefacción se supuso que en el 90 % de los casos, la misma se produce a través de gas natural, mientras que el 10 % restante se produce a través de energía eléctrica. El consumo anual de energía se ajustó en 45 kWh/m<sup>2</sup>/año.

Respecto a las tasas de crecimiento de los árboles se adoptaron los valores por defecto para el área seleccionada, mientras que las tasas de supervivencia fueron seleccionadas como moderadas.

La densidad del área de estudio era uno de los factores que podía llegar a limitar el uso del modelo, debido a los tipos de urbanización en los cuales el modelo había sido aplicado por los autores, y por las características y diferencias entre las áreas urbanas de Estados Unidos (con mayores características de área suburbanas) y Buenos Aires. Sin embargo el ajuste de la superficie porcentual de árboles existentes más edificios respecto al área total bajo estudio toma en cuenta dicho parámetro (McPherson, comunicación personal). En el caso de este trabajo, ese valor ha sido ajustado en 60 %.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se presentan los resultados de la corrida del modelo en el área anteriormente descrita. Como puede observarse los valores de las emisiones no liberadas debido a la utilización de árboles en zonas urbanas tiende a ser efectivo: el valor neto alcanza un máximo de 16,78 toneladas entre los 16 y 20 años desde el inicio del plan de implantación. A su vez, el total de CO<sub>2</sub> no emitido en todo el período analizado (40 años) asciende a 85,19 toneladas.

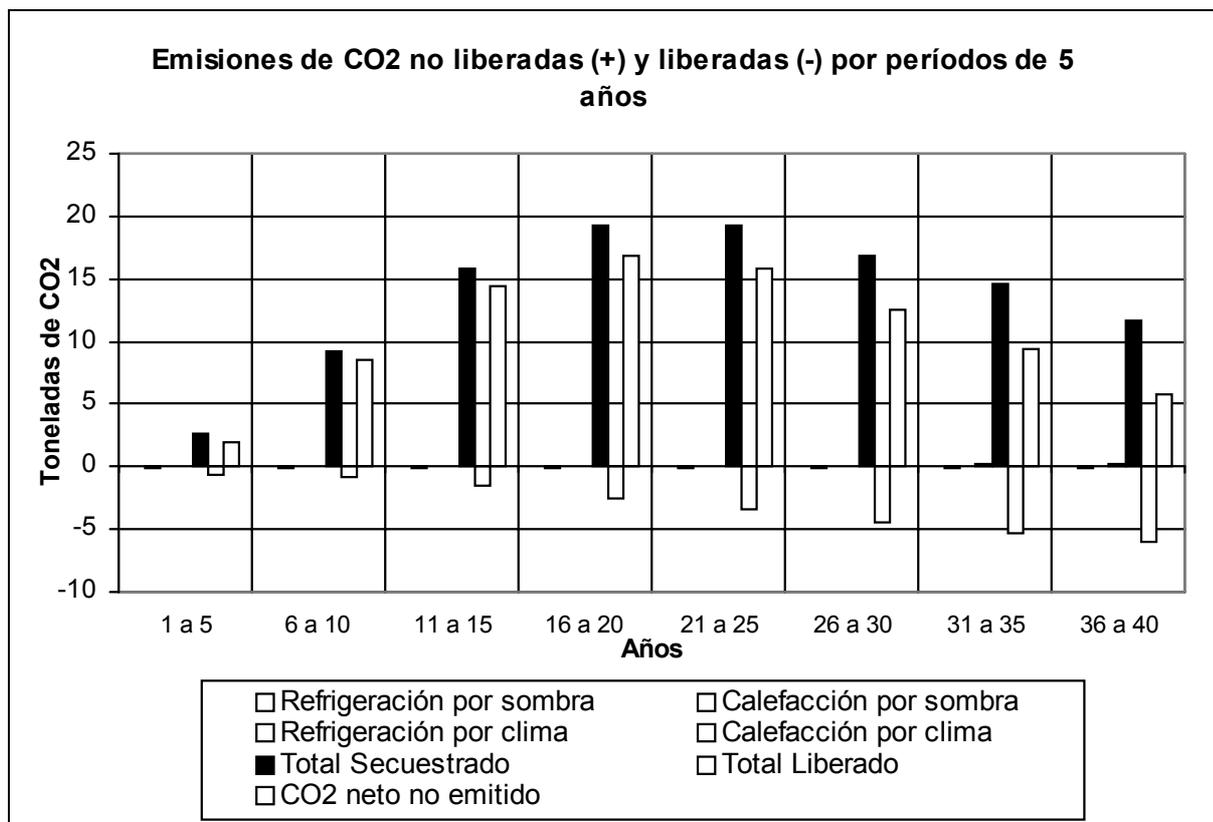


Figura 1. Balance entre las emisiones de CO<sub>2</sub> que se evitan liberar al ambiente (positivas) y las emisiones de CO<sub>2</sub> liberadas, debidas ambas a la implementación de un programa que planea plantar 50 árboles en un área determinada de la Ciudad de Buenos Aires.

Analizando con mayor detalle la información brindada por la corrida del modelo, se puede observar fácilmente que en el balance de emisiones, hay una muy poca influencia de los efectos por sombra o por variación en las condiciones climáticas locales debido a la utilización de árboles en zonas urbanas de las características antes mencionadas. Por ello es conveniente realizar un análisis más profundo de la situación, puesto que es bien conocida la función de secuestro de CO<sub>2</sub> por parte de los árboles.

La tabla 2 muestra los resultados que se han presentando en la figura 1, y en ella pueden observarse los valores alcanzados por las emisiones de CO<sub>2</sub> debidos a los efectos de sombra y clima sobre la calefacción y refrigeración de las viviendas bajo estudio.

Períodos	1 a 5	6 a 10	11 a 15	16 a 20	21 a 25	26 a 30	31 a 35	36 a 40
Refrigeración por sombra	0,02	0,05	0,07	0,10	0,11	0,12	0,12	0,12
Calefacción por sombra	-0,05	-0,08	-0,11	-0,12	-0,13	-0,14	-0,14	-0,14
Refrigeración por clima	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Calefacción por clima	0,01	0,02	0,06	0,09	0,11	0,13	0,14	0,15
Total Secuestrado	2,65	9,27	15,89	19,20	19,20	16,88	14,56	11,59
Total Liberado (descomposición de los árboles)	-0,58	-0,77	-1,52	-2,49	-3,47	-4,48	-5,31	-6,04
CO <sub>2</sub> neto no emitido	2,04	8,50	14,39	16,78	15,83	12,53	9,40	5,71

Tabla 2. Resultados de la corrida del modelo para el caso propuesto. Los valores están expresados en toneladas de CO<sub>2</sub>.

Si se realiza un balance entre las primeras 4 filas de la tabla anteriormente presentada, se pueden observar de manera más detallada los impactos producidos por el arbolado sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> sin tomar en cuenta el secuestro producido por el arbolado. Estos valores se han representado en la tabla 3.

	1 a 5	6 a 10	11 a 15	16 a 20	21 a 25	26 a 30	31 a 35	36 a 40
Balance entre filas 1 y 4	-0,027	-0,004	0,030	0,074	0,108	0,132	0,152	0,162

Tabla 3: Balance entre las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al efecto producido por la sombra y el clima sobre la calefacción y la refrigeración en viviendas. (+)emisiones evitadas; (-) emisiones liberadas.

Esto significa que en los primeros años del programa la eficiencia es negativa en término de emisiones evitadas; en estos casos, se reduce la potencialidad del arbolado para secuestrar CO<sub>2</sub>. En años posteriores esta tendencia se revierte y empiezan a tener influencia las emisiones evitadas debidas al ahorro en el consumo energético. Es importante hacer notar que el modelo no cuantifica el uso de ventilación mecánica a través de ventiladores portátiles, como se mencionó anteriormente. El valor ajustado para cuantificar esto, puede estar por debajo de su valor real, de manera que las emisiones podrían estar subestimadas para el caso de refrigeración por sombra. Respecto a los valores alcanzados por las emisiones debidas a calefacción, el arbolado urbano actúa más como interceptor de los rayos solares en invierno (el modelo establece una intercepción del 30 % para árboles de hoja caduca en esta etapa del año). Hasta tanto no transcurren 26 años los efectos como rompeviento no anulan los efectos de intercepción solar, debido al crecimiento del árbol.

El balance global del programa, esto es la sumatoria de las emisiones evitadas y liberadas a lo largo del período bajo análisis, demuestra la potencialidad del arbolado urbano como sumidero de CO<sub>2</sub>. Estos resultados son representativos de un área, en la cual se han seguido los lineamientos descriptos por McPherson y Simpson (1999) en lo que respecta a ubicación de los árboles, ya que la inadecuada ubicación de un árbol incorrecto podría llevar tener emisiones más altas de CO<sub>2</sub> por los efectos cuantificados anteriormente.

Por otro lado, es importante notar que el hecho de tener un balance negativo al principio del programa de implantación, no significa que el arbolado urbano tenga un impacto negativo directo sobre la población. Existen beneficios adicionales en el uso de arbolado en áreas urbanas que tienen una importancia significativa; anteriormente se nombró la capacidad para reducir las emisiones provenientes de los vehículos, más los efectos de disminución de la temperatura en calles y, consecuentemente, en viviendas en los meses de verano, más aún, el confort producido en dicha estación del año por la baja de temperaturas ocasionada por la sombra directa sobre la vivienda. Poner a prueba el modelo en un área donde la utilización de equipos de aire acondicionado esté más difundida llevaría a un balance positivo neto en todos los años del programa.

## CONCLUSIONES

El modelo diseñado por McPherson y Simpson (1999) para cuantificar los efectos del arbolado sobre el consumo energético y las tasas de emisión de CO<sub>2</sub>, mostró una amplia flexibilidad para realizar los ajustes necesarios, permitiendo la aplicación del mismo en un área de la Ciudad de Buenos Aires. Sin embargo, el hecho de no tener en cuenta la utilización de ventiladores portátiles o de techo, obligó a tomar un factor de ajuste empírico para el caso que podría estar subestimando los resultados alcanzados.

Los resultados indican que la utilización de árboles en este tipo de áreas actúa con un doble efecto sobre las tasas de emisión del CO<sub>2</sub>: la tasa de secuestro propia del árbol por un lado, y la reducción en el consumo energético, por otro lado, muestran que a largo plazo, el arbolado urbano actúa como un agente mitigador frente a los problemas de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, además de producir efectos beneficiosos sobre las temperaturas y las emisiones de otros componentes que contaminan el aire urbano. Una consecuencia directa de los resultados es la baja en los gastos que la población debe enfrentar por el consumo energético.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el Centro de Investigación, Hábitat y Energía (CIHE, FADU-UBA) en el marco del Proyecto UBACyT 'Arquitectura sostenible: evaluación del impacto de decisiones de diseño', dirigido por la Prof. Arq. Silvia de Schiller. Se agradece la asistencia brindada por la Dra. Ana M. Faggi, Investigadora CONICET y Vicedecana de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Flores, y el Ing. Luis M. Merkier.

## REFERENCIAS

Cantón, M.A.; J.L. Cortegoso; C. de Rosa (2000). Evaluación energético-ambiental del bosque urbano: desarrollo y puesta a punto de un método de análisis. *Avances en energías renovables y medio ambiente*. 4, 1, 1.13-1.17.

Enercomp (1992). *Micropas4 v4.0 User's Manual*. Sacramento: Enercomp, Inc.

Folla, L.; M.S. Carponi, A. Brizuela, M.I. Laurencena (2000). Efecto Moderador del Arbolado en el Ecosistema Urbano de la Ciudad de Paraná. *Meteoro lógica*. 25, 1, 79-90.

International Energy Agency (1998). *CO2 Emissions from fuel combustion 1971-1996*. IEA Statistics. OECD/IEA.

McPherson, E.G.; J.R. Simpson (1998). Simulation of tree shade impacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento. *Atmospheric Environmental: Urban Atmospheres*. 32, 1, 69-74.

McPherson, E.G.; J.R. Simpson (1999). *Carbon dioxide reduction through urban forestry: Guidelines for professional and volunteer tree planters*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. General Technical Report PSW-GTR-171.

Scott, K.I.; J.R. Simpson, E.G. McPherson (1999). Effects of tree cover on parking lot microclimate and vehicle emissions. *Journal of Arboriculture*. 25, 3, 129-141.

**ABSTRACT:** Carbon dioxide emissions are the main component of the increasing greenhouse gases and the a principal cause of global warming. This paper evaluates a new model to quantify effects on this emission rate in urban areas and adjusts the application for the situation of Buenos Aires. Using the example of a program to plant 50 trees near houses, in a residential area, in the south of the city of Buenos Aires, it analyses carbon dioxide emissions that would be released and avoided due to urban forestry. Results shown that by solar interception, windbreak effects and sequestration, in 40 years period, 85,19 tons of carbon dioxide would be avoided, with decrease of cost in electric energy and natural gas, in addition to the other benefits of trees in urban areas.

**Keywords:** urban forestry, climate change, carbon dioxide.