

## **SELECCIÓN DE INDICADORES DE INFRAESTRUCTURA VERDE PARA ESTRATEGIAS LOCALES FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO**

**DADON, José R.; DI FLORIO, Mariana; AVILA, María**

[dadon@fadu.uba.ar](mailto:dadon@fadu.uba.ar), [avilamaria@outlook.com.ar](mailto:avilamaria@outlook.com.ar),

[diflorio.mariana@gmail.com](mailto:diflorio.mariana@gmail.com)

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Arquitectura, Diseño y  
Urbanismo, Centro de Investigaciones Gestión de Espacios Costeros.  
Buenos Aires, Argentina; <sup>2</sup> CONICET. Buenos Aires, Argentina.

### **Resumen**

Debido a su complejidad, la gestión local del cambio climático requiere nuevos instrumentos tecnológicos que apoyen los procesos de toma de decisión y promuevan la participación ciudadana. El objetivo de este trabajo es efectuar una revisión de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) relacionadas con la infraestructura verde urbana que se aplican en municipios argentinos, a fin de definir indicadores para el desarrollo de una plataforma multiusuario destinada a desarrollar estrategias locales frente al cambio climático. Por ello, se realizó el análisis de intervenciones relacionadas con la infraestructura verde en municipios costeros del Área Metropolitana de Buenos Aires, mediante entrevistas con funcionarios de las áreas de competencia, y de otras regiones del país a través de la información disponible en los sitios web institucionales. Las SBN se clasificaron en tres categorías principales, de acuerdo al principal objetivo especificado en la ordenanza, plan o programa correspondiente: a) protección de la biodiversidad, b) producción de alimentos y c) forestación / reforestación. A partir de la caracterización de las SBN se proponen indicadores para el monitoreo de la infraestructura verde a escala municipal a ser incorporados en una plataforma multiusuario en desarrollo.

## Palabras clave

Mapas, Imágenes digitales, Imágenes interpretativas

## Acciones frente al cambio climático

La gestión local del cambio climático requiere nuevos instrumentos tecnológicos que apoyen los procesos de toma de decisión y promuevan la participación ciudadana. Las estrategias de mitigación tienen como objetivo actuar sobre las causas del cambio climático, y en particular, reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Las estrategias de adaptación, en cambio, actúan sobre las consecuencias, reduciendo la vulnerabilidad e incrementando la capacidad de respuesta frente a los impactos del cambio climático.

Entre las principales estrategias de mitigación en ambientes urbanos se encuentran la implementación de medidas para promover el ahorro de energía y mejorar la eficiencia energética, la planificación territorial con integración de políticas ambientales, la protección de los recursos naturales, la promoción de la silvicultura, las mejoras en la eficiencia del transporte y la reducción y mejor gestión de los residuos. Las estrategias de adaptación, por su parte, se focalizan en el uso eficiente del agua, la gestión de riesgos, el manejo de áreas verdes y el diseño urbano y arquitectónico sostenibles.

En ambos conjuntos de estrategias interesan en particular las denominadas Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), es decir, aquellas basadas en el manejo de procesos ecológicos. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) las define como “todas las acciones que se apoyan en los ecosistemas y los servicios que estos proveen, para responder a diversos desafíos de la sociedad como el cambio climático, la seguridad alimentaria o el riesgo de desastres”. Los principios de las SBN (Fundación Aquae, 2019):

1. adoptan las normas y principios de la conservación de la naturaleza;
2. se pueden implementar de forma autónoma o integrada con otras soluciones a retos de la sociedad, como, por ejemplo, soluciones tecnológicas y de ingeniería;
3. vienen determinadas por contextos naturales y culturales específicos de los sitios, que incluyen conocimientos tradicionales, locales y científicos;
4. aportan beneficios sociales de un modo justo y equitativo que promueve la transparencia y una amplia participación ciudadana;
5. mantienen la diversidad biológica y cultural y preservan la capacidad de los ecosistemas de evolucionar con el tiempo;
6. se aplican a escala de paisaje;
7. reconocen y abordan las compensaciones entre la obtención de unos pocos beneficios económicos para el desarrollo inmediato y las opciones futuras para la producción de la gama completa de servicios de los ecosistemas;

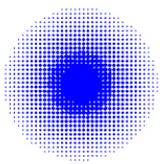
8. forman parte integrante del diseño general de las políticas y medidas encaminadas a hacer frente a un reto concreto de la sociedad.

Forestaciones, plazas, parques, corredores florifaunísticos, reservas urbanas y otras áreas naturales con distintos grados de protección conforman la infraestructura verde de las ciudades, definida como “una red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad con otros elementos ambientales, diseñada y gestionada para proporcionar un amplio abanico de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad tanto de los asentamientos rurales como urbanos” (Unión Europea, 2014). La infraestructura verde mejora la calidad del aire, actúa en la recarga de acuíferos, la regulación de inundaciones, el control de la erosión, la reducción del efecto isla de calor y la producción de alimentos. Además de beneficios ambientales, la infraestructura verde brinda nuevas oportunidades de ocio, recreación y prácticas deportivas, facilita las actividades educativas y de sensibilización ambiental dirigidas tanto a la población escolar como al público en general y proporciona beneficios económicos cuando se presenta como atracción turística (Moreno *et al.*, 2014).

El objetivo de este trabajo es efectuar una revisión de las SBN relacionadas con la infraestructura verde urbana que se aplican en municipios argentinos, a fin de definir indicadores para el incorporar en una plataforma multiusuario destinada a desarrollar estrategias locales frente al cambio climático. Existe en la bibliografía especializada una considerable variedad de indicadores urbano-ambientales relacionados con la infraestructura verde y por ello resulta necesario efectuar una revisión crítica de los mismos, a fin de seleccionar los más representativos para las situaciones efectivamente observadas en los municipios argentinos. Se realizó el análisis de intervenciones relacionadas con la infraestructura verde en municipios costeros del Área Metropolitana de Buenos Aires, mediante entrevistas con funcionarios de las áreas de competencia, y de otras regiones del país a través de la información disponible en los sitios web institucionales. Las SBN se clasificaron en tres categorías principales, de acuerdo al principal objetivo especificado en la ordenanza, plan o programa correspondiente: a) protección de la biodiversidad, b) producción de alimentos y c) forestación / reforestación. A partir de la caracterización de las SBN se propusieron indicadores para el monitoreo de la infraestructura verde a escala municipal a ser incorporados en una plataforma multiusuario en desarrollo.

### **Soluciones Basadas en la Naturaleza en el contexto local**

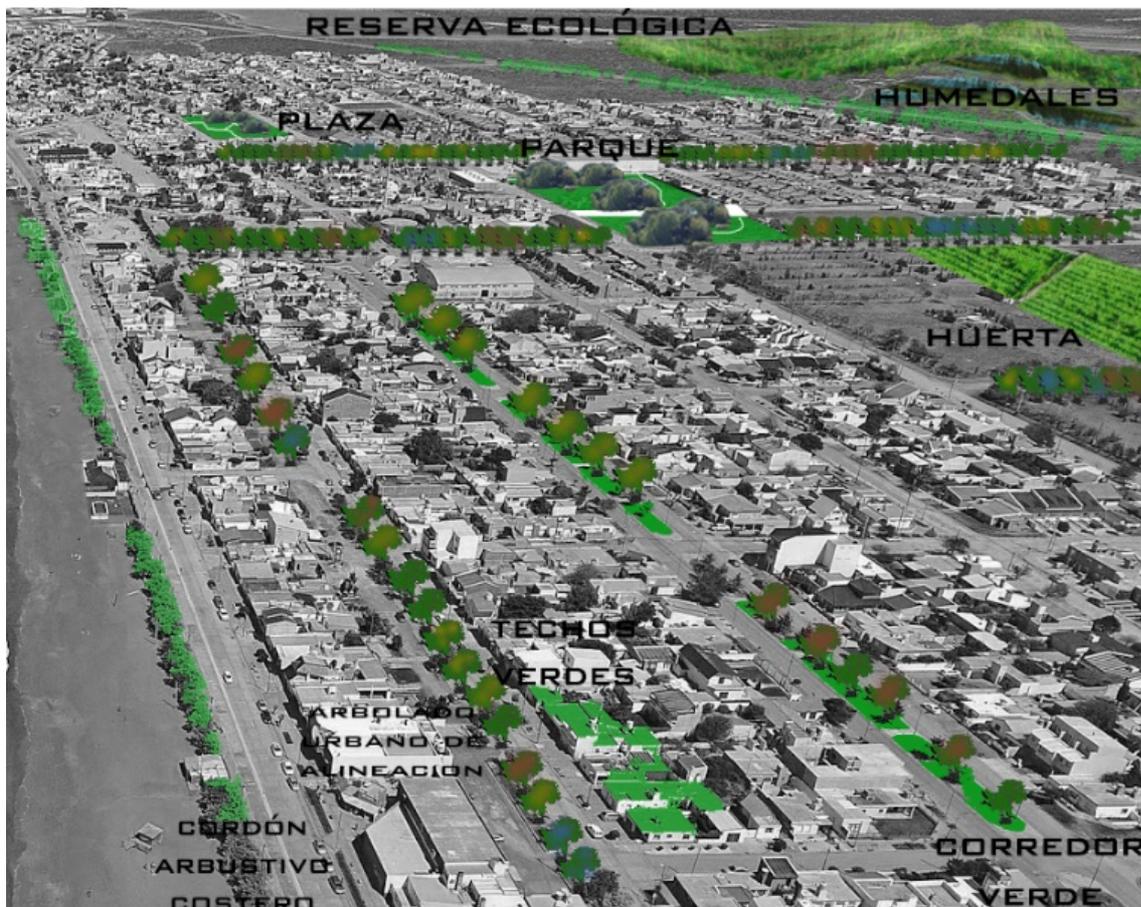
Entre las acciones registradas por la Red Argentina de Municipios frente al Cambio Climático (RAMCC, 2019) predominan aquellas relacionadas con la energía (56%), tales como iluminación con led, paneles solares y parques eólicos. La gestión de residuos sólidos urbanos suma 20%, mientras que las concernientes a la movilidad constituyen 10%; el porcentaje restante incluye otras categorías variadas. Ello implica



que, a pesar de su relativamente bajo costo, flexibilidad y sencillez, las SBN que se han implementado a nivel local en municipios argentinos son todavía minoritarias en comparación con otro tipo de acciones.

Entre las SBN relacionadas con la infraestructura verde efectivamente implementadas (Fig. 1) puede mencionarse en primer lugar la protección de la biodiversidad. Como ejemplos de esta estrategia puede mencionarse la declaración de áreas de reserva. El Parque Ecológico Municipal de la localidad de Casbas (Partido de Guaminí) fue propuesto para la conservación del pastizal pampeano y, a la vez, para contribuir con el secuestro natural de carbono y la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero de la ciudad (RAMCC, 2019a).

**Fig. 1. Tipos de intervenciones posibles en la infraestructura verde a partir de Soluciones Basadas en la Naturaleza**



Fuente propia.

Por su parte, la Reserva Natural Urbana “Río Areco”, situada dentro del perímetro de la Isla “Carlos A. Fernández y Juan C. Testoni” en la Ribera Urbana del Río Areco, fue creada para brindar “un aporte nuevo al ambiente ribereño, promoviendo el anidamiento de aves palustres y acuáticas, (...) el avistaje desde ambas márgenes del río (...) y el cuidado del ambiente” (Ordenanza N° 4.285 /2017).

**Figura 2. Huerta-taller de agroecología urbana en San Isidro**



Foto: María Ávila

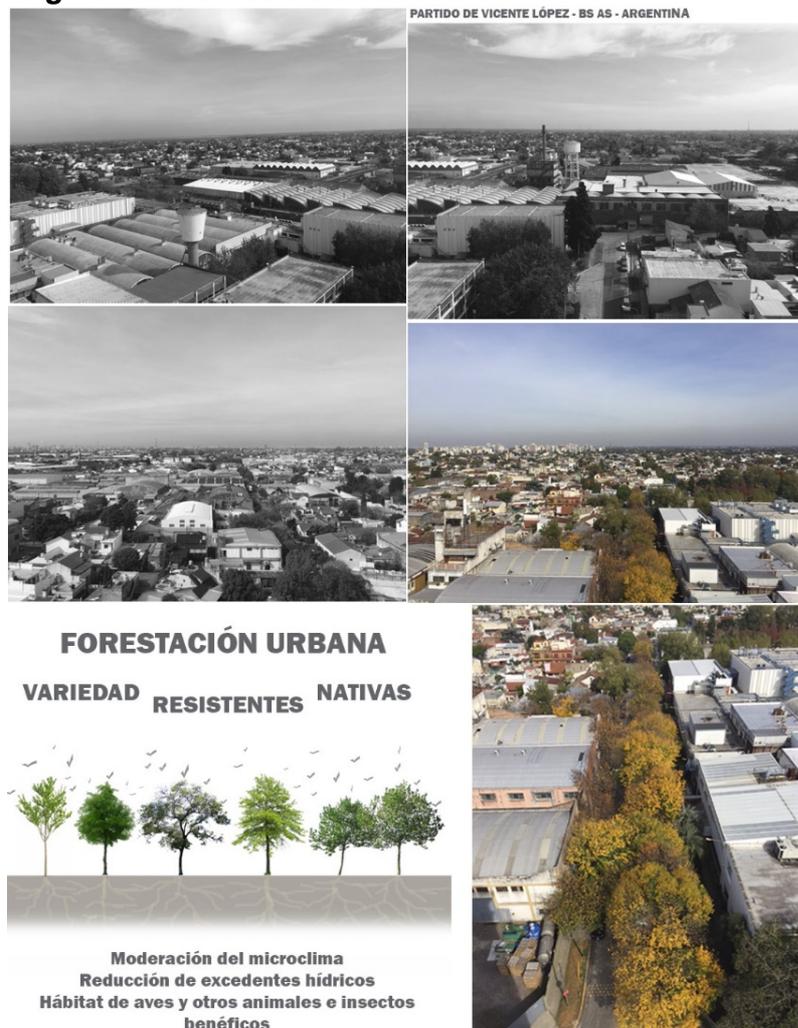
La delimitación de una zona de resguardo ambiental permite realizar cultivos sin agroquímicos en un cordón hortícola para abastecer el mercado local. La agricultura urbana es capaz de producir el alimento dentro de la ciudad reduciendo significativamente la huella ecológica asociada al transporte de alimentos. Se ha implementado con éxito en huertas domiciliarias, huertas comunitarias (que generan lazos personales e inclusión social), hospitales, geriátricos y escuelas. Además de producir alimento, sirven como ámbitos de educación ambiental y contribuyen al manejo de áreas verdes, cuerpos de agua y tierras propensas a riesgos (áreas inundables, pendientes inclinadas, costados de las carreteras, orillas de ríos).

En Rosario, Trenque Lauquen y el cinturón que rodea a La Plata pueden encontrarse ejemplos de producción agrícola en áreas urbanas y periurbanas (RAMCC, 2019b). Otro ejemplo es la Huerta Agroecológica de Zona Norte que funciona dentro del Hipódromo de San Isidro (Fig. 2). Allí se forman huerteros y futuros promotores del Programa Pro Huerta, mediante cursos anuales donde aprenden tareas de siembra,

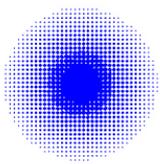
trasplante, preparación del suelo, mantenimiento de cultivos, riego y cosecha. El programa ProHuerta fue creado en 1990 y es llevado a cabo por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) junto con el Ministerio de Desarrollo Social, a través del Plan Nacional de Seguridad Alimentaria. A partir de sus inicios en el Gran Buenos Aires, Rosario, Santa Fe y Mendoza, se expandió paulatinamente por todo el país, llegando a más de 3 millones de personas y fomentando la autoproducción familiar de alimentos para completar una dieta variada y saludable (INTA, 2019).

La forestación (Figs. 1 y 3) es otra estrategia frente al cambio climático que permite secuestrar carbono al tiempo que contribuye a la regulación de la temperatura disminuyendo el efecto isla de calor.

**Figura 3. Arbolado de alineación**



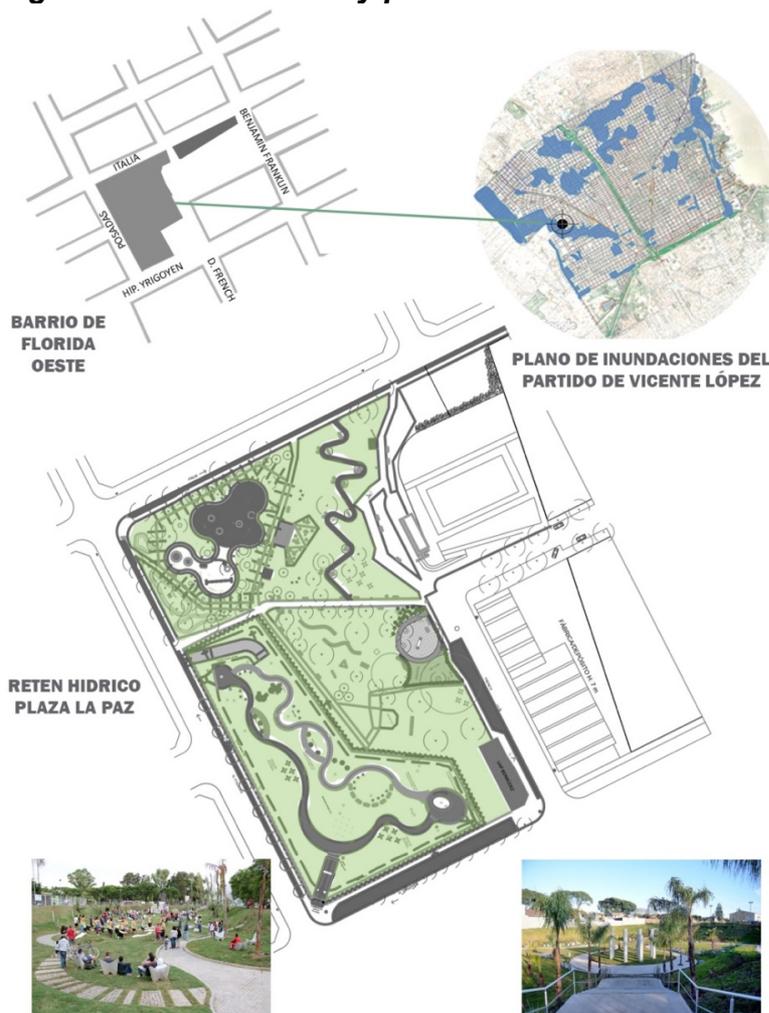
Fotos: María Ávila



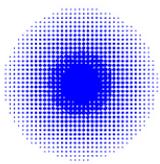
La plantación de bordes forestales, arbolado público, viveros y reforestaciones es una de las estrategias más utilizadas y ha sido recientemente implementada en los municipios de Arteaga, Bell Ville, Camilo Aldao, Cerrito, Gral. Viamonte, Olavarría, Resistencia, San Miguel, entre otros (RAMCC, 2019b). Las planteras del arbolado de alineación actúan como retenes hídricos para mitigar el impacto de las inundaciones.

La infraestructura verde también se utiliza para la gestión de cuencas e incluye distintos tipos de intervenciones, como los parques inundables, que dan respuesta a problemas de estancamiento de agua, inundaciones, desagües pluviales y domiciliarios. Acciones recientes frente al cambio climático relacionadas con el manejo hídrico se han realizado en Santo Tomé, Godoy Cruz y Villa General Belgrano, entre otros municipios (RAMCC, 2019b).

**Figura 3. Retén hídrico y plaza**



Fuente: Municipalidad de Vicente López.



Entre las áreas verdes urbanas con finalidades múltiples, puede mencionarse el ejemplo de Plaza La Paz, ubicada en Florida Oeste (Partido de Vicente López) entre las calles Hipólito Yrigoyen, Gervasio Posadas, French e Italia. Combina un espacio de esparcimiento con una compleja infraestructura de prevención de inundaciones que puede albergar en su interior unos 8.000 metros cúbicos de agua. El retén Plaza La Paz funciona como captador de agua de superficie conectado a la red pluvial existente, de acuerdo al proyecto ejecutivo realizado con la Universidad Tecnológica Nacional, para mejorar el escurrimiento en la sub-cuenca Holmberg, dentro de la cuenca del Arroyo Medrano. Con lluvias de 2 años de recurrencia evita la acumulación de agua en la calle, mientras que con lluvias de 10 años de recurrencia reduce 33% el agua en la calle.

### **Indicadores relacionados con la infraestructura verde**

A partir de la categorización de las SBN proyectadas o implementadas en municipios de todo el país, pueden proponerse los siguientes indicadores urbano-ambientales relacionados con la infraestructura verde:

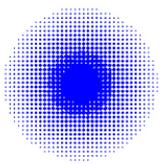
*Índice de Vegetación Normalizado (NDVI)*: estima la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación. Se obtiene a partir de las bandas 4 y 3 y resulta del cociente normalizado entre bandas espectrales que, al mostrar un claro contraste entre las bandas visibles (0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) y el infrarrojo cercano (0,7 a 1,1  $\mu\text{m}$ ), permiten identificar la vegetación entre otras superficies mediante la siguiente ecuación:

$$\text{NDVI} = (\text{MSS6} - \text{MSS5}) / (\text{MSS6} + \text{MSS5})$$

siendo MSS5 la reflectancia media en el canal rojo y MSS6 la reflectancia media en el canal infrarrojo (Bannari, 1995). Los resultados del NDVI varían entre -1 y +1; los valores altos indican actividad fotosintética y relación estrecha con la evapotranspiración, mientras que los valores bajos son característicos de escasa o nula cubierta vegetal y baja actividad fotosintética; los valores negativos corresponden principalmente a nubes, agua y nieve. En nuestro país se ha utilizado para estudios en áreas urbanas (por ejemplo, Moreira de Zerda y Zerda, 1999).

*Continuidad/fragmentación de coberturas arbóreas (canopeos)*: es la cantidad y tamaño medio de parches de vegetación arbórea.

*Diversidad del arbolado urbano*: La baja diversidad predispone a las epidemias y a la proliferación de plagas. Para lograr un máximo de protección contra los estragos de nuevas plagas o la irrupción masiva de aquellas ya conocidas, así como disponer de material adecuado para cumplir con la premisa básica “el árbol correcto en el sitio



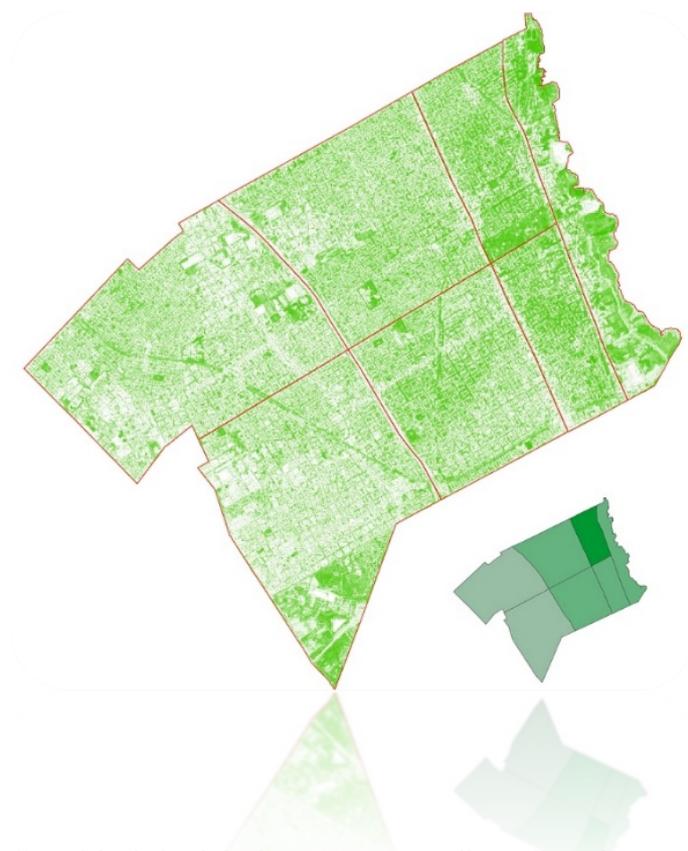
correcto”, los criterios a emplearse respecto de la biodiversidad deberían ser (Fiorentino, 2017):

1. No más del 10% de árboles pertenecientes a una misma especie.
2. No más del 20% de árboles pertenecientes a un mismo género.
3. No más del 30% de árboles pertenecientes a una misma familia.

A partir de sumatoria de los porcentajes que exceden el 10% para cada una de las especies consideradas, se define el Índice de Diversidad como (Fiorentino, 2017) como sigue:

$$\text{Diversidad} = [(100 - \text{Sumatoria del valor absoluto excesos valor de referencia}) / 100]$$

**Figura 4. Índice de Vegetación Normalizado en el Partido de Vicente López. El detalle indica los valores promedio en las siete áreas de gestión**



*Cantidad de árboles en zonas ribereñas, bosques, arbolado lineal y áreas verdes:* los valores se obtienen a partir de censos de vegetación, sumando los árboles ya implantados y los árboles plantados por año por zona por especie.

*Estado sanitario del arbolado:* condicionado fundamentalmente por la acción de hongos descomponedores de la madera que afectan la resistencia estructural y

plagas animales. Se define como el porcentaje de ejemplares sin ninguna afección (Fiorentino, 2017).

*Porcentaje de árboles resilientes al clima:* diferentes tipos y variedades de árboles tienen distinta sensibilidad a los cambios en el clima. Las nuevas plantaciones deben de considerar los potenciales impactos del cambio climático futuros a nivel regional.

*Porcentaje de cultivos resilientes al clima:* los cultivos resistentes a sequías, inundaciones, aumento de la temperatura o plagas pueden ayudar a los agricultores a mejorar la producción de cosechas.

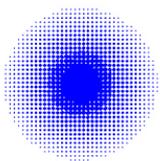
*Cubiertas verdes y muros verdes:* cantidad y superficie promedio de cubiertas y muros verdes por manzana.

Los datos correspondientes a estas variables se obtienen de distinta manera. Los dos primeros indicadores pueden ser monitoreados a escala municipal mediante el análisis de imágenes satelitales y procesamiento automático de datos. En cambio, los restantes requieren el relevamiento a campo mediante observación directa. En este caso, la incorporación de estos indicadores en una plataforma interactiva multiusuario facilitará la recolección de la información de manera dinámica, ya que permite el desarrollo de protocolos sencillos para fomentar la participación ciudadana en la actualización de la base de datos. Los usuarios podrán participar recabando información directamente a través de aplicaciones informáticas y sus *inputs* quedarán registrados de acuerdo a su procedencia para eventuales confirmaciones posteriores mediante distintos procedimientos estandarizados, cuando fuera necesario.

Además de contribuir en la recolección de datos, a través de la plataforma multiusuario, los usuarios podrán formular opiniones y sugerencias o efectuar reclamos sobre la infraestructura verde y colaborar en el diseño, seguimiento y evaluación de planes y programas específicos relacionados con la gestión del cambio climático.

## **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado por la Universidad de Buenos Aires mediante los proyectos *Gestión costera y adaptación al cambio climático en áreas urbanas y desarrollos turísticos de la Provincia de Buenos Aires* (Proyecto UBACyT 20020170100337BA Programación 2018-2020) y *Desarrollo de un sistema de indicadores para la adaptación al cambio climático en el Área Metropolitana de Buenos Aires* (PDE 07/2018).



## Bibliografía

Bannari, A., Morin, D., Bonn, F. y Huete, A. R. (1995). A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews* 13 (1): 95-120.

Fiorentino, J. A. M. (2017). Evaluación de la sustentabilidad ecológica del arbolado urbano viario de la Ciudad de Buenos Aires. En: *Gestión ambiental en entornos metropolitanos* (pp. 137-160). Buenos Aires: Libros del Posgrado FADU-UBA.

Fundación Aquae (2019). Ocho principios de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN). Recuperado el 22/07/2019 de:  
<https://www.fundacionaquae.org/blog/consejos-del-agua/ocho-principios-las-soluciones-basadas-la-naturaleza-sbn/>

INTA (2019). ProHuerta. Recuperado el 22/07/2019 de:  
<http://prohuerta.inta.gob.ar/acerca-de/>

Moreira de Zerda, M. de L. y Zerda, H. R. (1999). Mapeo de áreas verdes en ambientes urbanos mediante datos spot e índices de vegetación. En: *Memorias de las 1ras. Jornadas de SIG para la Evaluación de Recursos Naturales, el Agroambiente y la Planificación Rural*. Santiago del Estero: INTA-UNSE.

Moreno, O., Lillo, C., y Garate, V. (2014). La infraestructura verde como espacio de integración. Análisis de experiencias y estrategias sustentables para su consideración en la planificación, diseño y gestión del paisaje en la Intercomuna Temuco - Padre Las Casas, Chile. XI Simposio de la Asociación Internacional de Planificación Urbana y Ambiente (UPE 11) (La Plata, 2014), 9 pp. Recuperado el 22/07/2019 de:  
[http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/53434/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/53434/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

RAMCC (2019a). Parque Ecológico Municipal de Casbas (ParEcoMun). Recuperado el 22/07/2019 de: <http://www.ramcc.net/es/products/view/7/parque-ecologico-municipal-de-casbas-parecomun>

RAMCC (2019a). Red Argentina de Municipios frente al Cambio Climático. Recuperado el 22/07/2019 de: <http://www.ramcc.net/es>