

El árbol en la ciudad. Manual de Arboricultura Urbana

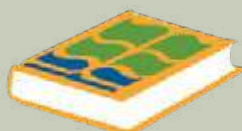
Gabriela Benito - Marcela Palermo Arce



EDITORIAL FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

El árbol en la ciudad. Manual de Arboricultura Urbana

Gabriela Benito - Marcela Palermo Arce



EDITORIAL FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Benito, Gabriela

El árbol en la ciudad : manual de arboricultura urbana / Gabriela Benito; Marcela Palermo Arce - 1a ed - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía, 2021.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-3738-35-7

1. Árboles. I. Palermo Arce, Marcela II. Título

CDD 580

Créditos

Textos e imágenes

Ing. Agr. Esp. Gabriela Benito

Tec. Jardinería Marcela Palermo Arce

Capítulo IX - Imagen 3 a : Ing. Agr. Ángela Villademoros

Ilustrador: Jorge Nataloni

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Universidad de Buenos Aires

EDITORIAL FACULTAD DE AGRONOMÍA

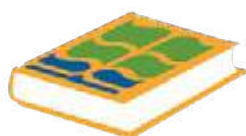
DIRECTORA

Dra. Elba de la Fuente

Primera Edición: Diciembre 2021

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.743

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción o uso tanto en español o en cualquier otro idioma, en todo o en parte por ningún medio mecánico o electrónico, para uso público o privado, sin la previa autorización por escrito de la editorial y los autores.



EDITORIAL FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
Avda. San Martín 4453 – (1417) Bs As, Argentina
e-mail: efa@agro.uba.ar



Prefacio

La arboricultura moderna pone en discusión las prácticas y conceptos tradicionales sobre el manejo del arbolado, fundándose en el entendimiento de la biología del árbol como un sistema vivo, complejo y altamente eficiente, en su valor medioambiental y en la percepción social del árbol y del bosque urbano.

Este nuevo enfoque para una antigua disciplina requiere conocimientos científicos, técnicos, administrativos, económicos y sociológicos que posibiliten una gestión equilibrada, inteligente y sensible del árbol como individuo y del bosque urbano como universo.

La formación de profesionales idóneos, calificados y diversificados demanda una permanente actualización y colaboración, a fin de promover la creación de equipos interdisciplinarios capaces de diseñar y gestionar planes estratégicos para satisfacer las metas exigibles para la sostenibilidad del arbolado como componente esencial de la infraestructura verde urbana.

La propuesta de este manual es organizar y compilar el saber necesario para una efectiva formación y actualización profesional y surge como resultado del trabajo en áreas de gestión pública de arbolado urbano, del desarrollo docente en el ámbito universitario y de la interacción en distintas asociaciones profesionales. Su contenido está ideado para cubrir los saberes del técnico que debe gestionar el arbolado en el ámbito público o privado, así como también al estudiante de alguna de las carreras de Ciencias Agropecuarias que se oriente en la formación en Silvicultura Urbana.

En estas palabras, va también nuestro profundo agradecimiento a todos aquellos que nos acompañaron en cada etapa de este proyecto: a los integrantes de la Editorial de la Facultad de Agronomía EFA, con el auspicio de la publicación y la revisión del manuscrito. Un agradecimiento especial al Dr. Pedro Calaza Martínez, quien estuvo a cargo de la lectura técnica y que con entusiasmo también apoyó la publicación de esta obra. A la Cátedra de Jardinería, a través de sus profesores, que han permitido esta labor con respeto profesional. A nuestros prologuistas, Maestros cada uno en su especialidad.

A los árboles, con nuestro mayor respeto.

En el año 2050 la población mundial se situará en torno a los 10.000 millones de personas, y se concentrará especialmente en las ciudades (70%). Unas ciudades que, en demasía, se han planificado, diseñado y gestionado desde una visión excesivamente antrópica, podríamos denominarla incluso gris, y poco integradora con la naturaleza. Se trata de una situación problemática que ya existe en la actualidad, pero que se agravará a corto plazo. Es un hecho que esas ciudades deben adaptarse a esas necesidades y deben repensarse para optimizar las condiciones ambientales y sociales para una mejora de la salud y el bienestar. Por ello, es imperativo cambiar el prisma de entendimiento de la vegetación en nuestras urbes, debemos romper el uso simple derivado de una mirada estética o de ornato, aparte de algunas aproximaciones históricas salutogénicas, y empezar a entender la naturaleza como un compañero que nos permitirá mejorar nuestra calidad de vida.

El arbolado urbano, verdadera columna vertebral de la infraestructura verde urbana y periurbana, es el elemento clave en este cambio de visión. Recordemos que proporciona una ingente cantidad de los denominados servicios ecosistémicos, tanto de provisión (frutos, semillas, flores, etc.), como de regulación (térmica, erosión, etc.) y de tipo cultural (estéticos, cohesión social, científicos, etc.), y precisamente esos servicios son los que debemos optimizar con una adecuada gestión y mantenimiento.

La gestión contemporánea del arbolado urbano debe integrar, por tanto, esos objetivos y debe adaptarse a los avances en el conocimiento tanto técnicos como científicos. Lamentablemente, en muchas localizaciones se siguen utilizando prácticas que se han demostrado como desacertadas e incluso dañinas para los propios ejemplares, en muchos casos debido precisamente a la falta de manuales, guías o documentos que recojan las buenas praxis, como esta obra. La incorporación de la perspectiva de biodiversidad, de la gestión de clases diamétricas, de buscar la optimización de la proyección de copa, de evaluar también los diservicios como las alergias o la emisión de VOCs, y la propia gestión de riesgo son claves para alcanzar una población arbórea sana, productiva, estética y ambientalmente productiva. En ese sentido, esta obra compila una gran cantidad de información de forma ordenada y coherente, ofreciendo al lector ricas y oportunas técnicas, soluciones y teorías para una mejor gestión, avaladas por el conocimiento contemporáneo, por lo que se podría denominar arboricultura moderna del siglo XXI, esgrimiendo el conocimiento actual de la biología del árbol, de la biomecánica, de las interacciones entre ambas disciplinas, siempre desde una mirada técnica y constructiva.

En la obra se describen numerosas labores culturales de la arboricultura actual, soportadas por planteamientos técnicos para una mejor evaluación, práctica, gestión y administración, tanto sobre el elemento árbol individual como sobre el bosque urbano. Precisamente el bosque urbano es el gran titular de la gestión de la vegetación en nuestras ciudades; es un verdadero recurso de diseño urbano conformado por las 5 tipologías definidas por la FAO. La gestión del bosque urbano debe realizarse desde la disciplina de la silvicultura urbana y el elemento árbol desde la disciplina de la arboricultura, y este manual incluye esa doble vertiente que enriquece su contenido, abordando conocimientos científicos y técnicos, pero también de índole económica y social.

El manual parte de un análisis oportuno sobre la historia y el estado de la arboricultura urbana, bajo el paraguas de la infraestructura verde y trata tanto los servicios como los diservicios. Esta visión antagónica es de sumo interés pues siempre hay que poner en la balanza estos dos elementos para una toma de decisiones más certera. A partir de aquí, nos ofrece mucha información teórica y práctica



actualizada de la gestión del arbolado en las ciudades, incluyendo nuevos enfoques biológicos, la gestión del riesgo, la poda, así como aspectos vinculados con la planificación y la gestión integral, con un capítulo específico para árboles patrimoniales. Este último apartado, me resulta sumamente importante dado que los árboles monumentales, singulares, patrimoniales o como se quieran denominar, son patrimonio natural pero también son patrimonio cultural, son verdaderos protagonistas de una historia y grandes generadores de servicios; recordemos que hay una relación directamente proporcional entre el tamaño de los árboles y los servicios que proporcionan... y este tipo de ejemplares deben tener una gestión diferenciada y deben ser, permítanme la expresión, mimados para que se preserven.

El manual persigue una mejora en la formación de los profesionales que trabajan en este campo tan especializado y lo consigue. Es un documento multiescalar ya que puede ser utilizado por diferentes personas con formaciones muy diferentes y a distintos niveles, desde el operario de campo, pasando por estudiantes de ingeniería agrónoma, ingeniería de montes, arquitectura, biología, etc., hasta los gestores municipales que planifican las ciudades. Es un manual académico, pero también de aplicación práctica directa que puede tener su uso en la gestión de comunas, municipios, ciudades del ámbito público, etc.

En definitiva, tenemos en nuestras manos un manual de arboricultura adaptado al contexto de la Argentina que llena un vacío profesional, pero también académico y que permitirá una mejor gestión de los bosques urbanos en nuestras ciudades.

Los árboles plantados hoy son un importante recurso de salud urbana del mañana. Cuidémoslos.

Dr. Pedro Calaza Martínez.

Dr. Ingeniero Agrónomo, Dr. Arquitecto del Paisaje.
Director de Infraestructura verde. Grupo URBASER.

En la construcción social del territorio, la vegetación urbana integra funcionalmente una notable diversidad de espacios y vías verdes. El arbolado de calles y ramblas, los ramales ferroviarios y las autopistas, las riberas fluviales y marítimas, los parques y los jardines públicos o privados, las reservas de flora/fauna y otros, que potencian las finalidades formales, recreativas y ambientales del público en la ciudad.

La obra *El Árbol en la Ciudad*, señala y desarrolla el cultivo de un bosque seleccionado para el hábitat de la sociedad urbanizada. Este *Manual de Arboricultura Urbana*, compendia las buenas prácticas en la ciudad.

Despliega la praxis especializada profesional para la consolidación de una infraestructura verde, fuente de servicios necesarios. Asiste además a las tendencias y a las recomendaciones de organismos internacionales en la incorporación racional y previsoramente de calidad residencial y planes de equipamiento comunitario para un acceso al hábitat digno.

En ese sentido, los efectos del bosque urbano estarán relacionados de acuerdo a la caracterización, la conectividad de lugares y las calles para una identidad urbana de barrios, accesos, circunvalaciones, cementerios, localidades periféricas, etc. Con un alto impacto en el paisaje urbano por escala, continuidad y relación.

El espacio público de calles arboladas, de los espacios verdes abiertos son los principales componentes de una rehabilitación urbana definida por su disposición, tamaño, frecuencia, vinculaciones y relaciones, dando por resultado una mejor ciudad.

El bosque urbano brinda una alta eficacia en el enlace entre espacios, en parques lineales en terrenos vacantes, márgenes recuperados de arroyos urbanos y la visibilidad para el uso social de un sistema integrado de espacios y vías verdes.

Esta perspectiva considera en forma conjunta las escalas espaciales y las escalas temporales en la proporción y calidad de las coberturas vegetales urbanas y sus funciones ecológicas y sociales: conjuntas, concurrentes e inseparables.

Todo ello representa un proceso complejo e interrelacionado de la actualización profesional, la legislación que lo regula, la gestión política y el proyecto verde con su plexo de estrategias y herramientas en la adaptación e innovación del hábitat urbano.

Esta oportuna contribución bibliográfica se ofrece para una adecuada gestión del arbolado público, que se integra con su especificidad a la regulación de la fase viva en la ciudad, altamente significativa para la calidad de vida de la población por el benéfico servicio ambiental del bosque urbano.

Dr. Alfredo H. Benassi
Ingeniero Agrónomo

Lamentablemente es muy común ver en los paisajes de nuestras ciudades la falta de un adecuado cuidado de los árboles. En general los peor tratados son los que conforman el arbolado viario. No sólo el problema se presenta en el arbolado público sino también en el arbolado privado, ya se trate de jardines, clubes, áreas industriales, barrios u otras formas de desarrollos urbanos, independientemente de estratos socioeconómicos o culturales.

Hay una enorme cantidad de mitos urbanos referidos al manejo de los árboles, quizás la mayoría de ellos relativos a la poda aunque también a la plantación y a los cuidados que el árbol necesita.

Todavía seguimos escuchando, muchas veces de funcionarios, que los árboles se deben podar en invierno, en los meses que no tiene “erre”, que hay que pincelar los cortes para que las heridas “cicatricen”, que debe hacerse una plantación profunda para minimizar los efectos del viento o vandalismo. Ante la falta de protocolos y estándares en el país respecto a las diferentes prácticas relativas al trabajo en árboles urbanos, se confunde, por ejemplo poda con mutilación.

No hay dudas de la importancia que tiene el árbol en las ciudades en relación a los múltiples servicios que presta, entre ellos como elemento mitigador de los negativos efectos que genera el cambio climático. El árbol hoy es sinónimo de salud pública y por lo tanto las ciudades necesitan árboles. No cualquier árbol sino grandes, sanos, seguros y sustentables, seleccionados adecuadamente para cada situación. Sin dudas que para cumplir con dichas condiciones y el desafío de tener un adecuado bosque urbano, las ciudades necesitan profesionales arboristas y dasónomos urbanos.

Una gran carencia en el país y la región, es la falta de educación formal en estas disciplinas. Es de suma importancia llegar a transmitir el conocimiento a quienes abrazan esta profesión, muchos relacionados con la ingeniería agronómica, las ciencias forestales, la biología, jardinería, planificación del paisaje. La arboricultura es una disciplina en constante evolución; es dinámica producto de la investigación y los avances tecnológicos. Es muy importante tener la mente abierta para aceptar nuevos paradigmas, como también la observación de los árboles para poder interpretarlos adecuadamente.

Es una muy grata noticia la llegada de esta publicación, ante la escasa oferta de literatura técnica específica en nuestro país y además en nuestro idioma, ya que contiene capítulos de suma importancia y de recientes avances en el conocimiento, imprescindibles para quienes gestionan arbolado. Estoy orgulloso que esta obra haya sido escrita por dos colaboradoras con las que trabajé en un vasto período, estando a cargo de la Coordinación de Arbolado de la Ciudad de Buenos Aires.

El valor agregado que tiene esta obra es que las autoras supieron amalgamar su vasta experiencia como docentes en arboricultura en la Escuela Hall de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, con la de gestión del arbolado público de la Ciudad de Buenos Aires. Es un honor para mí poder prologar este importante trabajo.

Gabriela y Marcela, muchas gracias!!!!

Lectores, que lo disfruten.

Ing. Agr. Carlos R. Anaya
Arborista Certificado ISA

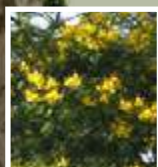
Índice



- I. Arboricultura urbana.
Antecedentes y evolución..... 1**



- II. El árbol en la ciudad.
El bosque urbano..... 15**



- III. Adaptabilidad de las especies
leñosas en el ambiente urbano 33**



- IV. El árbol como sistema. CODIT.
Morfología del árbol 44**



- V. Identificación de riesgos
en el arbolado urbano 59**



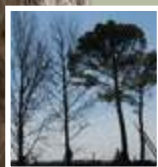
- VI. Poda 78**



- VII. Manejo de raíces en el
ambiente urbano..... 100**



- VIII. Planificación y manejo de la
plantación del arbolado urbano 118**



- IX. Trasplante de ejemplares..... 139**

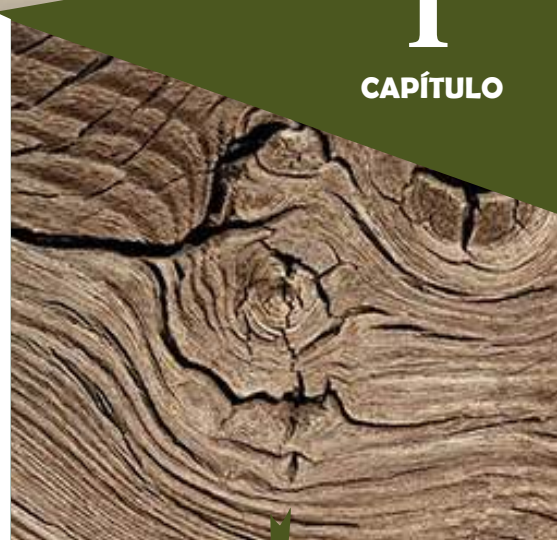


- X. Gestión de Árboles Patrimoniales 156**



Arboricultura urbana. Antecedentes y evolución

I
CAPÍTULO





Introducción

En un pasado cercano, la urbe establecía un claro límite con respecto al paisaje rural o proponía el disfrute escenográfico del paisaje natural como emblema de civilización, demanda que ahora ha sido replanteada con el objeto de resolver los conflictos del mundo post-industrial (Benito *et al.*, 2018). Las comunidades se forman y organizan en relación al paisaje que las rodea, con una gran influencia de la percepción valorativa que sus integrantes tienen del entorno natural. Esta estimación subjetiva impone los rasgos de cada sociedad al modelo urbano dando manifiesto real y concreto de su población y su tiempo. En esos espacios urbanos se ofrece la infraestructura movilizadora del intercambio colectivo de bienes y servicios que cohesiona múltiples intereses y colabora en la definición identitaria. Esos intercambios se encuentran en permanente transformación, y definen-redefinen constantemente la forma de habitar la ciudad. Así, la integración de los elementos naturales dentro de la trama urbana¹ responde a las dinámicas sociales que garantizan su estilo de vida.



Foto 1.1.

Paisaje suburbano de riqueza visual por floraciones estacionales (Villa Trinidad, Provincia de Santa Fe).

¹ La trama es el patrón bidimensional que organiza la forma urbana, referido al tratamiento y articulación del plano del suelo (texturas y composición). Está definida por una combinación de llenos y vacíos que pueden tomar muchas configuraciones; los distintos tipos de llenos y vacíos contribuyen a la percepción y diseño de los espacios públicos (Briceño Ávila y Gil Scheuren, 2005).



Aunque existen diferentes acepciones, el árbol es un elemento mediador que actúa como un nexo confortable entre el hombre y su entorno, lo que lo convierte en omnipresente en sentido ambiental, histórico, urbano y cultural. Gracias a sus múltiples prestaciones (fuente de alimento y medicina, leña, sombra, refugio), los árboles garantizan los recursos básicos de subsistencia. En la literatura, el goce estético que producen sus flores, frutos, siluetas o follajes y su magnética presencia simbólica, los ha convertido en hogar de dioses, héroes y profetas.

La Nueva Agenda Urbana y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas en 2015 resaltaron la importancia de los espacios verdes para mejorar el nivel de vida en las ciudades, aumentar la cohesión de la comunidad, mejorar el bienestar y la salud de los seres humanos y garantizar el desarrollo sostenible (en especial el número 11 centrado en ciudades y comunidades sostenibles, que fija entre sus metas a 2030 el aumento de la urbanización inclusiva, planificada, participativa y sostenible, incluyendo entre sus estrategias la accesibilidad universal a los espacios verdes y la reducción del impacto ambiental negativo per cápita, prestando especial atención a la calidad del aire). El diseño de los bosques urbanos, por su rol multifuncional, abarca varias dimensiones. Las dimensiones social, funcional, ecológica y económica interactúan con la dimensión perceptual sobre el tiempo para ofrecer servicios ecosistémicos y otros beneficios (FAO, 2016). Ante esta demanda, el bosque urbano puede contribuir a la resiliencia² y a la sostenibilidad de las ciudades, suministrando una amplia gama de servicios ecosistémicos.

Breve historia de la arboricultura

El arbolado, como recurso de múltiples servicios, acompaña al ser humano desde la prehistoria. Los primeros agricultores promovieron la selección vegetal, eligiendo entre las especies silvestres aquellas que preferían por sus frutos o leña. Este proceso de selección fue acompañado por el desarrollo de metodologías para la reproducción de plantas leñosas mediante multiplicación vegetativa, lo que permitió lograr el traslado de retoños a través de las migraciones. Esto posibilitó la introducción de plantas destinadas a la transformación del paisaje, la provisión de sustento, la expansión de los imperios o la gracia de los dioses.

Entre los pueblos antiguos, el mercadeo de árboles era una transacción habitual. A través del comercio o la conquista se introdujeron a cultivo, especies de alto valor como olivos y cítricos entre los pueblos del Mediterráneo. También se perfeccionaron los sistemas de riego y la polinización artificial, lo que permitió a los persas la creación de su “parideiza” (o paraíso terrenal), y se desarrollaron importantes empresas dedicadas, por ejemplo, al trasplante de grandes ejemplares, lo que permitió el traslado de 30 árboles de mirra (*Commiphora myrrha*) desde Somalia a Egipto, por encargo de la reina Hatshepsut en el siglo XV A.C. El sustento de esta flora exótica exigía un profundo conocimiento del árbol y sus adaptaciones, así como el perfeccionamiento de nuevas técnicas y tecnologías de cultivo. Estos saberes, de alto valor cultural, se fueron transfiriendo a lo largo de generaciones de arboricultores.

² Resiliencia: término empleado en ecología de comunidades y ecosistemas para señalar la capacidad de éstos de absorber perturbaciones, manteniendo sus características de estructura, dinámica y funcionalidad prácticamente intactas; pudiendo retornar a la situación previa a la perturbación tras el cese de la misma (Holling, 1973).





Durante el extenso período medieval (siglos V a XV), la relación vegetación-urbe expresó numerosos contrastes definidos por las herméticas apreciaciones culturales. Si bien las ciudades amuralladas europeas excluyeron la vegetación de la trama, estas fueron capaces de desarrollar numerosas acciones para la preservación y el acrecentamiento de los conocimientos botánicos y técnicos en los *hortus conclusus* (i.e. huerto cerrado) de los monasterios, y los jardines o los oasis de los palacios árabes. En paralelo, al otro lado del mundo, los suntuosos jardines chinos daban cuenta de un profuso catálogo de árboles ornamentales y sus respectivas prácticas de cultivo y manejo. En América, el Bosque de Chapultepec en México ya era considerado un lugar sagrado y sitio estratégico en el siglo XIV.

El renacimiento del mundo moderno y el nuevo ciclo económico devenido de los recursos introducidos tras el descubrimiento de América y el fortalecimiento de las relaciones comerciales con el Lejano Oriente, restableció en Europa la centralidad de las ciudades como eje de la vida social, comercial y cultural y en ellas el uso del espacio urbano como factor principal de encuentro. Simultáneamente, la conquista del Nuevo Mundo inició un proceso de transformación del patrimonio cultural y natural de los pueblos originarios, la destrucción total de magníficas ciudades vegetadas, como Tenochtitlán o Qusqu (Cuzco), y la imposición de la trama ortogonal colonial hispana. Esto permitió a los conquistadores replantear un territorio donde el paisaje nativo tenía un valor menospreciado, peligroso, salvaje.

Los procesos de intercambio iniciados con la exploración de los territorios americanos habilitaron la expansión global de la vegetación a través de la recolección e introducción de plantas exóticas en distintos puntos del mundo. Científicos, botánicos, comerciantes y evangelizadores, recogían semillas, frutos y esquejes que identificaban y cultivaban en los jardines botánicos para luego determinar sus posibles usos como recursos maderables, ornamentales, alimenticios. De esta manera, los jardines botánicos mutaron su rol hacia los “Jardines de Aclimatación”, propios de la ilustración. En la España borbónica se planteó la creación de estos jardines de aclimatación e investigación para diferenciar el estudio de las adaptaciones vegetales necesarias para su cultivo de las tareas estrictamente botánicas más vinculadas a identificación y clasificación vegetal (Puerto Sarmiento, 2002).

Con el surgimiento de los Estados Modernos (siglos XV y XVI), la organización de las ciudades barrocas propuso nuevos cánones urbanísticos especialmente destinados a resolver los turbulentos conflictos sociales de la época. El ejemplo más claro fue el encargo que el emperador Napoleón III encomendó a Georges Eugène Haussmann para la reorganización de París en 1853. Las reformas demandaron el diseño de una trama “abierta” de avenidas anchas y rectilíneas con el desarrollo de grandes parques y bulevares. En los grabados para el plan de París se observan árboles seleccionados, alineados y extremadamente podados, imagen que da cuenta de la presencia de profesionales atentos a su cuidado.

En una exhaustiva investigación de Ward Thompson (2011), donde se rastrea la evidencia de la influencia del paisaje en la salud de las personas desde la antigüedad hasta la actualidad, se muestra la importante recurrencia que el tema del acceso a la naturaleza y a los espacios verdes ha tenido en descripciones de entornos terapéuticos y estilos de vida saludables asociados. En el siglo XIX, los movimientos de parques urbanos consideraban a la salud pública como un objetivo clave en su proyecto hegemónico y burgués, que pretendía promover el orden y la “recreación racional” para las clases trabajadoras (Carpenter, 2013). En su tiempo, el movimiento de parques parece poner menos énfasis en los beneficios psicológicos y emocionales del paisaje y más en los físicos. La salud y la prevención de enfermedades fueron, por lo tanto, el objetivo principal del acceso a parques y espacios verdes. No



obstante, el parque público tuvo también un papel en la renovación espiritual de las clases trabajadoras urbanas, al contribuir a la formación del carácter y la ciudadanía, y al bienestar físico. Un buen paisaje era considerado esencial para la salud, sin importar la clase social. En las siguientes décadas, el término “pulmones de la ciudad” fue citado repetidamente como argumento para desarrollar parques públicos, ya sea en Berlín, París o Nueva York (Ward Thompson, 2011).

Las innovaciones propuestas por el norteamericano Frederick Law Olmsted, iniciador del movimiento “City Beautiful Movement” o “Park Movement” (Movimiento de parques o de ciudades bellas), sistemas integrales de parques públicos intercomunicados a través de corredores vegetales, entre 1890 y 1900, dieron lugar a la instalación planificada, sistemática y paisajística del arbolado urbano en las ciudades industriales. Estos proyectos anticiparon el primer diseño en la línea de la infraestructura verde.

El arquitecto británico Cedric Price resume en una práctica metáfora “The city like eggs” (cuyo significado en castellano es, “la ciudad como huevos”) la evolución de la ciudad a lo largo de la historia mediante tres formas. La primera de las formas urbanas, emerge en el Neolítico agrario y está definida como un núcleo central urbano con sus alrededores protegidos, en analogía a un “huevo cocido”. La segunda aparece con la Revolución Industrial, cuando se expande la ciudad, difuminando el límite físico perimetral que, según Price, es como un “huevo frito”. La tercera, es decir la urbe del siglo XXI, se puede pensar como un “plato de huevos rotos”, ya que la trama urbanizada y la natural coexisten, se suturan e hibridan, para ofrecer lo mejor de cada una en un resultado conjunto. Desde el punto de vista de este autor, el paisaje puede ser el modelo para la tercera y última de las formas urbanas, porque se trata de un modelo más orgánico (Calaza Martínez, 2018).

El orden mundial de post-guerra y la urgencia en la resolución de los problemas ambientales iniciaron, a mediados del siglo XX, un nuevo proceso de pensamiento con respecto a las ciudades y su infraestructura verde. Este modelo es el que permite hoy repensar las ciudades post-industriales. En algunas geografías, sin embargo, aparece el fenómeno conocido como “Shrinking cities” (o ciudades que se encogen) por decrecimiento urbano (Griño Cabecerán, 2014). Este término, más que a un concepto, refiere a un conjunto de procesos con múltiples aristas que determinan que un área metropolitana experimente una pérdida significativa de población en un corto período de tiempo. En Estados Unidos (EE. UU.) y Alemania, los primeros estudios sobre las llamadas “Shrinking cities” comenzaron en los años setenta, pero en otros países, como España o Francia, el tema surgió hace algo más de una década. Esta inversión de las tendencias demográficas vividas desde la revolución industrial, constituye un proceso sin precedentes en la edad moderna, que consiste en la reducción prolongada de población en las ciudades. Las causas de esta reducción son diversas y van desde motivos laborales (teletrabajo), económicos y productivos, a razones migratorias, raciales, bélicas, entre otras. Frente a un declive que parece irreversible, el decrecimiento de lo urbano abre el debate sobre el futuro de estas ciudades y la pregunta de si estos casos de encogimiento de las ciudades pueden situarse al margen del paradigma dominante del crecimiento urbano: el decrecimiento no es la alternativa, sino una matriz de alternativas. En estos casos, quizá contradictorios con el aumento constante de población de la mayoría de los centros urbanos, el desafío que se plantea es el aprovechamiento que deja el efecto de la “shrinking cities” para garantizar los modos de vida de la población en las ciudades y megaciudades, encaminados hacia la sostenibilidad, la calidad, la salud, la economía y el medioambiente (Fernández Agueda y Cunningham-Sabot, 2018).



Antecedentes en la Argentina

En el caso particular de la ocupación del Río de la Plata, con la llegada de Juan de Garay en 1580, tras la malograda expedición de Juan Díaz de Solís en 1516, se inició el proceso de alteración de un territorio original formado por estepas gramíneas, selvas en galería y talaes. Los escasos árboles existentes fueron rápidamente consumidos para leña y madera, lo que determinó la urgencia de la plantación de nuevas especies que pudieran satisfacer estas necesidades. Las acciones individuales de los primeros residentes fueron las que permitieron la aclimatación de numerosas variedades forestales, lo cual permitió dotar, por ejemplo a la ciudad de Buenos Aires, de un incipiente y ecléctico perfil arbóreo. Puede citarse, como obra primigenia de los espacios verdes públicos en el periodo colonial, la construcción del “El Paseo de la Alameda” en 1757. Este espacio fue forestado inicialmente con mil quinientas plantas de sauce y completado, años más tarde, con algunos ombúes (Berjman, 2001).

Los movimientos de parques urbanos del siglo XIX, tanto de Europa como de EE.UU., ejercieron una fuerte influencia sobre la transformación iniciada a mediados del siglo XIX en el país, especialmente las ciudades de Buenos Aires, Rosario, Córdoba, Mendoza. El valor del espacio público como sitio destinado al encuentro social se evidencia en la remodelación de la Plaza Mayor (hoy, Plaza de Mayo) encargada a Prilidiano Pueyrredón en 1857, o en la propuesta de Sarmiento en 1874 para el desarrollo del Parque Tres de Febrero luego de su motivadora visita a los grandes parques paisajistas de la ciudad de Nueva York (entre ellos, el “Central Park”). Si bien parte de las obras del gran Parque de Palermo de la ciudad de Buenos Aires fueron inauguradas en 1875 durante la presidencia de Nicolás Avellaneda, recién veinte años más tarde, durante la gestión de Charles Thays como Director de Parques y Paseos de la ciudad de Buenos Aires entre 1901 y fines de 1913, se ejecutaron las mejoras que permitieron consolidar el primer gran parque metropolitano.

Desde 1880 y durante varias décadas los cambios políticos, económicos y sociales dieron lugar a la transformación de las ciudades en metrópolis modernas proyectadas gracias a los múltiples recursos humanos llegados con la inmigración, ya sea ingenieros agrónomos, topógrafos, paisajistas, entre otros, que permitieron la consolidación de equipos profesionales capaces de planificar la actualmente denominada infraestructura verde, iniciando varias décadas de administración gubernamental competente. Se considera como un antecedente no programático del arbolado en la ciudad de Buenos Aires a las intervenciones municipales de 1881 que documentan las tareas de arbolado sistemático y la plantación de unos 1100 árboles realizada por los propietarios o habitantes de las viviendas particulares. Sin embargo, fue con la designación de Eugene Courtois como Director de Paseos de Buenos Aires en 1883, cuando se promovió la plantación masiva de 4096 árboles de distintas especies como catalpa (*Catalpa bignonioides*), ailanthus (*Ailanthus altissima*), plátano (*Platanus acerifolia*), álamo (*Populus spp.*), paraíso (*Melia azedarach*), olmo (*Ulmus spp.*) y fresno (*Fraxinus spp.*) (Berjman, 1996).

Sin lugar a dudas, la gestión de Charles Thays determinó las acciones más significativas en la promoción y valoración de los espacios verdes públicos de la ciudad de Buenos Aires. Durante su gestión, el paisajista franco-argentino inauguró un ambicioso plan de plantación masiva de árboles para calles, avenidas y áreas verdes, el cual determinó la incorporación 150000 ejemplares seleccionados de una interesante variedad de especies nativas: tipa (*Tipuana tipu*), seibo (*Erythrina crista-galli*), jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*), palo borracho blanco y rosado (*Ceiba chodatii* y *C. speciosa*), que otorgaron a la ciudad un bello calendario de floraciones. Para esta misma época, el historiador Enrique Udaondo



y la Sociedad Forestal Argentina promovieron la protección patrimonial de ciertos ejemplares, publicando el primer Catálogo de Árboles Históricos de la República Argentina (1913) y organizando, por Estanislao Zeballos, el festejo del Día del Árbol (De Masi, 2012).

En esta sucesión de gestores notables se destacan los aportes del Ing. Agr. Benito Carrasco (Director de Parques y Paseos de Buenos Aires entre 1914-1918), propulsor del uso social de los espacios públicos y fundador en 1918 de la primera Cátedra de Parques y Jardines en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, entre otras asociaciones vinculadas a la formación y defensa de la profesión y del patrimonio verde, y del Ing. Agr. Carlos León Thays, que realizó durante su dirección entre 1922 y 1946, una plantación de alrededor de 450.000 árboles en la ciudad de Buenos Aires (Berjman, 2014).

El desarrollo de la arboricultura como una profesión especializada

El desarrollo de la arboricultura urbana como una actividad sistemática promovió las primeras regulaciones legales, así como el establecimiento de unidades académicas y asociaciones orientadas a estudiar al árbol como elemento del paisaje urbano. En los EE.UU., el origen de la silvicultura puede encontrarse en una ordenanza de la ciudad de Filadelfia en 1700, que requirió a los dueños de casas plantar árboles frente a sus puertas. En 1872, Sterling Morton³ introdujo el Día del árbol para fomentar la plantación de árboles en granjas en el estado de Nebraska y, poco después, los niños escolares adoptaron la idea y el día de la plantación de árboles se difundió al resto de los estados. Para el cuidado de los árboles en la ciudad, Filadelfia otra vez tomó una posición de liderazgo, esta vez en 1896, cuando la ciudad contrató a su primer “jefe silvicultor”. Tres años después, mediante el “Tree Warden Act of Massachusetts” requirió por ley que todos los pueblos del estado eligiesen una persona que sea responsable de los árboles en la propiedad pública.

EE.UU. y Canadá iniciaron las primeras asociaciones profesionales dispuestas a discutir nuevas problemáticas, como la dispersión de la vegetación invasora, el impacto de plagas importadas y la generación de un marco legal al respecto. En materia de legislación, en EE.UU. se crearon leyes estatales sobre silvicultura urbana. Por ejemplo, en la década de 1890, el estado de Nueva Jersey aprobó la ley que permite a las comunidades nombrar comisionados de árboles de sombra (“sombra” y “ornamental” eran términos aplicados a los árboles públicos y las tareas asociados con su protección y cuidado durante el siglo XIX). Nueva Inglaterra sancionó normas que señalaban como requisito que los municipios designen a un guardián de árboles para cuidar de los árboles públicos (Konijnendijk *et al.*, 2006).

Por otra parte, uno de los primeros usos documentados del término “urban forestry” (silvicultura urbana) se remonta a 1894, en el Informe Anual de la Junta de Comisionados del Parque en Cambridge, Massachusetts (Cook, 1984). Los primeros arboricultores fueron en su mayoría autodidactas que provenían del ámbito rural dispuestos a ofrecer soluciones en el nuevo mercado urbano. Tal es el caso de John Davey, promotor de la arboricultura en los EE.UU. y conocido como el *cirujano de árboles* debido a su tratamiento de las cavidades y los cortes de poda, hoy en desuso. En su libro “The Tree Doctor”, publicado en 1902, Davey expuso sus investigaciones y ensayos quirúrgicos, insistiendo en el

3 Sterling Morton fue Secretario del Territorio de Nebraska entre 1858 y 1861 y Secretario de Agricultura del presidente Grover Cleveland entre 1893 y 1897.



tratamiento profesional del arbolado. Empleó métodos innovadores para comunicar su pasión por el cuidado de los árboles y desarrolló varios inventos y técnicas como la protección contra la deshidratación de los cortes de poda, el ángulo correcto para el corte, los sistemas de sujeción conocidos como “cabling” y “bracing”, y el desarrollo del *Rhizotron* (una estación subterránea que permitía estudiar el crecimiento de las raíces), entre otras cuestiones. En 1880, inició su compañía y en 1909 fundó el Instituto Davey de cirugía de árbol (DITS), que actualmente continúa ofreciendo capacitación y servicio. Junto a otros pioneros realizó en Stamford la primera conferencia nacional de arboristas, investigadores y educadores en 1924, iniciando la Conferencia Internacional de Arboricultura (ICA). En 1926, promovió la realización de la Conferencia Nacional del Árbol de Sombra (NSTC). Desde estas instituciones se facilitó la creación de un fondo para investigaciones, la redacción de un Código de Ética para los Arboricultores y numerosas publicaciones relacionadas al desarrollo de nuevas técnicas de poda, tratamientos fitosanitarios, mejoramiento de las técnicas de trepa y sistemas de seguridad: “Transplanting of Trees and Shrubs in the Northeastern and North Central United States” en 1943; “Shade Tree Evaluation” en 1957 (Tilford, 1975).

En EE.UU., el término arboricultura fue utilizado oficialmente, por primera vez, por Charles Irish⁴ en 1932, para diferenciar los conceptos disponibles para el tratamiento del árbol de aquellos asociados a la silvicultura. A mediados de la década de los ‘60, Erik Jorgensen, Profesor de Patología Forestal en la Universidad de Toronto, acuña el término “urban forestry” (silvicultura urbana), en referencia, no sólo a los árboles de la ciudad o al manejo de un solo árbol, sino al manejo de los árboles en toda el área influida y utilizada por la población urbana. La define como “una rama especializada de la silvicultura que tiene como objetivo el cultivo y la gestión de los árboles por su contribución actual y potencial al bienestar fisiológico, sociológico y económico de la sociedad urbana. Estas contribuciones incluyen el efecto general de mejoras de los árboles en su entorno, así como su valor de equipamiento recreativo y general” (Jorgensen, 1986).

En 1961, la ICA se transformó en una comunidad internacional y, en 1974, en una sociedad internacional (ISA, “International Society of Arboriculture”), con cerca de 60 delegaciones (o capítulos, como se identifican hoy en el mundo). En 1998 se organizó el Primer Encuentro Mundial de Arboricultores fuera de Norteamérica, en Birmingham (Inglaterra) al que acudieron más de 1200 delegados de 36 países, bajo la propuesta de compartir nuevas ideas y discutir soluciones a los nuevos problemas. Desde entonces estos encuentros han fomentado una sinergia entre arboricultores, científicos y gestores dispuestos al encuentro e intercambio de conocimientos y experiencias, que ha permitido la evolución y consolidación de la profesión, visibilizando la importancia del tema y promoviendo la innovación técnica y tecnológica para el tratamiento del árbol según los postulados de la arboricultura moderna.

Los orígenes de la silvicultura urbana en Europa

Una de las primeras escuelas forestales fue establecida por el Imperio Británico en Escocia, dando origen en 1854 a la sociedad profesional: “Arboricultural Society of Scotland”. En pocos años la socie-

⁴ Charles Irish fue un notable profesional de la incipiente arboricultura. Fue uno de los fundadores y presidente de la Asociación Nacional de Arboristas y dirigió la Conferencia Nacional de Árboles de Sombra.



dad recibió el patrocinio de la reina Victoria y se convirtió en la actual Real Sociedad de Arboricultura de Escocia (“Royal Arboricultural Society of Scotland”). Desde entonces trabaja por la protección de los bosques nativos y la promoción, investigación, registro y conservación de árboles y bosques notables destacados. Sus registros de los bosques de la zona de Dublín (Irlanda) de 1857 son los documentos impresos más antiguos sobre el relevamiento de las características notables de los árboles.

Europa ha tenido una larga y rica historia de diseño y gestión de espacios verdes. Inicialmente, muchos de los parques y jardines más grandes en las ciudades y pueblos fueron establecidos por la nobleza, y el acceso público a estas áreas era muy limitado. Algunos bosques han estado bajo la influencia directa de ciudades y pueblos durante siglos, en algunos casos como en los países de Europa Central, como reservorios verdes en torno a las urbanizaciones; en otros para la explotación de los recursos forestales o para la expansión urbana o agrícola, lo que provocó una pérdida irreversible de los bosques nativos y un proceso permanente de fragmentación de los entornos naturales con su consecuente merma de la diversidad. La disponibilidad de espacios públicos para la clase trabajadora muestra un giro durante el siglo XIX, cuando la industrialización condujo a un auge de población urbana, y durante el siglo XX, luego de finalizados los conflictos bélicos. La reconversión de la infraestructura verde fue impulsada inicialmente por el urbanismo moderno de posguerra y luego modelada por la influencia de la ecología del paisaje, durante la década de 1970.

La planificación y gestión del espacio verde público había sido más bien sectorial, con áreas correspondientes a parques, árboles de la calle, bosques, parterres, etc., que a menudo tenían sus propios expertos y/o unidad o departamento municipal. Sólo más tarde se hicieron enfoques más completos del espacio verde. A principios de la década de 1980, se introducen en Europa los términos ‘bosque urbano’ y ‘silvicultura urbana’ como resultado de una nueva perspectiva más integradora y holística, inspirada por visitas de expertos británicos, irlandeses y holandeses a EE.UU. La silvicultura urbana tuvo que superar la resistencia inicial de los forestales (que no veían a las ciudades como su dominio) y de aquellos profesionales que tradicionalmente se ocupaban de los parques urbanos (Konijnendijk, 2006). Actualmente, en Europa, la definición del concepto de ‘silvicultura urbana’ distingue dos corrientes, según Konijnendijk *et al.* (2006). Una primera corriente considera que es una definición limitada que se relaciona principalmente con la silvicultura en bosques urbanos (en o cerca de áreas urbanas). La segunda considera una definición más amplia del término al sumar a la acción sobre bosques, grupos más pequeños de árboles y árboles individuales. Esta perspectiva más amplia se engloba en una definición proporcionada por Ball *et al.* (1999) quien refiere a la silvicultura urbana como una actividad multidisciplinar que incluye el diseño, planificación, establecimiento y manejo de árboles, bosques y flora asociada y el espacio abierto que, en general, está vinculado físicamente para formar un mosaico de vegetación en o cerca de áreas urbanizadas. De esta manera, la silvicultura sirve a una variedad de funciones polivalentes, pero busca principalmente la amenidad y la promoción del bienestar humano (EMoNFUr, 2014).

Desde hace 30 años se desarrolla en Europa el proyecto “Establishing a Monitoring Network to assess lowland Forest and Urban plantation status in Lombardy region and Slovenian”⁵ (EMoNFUr), que

5 EMoNFUr: corresponde al acrónimo de Establecimiento de una Red de seguimiento para evaluar el estado de las plantaciones urbanas y forestales de tierras bajas en la región de Lombardía y Eslovenia.





busca establecer una red de seguimiento que evalúe el estado de las plantaciones urbanas y forestales de tierras bajas en la región de Lombardía y Eslovenia. Este proyecto tiene por objeto el monitoreo del estado de los bosques artificiales, naturales, urbanos y periurbanos (bosques urbanos) y su comportamiento en ámbitos como: la preservación e incremento de la biodiversidad en estos ecosistemas, la capacidad de regular la temperatura y absorber CO₂, la preservación del suelo y de la calidad de vida de las comunidades locales, en particular en relación al comportamiento frente al cambio climático y la respuesta al desarrollo de patologías forestales y plagas, entre otros (EMoNFUr, 2014).

Conceptos generales sobre la arboricultura moderna

La arboricultura moderna se funda en el entendimiento de la biología del árbol como un sistema vivo, complejo y altamente eficiente, en su valor medioambiental y en la percepción social del valor del árbol y del bosque urbano. Por lo tanto, la arboricultura moderna pone en discusión las prácticas y conceptos tradicionales.

Distintos profesionales se constituyeron como pilares fundamentales de la arboricultura moderna por sus estudios de la estructura biomecánica, resistencia y compartimentación de la madera. George Hepting (1935) fue pionero en describir los mecanismos de reacción de la madera ante una lesión. Décadas más tarde, en 1977, se desarrolló el primer modelo de la reacción que se denominó CODIT (“Compartmentalization of Decay in Trees” o Compartimentación de la descomposición en árboles), que representa el mecanismo por el cual el árbol contiene y restringe la irrupción de los patógenos en una herida (Shigo y Marx, 1977). Se inician así cambios físico-químicos, que promueven las acciones de cuatro barreras que compartimentan o encapsulan la dispersión de la descomposición. El Dr. Shigo fue, por otra parte, un prolífico autor y educador; sus libros sobre biología, cuidado y anatomía de los árboles (“Modern Arboriculture: A Systems Approach to the Care of Trees and Their Associates” en 1991, “Tree Anatomy” en 1994, “Tree Pruning Basics” en 2004, entre otros) forman parte de la bibliografía obligada para el estudio del árbol.

Posteriormente, las contribuciones de Dujesiefken y Liese al modelo CODIT, basadas en la observación del problema principal en una herida y la embolia que provoca la entrada de aire en los tejidos, proponen una secuencia temporal de las reacciones divididas en fases (Dujesiefken y Liese, 2015). Esta división depende de varios factores como la especie, el estado sanitario, la época del año en que ocurre la lesión, entre otros. Estos autores, en base a los aportes de Shigo, lograron también importantes avances con respecto a las consecuencias de la práctica de realizar cortes al exterior del cuello de la rama. Luego de analizar por 10 años las consecuencias de distintos tipos de cortes y heridas de poda, Dujesiefken y Liese (2002) demostraron que en los cortes rectos y al ras, las heridas son más grandes y que si bien el desarrollo del tejido de callo en el borde de la herida es más rápido, las heridas tardan mucho más en cerrar o no llegan nunca a resolverse. Por otro lado, estos autores mostraron que cuando los cortes respetan el exterior del collar, se producen heridas más pequeñas que cierran rápidamente. Esta relación entre el tipo de poda y la compartimentación de las heridas se conoce como “Método Hamburgo de Poda”, y será ampliado en el Capítulo 6.

Los aportes de Shigo y Dujesiefken modificaron no sólo la forma de intervenir los ejemplares, sino que permitieron nuevos argumentos para la prevención del riesgo en el ámbito urbano y la evolución





de las investigaciones basadas en la evaluación visual del arbolado o VTA (“Visual Tree Assessment”). La publicación del libro “The body language of trees: A handbook for failures analysis” (Mattheck y Breloer, 1994) expone el método VTA que “permite distinguir árboles peligrosos de los aparentemente peligrosos” y su axioma de la carga uniforme, basado en el principio de que los árboles consumen energía para alcanzar una distribución homogénea de las cargas mecánicas, lo cual se explica en que “los árboles no son sólo entidades biológicas vivas, sino que son también estructuras mecánicas que soportan cargas”.

Los árboles cuentan con un sofisticado diseño mecánico y tienen un material de ingeniería único: la madera. De este modo, combinan la resistencia, la flexibilidad y la rigidez, e incluso pueden responder a su entorno y, por tanto, cambiar su diseño. Cuando las circunstancias mecánicas lo requieren, en los árboles se produce un tipo especial de madera en los anillos anuales sucesivos, con diferente orientación de microfibrillas de celulosa y estructura celular. Otro tipo de diseño mecánico adaptativo que ocurre en una escala de tiempo más corta (y, por ello, más observable), es la *thigmomorfogénesis*. Este fenómeno tiene que ver con los individuos más que con las especies, y se asocia a, por ejemplo, cambios en la forma, la estructura y las propiedades mecánicas del material, como resultado de cambios transitorios en las condiciones del entorno. Estos efectos están íntimamente relacionados con el crecimiento del árbol y son buenos ejemplos de modificaciones de la morfología exterior con el fin de resolver un conjunto específico de condiciones de servicio.

La madera de reacción, RW (en inglés, “reaction wood”), se forma generalmente como respuesta a una orientación no vertical del tronco, causada por vientos predominantes, nieve, pendientes inclinadas o perfiles asimétricos en el follaje. Este tipo anormal de madera se forma como parte de un proceso de desarrollo cuyo objetivo es reorientar la inclinación de un tronco, o de una rama, para que el árbol pueda encontrar una posición más favorable. Tanto en las especies de angiospermas como en las de gimnospermas, el tejido de la madera de reacción se asocia frecuentemente con el crecimiento radial excéntrico del tronco. En el caso de las gimnospermas, a la madera de reacción se la suele llamar madera de compresión, CW (en inglés, “compression wood”) ya que suele aparecer en zonas localizadas del árbol sometidas a tensiones de compresión, en la parte inferior de los tallos inclinados. La CW tiene un mayor contenido de lignina, más subunidades p-hidroxifenil y menor contenido de celulosa que la madera normal, NW (en inglés, “normal wood”). Además, la densidad de la madera de compresión es hasta un 50% mayor que la de la madera normal. Por otro lado, en las especies de angiospermas a la madera de reacción se le llama madera de tracción, TW (en inglés, “tension wood”) porque aparece en las zonas del árbol sometidas a tensiones de tracción, en la parte superior de los tallos inclinados. En la TW, el contenido total de lignina es menor, el contenido de celulosa es mayor y el ángulo de microfibrilla es menor que las correspondientes propiedades de la NW. Así, durante el crecimiento, la flexibilidad de diseño intrínseca debido a la combinación de los materiales reforzados con fibras, la organización en diferentes niveles de jerarquía y la interacción entre ellos, convergen hacia una solución específica necesaria para una situación concreta en la que se ha desarrollado el ejemplar (Vargas-Silva, 2017).

El desarrollo del Modelo biomecánico de la madera de Mattheck (1993) permitió comprender las variaciones estructurales presentes, por ejemplo, en la madera de tracción, tensión y compresión. Sus más de 200 publicaciones, trece libros y doce premios, entre los que se encuentra, el Premio Alemán





de Ecología (2003), uno de los más prestigiosos de Europa, lo han convertido en uno de los personajes más influyentes de la arboricultura moderna a nivel internacional.

Por su parte, la descripción del modelo arquitectural del árbol y la estrategia de reiteración en la organización del crecimiento (Hallé y Oldeman, 1970; Raimbault y Tanguy, 1993; Raimbault *et al.*, 1995) proporcionaron el marco teórico para el estudio del árbol en términos de unidades biológicamente significativas. Esta aproximación modela la ocurrencia de una serie de eventos que dan lugar a distintas fases o etapas a lo largo del desarrollo natural de todas las especies arbóreas. Estos modelos han contribuido a establecer nuevas pautas para las intervenciones relacionadas con el riesgo y el mantenimiento del árbol urbano.

Problemáticas contemporáneas y nuevos aportes a la arboricultura moderna

Inicialmente la silvicultura urbana y periurbana se entendían como prácticas con un objetivo limitado, como el cultivo de ciertos tipos de árboles y el embellecimiento del paisaje. A medida que las comunidades rurales y agrícolas se han ido transformando en sociedades urbanas y tecnológicas, la silvicultura urbana y periurbana ha evolucionado a un enfoque estratégico para cumplir con los objetivos económicos, sociales y ambientales de la ciudad contemporánea. En la actualidad el conocimiento científico, práctico, de gestión y planificación, son los fundamentos de la silvicultura urbana y periurbana para la resolución de los problemas que plantea la creciente urbanización. Los países de Europa y América del Norte han creado instituciones de docencia e investigación sobre silvicultura urbana y periurbana y formularon leyes, herramientas políticas y normativas a escala nacional y local para conservar, regular e incorporar el uso de los bosques urbanos y periurbanos. Asimismo, recientemente, Brasil, China y otros países en vías de desarrollo han comenzado a emplear la silvicultura urbana y periurbana para aumentar la seguridad alimentaria, crear empleo, conservar la biodiversidad y mitigar los impactos del cambio climático. La silvicultura urbana y periurbana va más allá de plantar o podar árboles; los bosques urbanos y periurbanos son parte de los ecosistemas socio-ecológicos con múltiples escalas que brindan una gama de beneficios e implican gastos. Por lo tanto, para asegurarse de que la silvicultura haga un aporte óptimo a la resiliencia y sostenibilidad de las ciudades modernas se requiere de planificación a largo plazo, así como del conocimiento de los contextos biofísico, socio-ecológico y socio-económico y de los enfoques participativos (Calaza *et al.*, 2018)

Bibliografía

- Ball, R., Bussey, S., Patch, D., Simson, A. y West, S. (1999). United Kingdom. En: Forrest, M., Konijnendijk, C.C., Randrup, T.B. (Ed.), COST Action E12: Research and development in urban forestry in Europe. (pp. 325-340). Bruselas, Bélgica: Office for Official Publications of the European Communities.
- Benito, G., Palermo, M. y Bertucelli, C. (2018). Arboricultura urbana: Antecedentes y evolución. Experiencia educativa de formación técnica en FAUBA. *Revista de la Facultad de Agronomía UBA*



Agronomía & Ambiente, 38(1): 59-69. Recuperado de: <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/77>

- Berjman, S. (1996). La obra de Eugene Courtois. Buenos Aires. Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas. 66-41 pp.
- Berjman, S. (2001). La plaza española en Buenos Aires, 1580-1880. (pp. 206). Buenos Aires, Argentina: Kliczkowski Publisher.
- Berjman, S. (2014). Paseos Públicos de Buenos Aires y la labor de Carlos León Thays (H) entre 1922-1946. (pp. 479). Buenos Aires, Argentina: Librería Concentra.
- Briceño Ávila, M. y Gil Scheuren, B. (2005). Ciudad, imagen y percepción. *Revista Geográfica Venezolana*, 46(1): 11-33. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347730348005>
- Calaza Martínez, P. (2018). Urbanismo + ecología: ¿binomio biofílico? Estrategias y movimientos internacionales para la planificación de ciudades biofílicas. *Arkitekturax Visión FUA*, 1(1): 133-149. Recuperado de: <https://doi.org/10.29097/26191709.206>
- Calaza, P., Cariñanos, P., Escobedo, F. J., Schwab, J. y Tovar, G. (2018). Crear paisajes urbanos e infraestructura verde. FAO, 2018. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i8707es/I8707ES.pdf>
- Carpenter, M. (2013). From “healthful exercise” to “nature on prescription”: The politics of urban green spaces and walking for health. *Landscape and Urban Planning*, 118: 120-127. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204613000388?via%3Dihub>
- Davey, J. (1902). The Tree Doctor: a Book on Tree Culture. (pp. 87). Akron, Ohio, EE.UU.: The Commercial Printing Co.
- De Masi, O. (2012). Árboles históricos nacionales: las declaratorias de la comisión nacional de museos y de monumentos y lugares históricos y sus antecedentes. (pp. 81). Buenos Aires, Argentina: Eustylos.
- Dujesiefken, D. and W. Liese. (2015). The CODIT Principle: Implications for Best Practices. (pp. 162). EE.UU.: International Society of Arboriculture.
- Establishing a Monitoring Network to assess lowland Forest and Urban plantation status in Lombardy region and Slovenian (EMoNFUr). (2014). Urban and periurban forests. Management, monitoring and ecosystem services. EMoNFUrLife+Project experiences. Barbante, Calvo, Sanesi, Selleri, Verlic, Vilhar (eds.). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/334634979_MANAGEMENT_OF_THE_INFORMATIVE_AND_COMMUNICATIONAL_ASPECTS
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2016). Directrices para la silvicultura urbana y periurbana, por Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M. y Chen, Y. 2017. Directrices para la silvicultura urbana y periurbana, Estudio FAO: Montes N° 178, Roma, FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i6210s/i6210s.pdf>
- Fernández Agueda, B. y Cunningham-Sabot, E. (2018). Del declive al decrecimiento urbano: un debate en construcción (2018). *An. geogr. Univ. Complut* 38(2): 341-356. Recuperado de: <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/download/62483/4564456548705/>



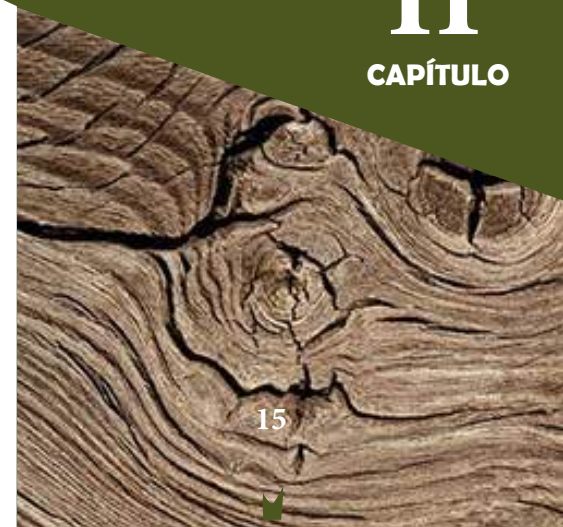
- Griño Cabecerán, A. (2014). Shrinking cities: Análisis conceptual. Recuperado de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24413/GRI%C3%91%C3%93_TESIS.pdf
- Hallé, F. y Oldeman, R. (1970). Essai sur l'architecture et dynamique de la croissance des arbres tropicaux. (pp.192). París, Francia: Masson and Co.
- Hepting, G. (1935). Decay following fire in young Mississippi Delta hardwoods. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin, no. 494. 32 pp.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, 4(1): 1-23.
- Jorgensen, E. (1986). Urban Forestry in the Rearview Mirror. *Arboricultural Journal*, 10(3): 177-190. doi: 10.1080 / 03071375.1986.9746750.
- Konijnendijk, C.C., Richard, R.M., Kenney, A., y Randrup, T.B. (2006). Defining urban forestry - a comparative perspective of North America and Europe. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4(3-4): 93-103. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2005.11.003>
- Mattheck, C. y Breloer, H. (1994). The body language of trees: a handbook for failure analysis. (pp. 240). Londres: HMSO Publications Centre.
- Puerto Sarmiento, F. (2002). Jardines de aclimatación en la España de la Ilustración. *Revista Ciencias* 68 Octubre–Diciembre 2002. Facultad de Ciencias, UNAM. 30-41 pp. Recuperado de: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/11859>
- Raimbault, P. y Tanguy, M. (1993). La gestion des arbres d'ornement. 1ère partie: une méthode d'analyse et de diagnostic de la partie aérienne. *Rev. For. Fr. XLV2*: 97-117.
- Raimbault, P., De Jonghe, F., Truan, R. y Tanguy, M. (1995). La gestion des arbres d'ornement 2e partie: gestion de la partie aérienne: les principes de la taille longue moderne des arbres d'ornement. *For. Fr. XLVII*: 1-1995.
- Shigo, A.L. Y Marx, H. (1977). Compartmentalization of decay in trees. (CODIT). U.S. Dep. Agric. Inf. Bull. 405. 73 pp.
- Tilford, P. E. (1975). A half century with trees and their friends. *Journal of Arboriculture*. Recuperado de: <http://joa.isa-arbor.com/articles.asp?JournalID=1&VolumeID=1&IssueID=7>
- Vargas-Silva, G. (2017). Estrategias mecánicas de las plantas arborescentes: enseñanzas estructurales de los árboles. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería* 25(3): 510-523. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-33052017000300510&lng=es&nrm=iso
- Ward Thompson, C. (2011). Linking landscape and health: The recurring theme. *Landscape and Urban Planning*, 99(3): 187-195. Recuperado de: <http://blogs.ubc.ca/2017wufor200/files/2017/03/Ward-Thompson-2011-Linking-landscape-and-health-The-recurring-theme.pdf>



El árbol en la ciudad

El bosque urbano

II
CAPÍTULO





Introducción

“La sustitución de la naturaleza por la ciudad descansaba, en parte, en una ilusión -o, incluso, en una serie de ilusiones- sobre la naturaleza del hombre y de sus instituciones: la ilusión de autosuficiencia e independencia y la ilusión de la posibilidad de una continuidad física sin una renovación consciente” (Mumford, 1956).

Originalmente, la inserción geográfica de las ciudades, el manejo de los recursos energéticos y la administración de los espacios públicos fueron abordados desde la concepción hegemónica del desarrollo que suponía que los recursos naturales eran inagotables o secundarios y los impactos negativos sobre el ambiente eran menospreciados o desvalorizados. Por ello, la ciudad era considerada una estructura antagónica del medio natural.

Bajo el manto protector de la ciudad, aparentemente inmutable, la ilusión de los recursos inagotables crearon hábitos de depredación y consumo que llegaron a socavar las bases de toda la estructura social y económica, una vez asolado no sólo el paisaje circundante sino también el de regiones distantes. Con el avance de las ciudades, muchos de los elementos proporcionados por la naturaleza, necesarios tanto para el equilibrio físico como mental, empezaron a escasear (Mumford, 1956). La ignorancia de los procesos físicos y ecológicos en la ciudad obedece a muchas causas, entre otras a que la planificación y el diseño han respondido a criterios exclusivamente ingenieriles, con olvido de los ecológicos y geográficos (Gómez Mendoza, 2003).

Algunos de los problemas que afectan a la racionalidad de nuestras ciudades derivan del hecho de que los profesionales encargados de pensarlas han actuado en pos de dar respuesta a problemas del pasado, sin considerar el gran desafío de lograr una ciudad inclusiva, que permita la adecuada convivencia entre el desarrollo urbano y la naturaleza. La sostenibilidad de las áreas urbanas es influenciada o determinada por diferentes factores, tales como la demanda de recursos naturales, los patrones de consumo, la preparación de las ciudades para prever el efecto adverso de las adversidades de origen natural y antrópicas. La Organización Mundial de las Naciones Unidas plantea que sin una adecuada planificación urbana resulta imposible asegurar un mínimo equilibrio en la localización de infraestructura, la prestación de servicios y la distribución de riqueza, con el riesgo de contribuir a una alta polarización física y social en el interior del conglomerado urbano (ONU, 2012). Como señala Benassi (2015), “las ciudades que mejoran la calidad de vida y experimentan mayores niveles de prosperidad son aquellas que resultan más avanzadas en términos de sostenibilidad. La equidad social y la calidad de vida se aúnan en ciudades equitativas que generalizan el acceso a bienes urbanos, públicos y comunitarios, previniendo la apropiación privada y ampliando las posibilidades de una mejor calidad de vida para la totalidad de la población. La seguridad pública eficaz es un bien común fundamental que mejora la calidad de vida para todos y es una base importante para la prosperidad urbana. Las ciudades que revaloran la noción de lo ‘público’ y, por lo tanto, proporcionan a sus pobladores áreas verdes, parques, centros recreativos y otros espacios, demuestran un compromiso con la calidad de vida. Además de mejorar la calidad de vida, el acceso a los espacios públicos es un primer paso para el empoderamiento cívico y el acercamiento a otros espacios institucionales y políticos. En este sentido, el cambio de las condiciones de habitabilidad social se centra en el marco de la inclusión social, ambiental, ecológica y cultural. Cambio cuya aplicación política aborda la fragmentación espacial, ecológica y social, reconocida como una problemática colectiva urgente en los conglomerados urbanos”.



Desde el siglo XIX, la tarea del diseño y de las obras públicas se ha encomendado al planificador, quien basa sus decisiones principalmente en consideraciones de eficiencia y costo-beneficio, en detrimento de otras de distinta índole, como los beneficios derivados de los servicios ecosistémicos (McHarg, 2000). Sin embargo, prescindir de una perspectiva que contemple a los procesos naturales no significa que estos se eviten o desaparezcan. Por el contrario, en nuestros entornos urbanos aparecen muchas veces procesos y ambientes naturales y naturalizados fuera de conocimiento y control. Más aún, si bien desde la creación de la ciudad moderna hacia finales del siglo XVIII y durante el XIX la vegetación se introdujo de manera planificada, sistematizada y organizada, ésto acontecía como un proceso restaurador mientras tenía lugar la destrucción que la misma ciudad hacía de la naturaleza.

La mayoría de las urbes modernas han crecido acelerada y desordenadamente, adaptándose al crecimiento demográfico y a los sistemas de producción y consumo. Esto ha determinado el surgimiento de paisajes de composición heterogénea, donde las personas interactúan generando fenómenos económicos, sociales y ecológicos. Todos estos procesos suelen exponer a las comunidades urbanas a riesgos ambientales que amenazan su salud y bienestar, resultando sumamente costosos, así como drásticos en términos de sus consecuencias físicas y psicológicas para los seres humanos.

En este contexto, el arbolado ha sido promovido como elemento organizador y democratizador del paisaje asociado al concepto de vida al aire libre. La diversidad y riqueza del arbolado urbano crea un tipo de paisaje que lo distingue y caracteriza, generando un paisaje cultural que debe resguardarse. “Los paisajes culturales, a su vez, representan la obra combinada de la naturaleza y el ser humano. Ilustran la evolución de la sociedad y los asentamientos humanos en el tiempo, bajo la influencia de las restricciones físicas y/o las oportunidades presentadas por su ambiente natural y las sucesivas fuerzas sociales, económicas y culturales, tanto internas como externas” (Centro del Patrimonio Mundial, 1999).

Infraestructura verde de la ciudad

El marco de servicios ecosistémicos, que cobró importancia a raíz de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, es una forma sistemática de afrontar los tres beneficios (económicos, sociales y medioambientales) que ofrecen los espacios verdes en las áreas urbanas (FAO, 2016). En vez de recalcar la exigencia de conservar la naturaleza y proteger la biodiversidad en sí, este enfoque novedoso hace hincapié en las conexiones entre ecosistemas, biodiversidad y los servicios esenciales que éstos producen para la humanidad.

El término Infraestructura verde es relativamente reciente en el campo de la planificación del paisaje. Fue utilizado por primera vez en 1994 por la Comisión de Greenways del estado de Florida, EE.UU. Sus definiciones fueron evolucionando y dependen del contexto geográfico, funcional y de sus componentes y características (Calaza Martínez, 2016). Los norteamericanos Benedict y McMahon (2006) definen infraestructura verde como un sistema de soporte de vida natural, es decir, una red interconectada de vías navegables, humedales, bosques, hábitats de vida silvestre y otras áreas naturales; vías verdes, parques y otras tierras de conservación; granjas, ranchos y bosques; y áreas naturales y otros espacios abiertos que soportan a las especies nativas, las cuales mantienen los procesos ecológicos naturales, sustentan los recursos de aire y agua y contribuyen a la salud y la calidad





de vida de las comunidades y personas. Por su parte, la Comisión al Parlamento Europeo señaló en 2013 que una infraestructura verde es una red de zonas naturales y seminaturales y de otros elementos ambientales, planificada de forma estratégica, diseñada y gestionada para la prestación de una extensa gama de servicios ecosistémicos. Incorpora espacios verdes (o azules en el caso de los ecosistemas acuáticos) y otros elementos físicos de los espacios terrestres (incluidas las zonas costeras) y marinos. En los espacios terrestres, la infraestructura verde está presente en los entornos rurales y urbanos. En comparación con el sistema europeo, el desarrollo de la infraestructura verde de América del Norte ha enfatizado históricamente el beneficio ecológico antes de los beneficios sociales y económicos.

Asimismo, en el año 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible, una guía formada por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que ofrecen a los países miembros un compromiso por la mejora de la vida en nuestro planeta (FAO, 2016). En el marco fundamentalmente de los ODS 3 (Salud y Bienestar), 11 (Ciudades y Comunidades sostenibles), 13 (Acción sobre el Clima) y 15 (Vida de Ecosistemas terrestres), los bosques urbanos son considerados una pieza clave para mejorar la calidad de vida en las ciudades, aumentar la cohesión de la comunidad y garantizar el desarrollo sostenible. De manera transversal, los bosques urbanos también participan en los logros de los ODS 1 (Fin de la Pobreza), 2 (Hambre cero), 6 (Agua limpia y saneamiento), 7 (Energía asequible) y 8 (Trabajo decente y Crecimiento económico), a través de sus múltiples aportes.

A escala de paisaje, los tipos de infraestructura verde corresponden a humedales, bosques, corredores ribereños y líneas de costa. Estos tipos de infraestructura son los que permitirían mantener o restaurar procesos ecológicos que resultan clave para el funcionamiento a largo plazo de los territorios y optimizar los beneficios sociales que se obtienen de ellos. A esta escala, la infraestructura verde puede ayudar a mantener o restablecer la integridad del paisaje, que corresponde al estado de situación donde se hacen compatibles y maximizan la salud de los ecosistemas y el bienestar social (Hellmund y Smith, 2006). En ambientes urbanos, mantener los ecosistemas en buen estado y funcionamiento permitiría un mejor sostenimiento de las actividades humanas, al actuar como soporte físico de instalaciones e infraestructura, fuente de recursos naturales y sumidero de energía y materiales (Vásquez, 2016). Todo esto contribuye, a su vez, al bienestar económico, social y psicológico de las personas. Más aún, la resiliencia de las ciudades ante el cambio climático y los fenómenos climáticos extremos asociados a dicho fenómeno, dependerá del mantenimiento de los ecosistemas y sus funciones. Para sostener el funcionamiento de los ecosistemas y de procesos ecológicos como la sucesión y la transición, resulta esencial asegurar una adecuada conectividad urbana y periurbana (FAO, 2018).

Entre las tipologías de infraestructuras verdes definidas por FAO (2018), se destacan el bosque urbano, entendido como el sistema integrado por bosques y arbolados periurbanos, parques municipales y bosques urbanos (mayor a 0,5 ha), parques y jardines pequeños con árboles (menor a 0,5 ha), árboles en las calles o en las plazas públicas y otras áreas verdes con árboles. Estas infraestructuras funcionan como un sistema integrado a partir de la articulación de los numerosos componentes vegetales de una ciudad, que se interconectan para formar una red eficiente que se extiende hacia las zonas periurbanas y rurales.

Esta influencia positiva de la vegetación sobre el ambiente y el microclima de las áreas urbanas, considera al árbol en forma individual y como componente del bosque urbano. Al transpirar agua, alterar las velocidades del viento, sombrear superficies y modificar el almacenamiento e intercambio





de calor entre superficies urbanas, los árboles afectan el clima local y, consecuentemente, el uso de la energía en edificios, así como el confort térmico humano y la calidad del aire (Nowak *et al.*, 1997). Desde el punto de vista social, las nuevas urbanizaciones reclaman la incorporación de los desafíos sociales, además de ambientales, a través de los bosques urbanos. Los ciudadanos necesitan interactuar entre sí y con otros seres vivos en un contexto donde coexista la trama construida y la natural, donde se puedan aplicar alguna de las tres teorías que vinculan al hombre con la naturaleza, con la salud y con el bienestar, como plantean la Teoría de Restauración de la Atención (ART) de Kaplan y Kaplan (1989), la Teoría de la Restauración de Ulrich (1984) y la Teoría de la biofilia de Wilson (1984). La primera establece que el mejor entorno para un individuo es aquel donde existen menos demandas de atención y más oportunidades para la restauración. Esta teoría subraya que los espacios exteriores y los medioambientes naturales pueden ayudar en la recuperación de la fatiga de atención permitiendo a la gente distanciarse de las actividades rutinarias y restaurarse psicológicamente (Calaza Martínez, 2016). La teoría de la reducción del estrés de Ulrich (1984) propone que los espacios exteriores pueden promover la recuperación de situaciones de estrés a través de diferentes tipos de medio ambientes que desencadenan respuestas emocionales y psicológicas en el cuerpo humano, principalmente a través de contactos visuales. Por último, el término *biofilia* sugiere que el ser humano necesita sentir la naturaleza, ya que inconscientemente busca el contacto con otras especies y tiene la necesidad de estar cerca de la naturaleza.



Foto 2.1.

Infraestructura verde que media con la infraestructura gris de la ciudad. Plaza General San Martín. CABA.



II- El árbol en la ciudad El bosque urbano



En términos de tiempo biológico, las ciudades surgieron hace menos de 10000 años, mientras que las plantas con flores son el producto de un proceso evolutivo que comenzó en la era mesozoica hace 200 millones de años. Los árboles han estado expuestos a más de 100 millones de años de presión selectiva para adaptarse a los medioambientes naturales; sin embargo, su supervivencia en las ciudades está sujeta a muchas presiones ambientales a las cuales no han estado previamente sometidos (Hough, 1995).

Los árboles en la ciudad son individuos que se desarrollan fuera de su ecosistema natural. No es fácil ser árbol de ciudad, no cualquier especie tolera la contaminación, la poda, la agresión por parte de los vecinos o la vandalización. El hombre ha reintroducido los árboles de su sitio original a la ciudad, un medio adverso y negativo para su sobrevivencia, que cuenta con pocos alicientes para su desarrollo. Su inclusión en la ciudad debe estar comprometida con el respeto de su identidad biológica, para garantizar su salud y su aporte ornamental. Por lo tanto, definir las diferentes opciones del arbolado de una ciudad permite realizar un tratamiento adecuado.



Foto 2.2.

- (a) Arbolado en vías suburbanas (Colonia Caroya, Córdoba).
(b) Grandes avenidas (Av. 9 de Julio, CABA), (c) Espacios Verdes (Parque Tres de Febrero, CABA).
(d) Jardines históricos (Jardín del Museo Enrique Larreta, CABA).



Se agrupa como arbolado en espacios públicos a los árboles, palmeras y arbustos manejados como árboles, que conforman el arbolado de alineación y de los espacios verdes, así como los implantados en bienes del dominio público como escuelas, hospitales, museos, etc. Cabe aclarar que las palmeras se incluyen en este conjunto para su tratamiento dentro del universo forestal de la ciudad, si bien botánicamente no son árboles. La ubicación del arbolado plantea diferentes problemáticas que implican la selección de la especie adecuada para cada locación y la poda aplicada según variados objetivos. El mantenimiento del arbolado en el espacio público obedece a diferentes gestiones, pudiendo ser exclusivamente de acción del estado o mixta, cuando el frentista colabora en el mantenimiento del ejemplar. En algunas ciudades, la gestión del arbolado en espacios privados también se ve ordenada por la legislatura de la región.

Servicios ambientales y beneficios del arbolado urbano

Los árboles urbanos pueden contribuir a la mitigación de la degradación ambiental a través de una serie de beneficios o servicios ecosistémicos, entendidos ellos como los beneficios derivados de la naturaleza que el ser humano consume o goza, ya que aumentan su bienestar y ejercen una influencia positiva sobre su salud (Coutts y Hahn, 2015). La apreciación de las contribuciones de los árboles urbanos ha variado a lo largo de las últimas décadas. Hacia la década del 90, estos aportes eran vistos como beneficios (Nowak, 1997). De forma simultánea, Costanza *et al.* (1997) plantean el concepto de Servicios Ecosistémicos (SE) en el ámbito académico, instalándose en la agenda de políticas públicas. El concepto de SE representó una aproximación integral para incorporar la dimensión ambiental en la toma de decisiones, diseñar y planificar el uso de la tierra y promover el bienestar humano. Más tarde, en 2005, se publicó un informe mundial sobre el estado de los SE, denominado Evaluación de Ecosistemas del Milenio. Este informe mostró las transformaciones ecológicas de los ecosistemas globales y su deterioro en los últimos 50 años. La Evaluación de ecosistemas del milenio (“Millennium Ecosystem Assessment”, MEA) redefinió el concepto de SE e instaló la valoración de ecosistemas en la agenda internacional durante las dos últimas décadas (MEA, 2005). Según esta institución, los SE son los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas, reconociendo cuatro grupos de prestaciones: de provisión, de regulación, culturales y de soporte (Guerrero y Suarez, 2019).

Una buena trama arbórea aumenta el bienestar y mejora la calidad de vida de los habitantes, a través de las siguientes acciones:

- (i) Reducir drásticamente las pérdidas de suelo causadas por la erosión. Cuando el árbol desarrolla su sistema de raíces, sobre todo en áreas verdes abiertas, su patrón de distribución genera una trama que va “sosteniendo” el suelo, impidiendo su pérdida, sobre todo en áreas con pendientes pronunciadas.
- (ii) Aumentar la infiltración de agua en el suelo, especialmente en períodos intensos de lluvia. El 30% del agua proveniente de una precipitación puede ser interceptada por el canopeo arbóreo de la ciudad. Al interceptar, retener o disminuir el flujo de la precipitación pluvial que llega al suelo, los árboles urbanos (conjuntamente con los suelos) juegan una importante función en los procesos hidrológicos urbanos. Pueden reducir la velocidad y volumen de la escorrentía de una tormenta, los daños por inundaciones, los costos de tratamiento de agua de lluvia y los pro-





blemas de calidad de agua. Al reducirla escorrentía, los árboles funcionan como estructuras de retención/detención que son esenciales en áreas construidas donde hay extensas superficies de suelo impermeables. Una menor escorrentía debido a la intercepción de la lluvia, puede también reducir los costos de tratamiento de aguas de tormentas en muchas comunidades (Livesley *et al.*, 2016).

- (iii) Reducir la evaporación del agua del suelo durante la estación cálida: los árboles también tienen una marcada influencia en la radiación solar que llega al suelo, pudiendo reducir su incidencia en un 90% o más.
- (iv) Regulación de la iluminación natural y control de la radiación ultravioleta en climas con importantes niveles de radiación solar. Aquellas especies que conservan el follaje en invierno permiten filtrar el recurso lumínico en un rango que varía entre 15-42% en calzada y 5-10% en vereda. Las especies caducifolias ofrecen mayores variaciones: 4-53% (*Morus alba*) y 42-81% (*Fraxinus* spp.) (Martínez *et al.*, 2006).



Foto 2.3.

Diferencias en el grado de asoleamiento en veredas con y sin arbolado. Adrogué, Buenos Aires.



- (v) Los árboles urbanos pueden reducir enormemente la temperatura de las superficies radiantes de las zonas pavimentadas y moderar el estrés térmico en las ciudades. Diferentes investigaciones señalan que las superficies con sombra pueden ser 11 °C a 25 °C más frescas que las temperaturas máximas de los materiales que carecen de sombra; al generar sombra y evapotranspiración, pueden reducir las temperaturas diurnas estivales hasta en 6 °C, según la latitud de la ciudad. La magnitud del efecto “isla fresca en los parques”, es decir, la reducción de la temperatura del aire en los espacios urbanos verdes con respecto a sus alrededores edificados, generalmente oscila entre 3 °C y 5 °C, pero puede llegar a los 10 °C (FAO, 2018). Los árboles urbanos intervienen en la modificación del clima, principalmente por tres efectos (Akbari, 2002). Por un lado, el sombreado que determinan las copas de los árboles, las cuales interceptan la radiación solar evitando el calentamiento de las edificaciones, asfalto y pavimentos. Este efecto beneficioso de enfriamiento en verano podría, no obstante, suponer mayor consumo invernal de calefacción, por lo que se deben emplear árboles caducos que no generen sombra en invierno. En segundo lugar, los árboles urbanos inciden sobre la regulación térmica del ambiente circundante mediante la evapotranspiración de agua. Esto es así ya que la evaporación de grandes volúmenes de agua, tanto del suelo como de la transpiración de las hojas, requiere energía calorífica, la cual, al ser capturada del ambiente produce un descenso de la temperatura del entorno. En este sentido, los árboles se comportan como grandes aparatos de refrigeración. En tercer lugar, las copas de los árboles reducen la velocidad del viento, minimizando las pérdidas de calor de las edificaciones. Este efecto es especialmente importante en los climas fríos, donde genera importantes ahorros en calefacción. En los climas con vientos veraniegos secos y calurosos, el arbolado reduce la infiltración del viento hacia el interior de las edificaciones, evitando con ello su calentamiento.

La capacidad del arbolado para la modificación del clima urbano, sobre todo para la reducción de las altas temperaturas de las ciudades de climas cálidos, depende, fundamentalmente, del grado de cobertura arbórea, es decir del porcentaje de superficie situada bajo la proyección de la copa de los árboles, así como de la tipología y densidad de las copas (Kurban *et al.*, 2006). El patrón de la relación entre la cobertura vegetal y la temperatura urbana puede ser enmascarado, controlado o exagerado por la estructura de la vegetación, la topografía y otras variables climáticas (Adams y Smith, 2014). La vegetación con sus características (ej. forma y densidad de follaje) influye en el clima local creando un microclima que implica una modificación en el comportamiento de las variables climáticas (Duval *et al.*, 2020). Vaz *et al.* (2019) determinaron que algunas especies poseen mayor potencial para proporcionar enfriamiento que otras de acuerdo a la forma y periodicidad de la hoja, la forma de la copa, la densidad de follaje, entre otras variables. Algunos árboles son mejores, no sólo por las características inherentes a la especie botánica, sino también por su forma y tamaño. Por ejemplo, árboles con alta tasa de transpiración, alta reflectividad y con canopeos más grandes y densos, reducen las temperaturas circundantes más que aquellos de características contrarias, siempre que estén sanos y tengan suficiente espacio, agua y nutrientes para mantener su crecimiento.





Foto 2.4.

Mitigación de altas temperaturas en áreas urbanas por el canopeo arbóreo. Curitiba, Brasil.

- (vi) Modificar el balance de gases de la atmósfera. Como todas las especies vegetales, los árboles utilizan el dióxido de carbono del aire (en adelante, CO_2), reduciendo los impactos de la generación excesiva de gases de efecto invernadero y el consecuente calentamiento global. Los árboles tienen dos mecanismos de acción para la reducción del CO_2 atmosférico. Por un lado, el secuestro y almacenamiento de CO_2 de manera directa en la biomasa foliar y leñosa, y por el otro, a través de la menor demanda de energía que requieren las edificaciones rodeadas por árboles plantados con la orientación correcta, lo que reduce las emisiones de las viviendas (Harris, 2004; Nowak *et al.*, 2007). Las relaciones entre el manejo de árboles urbanos y los niveles de CO_2 , no obstante, son complejas. En muchas actividades de mantenimiento de árboles se usan combustibles fósiles que emiten CO_2 . Una vez que los árboles mueren, el carbono almacenado es liberado nuevamente a la atmósfera vía su descomposición. Los árboles ubicados impropriamente alrededor de los edificios, pueden incrementar las demandas de energía y, en consecuencia, las emisiones de CO_2 . De esa manera, cuando se evalúa la influencia global de los árboles sobre los niveles del CO_2 atmosférico deben ser considerados numerosos factores, tales como el uso de combustibles fósiles en el manejo de la vegetación, el ciclo del carbono del árbol y las emisiones de CO_2 de los vegetales. Por otro lado, los árboles emiten oxígeno (O_2) y, en algunos casos, compuestos orgánicos volátiles (COV), tales como isopreno y monoterpenos.





Estos compuestos son sustancias químicas naturales de las que se obtienen aceites esenciales, resinas y otros productos de las plantas, y pueden ser útiles en atraer polinizadores o repeler depredadores. Con respecto al aporte de O_2 al medio urbano, si bien se suele considerar al arbolado como un productor valioso de este gas imprescindible para la vida, no es un beneficio ecológico significativo dada la concentración de alrededor de un 20% del mismo en la atmósfera (Nowak *et al.*, 2007).

- vii) Reducir significativamente la contaminación sonora. Los árboles pueden disminuir los niveles de ruido por absorción, desviación, reflexión, refracción y/o enmascaramiento. En aéreas cercanas a autopistas y vías de gran tránsito, constituyen una pantalla acústica invaluable. Las hojas y ramas reducen el sonido transmitido, principalmente dispersándolo, mientras el suelo lo absorbe. La vegetación también puede ocultar ruidos al generar sus propios sonidos por el viento que mueve las hojas de los árboles o las aves que cantan en la cubierta arbórea. Estos sonidos pueden hacer que los individuos estén menos conscientes de los ruidos ofensivos, ya que el ser humano es capaz de filtrar los ruidos indeseables mientras se concentra en los sonidos más deseables y escuchará selectivamente los sonidos de la naturaleza más que los sonidos de la ciudad.
- (viii) Reducir la contaminación atmosférica. Los árboles remueven la contaminación de gases del aire, primariamente tomados a través de los estomas de las hojas, aunque algunos gases son removidos por la superficie de la planta. Una vez que están dentro de las hojas, los gases se difunden dentro los espacios intercelulares y pueden ser absorbidos por películas de agua para formar ácidos o reaccionar en las superficies internas de las hojas. Los árboles también eliminan la contaminación interceptando partículas transportadas por el aire. Algunas partículas pueden ser absorbidas dentro del árbol, aunque la mayoría de las partículas interceptadas son retenidas en la superficie de la planta. Las partículas interceptadas, más adelante pueden volver a estar suspendidas en la atmósfera, ser lavadas por la lluvia, o caer al suelo con las hojas y ramillas. En general, la capacidad de la vegetación urbana para filtrar contaminantes del aire depende, en gran medida, de una serie de factores como la humedad del suelo, el índice de área foliar (IAF, m^2 de hoja m^{-2} de suelo), el período o la duración del área foliar, la concentración de contaminantes en la capa de mezcla de la atmósfera, o la meteorología. Consecuentemente, la vegetación es, a menudo, un sitio de retención temporal para las partículas atmosféricas (Nowak *et al.*, 1997; Escobedo *et al.*, 2011). Por otro lado, el diseño de las plantaciones puede interferir en un eficiente flujo de aire en las alineaciones urbanas y resultar paradójico en cuanto a su función descontaminante (Vos *et al.*, 2013).
- (ix) Cumplir diversas funciones de tipo arquitectónico. Los árboles dan privacidad, reducen la luz intensa, enfatizan vistas y ocultan aquellas que son desagradables.
- (x) Funcionar como defensa. Los árboles dan seguridad al tránsito peatonal y vehicular, ya que refuerzan aspectos funcionales e infraestructurales, subrayando curvas, apoyando cambios de alineaciones, desvíos o bifurcaciones del camino, intersecciones.
- (xi) Actuar como refuerzo y contraste del volumen de las edificaciones, articular edificios distantes, aportar valor estético al contexto espacial. Presentan variedad individual y colectiva que contrastan con el medio ambiente tecnológico. Marcan los ritmos de vida en las distintas estaciones.



Foto 2.5.

*(a) El árbol como mediador con lo construido. Av. 9 de Julio, CABA.
(b) Cambios estacionales marcando los ritmos de vida. San Martín de los Andes, Neuquén.*

- (xii) Proporcionar elementos naturales y hábitats para la vida silvestre en los alrededores urbanos. La creación y enriquecimiento del hábitat usualmente aumenta la biodiversidad y complementa muchas otras funciones benéficas de los bosques urbanos. Debido al aumento de la conciencia ambiental y el interés por la calidad de vida, es posible que se incremente la significancia de los beneficios ecológicos con el tiempo.



Foto 2.6.

Enriquecimiento del hábitat a partir del bosque urbano.



(xiii) Brindar servicios culturales. Son portadores de mensajes estéticos o simbólicos, incorporados a lo largo del tiempo en el acervo cultural de la humanidad. Constituyen un valor patrimonial para la ciudad. Los árboles y bosques urbanos proveen experiencias emocionales y espirituales significativas que son extremadamente importantes en la vida del ciudadano y pueden conducir a un fuerte arraigo a lugares particulares y a los árboles.



Foto 2.7.

*Árboles y bosques urbanos proveen experiencias emocionales y espirituales significativas, con arraigo cultural para las personas. (a) Floración de *Handroanthus impetiginosus* (AMBA). (b) *Prunus serrulata* (AMBA).*

En el ámbito de la Salud Pública, la disminución del estrés y el mejoramiento de la salud física de los habitantes de las ciudades han estado asociados con la presencia de árboles y bosques urbanos. Numerosos estudios han mostrado que los paisajes con árboles y otra vegetación, producen estados fisiológicos más distendidos en el hombre que los paisajes que carecen de estas características naturales. De acuerdo con Calaza Martínez (2016), un sistema verde bien planificado en número de espacios verdes, superficie, tamaño y diseño, que cuente con un elevado porcentaje de vegetación e incorpore las particularidades de cada sector territorial puede ayudar a minimizar los problemas de salud de los residentes. El diseño de espacios verdes debe ser inclusivo, atractivo y verde. La actividad física se relaciona directamente con la salud, y ésta con el uso de espacios verdes. Adicionalmente, la sombra de los árboles reduce la radiación ultravioleta y de esa manera puede ayudar a reducir problemas de salud (cataratas, cáncer de piel) asociados con el incremento en la exposición a la radiación ultravioleta.

La presencia de árboles en las ciudades, sin embargo, puede determinar, bajo ciertas circunstancias, inconvenientes o, como se denominan últimamente, diservicios (Escobedo *et al.*, 2011). Estos incluyen problemas, conflictos o daños causados por los árboles tanto a las infraestructuras como a las personas, cuando no son correctamente gestionados. Por esto, debe analizarse todo proyecto antes de tomar decisiones que afectarán en muchos casos a más de una generación, ya que por su longevidad, los árboles atraviesan varias gestiones gubernamentales (Roy *et al.*, 2012). Así, por su complejidad y



las condiciones a las que se ven sometidos en la ciudad, los árboles en la vía pública pueden generar alguno de los siguientes inconvenientes o diservicios:

- (i) Problemas a la salud por la relación entre el arbolado urbano y su contribución a la formación de ozono (O_3) y material particulado atmosférico sobre las afecciones respiratorias. El O_3 urbano es un contaminante secundario que se forma en la tropósfera mediante una reacción fotoquímica entre los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs). Los COVs se emiten a la tropósfera en grandes cantidades, tanto por fuentes antrópicas como biogénicas. Las fuentes antrópicas incluyen a los gases de escape de los vehículos que queman combustible fósil, a la evaporación de combustibles líquidos, solventes y pinturas. Las fuentes de emisión naturales (biogénicos, COVsB) más importantes son la vegetación, los océanos, las aguas superficiales continentales, los sedimentos, la descomposición microbiana de material orgánico, los depósitos geológicos de hidrocarburos y los volcanes. Son compuestos altamente reactivos, cuyos dobles enlaces de carbono-carbono, son fácilmente atacados por radicales libres en la atmósfera; los más importantes son: el isopreno, los monoterpenos, los sesquiterpenos y algunos compuestos oxigenados como aldehídos y cetonas. Los COVsB emitidos por las plantas se producen por lo general como un mecanismo de defensa a la temperatura, insectos y plagas, o como un mecanismo de comunicación entre ellas. La participación de la vegetación en la formación de O_3 troposférico está directamente relacionada a sus factores de emisión (FE) de isopreno y monoterpenos, básicamente. Estos compuestos reaccionan con diferentes especies químicas en la atmósfera e interfieren el ciclo de los NO_x ambientales, formando O_3 y algunos otros aerosoles secundarios, con diferente toxicidad para la salud ambiental y humana. Entre las especies exóticas con altos FE y altos índices potenciales formadores de ozono (IPFO) se encuentran *Robinia pseudoacacia*, *Liquidambar styraciflua*, *Prunus cerasifera*, *Olea europaea*, *Acacia dealbata*, *Betula pendula* (Criollo et al., 2016)
- (ii) Interferir con fachadas de viviendas, aceras, vías y señales de tránsito, luminarias, etc.
- (iii) Causar daños a bienes o personas ya sea por caídas o fracturas de algunas de sus partes (ramas, ejes, frutos) si su estabilidad es deficiente debido a defectos como pudriciones, cavidades, malas prácticas de poda, etc.
- (iv) Causar daños en infraestructuras: levantamiento de aceras, interiores de viviendas, muretes, pavimentos, etc.
- (v) Generar excesivo sombreo o falta de luz en determinadas posiciones, lo cual puede causar incomodidad al ciudadano.

Las ciudades han creado medio ambientes modificados en los cuales las comunidades naturales de plantas generalmente no tienen tiempo de adaptarse, ya sea por sus suelos, por las condiciones del clima o la atmósfera. Arborizar la ciudad, incorporar árboles en sus calles, plazas y parques es una herramienta útil para moderar algunos de estos aspectos negativos de la vida urbana. La riqueza de una ciudad, desde todos los puntos de vista es la de sus espacios colectivos, la de los lugares donde se desarrolla o simplemente se recuerda la vida cotidiana. Hacer estos espacios agradables y confortables es una misión fundamental para todo gestor público.



Foto 2.8.

Daños frecuentes en infraestructura, debido a errores en la elección de la especie, malas prácticas de mantenimiento o crecimiento urbanístico no planificado.

Bibliografía

- Adams, M.P. y Smith, P.L. (2014). A systematic approach to model the influence of the type and density of vegetation cover on urban heat using remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, 132: 47-54. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.08.008>.
- Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants. *Environmental Pollution*, 116: S119-S126. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/11526698_Shade_trees_reduce_building_energy_use_and_CO2_emissions_from_power_plants
- Benassi, A.H. (2015). Ciudad botánica. Oasis del desierto urbano. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. 146 p. Recuperado de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/52387>
- Benedict, M. y McMahon, E. (2006). Green Infrastructure. Washington DC, EE.UU.: Island Press.
- Calaza Martínez, P. (2016). Infraestructura verde, salud pública y actividad física. Evidencias de su relación. Caso de estudio: La Coruña, España. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10400.5/12046>
- Centro del Patrimonio Mundial. (1999). Operational guidelines for the implementation of the World Heritage Convention. Recuperado de: <https://whc.unesco.org/archive/opguide99.pdf>
- Comunicación de la Comisión Europea. (2013). Infraestructura verde: mejora del capital natural de Europa. Bruselas. Recuperado de: https://eurlex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0008.03/DOC_1&format=PDF
- Costanza, R., Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M. y Hannon, B. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- Coutts, C. y Hahn, M. (2015). Green infrastructure, ecosystem services, and human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12: 9768-9798. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26295249/>



- Criollo, C., Assar, R., Cáceres, D. y Préndez, M. (2016). Arbolado urbano, calidad del aire y afecciones respiratorias en seis comunas de la provincia de Santiago, Chile. *Rev. Chil. Enferm. Respir*, 32: 77-86. Recuperado de: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcher/v32n2/art03.pdf>
- Duval, V.S., Benedetti, G.M. y Baudis, K. (2020). El impacto del arbolado de alineación en el microclima urbano. Bahía Blanca, Argentina. *Investigaciones Geográficas*, 73: 171-188. Recuperado de: <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.DBB>
- Escobedo, F.J., Kroeger, T. y Wagner, J.E. (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environ. Pollut.*, 159: 2078-2087. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749111000327?via%3Dihub>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2016). Directrices para la silvicultura urbana y periurbana, por Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M. y Chen, Y. 2017. Directrices para la silvicultura urbana y periurbana, Estudio FAO: Montes N° 178, Roma, FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i6210s/i6210s.pdf>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2018). Bosques y Ciudades Sostenibles. *Unasyuva. Revista internacional sobre bosques y actividades e industrias forestales* 69, 2018/1. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i8707es/I8707ES.pdf>
- Gómez Mendoza, J. (2003). Naturaleza y ciudad. Diseño urbano con criterios ecológicos, geográficos y sociales. *El Ecologista*, 38: 2003-2004.
- Guerrero, E. y Suarez, M. (2019). Integración de valores económicos y sociales de los servicios ecosistémicos del parque Miguel Lillo (Necochea, Argentina). *Letras Verdes* [online], 26: 69-86. Recuperado de: <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.26.2019.3945>
- Harris, R.; Clark, J.R. y Matheny, N. (2004). *Arboriculture: Integrated management of landscape trees, shrubs and vines*. Upper Saddle River, N.J., EE.UU.: Prentice Hall.
- Hellmund, P. y Smith, D. (2006). *Designing Greenways: Sustainable Landscapes for Nature and People*. Washington, EE.UU.: Island Press.
- Hough, M. (1995). *Naturaleza y Ciudad. Planificación urbana y Procesos Ecológicos*. (pp. 316). Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili.
- Kaplan, R. y Kaplan, S. (1989). *The experience of nature: a psychological perspective*. Cambridge, RU: Cambridge University Press. Recuperado de: [https://www.hse.ru/data/2019/03/04/1196348207/%5BRachel_Kaplan,_Stephen_Kaplan%5D_The_Experience_of_\(b-ok.xyz\).pdf](https://www.hse.ru/data/2019/03/04/1196348207/%5BRachel_Kaplan,_Stephen_Kaplan%5D_The_Experience_of_(b-ok.xyz).pdf)
- Kurbán, A., Papparelli, A., Cúnsulo, M., Herrera, C. y Montilla, E. (2006). Efecto Bioclimático de la Forestación en áreas urbanas de Clima Árido. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, 10: 145-151. Recuperado de: <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2006/2006-t011-a021.pdf>
- Livesley, S.J., McPherson, E.G. y Calfapietra, C. (2016). The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. *Journal of Environmental Quality*, 45(1): 119-124. Recuperado de: https://www.fs.fed.us/psw/publications/mcpherson/psw_2016_mcpherson001_livesley.pdf



- McHarg, I.L. (2000). *Proyectar con la naturaleza*. (pp. 216). Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili.
- Martínez, C.F., Roig, F.A. y Cantón, M.A. (2006). Sustentabilidad hídrica del arbolado urbano emplazado en ciudades de clima árido. Área Metropolitana de Mendoza. *Revista de Energías Renovables y Ambiente*, 10: 9-10.
- McPherson, G.E., Nowak, D. y Rowntree, R. (1994). Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project. Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 201 pp. Recuperado de: https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_ne186.pdf
- Millennium Ecosystem Assessment. (MEA). (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis*. Washington D.C. World Resources Institute.
- Mumford, L. (1956). *The Natural History of Urbanisation*. En: William L. Thomas (Ed.): *Man's Role in the Changing the Face of the Earth*. Chicago y Londres: University of Chicago Press. Recuperado de: http://www.upv.es/tur-xxi/VAR/DOC/MUM/nueva_mum_principal.htm
- Nilsson, K., Sangster, M. y Konijnendijk, C.C. (2011). Forests, trees and human health and well-being: introduction. En: Nilsson, K., Sangster, M., Gallis, C. Hartig, T., de Vries, S., Seeland, K. y Schipperijn, J. (Eds). *Forests, trees and human health*. Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- Nowak, D.J., Dwyer, J. F. y Childs, C. (1997). Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano. Capítulo 2. En: Krishnamurthy L. y Rente Nascimento, J. (Eds.). *Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/265540211_Los_beneficios_y_costos_del_enverdecimiento_urbano
- Nowak, D.J., Hoehn, R. y Crane, D.E. (2007). Oxygen Production by Urban Trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*, 33(3): 220-226. Recuperado de: http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2007/nrs_2007_nowak_001.pdf
- Organización de las Naciones Unidas. (ONU). (2012). *Estado de las Ciudades 2012/2013*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Recuperado de: <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Estado%20de%20las%20Ciudades%20de%20Am%C3%A9rica.pdf>
- Roy, S., Byrne, J. y Pickering, C. (2012). A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(4): 351-363. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.06.006>
- Vásquez, A.E. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Rev. geogr. Norte Gd.* [online]. n.63. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022016000100005
- Vaz, M., Phillip, J., Morison, L. y Doick, K.J. (2019). The role of urban trees and greenspaces in reducing urban air temperatures. United Kingdom: Forestry Commission. Recuperado de: <https://www.forestresearch.gov.uk/documents/7125/FCRN037.pdf>

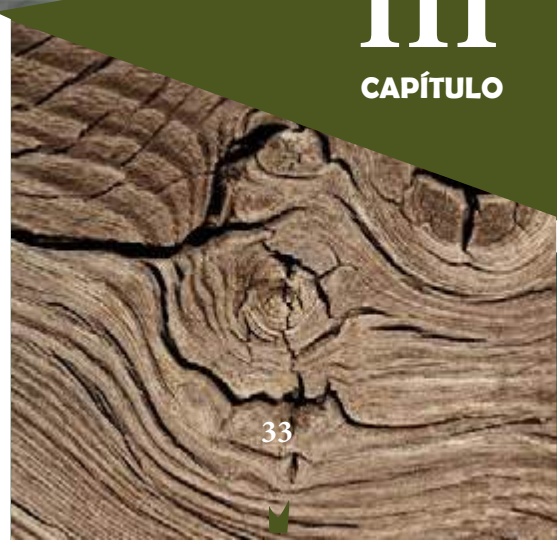


- Vos, P.E., Maiheu, B., Vankerkom, J. y Janssen, S. (2013). Improving local air quality in cities: To tree or not to tree? *Environmental Pollution*, 183: 113-122. Recuperado de: https://www.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/tx_tevprojects/library/file_1532968131.pdf
- Ulrich, R. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, 224: 420-421. Recuperado de: <https://science.sciencemag.org/content/224/4647/420>
- Unión Europea. (2014). Construir una infraestructura verde para Europa. Recuperado de: <https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/GI-Brochure-210x210-ES-web.pdf>
- Wilson, E. (1984). *Biofilia. The Human bond with other species*. Cambridge, EE.UU.: Harvard University Press.



Adaptabilidad de las especies leñosas en el ambiente urbano

III
CAPÍTULO





Introducción

Las ciudades son centros de conocimiento, de empleo, de oportunidades culturales, pero también son lugares donde existe un gran número de problemas de tipo medioambiental (efecto isla de calor¹, contaminación, pérdida de biodiversidad, etc.), sociales (disgregación, delincuencia) y de salud pública (enfermedades cardiovasculares y respiratorias, sedentarismo, obesidad, entre otras). En la ciudad convergen e interactúan diferentes clases de infraestructuras (gris, verde, azul, marrón), las cuales, como se abordó en el capítulo anterior, se distinguen de acuerdo al tipo de geografía y de planificación territorial. En un sentido amplio, la infraestructura gris es un término general que incluye a los activos construidos por el hombre y se puede clasificar en: (i) infraestructura de transporte (autopistas, carreteras, ferrocarriles, canales, aeropuertos, presas), (ii) infraestructura comercial (fábricas y oficinas industriales, comercio minorista, minas y canteras), (iii) servicios públicos y distribución de servicios (alcantarillado, cables, tuberías de agua y gas, residuos gestión y vertederos, tratamiento de aguas residuales, generación de energía), y (iv) infraestructura social (escuelas, hospitales, edificios deportivos, viviendas, defensas costeras y control de inundaciones, establecimientos gubernamentales).

Es en este entramado azul, gris y marrón de infraestructuras, donde los bosques urbanos entran a mediar y a reintroducir el elemento natural a la ciudad. El árbol, como pieza individual, se encuentra en un ambiente que resulta agresivo, limitado y extraño a su hábitat original. Los factores intrínsecos al contexto urbano y sus transformaciones tales como la volumetría edilicia, el sellamiento de los suelos y la intensa circulación vial, impactan directa o indirectamente en los árboles.



Foto 3.1.

(a) Daños en raíces. (b) Plantera rellena con cemento y escombros de obra.

1 Los cambios radicales en el paisaje que genera el desarrollo de los centros urbanos, con el reemplazo de los espacios abiertos y la vegetación por edificios, calles e infraestructura mineral, implican la sustitución de superficies permeables y húmedas por asfalto y cemento. Este proceso conduce a la formación de lo que se conoce como “isla de calor” urbana y consiste en una diferencia positiva de temperatura entre una ciudad y su entorno.





Las limitaciones de espacio exigen un control del crecimiento mediante podas periódicas de ramas que causan un alto estrés en el árbol. Cuando estas prácticas son excesivas pueden generar cambios en la conducta fenológica y la expresión vegetativa del árbol, deformar su silueta, ocasionar lesiones que resulten en fallas de riesgo, e incluso aceleren la decrepitud del ejemplar. En determinadas posiciones, el árbol puede recibir muchas veces más radiación solar que en el bosque. Como consecuencia de ello, varía su estructura natural, crece más rápidamente, hay desequilibrios entre la biomasa radical y la aérea y los problemas de senectud se aceleran. Por otra parte, las plantas responden a perturbaciones mecánicas y estímulos bióticos o abióticos procedentes de situaciones de estrés medioambiental, mediante la alteración de su ritmo de crecimiento, morfología, anatomía o status fisiológico. Surge así el concepto de *thigmomorfogénesis*, definida como “adaptación fisiológica y morfológica de una planta a las influencias mecánicas medioambientales”. Es decir, las plantas modifican su geometría y adaptan sus materiales a las perturbaciones mecánicas, a través de la elasticidad y la rigidez. Este concepto es ampliado especialmente en el Capítulo correspondiente a PODA.

Los nuevos modelos de planificación del paisaje, en busca de una ciudad híbrida, proponen, mediante la coexistencia entre la infraestructura gris y la infraestructura verde, la sinergia del oxímoron **ciudad natural**, binomio fundamental del escenario de las urbes del presente siglo (Calaza Martínez, 2018). Mientras la infraestructura gris es monofuncional, la infraestructura verde es multifuncional, más económica, robusta y sostenible, genera múltiples funciones que se traducen en un flujo variado de servicios. La presencia de infraestructura verde mejora el funcionamiento autónomo del sistema, haciéndolo menos dependiente de la intervención humana; dicha autonomía implica biodiversidad y resiliencia.

Factores ambientales

Existen condiciones ambientales propias a cada sitio, dadas por la latitud, la topografía, la geología, la orientación, que influyen sobre el desarrollo del arbolado. En el ámbito urbano, muchas de estas condiciones son afectadas por la urbanización y la modificación de los ambientes originales.

A micro-escala, cada objeto del paisaje urbano genera intercambios y flujos de materia y energía entre la atmósfera, los suelos, la vegetación, las calles, las casas, los edificios, las industrias, los parques, etc. Los cambios de uso de los suelos agrícolas o forestales y de las coberturas naturales a usos urbanos causan transformaciones importantes de las condiciones ambientales. Por ejemplo, la urbanización ha determinado incrementos de la temperatura a escala local, además de incidir sobre la presión atmosférica, las precipitaciones, la humedad, las características de los vientos, y la acumulación de gases contaminantes. Por ello, el control y manejo de los climas urbanos es una nueva tarea encomendada a la planificación y gestión ambiental de las ciudades, especialmente bajo los actuales escenarios de cambio climático (Romero *et al.*, 2010). Estos factores (*i.e.* las condiciones de suelo y clima, el ambiente lumínico) son condicionantes fundamentales para la expresión del arbolado en la ciudad.

Condiciones del perfil del suelo. El suelo de la ciudad.

La cantidad y calidad del suelo en la ciudad limitan la vida del árbol. Se estima que el 80% de los problemas que enfrentan los árboles urbanos pueden ser atribuidos a la presencia de suelos pobres y





que esa característica actúa sinérgicamente con otros factores negativos (ej. déficit o exceso hídrico) incrementando el estrés de los árboles. En comparación con los suelos naturales, los cambios en la estructura de los suelos urbanos constituyen uno de los principales factores que limitan el crecimiento y la supervivencia de los árboles (Lemay y Lemay, 2015). Por esta razón, la forma en que el ambiente urbano afecta el crecimiento del sistema radical y el vigor de los ejemplares ha sido materia de investigación de diferentes autores (Urban, 2008; Watson y Hewitt, 2012; Watson *et al.*, 2014).

En general, los suelos urbanos son suelos decapitados, que han perdido completamente el primer horizonte A, y que, a menudo, se encuentran perturbados. Son suelos frecuentemente someros, compactados y sujetos a condiciones de sequía. Estos suelos transformados y degradados cuentan con gran cantidad de materiales transportados, escombros, cal, etc. y son, usualmente, deficitarios en elementos nutritivos. Estas características se observan tanto en las veredas, como en los espacios verdes sometidos a un alto uso o inadecuado mantenimiento.

La compactación del suelo restringe la penetración, elongación y ramificación radical y dificulta, por reducción o eliminación del oxígeno disponible, la respiración normal de las estructuras subterráneas de las plantas, provocando procesos físico-químicos que derivan en el desarrollo interno de compuestos tóxicos. Como consecuencia, parte de las raíces mueren, especialmente en ejemplares de plantación reciente, lo que muchas veces desencadena la pronta decadencia y, finalmente, la muerte de la planta. La falta de oxígeno determina que el desarrollo de la mayor parte de las raíces se encuentre fuertemente restringido a los primeros horizontes del suelo (o solamente al horizonte superficial). Esto reduce considerablemente la capacidad de anclaje de los árboles, lo que puede generar problemas de estabilidad especialmente en suelos mal drenados, húmedos y sin cohesión: el pan de tierra se despega e invierte en un vuelco o ambos procesos combinados.

La humedad y el drenaje del suelo están controlados por numerosos factores, incluyendo la textura, la estructura y la permeabilidad del suelo, la cantidad de agua infiltrada y la topografía del sitio. Un drenaje lento puede limitar la disponibilidad de oxígeno para las raíces y, en casos extremos, matar al árbol. La forma en que los suelos drenan bajo condiciones naturales puede describirse de la siguiente manera: (i) suelos excesivamente drenados, se caracterizan por un rápido drenaje y una baja disponibilidad de agua, lo que somete a las plantas a serios períodos de estrés hídrico durante lapsos de bajas precipitaciones; (ii) suelos bien drenados, tienen óptimo drenaje que favorece el desarrollo del ejemplar, y proveen adecuada humedad durante la mayor parte de la estación de crecimiento; (iii) suelos medianamente drenados, son muy húmedos por períodos extendidos de tiempo y restringen de esta manera el desarrollo de las raíces y el crecimiento de las plantas; (iv) suelos pobremente drenados, conservan en exceso la humedad durante la mayor parte del año y restringen el desarrollo y crecimiento tanto de raíces como de parte aérea de muchas plantas. Esta última categoría de suelos requiere el uso de drenaje artificial o técnicas de plantación adecuadas para subsanar los inconvenientes mencionados.

Existe una serie de compuestos inorgánicos y orgánicos considerados “contaminantes del suelo”. Los primeros pertenecen, en su mayoría, a la categoría de metales pesados a los que hay que agregar el arsénico y el flúor, cuyas elevadas concentraciones se deben a factores naturales. En la categoría de orgánicos están los hidrocarburos, los bifenilos policlorados (PCBs) y los pesticidas, entre los compuestos de mayor relevancia. En el ámbito urbano, la contaminación parasitológica suele ser de





gran importancia. Generalmente no se atribuye a la contaminación de los suelos igual importancia que a la contaminación del aire y del agua. Esto se debe a que en estos últimos los efectos son rápidamente perceptibles, mientras que la contaminación del suelo puede tardar períodos relativamente largos en ser detectada y sus efectos sobre la salud humana no se manifiestan de inmediato.

El crecimiento de la urbanización y las actividades productivas presionan sobre todos los ambientes naturales que funcionan como amortiguadores de los procesos provocados por las actividades urbanas, generando una permanente degradación en la física de los suelos por decapitación, excavación, etc.

Recursos hídricos

La incidencia del recurso hídrico en el crecimiento arbóreo constituye un factor primordial y de directa incidencia sobre el bosque urbano, ya sea por defecto como por exceso. Los efectos en el primero de los casos es función de (i) la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos, (ii) las condiciones atmosféricas que afectan la tasa de evaporación y transpiración, (iii) la especie arbórea de que se trate y su rango etario, (iv) la estación del desarrollo vegetativo en la que tiene lugar el déficit, (v) el régimen de precipitaciones y los aportes suplementarios de agua por riego (Martínez, 2011). Por exceso, el recurso hídrico crea condiciones adversas para el desarrollo de la especie. Por ejemplo, en el caso de especies nativas de geografías semiáridas, instaladas en la ciudad y sometidas a riego frecuente, se altera su estabilidad.

Clima local, temperatura

Las ciudades son un mosaico climático particular más allá del clima de su región, donde los árboles y las edificaciones propician una amplia variedad de hábitats y microclimas. Los árboles en sí mismos tienen características térmicas, aerodinámicas, radiantes y de manejo de la humedad particulares, que claramente los distinguen de otras superficies y materiales urbanos en términos de intercambio de energía y masa con la atmósfera. Esta situación permite que el arbolado juegue un papel importante en la regulación de los efectos de la “isla de calor” urbano (Grau y Kortsarz, 2017).

Exposición lumínica

En las ciudades, el clima lumínico natural es alterado por las construcciones con sus solados y muros de colores reflectantes o las zonas que sombrean en las distintas épocas del año. Lugares muy sombreados pueden forzar el desarrollo desbalanceado del árbol, afectando la estabilidad final del ejemplar. Las luces artificiales también alteran la longitud del día o fotoperíodo, factor que también es un importante regulador de los procesos fenológicos que tienen lugar a lo largo del desarrollo de las plantas. Por lo tanto, la interacción entre las instalaciones del alumbrado público y la vegetación urbana es una cuestión relevante, que requiere de la consideración de ciertas condiciones para lograr una relación equilibrada y disminuir la ocurrencia de conflictos que degraden los importantes servicios que ambos elementos ofrecen a la población y a las ciudades. Por otro lado, la luz reflejada o emitida





directamente por los artefactos se dispersa en la atmósfera generando efectos importantes sobre la calidad del alumbrado y del medio ambiente visual. La aureola luminosa que envuelve a ciudades, poblados y rutas durante la noche es el resultado de la distribución de la luz artificial en los distintos lugares. El diseño, la selección de luminarias y lámparas son herramientas que permiten controlar este fenómeno, donde además participan activamente los carteles luminosos, marquesinas, vidrieras, la emisión lumínica de edificios y fachadas, etc. La reducción de visibilidad compromete también la visión del cielo nocturno. La polución lumínica fuera de control representa además una importante porción de energía desperdiciada (Grau y Kortsarz, 2017). Como contrapartida surge la iniciativa “Slow light” (luz lenta), que persigue obtener mejores entornos a través de la luz, tanto en el ámbito urbano como en el rural, creando espacios nocturnos armónicos, en los que la noche recupera protagonismo, gracias a una iluminación calmada, inteligente, saludable, sostenible, confortable y emocional. Según esta propuesta, tanto la luz como la oscuridad son protagonistas en el diseño del paisaje nocturno, así como supone un menor consumo energético, ahorro de costes y una menor huella de carbono. Esto proporcionaría un entorno más confortable y más saludable para la ciudadanía y más respetuoso con la biodiversidad (Alcázar y Valiño, 2020).

La intensidad de luz que el árbol recibe y el momento del día en que ello ocurre pueden limitar el tipo y clase de árbol que debe seleccionarse, al momento de planificar una plantación. Así también, cuando un ejemplar es extraído o se crean nuevas construcciones en altura, se afectará a los árboles linderos. A pesar que existen especies que requieren altos niveles de luminosidad, en algunos casos ello puede ser perjudicial ya que el calor y la luz reflejada por áreas pavimentadas se convierten en dañinos para el crecimiento del árbol. Un área con sol matinal y sombra por la tarde frecuentemente provee adecuado asoleamiento y protección durante el momento más cálido del día. Alternativamente, un área con sombra matinal y sol por la tarde puede ser ventajosa para árboles que son tolerantes al calor y/o la sequía. Por sus condiciones originales, muchas especies nativas destinadas al arbolado son heliófilas, por lo que su ubicación a la sombra desvirtúa su desarrollo y porte final.

Viento

El viento es una fuerza persistente y dinámica, que induce un estrés físico en árboles individuales y en alineaciones. El viento disminuye el aprovechamiento del agua, daña ramas y hojas durante las tormentas y hasta puede desarraigar árboles recién plantados que no han tenido la oportunidad de establecer su sistema radical. De hecho, para lograr un exitoso establecimiento de los árboles jóvenes en sitios ventosos puede resultar necesario un mantenimiento especial de los mismos, como el tutorado, o el aumento de la frecuencia de aplicación de riegos.

Los vientos incrementan su velocidad luego de pasar los límites de los obstáculos, por lo que las edificaciones pueden proteger ejemplares o favorecer su caída y esto puede variar con el desarrollo de los mismos. En las calles de este a oeste, los ejemplares de la vereda sur se ven protegidos durante los primeros años por las construcciones bajas, pero con el correr del tiempo, éstos las sobrepasan y se vuelven más vulnerables. Las nuevas construcciones que concentran los vientos forman gigantescos venturris que afectan a los ejemplares adultos desadaptados a este nuevo tipo de estrés. Esto, eventualmente, puede ocasionar derribos (Pire, 2007).





Polución

Se pueden considerar contaminantes atmosféricos aquellos materiales sólidos, líquidos y gaseosos presentes en la tropósfera en concentraciones superiores a las normales. Sus fuentes pueden ser tanto de origen antropogénico (*i.e.* derivados de la combustión, o de actividades industriales) como natural (*i.e.* erupciones geotérmicas, fuegos forestales, partículas de origen biótico, microbios, virus, etc.). Metales pesados, sales inorgánicas (sulfatos, nitratos, cloruros, compuestos de amonio y de otros iones) y compuestos orgánicos, en forma de partículas y polulantes gaseosos, tales como óxidos de nitrógeno, azufre y carbono, ozono, haluros, compuestos PAN (peroxiacetilnitratos), forman parte destacada de los polulantes de importancia potencial en el bosque urbano.

El ozono está clasificado como el tercer gas de efecto invernadero en importancia, después del CO₂ y el metano, y se ha calculado que contribuye en un 25% al calentamiento de la atmósfera provocado por los gases emitidos por la actividad humana. La producción y destrucción del ozono están controladas por parámetros sensibles al cambio climático (temperatura, radiación solar, humedad, régimen de vientos) que determinan el transporte y formación de los contaminantes atmosféricos. También modifican el comportamiento de la vegetación, que a su vez participa en los procesos de formación y destrucción del ozono. Los mecanismos a través de los cuales el clima influye en los niveles de ozono están definidos por complejas interacciones entre la atmósfera, la superficie terrestre y la biósfera que aún no se conocen completamente. Un incremento en la temperatura acelera la producción fotoquímica de ozono, pero además suele aumentar la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COVs) de origen natural. Estos últimos, a su vez, potencian la formación de ozono en áreas con presencia de óxidos de nitrógeno (NOx) (CIEMAT, 2008).

La contaminación atmosférica es un factor de estrés que contribuye a la declinación del crecimiento de los árboles urbanos. Los efectos biológicos de exposición a ciertas concentraciones de compuestos contaminantes se evidencia por una reducción del crecimiento, disminución del área foliar, alteraciones de la floración y senescencia prematura. A nivel de madera pueden observarse también señales características por la presencia de contaminantes como el plomo, el cadmio o el zinc (Martínez *et al.*, 2008).

Muchas de las sustancias clasificadas como material particulado en la atmósfera pueden causar diferentes niveles de daño por acumulación y abrasión en diferentes tejidos del árbol. Existen tres vías diferentes a través de las cuales se pueden producir estos daños. La primera, más teórica que comprobada, sería una acción indirecta y negativa de la polución sobre la tasa fotosintética dada por una reducción de la transparencia del aire. La segunda resulta de la acción directa y externa que ejercen los contaminantes a través del recubrimiento del follaje y la oclusión de los estomas, esto disminuye la actividad en respuesta a la presencia de determinados contaminantes gaseosos. Finalmente, la tercera vía se manifiesta como daños foliares bajo la forma de clorosis o manchas. Este proceso de daño se hace notable en el caso de especies poco resistentes al ozono.

A su vez, en los casos de alta carga de particulado en el aire, por ejemplo cerca de caminos sin pavimentar o canteras abiertas, se produce la oclusión de los estomas, originando una menor capacidad del árbol para el intercambio gaseoso. Otros procesos pueden verse también afectados por la acumulación de partículas sobre los tejidos foliares. Por ejemplo, se han observado efectos sobre la formación de yemas, la polinización y la absorción o reflectancia de la luz. En términos generales puede decirse





que las plantas jóvenes son más sensibles que las adultas, que las partes altas y externas de los árboles son más afectadas y que las gimnospermas son más resistentes que las angiospermas dentro de un ambiente con atmósfera contaminada (Barreiro, 2009).

En ocasiones resulta muy difícil determinar daños directos por contaminación, pero éstos se asocian a procesos posteriores como menor resistencia a plagas y enfermedades, menor tasa de desarrollo, menor habilidad competitiva del ejemplar con otras especies o peor respuesta a factores que causan diferentes tipos de estrés. A pesar de que la respuesta de una especie a un sólo contaminante podría evaluarse con relativa facilidad, el aire urbano tiene una combinación de tóxicos que afecta de diferente manera incluso a una misma especie, según la concentración de cada tóxico, el tiempo de exposición, la edad de la planta y las condiciones meteorológicas. Por esta razón, no es sencillo diagramar listas de especies resistentes a la contaminación que permitan hacer selecciones simples. Convendrá, al momento de elegir, evaluar la aptitud de cada especie como filtro para la contaminación, excepto en casos en que su fragilidad ante determinado contaminante haya sido fehacientemente comprobada.

Los principales contaminantes atmosféricos fitotóxicos, en orden descendente de daño causado, son: ozono, óxidos de nitrógeno (NOx), PAN, dióxidos de azufre (SOx) y fluoruros. El ozono es muy fitotóxico a elevadas concentraciones, con efectos crónicos, cuya intensidad depende de factores meteorológicos, tiempo de exposición, edad, posición de la hoja y especie, siendo en general más sensibles las latifoliadas que las coníferas (Pardos, 2006). Los fluoruros causan daños masivos pero solamente en áreas cercanas a las fuentes (fundiciones o fábricas de fertilizante). Etileno, amonio, cloruros, cloratos, polvos y metales pesados también son capaces de dañar a las plantas leñosas. Sin embargo, su influencia es limitada a áreas circunscritas a las cercanías de fábricas, en contraste con los daños causados por el ozono y el dióxido de azufre, que afectan áreas extensas.

El daño causado a las plantas puede ser agudo (con necrosis tisular) o crónico (con daño a los tejidos pero sin muerte). El daño agudo se da con exposición a elevados niveles de contaminación o en especies muy susceptibles, mientras que el daño crónico se produce por la exposición a bajos niveles de contaminación por tiempo prolongado o cuando la especie es levemente resistente a la contaminación. El daño por SOx en especies de hoja ancha aparece como áreas de daño internerval, de color amarillo en casos crónicos y de color marfil a tostado cuando el daño es agudo como paso previo a la necrosis. Los tejidos adyacentes a las nervaduras permanecen verdes, dando un modelo típico de daño.

Presencia de campos electromagnéticos

Se entiende como contaminación electromagnética, también conocida como “electrosmog”, a la presencia de diversas formas de energía electromagnética en el ambiente, que por su magnitud y tiempo de exposición pueden producir riesgo, daño o molestia a las personas, ecosistemas o bienes en determinadas circunstancias. Los campos electromagnéticos intrínsecos a las estructuras biológicas están caracterizados por determinadas frecuencias específicas (Balmori Martínez, 2004). Durante las últimas décadas, la contaminación electromagnética en el rango de las radiofrecuencias sobre áreas habitadas ha aumentado en varios órdenes de magnitud en todo el mundo.



III- Adaptabilidad de las especies leñosas en el ambiente urbano



Durante muchos años, se ha debatido en la comunidad científica sobre si la radiofrecuencia artificial tiene efectos nocivos sobre los organismos vivos y, más específicamente, sobre el medio ambiente. En una revisión de los efectos de las microondas ambientales sobre las plantas, se indicó que los efectos dependen de la especie y la etapa de crecimiento, así como la duración de la exposición, frecuencia y densidad de potencia (Jayasanka y Asaeda, 2013). Estos campos electromagnéticos parecen ir en detrimento para con el crecimiento de forestaciones cercanas a las fuentes generadoras, lo cual se visualiza a través de la modificación de diversos parámetros de crecimiento (anillos anuales, área foliar, emisión de brotes, detención del crecimiento). En un monitoreo de campo a largo plazo (2006-2015) realizado en las ciudades de Bamberg y Hallstatt (Alemania), mediante seguimiento, observaciones



Foto 3.2.

Daños en corteza por maquinaria, carteles sujetos al fuste, desmoche clandestino, corte de raíces por obra.



y registros fotográficos, se verificaron daños inusuales o inexplicables a los árboles, junto con la medición de la radiación electromagnética. Estos resultados son consistentes con el hecho de que los daños causados a los árboles por las torres de telefonía móvil generalmente comienzan en un lado y se extienden a todo el árbol a lo largo del tiempo (Waldmann-Selsam *et al.*, 2016).

El estado actual del conocimiento científico dispone de bastante información sobre los efectos de estas ondas en los seres vivos, aunque todavía se desconocen en profundidad los mecanismos biológicos subyacentes a los mismos.

Efectos antrópicos derivados de malas prácticas

Los árboles reciben múltiples agresiones derivadas de la falta de planificación en las obras públicas o de control y sanción ante las actividades clandestinas. Daños en raíces, fuste o copa, se observan por falta de previsión en la zona de protección cuando se realizan instalaciones de sistemas riego, servicios subterráneos o senderos; fijaciones que dañan los ejemplares o mutilaciones y desmochados que ocasionan muerte regresiva. El conjunto de malas prácticas de manejo del arbolado público conduce a la pérdida de servicios ecosistémicos y la desvalorización ornamental del ejemplar, y es, principalmente, consecuencia de las podas no autorizadas o clandestinas.

Bibliografía

- Alcázar, C. y Valiño, R. (2020). Manifiesto Slowlight para una iluminación pública sostenible. Recuperado de: https://www.slowlight.es/pdf/Manifiesto%20Slowlight_para%20una%20iluminacio%CC%81n%20pu%CC%81blica%20sostenible.pdf
- Balmori Martínez, A. (2004). ¿Pueden afectar las microondas pulsadas emitidas por las antenas de Telefonía a los árboles y otros vegetales? *Revista Ecosistemas*, 13(3): 79-87.
- Barreiro, G.M. (2009). Planificación del arbolado urbano sobre la base de la calidad del aire. Marco teórico-metodológico de aplicación a la ciudad de Buenos Aires. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental. Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Calaza Martínez, P. (2018). Urbanismo + ecología: ¿binomio biofílico? Estrategias y movimientos internacionales para la planificación de ciudades biofílicas. *Arkitekturax Visión*, 1(1): 133-149. doi: <https://doi.org/10.29097/26191709.206>
- Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Unidad de Contaminación Atmosférica. (2008). El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Recuperado de: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/Ozono_tcm30-188049.pdf
- Grau, A. y Kortsarz, María, A. (Editores). (2017). Guía de Arbolado de Tucumán. 2a ed. (pp. 264). Tucumán, Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. Recuperado de: <http://www.guiadearbolado.com.ar/>

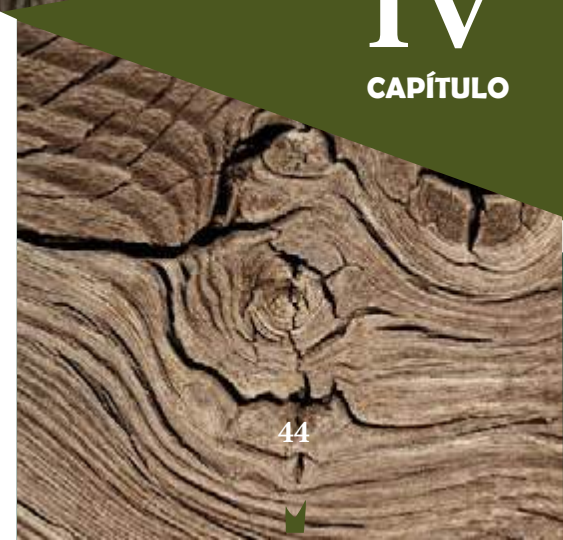


- Jayasanka, S.M.D.H. y Asaeda, T. (2013). The significance of microwaves in the environment and its effect on plants. *Environmental Reviews*, 22(3): 220-228. <https://doi.org/10.1139/er-2013-0061>
- Lemay, J.P. y Lemay, M.A. (2015). The impact of environmental stresses on the survivability of the urban landscape: A review of the literature and recommendations. *Science & Technology*. Recuperado de: https://horttrades.com/assets/1453841341.The_impact_of_environmental_stresses.pdf
- Martínez, C.F., Cantón, M.A. y Roig, F.A. (2008). Dendrocronología y variabilidad hídrica en el crecimiento de árboles urbanos. Capítulo II Anillos de Crecimiento. En: Castro, M.A. (Coord.), Bioindicadores de Contaminación Ambiental. (pp. 71-86). Buenos Aires, Argentina: Editorial Dunken.
- Martínez, C.F. (2011). Incidencia del déficit hídrico en forestales de ciudades oasis: caso del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Cuyo.
- Pardos, J.A. (2006). La contaminación atmosférica y los ecosistemas forestales. *Forest Systems*, 15(4): 55-70. Recuperado de: <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/2399>
- Pire, E.F. (2007). Caída de árboles Secretaría de Extensión Universitaria, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. Recuperado de: <http://rephip.unr.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/2133/985/Caida%20de%20arboles.pdf?sequence=1>
- Romero, H., Irarrázaval, F., Opazo, D., Salgado, M. y Smith, P. (2010). Climas urbanos y contaminación atmosférica en Santiago de Chile. *EURE (Santiago)*, 36(109): 35-62. <https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612010000300002>
- Urban, J. (2008). Up by Roots: Healthy Soils and Trees in the Built Environment. (pp. 479). Champaign, Illinois, EE.UU.: International Society of Arboriculture.
- Waldmann-Selsam, C., Balmori de la Puente, A., Breunig, H. y Balmori, A. (2016). Radiofrequency radiation injures trees around mobile phone base stations. *Science of the Total Environment*, 572: 554-569. Recuperado de: <https://www.baubiologie.de/downloads/wug/rf-radiation-injures-trees-2016.pdf>
- Watson, G. W. y Hewitt, A. (2012). The Relationship between Structural Root Depth and Vigor of Urban Trees. *Arboriculture & Urban Forestry*, 38(1): 13-17.
- Watson, G.W., Hewitt, A., Custic, M. y Lo, M. (2014). The management of tree root systems in urban and suburban settings: A review of soil influence on root growth. *Arboricultural & urban Forestry*, 40(4): 25.



**El árbol como sistema.
CODIT.
Morfología del árbol**

IV
CAPÍTULO





Introducción

La gestión del arbolado urbano requiere de la comprensión del árbol y sus estrategias para reaccionar ante el medio. De esta manera se puede decidir en qué ocasiones resulta necesaria la poda, el control de sus patologías o, como medida extrema, su extracción. Los aportes a la arboricultura moderna del Modelo de compartimentación de las heridas de los árboles de Shigo (1959), la Secuencia temporal de reacciones “en cuatro fases sucesivas o a veces simultáneas” de Dujesiefken y Liese (2010) y los modelos arquitecturales de Hallé, Oldeman y Raimbault (1970) definen un marco teórico para la toma de decisiones coherentes que ayudan a garantizar una buena vida para el árbol y una gestión de riesgos aceptable.

El árbol como sistema. Modelo de compartimentación de las heridas de los árboles, CODIT

El Dr. Alex Shigo aportó a la arboricultura una visión transformadora sobre las respuestas biológicas del árbol. Él entendía al árbol como un sistema vivo, ordenado y complejo, capaz de generar productos y servicios en función de los factores que garantizan su orden y supervivencia: programación genética, energía, espacio, agua, nutrientes, temperatura, tiempo y concentración de los factores (Shigo, 1994). Cuando alguno de estos factores se altera, el sistema se desordena y esto causa estrés o desbalance energético. Cuando el estrés determina una condición irreversible, sucede la rotura de parte o la totalidad del sistema como condición inexorable y, si se exceden ciertos límites, el sistema no puede retornar a su estado original (Shigo, 1994).



Foto 4.1.

El sistema se colapsa cuando llega al punto de rotura. En este caso, la acción de los patógenos sobre los tejidos y una arquitectura con singularidades produce un desequilibrio estructural que deriva en el quiebre de la rama.





El árbol urbano es en sí mismo un sistema sujeto a un alto estrés durante toda su vida y, aun así, ofrece una multiplicidad de servicios ambientales y productos. Su mantenimiento requiere, por lo tanto, una gestión sensible e inteligente de los conflictos que afectan su delicada existencia. El reconocimiento de los límites del sistema permitiría, por lo tanto, definir cuánto y cuándo (dosis y momento) es posible retirar, agregar o ejecutar una acción sin desordenar el sistema.

Otro de los aportes trascendentales de Shigo es su “Modelo simplificado de respuesta dinámica: **Compartimentación de la pudrición en los árboles (CODIT)**”. Esta teoría publicada en 1959 puso en discusión los mecanismos a través de los cuales se resuelven las heridas en los árboles. Shigo observó que después de un daño se produce primero una respuesta química de acción antimicrobiana seguida por la formación de una nueva pared celular generada por el cambium a ambos lados de la herida. Esta barrera de suberina o polifenoles, para protección de la albura, permite la “compartimentación” del tejido afectado. El árbol no tiene capacidad para re-almacenar o regenerar tejidos que ya están en su lugar. El generador es el cambium (Shigo, 1985).

Estas defensas se disponen en distintas direcciones sobre el complejo sistema vascular de la madera. La madera es una disposición muy ordenada de diferentes tipos de células en diferentes etapas de envejecimiento que forman una jerarquía de compartimentos (Figura 4.1). Por ello, es posible plantear que los árboles están enormemente compartimentados (Shigo, 1986; Karban, 2015). Estos compartimentos de la madera se organizan a través de la intersección entre los anillos anuales de crecimiento y los rayos de parénquima. Las celdas longitudinalmente forman vasos o traqueidas (en coníferas) que dan el soporte mecánico de la madera y parénquima para el almacenamiento de nutrientes y el desarrollo de la albura. En algunos árboles, las capas más viejas cercanas al eje forman el duramen que actúa en la resistencia mecánica sin almacenar nutrientes o transportar sustancias.

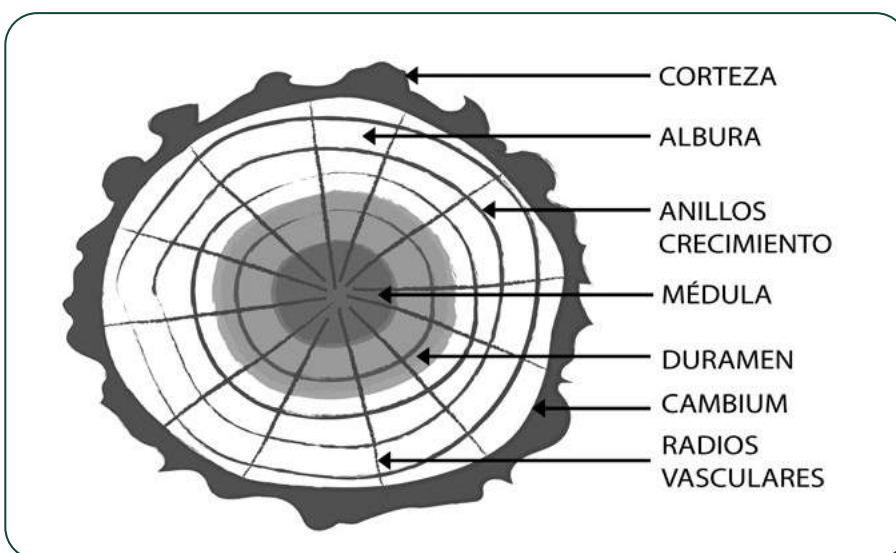


Figura 4.1.
Partes de la madera a partir de un corte transversal de la misma: corteza, cambium, albura, anillos de crecimiento, radios vasculares, duramen, médula.

El complejo entrelazamiento de las diversas células de la madera junto con las resistentes paredes de las mismas son los elementos que brindan fuerza al tejido de la madera. El diseño entrelazado continúa en la construcción molecular de las paredes celulares, e incluso en las moléculas individuales de celulosa y lignina de la pared celular (Shigo, 1985). Unida químicamente a la celulosa y la lignina, la hemicelulosa, constituye otro de los materiales de la pared celular.



En esta compleja organización de la madera, cuando hay una lesión, la respuesta de la compartimentación no detiene la actividad de los microorganismos, pero ofrece tres respuestas posibles:

- (i) Los límites de los compartimentos ya establecidos se refuerzan para resistir la expansión de la destrucción a través de medios químicos metabolizados en la albura por el parénquima o en el duramen. Se producen fenoles que impregnan las paredes celulares y oscurecen la madera actuando como compuestos antimicrobianos.
- (ii) Se crea una nueva pared por medios anatómicos y químicos (el cambium genera nuevas células y el parénquima altera su actividad metabólica), esta nueva pared es la **zona de barrera**.
- (iii) El árbol continúa creciendo superando el stress de la lesión mediante la compartimentación de la herida. “El árbol sobrevive al hacer crecer lo que equivale a un nuevo árbol (con un nuevo conjunto de compartimentos) sobre sí mismo durante la próxima temporada de crecimiento” (Shigo, 1985).

De manera recurrente los organismos que actúan sobre las heridas (hongos, bacterias, insectos) penetran la corteza y generan canchales y pudriciones que determinan la generación, cuando resulta necesario, de nuevas barreras por parte del árbol. El modelo de Shigo presenta dos momentos en la compartimentación de las heridas. El primero está dado por el refuerzo de las paredes existentes (barrera 1, 2 y 3), y el segundo se caracteriza por la generación de una nueva barrera a partir del cambium (barrera 4) que separa la madera infectada de la recién formada (Figura 4.2):

Barrera 1: resiste la expansión vertical de la infección “taponando” los vasos por medios químicos y anatómicos (los vasos pueden hincharse, pueden desarrollarse incrustaciones, o burbujas de aire). La defensa de la pared 1 es relativamente débil y aun si la infección persistiera, el árbol lograría sobrevivir continuando su estrategia de crecimiento.

Barrera 2: resiste la expansión interna o radialmente. Existe como barrera antes de la infección, está formada por los anillos anuales y se refuerza química y anatómicamente por el desarrollo anual del parénquima marginal o terminal dando forma a una pared celular en cada anillo de crecimiento. Esta pared es moderadamente fuerte.

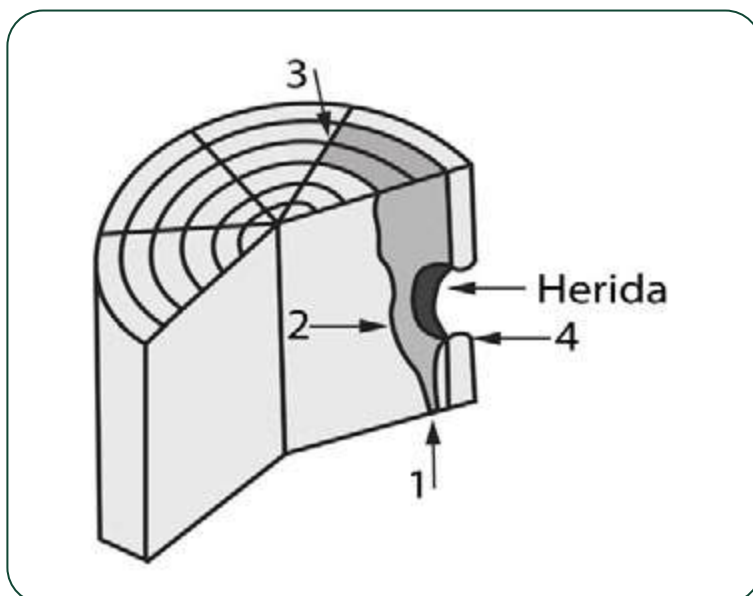


Figura 4.2.

Esquema de las cuatro barreras propuestas por el Modelo de compartimentación de las heridas de los árboles (CODIT) que suceden luego de la ocurrencia de una herida. Los números y sus respectivas flechas muestran a las paredes involucradas en las barreras 1, 2, 3 y 4.



Barrera 3: resiste la expansión lateral o perimetral. Esta barrera existe antes de la infección y está formada por los rayos parenquimáticos. Es la más fuerte de las mencionadas, si falla da lugar a la descomposición que ocasiona cavidades.

Barrera 4: separa la madera existente en el momento de la lesión de la nueva madera que continúa formándose a partir de la zona cambial o zona de barrera. Es bastante resistente contra los microorganismos pero débil en el sentido estructural del árbol. Aísla el tejido que está fuera de la lesión y, por lo tanto, se forma después de que esta ocurra. Se trata de una barrera eficiente ante la mayoría de los hongos y bacterias que habitan en la madera o la corteza por su contenido de suberina.

El concepto general de respuesta fenotípica a la infección está determinado no sólo por la genética, sino también por los niveles de reserva de energía del individuo (Shigo, 1986; 1991). Cuando las reservas son elevadas, la compartimentación es más efectiva, y el patógeno tiene un medio menos propicio para establecerse.

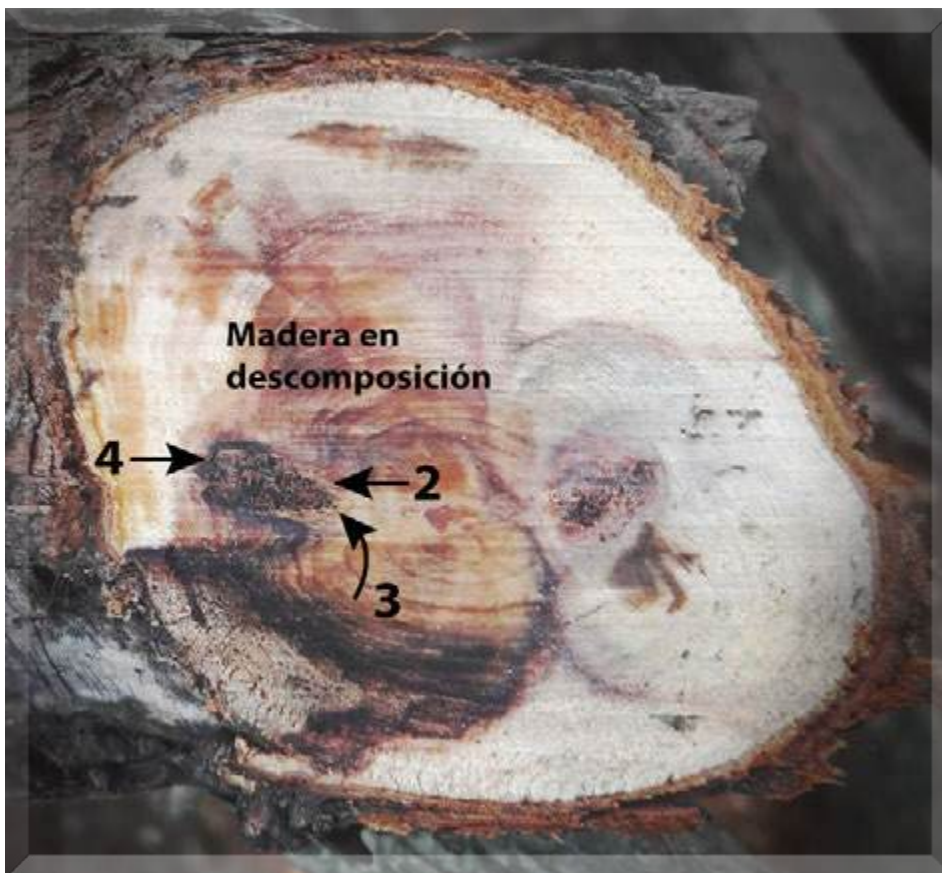


Foto 4.2.
Corte transversal de madera en descomposición donde se observan las barreras 2, 3 y 4.

El modelo de Shigo fue replanteado en 2010 por Dujesiefken y Liese como “Secuencia temporal de reacciones en cuatro fases sucesivas o a veces simultáneas” (Figura 4.3). Esta propuesta divide el proceso de compartimentación en fases que pueden ser sucesivas o simultáneas:

Fase 1: se produce una herida, el aire entra al sistema y no existe pudrición. El borde de la herida muere y el cambium forma un callo circunscribiendo la herida como zona de barrera.

Fase 2: se produce la invasión de los microorganismos, la descomposición y aparece la decoloración del tejido como un indicador de la compartimentación. Se produce el cierre de la herida a partir del callo.





Fase 3: la sucesión de microorganismos combate activa o pasivamente los mecanismos naturales de defensa del árbol. El árbol crea una nueva barrera de reacción simultánea a la del borde de la herida.

Fase 4: si el cierre de la herida continúa ocurriendo (cerrando desde los bordes hacia el centro), logra encapsular a los microorganismos, si así no sucede la herida queda en Fase 3. La encapsulación es el principio de supervivencia de los árboles.

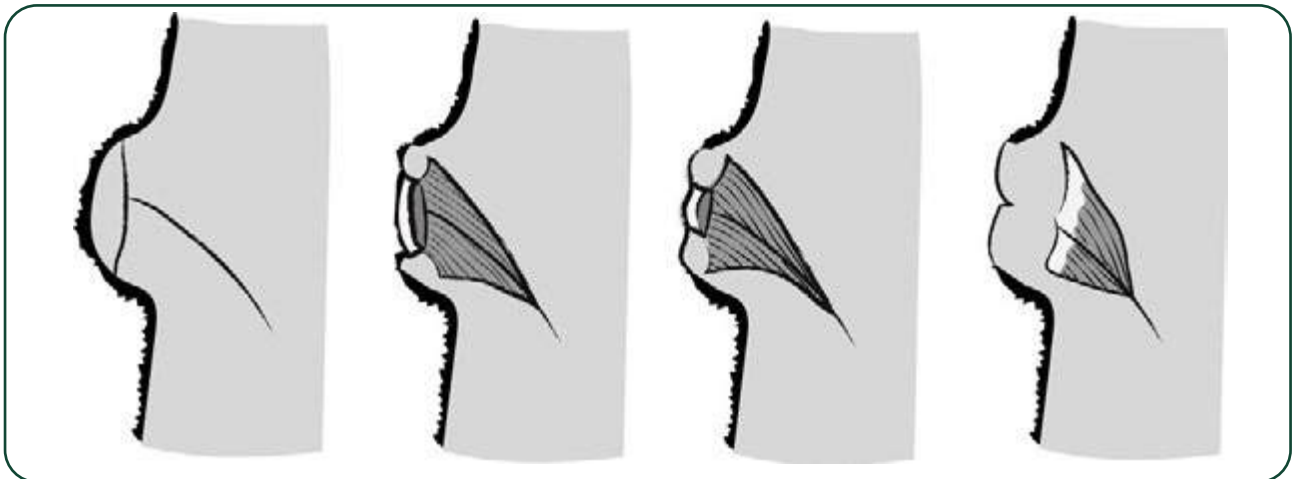


Figura 4.3.

Secuencia temporal de reacciones en cuatro fases sucesivas o a veces simultáneas propuesta por Dujesiefken y Liese (2015). El esquema muestra cómo se produce secuencialmente el aislamiento eficaz del patógeno que penetra en la herida. Si las fases se completan, el patógeno es encapsulado y muere por falta de oxígeno.

Dujesiefken (2010) plantea que las heridas pueden ser muy variadas y que las reacciones difieren de acuerdo a la especie, la actividad fisiológica, las reservas disponibles y el período estacional. Por tal motivo, el acrónimo CODIT se mantiene, pero reemplazando el significado de la “D”: mientras para Shigo representaba “Descomposición” para Dujesiefken refiere a “Daño”. Todas estas determinaciones son necesarias para considerar el mejor corte de poda y asegurar la reacción óptima de la herida (Dujesiefken y Liese, 2015).

Es importante diferenciar dos conceptos que son anatómica y fisiológicamente diferentes. El **callo** es la respuesta a la herida a partir de la hiperplasia o hipertrofia de las células adyacentes al daño. Cuando las células de callo ya no se dividen se lignifican y conservan su forma. La **madera de herida**, en cambio, se desarrolla a partir del cambium vascular no lesionado o diferenciado por el callo en el margen de la herida. A diferencia del callo, la madera de herida es una madera altamente organizada con lignina (Shigo, 1989). Una vez que se forma el cambium vascular, la madera de la herida, con xilema y floema, puede crecer para comenzar a sellar heridas más grandes. El cambium vascular en ambos lados de una herida se unirá y se volverá continuo si el callo y la madera de la herida se sellan o cubren rápidamente la herida, lo cual depende de la especie, su estado y la época del año. Luego la corteza normal, con su propio cambium de corteza, puede formarse a partir de un callo o puede extenderse desde la corteza existente en los bordes de la herida (Luley, 2015). Este cierre de la herida no debe confundirse con la compartimentación.



Foto 4.3.
Madera de herida desarrollada sobre el callo. No se completó la Fase 4 de la Secuencia temporal de reacciones en cuatro fases sucesivas o a veces simultáneas propuesta por Dujesiefken y Liese (2015).



Foto 4.4.
Se completó la Fase 4 propuesta por Dujesiefken y Liese (2015), cubriendo paulatinamente la herida.



La arquitectura de los árboles

La Morfología es la disciplina encargada del estudio de la forma y la estructura de un organismo o sistema. En biología, se refiere específicamente a la forma de los organismos y cómo es que ésta responde al ambiente. La Morfología permite relacionar las propiedades internas y externas de un organismo y proporciona las bases teóricas para la comprensión de la formación de las estructuras orgánicas.

A lo largo de la historia, el concepto sobre la relación forma-función de los organismos fue evolucionando. La morfología clásica, basada en el modelo aristotélico, percibía a la naturaleza en términos de formas idealizadas que permitían la clasificación e identificación de los organismos por medio de reglas comparativas de características similares u homólogas. La morfología renacentista basada en el pensamiento del multifacético Leonardo da Vinci contemplaba “un orden natural” capaz de expresarse en términos matemáticos, lo que permitía una catalogación del mundo natural bajo el principio del todo contenido en las partes y viceversa. Este principio se resume en el modelo de la “Divina Proporción” (serie Fibonacci). Leonardo da Vinci observó, en particular, que el diseño del árbol responde a relaciones entre órdenes superiores e inferiores (raíces, tronco, ramas), morfológicamente organizados para garantizar el movimiento de los fluidos. Esta conceptualización netamente hidráulica se basa en que el volumen de un fluido es, durante cierto tiempo, proporcional a la sección transversal del tubo. Él observó que el total de la suma de las secciones transversales en cada nivel era el mismo que el de la sección principal.

En el siglo XIX Goethe expresó en su ensayo la “Metamorfosis de las Plantas” (1790) su idea sobre la morfología como resultado de relaciones formativas influidas por muchos eventos relacionados, proponiendo así un punto de vista moderno sobre el tema: la morfología dinámica. Goethe identificó la forma esencial o la “protoforma” de las plantas y sus múltiples metamorfosis. A su vez, desarrolló la idea que presentaba a la hoja como la forma fundamental de la que derivan todas las demás estructuras mediante un proceso de transformación. Según Goethe, todo se refiere a este arquetipo de la hoja que identifica como la “memoria central” (Gómez Vera, 2014).

Años más tarde, Ernst Haeckel formuló el concepto de «ontogénesis» (Morfología general de los organismos, 1866) que define los procesos genéticos que inciden sobre la forma de un organismo durante su ciclo de vida. Este concepto alcanza definiciones más amplias a medida que se evalúan las interacciones del medio con la disposición genética. Hoy se puede comprender a la ontogenia como el cambio estructural de una unidad sin que ésta pierda su organización en un *continuum* que resulta de la interacción entre su dinámica interna y el medio circundante (Maturana y Varela, 2003).

Otros conceptos relacionados a la morfología del árbol provienen de la geometría fractal, que ha sido aplicada para modelar la disposición de las estructuras del sistema de ramificación. El concepto de fractal representa la idea de la construcción en forma recursiva de los árboles: la arquitectura de cada individuo responde morfológicamente a la forma de cada una de sus partes, como si estas fueran una miniatura de todo el diseño, una réplica de todo el conjunto. Este enfoque morfológico, ofrece un método para generar un modelo “orgánico” de crecimiento sin la necesidad del conocimiento detallado de la composición anatómica o proceso fisiológico.

La arquitectura de los árboles fue redefinida por los botánicos Francis Hallé y Roelof Oldeman en los años ‘70 según las relaciones entre forma, estructura fisiológica, procesos y función como determinantes de la morfología. Esta aproximación brindó un nuevo marco teórico para el estudio del crecimiento y el desarrollo del árbol (Hallé y Oldeman, 1970).



Es necesario distinguir en un árbol la forma exterior y estructura, ya que árboles con idéntica forma exterior pueden tener diferentes estructuras (Iguñiz Agesta, 2007). Al observar la forma del árbol es necesario reconocer (Figura 4.4):

-**Forma exterior:** es la que refiere al volumen exterior de la copa y el tronco de un árbol.

-**Estructura o arquitectura:** es la particular disposición del tronco y de las ramas de un árbol concreto. Eje 1: tronco principal. Ejes 2: se insertan sobre ejes 1. Ejes 3: se insertan sobre ejes 2 y así sucesivamente.

-**Sentido de crecimiento:** es la orientación de las estructuras de un árbol en relación a la gravedad. Ortótropo: desarrollo longitudinal, vertical, hacia arriba, opuesto a la gravedad. Plagiótropo: desarrollo horizontal perpendicular a la acción de la gravedad. Geótropo: vertical hacia abajo en sentido de la gravedad (raíces).



Foto 4.5.

Perfil arbóreo con diferentes arquitecturas.

En el caso de las plantas, el tejido meristemático edifica la forma, da origen a los órganos, induce la diferenciación y ejerce el control ante las situaciones externas.

La compleja forma final del árbol es dirigida por un programa específico de crecimiento controlado por los rasgos genéticos y puede ser modificada por factores externos (Thigmomorfogénesis). Estos rasgos genéticos se clasifican, según Hallé (año), en tres claves establecidas por (i) la dirección de crecimiento de los vástagos (horizontales o verticales), (ii) la disposición de las ramas (continua o rítmica) y (iii) la ubicación de la floración (terminal o lateral).



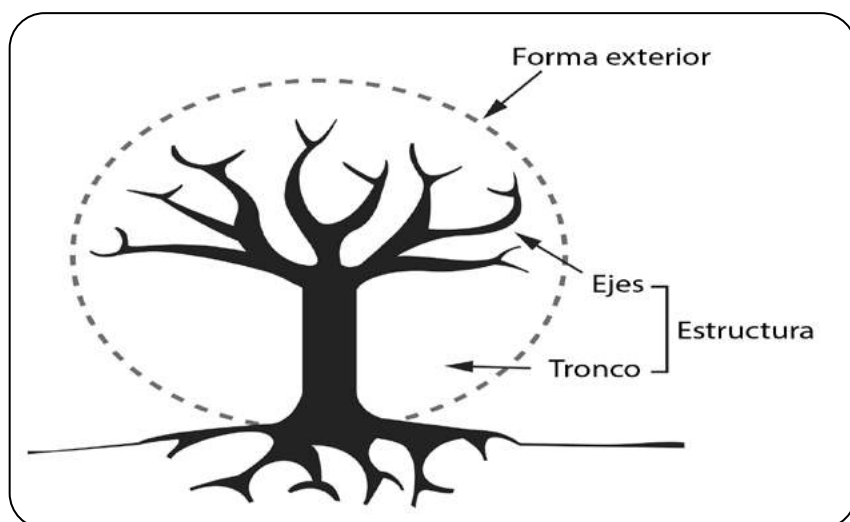


Figura 4.4.
Forma y estructura del árbol.

La combinación de estos rasgos permitió definir 22 modelos arquitecturales en donde se incluyen las diferentes especies arbóreas (Hallé y Oldeman, 1970). La arquitectura del árbol aparece como perpendicular a la filogenia (Hallé, 2010), permitiendo reunir por medio de estos modelos especies sin ninguna proximidad botánica. Por ejemplo, en el modelo RAUH (Hallé y Oldeman, 1970), que se define por troncos y ramas verticales, ramificación rítmica y floración lateral, se encuentran especies de origen tan diferente como el pino y el roble.

Estos modelos arquitecturales son el resultado del crecimiento secuencial del árbol mediante una sucesión de reiteraciones o ramas. El concepto de reiteración fue descrito por Oldeman (1974) y refiere a los diferentes modelos de árboles que surgen a partir de la organización de la brotación coordinada por la distancia y la jerarquía entre los meristemos a lo largo de las diferentes etapas de desarrollo (juventud-madurez-senescencia). La reiteración es un progreso, una forma de crecer, que se ha generalizado a la mayoría de los árboles y que implica un aumento de la fotosíntesis y de la longevidad del árbol (Hallé, 2010). Toda rama o reiteración secuencial se inicia en un brote vegetativo supeditado como mínimo a dos tendencias hormonales: la dominancia apical que cohibe o retarda la brotación de yemas laterales y el carácter del tronco o la rama donde se aloje en sus distintas fases de maduración.

El conjunto morfológico-funcional que se inicia tras la germinación de la semilla está compuesto por un eje central dominante y un conjunto de ramas laterales dominadas que constituyen la **unidad arquitectural básica** de cada especie. Esta unidad estructural es un todo fisiológicamente coherente que tiende a reflejar e imitar la forma general del árbol y que se expresa como **crecimiento reiterativo**.

En ocasiones tiene lugar un fenómeno relacionado al proceso de reiteración mediante el cual el dosel de ciertas especies guarda distancia evitando tocarse (Hallé, 2010). Esta “timidez” entre las copas de algunos árboles coloniales también se comprueba entre ramas de un mismo árbol. Esta situación se produce por circunstancias de tipo genético o epigenético (relación entre las influencias genéticas y ambientales que determinan un fenotipo) o a través del lenguaje químico entre las especies (Hallé, 2010). Sin embargo, desde hace más de un siglo se mantienen divergencias acerca de este fenómeno. Ciertos autores plantean como hipótesis que estas manifestaciones adaptativas tienen lugar en especies que reciben una poda recíproca (entre árboles) por estar ubicadas en sitios ventosos, tener ramas flexibles o ser parte de bosques en sucesión primaria (Rebertus, 1988). Otra hipótesis lo relaciona a una respuesta de evasión de la sombra entre plantas vecinas (Ballaré *et al.*, 1990).



Foto 4.6.

Las copas no se tocan expresando el fenómeno de “timidez”, dejan espacio libre entre las ramas de los diferentes individuos.

En las especies modernas (en términos evolutivos), la continuidad jerárquica se rompe muy rápido, los meristemas se distancian y actúan multiplicando y acumulando nuevas copias de la primera unidad arquitectural. En estos casos se los denomina árbol colonial. A partir de estas reiteraciones, el árbol se convierte en una población de pequeños árboles. Los árboles coloniales presentan una copa esférica y ramificación decurrente (Zimmermann y Brown, 1971), pierden temprano la dominancia apical, y desarrollan ramas codominantes que compiten con el eje principal. El árbol colonial modifica su silueta durante su vida.

En grupos antiguos (araucarias y palmeras, entre otros), la jerarquía entre meristemas, normalmente, se mantiene estable durante toda la vida del árbol. El desarrollo tiene una expresión única que da forma al árbol unitario. No hay variaciones en la silueta, el árbol retiene una forma cónica y presenta, a menudo, una ramificación **excurrente** con fuerte dominancia apical (Zimmermann y Brown, 1971). La reiteración sólo aparece muy tarde en su vida si fuera necesario.





Foto 4.7.

(a) Árbol colonial o múltiple. (b) Árbol unitario.

Estas situaciones aparecen a lo largo de la vida del árbol. Por eso es importante comprender que la evolución ontológica en muchos casos y por diversos motivos es independiente de la edad cronológica. Con este concepto claro se pueden tomar las decisiones correctas para el mantenimiento del árbol.

Todos los árboles reaccionan en algún momento por medio de bajada de copa. Esto no significa su senescencia. En realidad, la senescencia comienza y la muerte se torna inevitable cuando desaparece la facultad de producir reiterations retardadas (Drénou, 2000). En ocasiones cuando se eliminan ramas de forma natural o artificial, se induce una reacción de emergencia que promueve la activación de los meristemas dormidos alojados en el felodermo, que se denomina reiteración retardada total o chupón (estructura independiente que no está



Foto 4.8.

Regresión de la copa como respuesta a las alteraciones sanitarias (árbol en trinchera). El desarrollo natural según Raimbault



en la secuencia gradual de crecimiento). Las reiteraciones retardadas se añaden a la arquitectura secuencial en curso y pueden reemplazar enteramente ramas primarias o secundarias hasta el punto de que es difícil descubrir la morfología original. El desarrollo retardado se presenta en el fenómeno de bajada de copa o árbol en trinchera, cuando se produce la disminución de la frondosidad y aparición de nuevos ejes con hojas hacia el centro del árbol. Esta situación puede ser transitoria (el árbol se recupera después de años de decaimiento) o definitiva (las ramas secuenciales mueren y los reiterados retardados aseguran el funcionamiento del árbol).

El desarrollo natural según Raimbault

Pierre Raimbault observó que existen patrones generales que expresan rasgos típicos del desarrollo natural de todas las especies arbóreas independientemente de los modelos arquitecturales específicos (Figura 4.5). Describió estos rasgos definidos por el carácter de la brotación o *tonías* en una serie de 10 estadios o fases divididos en infancia, juventud, madurez y senescencia o vejez. “La vida de un árbol desde la germinación hasta su muerte se puede dividir en 10 etapas. Esta escala es aplicable a todos los árboles ramificados” (Raimbault y Tanguy, 1993).

En la infancia y la juventud se produce la expansión de la copa, hay fuerte dominancia apical y de los brotes hipótonos (yemas menos iluminadas, situadas en la parte inferior de la rama y que están orientadas hacia la periferia de la copa) y el ramaje cubre el tronco. Una vez consolidado el árbol en su ambiente comienza la autopoda de las ramas más bajas que dejan ver la verticalidad morfológica de la copa definitiva y se generaliza la isotonía (las yemas son inducidas a brotar según su exposición a la luz y su ubicación sobre el tallo, desaparece la acrotonía) como paso a la madurez. En la madurez, la pérdida de la dominancia apical central genera primero una horquilla, que da lugar a sucesivas horquillas, que darán lugar a la copa adulta. El crecimiento isótono hace que las ramas compitan por la radiación solar y los nutrientes, sin que unas u otras se vean favorecidas. La copa se abre, tornándose globosa, y las ramas inferiores se desarrollan paralelas al suelo.

El árbol, en plena madurez, presenta el tronco completamente desnudo, la copa definitiva alcanza, de manera paulatina, su volumen final y renueva, progresivamente, los ejes principales en la parte superior de la estructura. Avanzada la madurez comienza la progresiva degradación del sistema radical y se debilita la parte aérea. Los brotes anuales no producen más que las hojas ya formadas en las yemas antes de la brotación y no aparecen nuevas ramificaciones en los extremos. Las ramas se renuevan parcialmente a partir de zonas más internas (epitonía y basitonía en la copa). Se generan tantas ramas como las que se pierden a un alto costo energético. En algunas especies, tiene lugar la poda natural de ramas bajas. Un árbol puede estar 100 años o más en este estadio.

En la senescencia, se produce la brotación de las yemas que, al situarse en la parte superior de los tallos y hacia la periferia de la copa, se encuentran más iluminadas (epitonía). Sin embargo, paulatinamente, el vigor de esta brotación disminuye y se concentra cerca del centro de gravedad del árbol. La madera pierde propiedades mecánicas y disminuye la vitalidad del árbol, el cual, en caso de presentar traumatismos por daños mecánicos o sanitarios, comienza a experimentar pudriciones graves, rotura de grandes ramas horizontales y vaciado del tronco. En algunas especies, se produce la emisión de renuevos a lo largo del tronco y por rebrote de raíz y cepa. En la última fase de la vejez, la degradación



del sistema radical provoca el descenso de la copa. Aparecen reiteraciones cada vez más potentes sobre la estructura y, finalmente, sobre el tronco. El árbol no puede mantener el volumen que alcanzó en la plenitud: la mortalidad en la copa sobrepasa la capacidad de renovación y afecta a ramas periféricas cada vez más importantes. Generalmente el árbol muere en esta etapa. Sin embargo, en algunos casos, el árbol se hunde en sí mismo, la copa muere por completo y fuertes reiteraciones aparecen en el tronco. Estos brotes se hacen progresivamente independientes del conjunto del árbol, formando columnas cambiales a lo largo del tronco y desarrollando sistemas radicales propios.

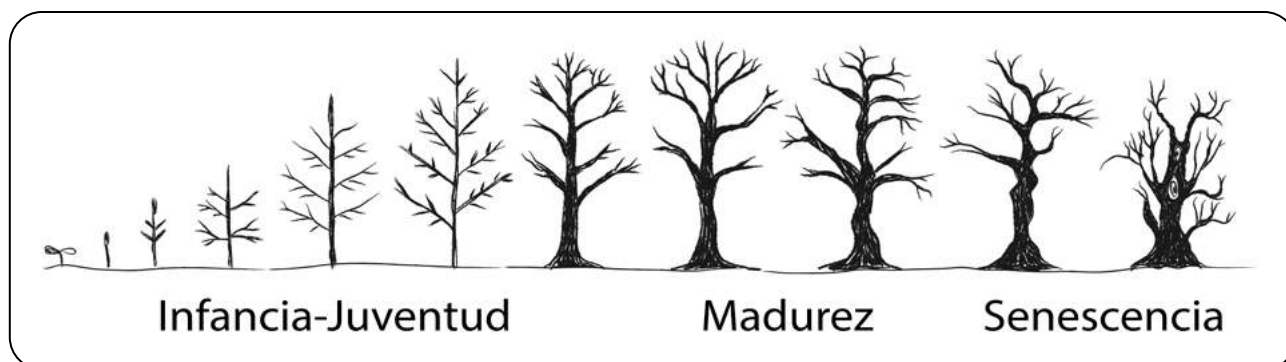


Figura 4.5.

Esquema secuencial de las fases de la vida del árbol adaptado de Raimbault y Tanguy (1993).

Bibliografía

- Ballaré, C.L., Scopel, A.L. y Sánchez, R.A. (1990). Far-red radiation reflected from adjacent leaves: a nearly signal of competition in plant canopies. *Science*, 247(4940): 329-332. Recuperado de: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.247.4940.329>
- Drénou, C. (2000). La poda de los Árboles Ornamentales. (pp. 264). España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Dujesiefken, D., y Liese, W. (2010). The CODIT principle: the defence reactions of trees after wounding. *Acta horticulturae et region tecturae*, special issue, 2010, pp. 1-4.
- Dujesiefken, D. y Liese, W. (2015). The CODIT Principle: Implications for Best Practices. (pp. 162). EE.UU.: International Society of Arboriculture.
- Gómez Vera, W. (2014). Análisis Intrínseco de La Metamorfosis de las Plantas de Johan Wolfgang von Goethe. Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Instituto de Biología El Carmen de Viboral. Recuperado de: https://www.academia.edu/24931736/_An%C3%A1lisis_de_la_Metamorfosis_de_las_plantas_de_Goethe_
- Hallé, F. y Oldeman, R. (1970). Essai sur l'architecture et dynamique de la croissance des arbrestropicaux. (pp. 192). París, Francia: Masson and Co.
- Hallé, F. (2010). Arquitectura de los árboles. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 45(3-4), 405-418. Recuperado de: https://www.academia.edu/12539430/ARQUITECTURA_DE_LOS_ARBOLES
- Iguñiz Agesta, G. (2007). Apuntes de Gestión de la estructura del arbolado urbano. Recuperado de: <https://www.jardin-natural.com/wp-content/uploads/2017/12/gestdelaestructura2.pdf>



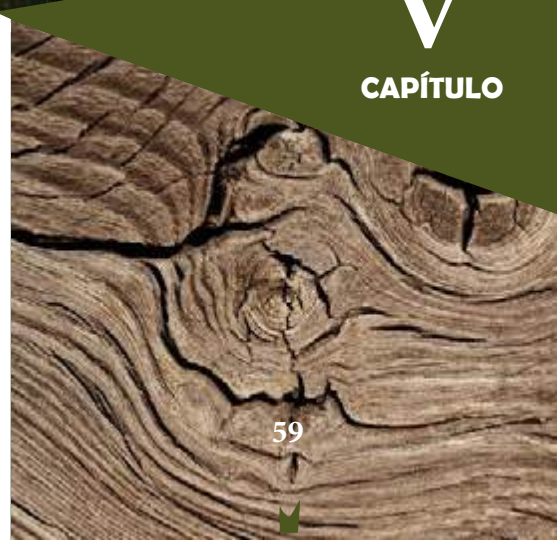
- Karban, R. (2015). *Plant Sensing and Communication*. (pp. 252). EE.UU.: University of Chicago Press.
- Luley, C.J. (2015). Biology and Assessment of Callus and Woundwood. *ISA Arborist News*, 24(2): 12-21. Recuperado de: https://chrisluleyphd.com/wp-content/uploads/2016/12/Arborist-News-Callus-and-woundwood_Luley.pdf
- Maturana, H. y Varela, F. (2003). *El árbol del conocimiento: las bases biológicas del entendimiento humano*. Santiago de Chile, Chile: Lumen Editorial Universitaria. Recuperado de: https://pildorasocial.files.wordpress.com/2013/10/autores_humberto-maturana-francisco-varela-el-arbol-del-conocimiento.pdf
- Oldeman, R.A.A. (1974). *L'architecture de la forêt guyanaise*. (pp. 204). París, Francia: Mémoires ORSTOM 73. Recuperado de: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-01/07390.pdf
- Raimbault, P. y Tanguy, M. (1993). La gestion des arbres d'ornement. 1ère partie: une méthode d'analyse et de diagnostic de la partie aérienne. *Rev. For. Fr.*, XLV-2: 97-117.
- Rebertus, A.J. (1988). Crown Shyness in a Tropical Cloud Forest. *Biotropica* 20(4), 338-339. Recuperado de: <https://www.jstor.org/stable/2388326?origin=crossref>
- Shigo, A. (1985). Compartmentalization of Decay in Trees. *Scientific American* 152(4), 96-103. Recuperado de: https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/jrnl/1985/ne_1985_shigo_001.pdf
- Shigo, A. (1986). *A New Tree Biology*. (pp. 595) Durham, NH, EE.UU.: Shigo and Trees Associates
- Shigo, A. (1989). *Tree pruning. A worldwide photo guide*. (pp. 187). Durham, New Hampshire, EE.UU.: Shigo and Trees, Associates.
- Shigo, A. (1991). *Modern Arboriculture: A Systems Approach to the Care of Trees and Their Associates*. (pp. 424). Durham, New Hampshire, EE.UU.: Shigo and Trees Associates.
- Shigo, A. (1994). *Tree Anatomy*. (pp. 124). Durham, New Hampshire, EE.UU.: Shigo and Trees Associates.
- Zimmermann, M.H. y Brown, C.L. (1971). *Trees. Structure and Function*. (pp. 336). New York, EE.UU.: Springer-Verlag.



Identificación de riesgos en el arbolado urbano

V

CAPÍTULO





Introducción

El manejo del bosque urbano es, en la actualidad, una situación compleja en relación a la seguridad pública, especialmente si se tiene en cuenta que en muchas ciudades el perfil arbóreo se presenta con edades avanzadas y maltratado por los antiguos métodos de poda, el crecimiento edilicio y el vandalismo. Tales motivos generan conflictos que la arboricultura moderna aborda a partir de criterios establecidos para la evaluación de riesgos en el árbol.

Es obligación de los gestores garantizar una convivencia positiva entre el árbol y el ciudadano, implementando políticas eficientes que valoricen la salud del árbol y sus beneficios y minimicen posibles daños a bienes y personas. Sólo así los árboles dejarán de ser “sospechosamente peligrosos” para los ciudadanos.

Los árboles urbanos pueden presentar anomalías o defectos que no se corresponden con el aspecto natural de la especie. Una **anomalía** es cualquier malformación o alteración, que puede tener o no un efecto negativo sobre la estructura de un árbol. En cambio, un **defecto** supone una imperfección, carencia o problema, de mayor o menor repercusión en el estado estructural o fisiológico de un árbol. Los defectos de un árbol son signos visibles de que el árbol puede generar riesgos.

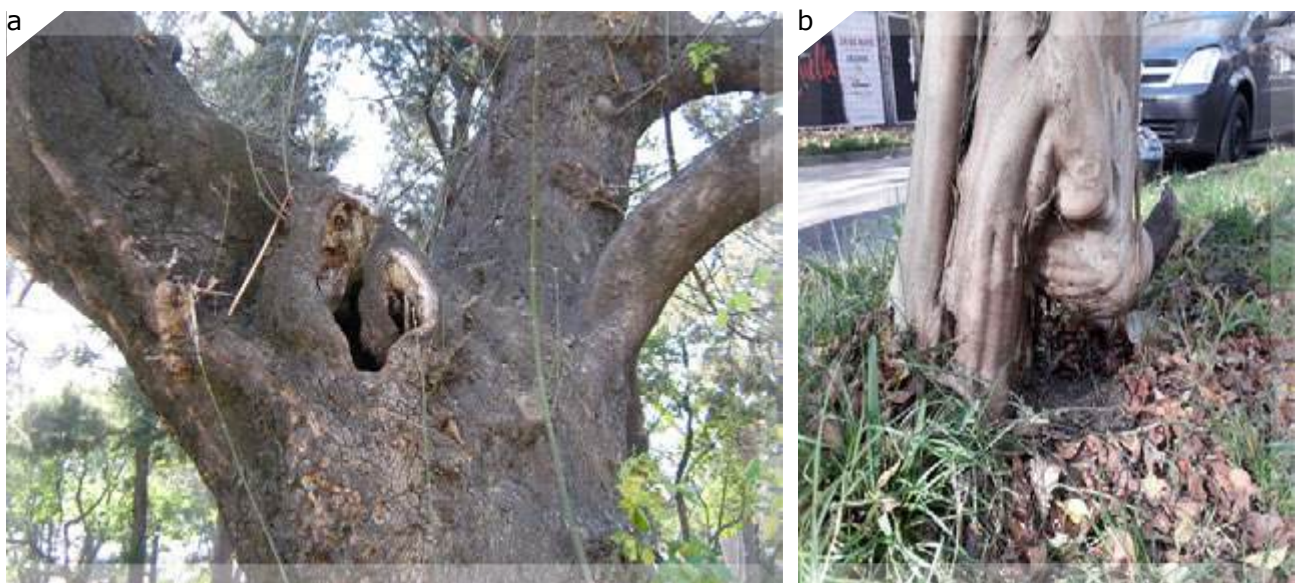


Foto 5.1.

(a) Defecto y (b) Anomalía.

Los niveles de riesgo para la seguridad pública deben estar basados en varios puntos: (i) las características de las vías de tránsito (tipo, volumen de tráfico y los patrones de congestión), (ii) el uso y los patrones de ocupación de las áreas públicas (alto, moderado y bajo), (iii) las características propias del árbol (calificación de riesgo, edad y densidad) y (iv) los conflictos que se presentan (interferencia de ramas con el tránsito, peatones y líneas de servicio, interferencia de raíces con las aceras o propiedades). En ocasiones, los árboles tienen defectos estructurales en raíces, tronco o ramas, propios o derivados de la falta de mantenimiento. Estos defectos originan debilitamiento del ejemplar y provocan pro-





blemas a la población que pueden ser, incluso, fatales. En dicha condición, adquieren la calidad de “ejemplares peligrosos” o en riesgo.

En las últimas décadas, se ha generado un conocimiento más acabado sobre la mecánica del árbol urbano a partir de los estudios de Alex Shigo, fundador de lo que se denomina “arboricultura moderna”. Sobre la base de este mayor conocimiento, se ha desarrollado un interés creciente respecto de la gestión del árbol de acuerdo a los riesgos que represente para la seguridad pública, relacionado también con la seguridad y la responsabilidad que se deriva de los accidentes que se pueden evitar. Los aportes de Shigo y Dujesiefken modificaron no sólo la forma de intervenir los ejemplares, sino que permitieron nuevos argumentos para la prevención del riesgo en el ámbito urbano y la evolución de las investigaciones basadas en la evaluación visual del arbolado (o VTA, por sus siglas en inglés: “Vissual Tree Assesment”). La publicación del libro “The body language of trees: A handbook for failures analysis” (Mattheck and Breloer, 1994) expone el método VTA que “permite distinguir árboles peligrosos de los aparentemente peligrosos” y su axioma de la carga uniforme, basado en el principio de que los árboles consumen energía para alcanzar una distribución homogénea de las cargas mecánicas, se explica en que “los árboles no son sólo entidades biológicas vivas, sino que son también estructuras mecánicas que soportan cargas”. El desarrollo del “modelo biomecánico de la madera” de Mattheck permitió comprender las variaciones estructurales en la madera de tracción, tensión y compresión. La propuesta inicial de este modelo provino de Metzger quien en 1893, propuso por primera vez al viento como el factor más significativo que afecta el crecimiento de árboles, en su caso con el género *Picea*.

El modelo de Mattheck y Breloer (1994) fue puesto en discusión por las investigaciones de Slater en 2016. Este autor coincidía en que los modelos científicos pueden ser un medio poderoso para predecir resultados y comunicar relaciones estadísticas complejas de una manera simplificada. Sin embargo, Slater (2016) proponía que los modelos deben ser juzgados críticamente por su aplicabilidad y su poder de predicción y que sería un error pensar que en algún momento son “verdaderos”, o inmejorables mediante el desarrollo de nuevas investigaciones. Basado en estas ideas, Slater (2016) señaló varias áreas en las que el modelo biomecánico de la madera propuesto por Mattheck y Breloer (1994) resultaba deficiente. Por un lado, no se definen aspectos como el momento en que las tensiones en la estructura de un árbol son uniformes, o los “tiempos medios” en los cuales el ejemplar alcanza su equilibrio de fuerzas. A su vez, el modelo no contempla que cuando una rama o ramita se dobla, las tensiones se concentran en el centro de esa curva. En consecuencia, siempre que el árbol está en movimiento, el patrón de distribución de la tensión es complejo, no uniforme, y se producen concentraciones de tensión repetidas en lugares clave a lo largo de las ramas, uniones y tallos a medida que se doblan. Por otro lado, el modelo no contempla que los árboles producen y están conformados por diferentes tipos de madera dentro de sus estructuras; madera juvenil vs madura, maderas con distinta densidad y madera de reacción, como la madera de compresión y la de tensión. Una estrategia de “estrés uniforme” sería una táctica a adoptar apropiada si la estructura de un árbol consistiera en generar madera similar en todas partes. Sin embargo, estos diferentes tipos de madera fallan a diferentes niveles de tensión. Por lo tanto, Slater (2016) cuestiona el concepto por el cual las tensiones serían uniformes en toda la estructura de un árbol.



Conceptos

Se entiende por **riesgo** la proximidad de un daño, es decir: si se dan las condiciones oportunas se producirá un accidente. Por otro lado, **peligro** es un riesgo o una contingencia inminente de que suceda algún mal.

Hay dos factores que condicionan el grado de riesgo mecánico de los árboles por rotura o caída sobre personas o bienes que se encuentren próximos en ese momento: la **probabilidad** de que ocurra un accidente y la **gravedad** en caso de que ocurra. Estos factores dependen del **objetivo** (lo que puede ser afectado por la caída del árbol o de alguna de sus partes; es una ponderación entre la probabilidad de que impacte en personas o bienes y del valor de lo que pueda verse afectado por el fallo estructural), la **energía potencial** de la parte o partes del árbol que potencialmente pudieran caer (es decir de la altura y peso de lo que pudiera caer) y la **probabilidad de ocurrencia de falla mecánica** (que incluye componentes como el estado estructural o la intensidad del viento, nieve, etc.).



Foto 5.2.

Quiebre de ejemplares por pérdida estructural.

El aspecto general que presenta un ejemplar es el primer síntoma de su condición. Los árboles en buen estado tienen copas bien desarrolladas, equilibradas, ramas fuertes y hojas sanas que presentan el color típico de la especie. En cambio, los árboles en mal estado suelen presentar ramas muertas, quebradas, con desarrollo irregular, desperejo, y hojas cloróticas. Además, suelen ser frecuentes las heridas y los signos de debilitamiento ocasionados por el limitado crecimiento del árbol, las malas prácticas culturales, las tormentas severas o la presencia de plagas. Estos síntomas se observan como **defectos**. Sin embargo, en algunos casos, una buena apariencia de vitalidad no implica un buen estado biomecánico. La gestión de riesgos requiere entonces de un proceso sistemático para detectar, evaluar, prevenir y corregir los defectos de **árboles peligrosos**.



Foto 5.3.

Gestión de riesgo potencial en cercanía de árboles patrimoniales.

Técnicamente, se define como árbol contingente a aquel en el cual los defectos estructurales pueden causar la falla parcial o total del árbol, lo que podría producir daño sobre un objetivo. Este objetivo puede ser un vehículo, un edificio o un sitio donde la gente se reúne como puede ser el banco de un parque, una calle, el patio de una escuela, una plaza.

Las condiciones urbanas (suelos pobres, compactados, contaminados, escaso espacio aéreo, mal mantenimiento, entre otros factores) suelen provocar un estrés sostenido en los árboles reduciendo sus reservas de energía y comprometiendo su vitalidad e integridad estructural. Esto normalmente acelera el decaimiento y aumenta el riesgo de fracaso del ejemplar. A su vez, algunas especies botánicas son, estadísticamente, más proclives a presentar defectos específicos. Por ejemplo, ciertas especies como *Acer negundo* y *Melia azedarach* presentan uniones de ramas débiles. Los álamos (*Populus sp.*) son proclives a resquebrajarse cuando son jóvenes debido a una serie de factores, incluyendo pudrición y formación de canchales. En general, aquellas especies de rápido crecimiento y desarrollo presentan madera débil, de bajo peso específico, con peor comportamiento.

Plan de gestión de riesgo del arbolado público

El plan de evaluación y de gestión del riesgo completa un programa integrado de mantenimiento del arbolado urbano, junto con la plantación, la poda y los programas de respuesta a emergencias. Disponer de un protocolo de trabajo que garantice la gestión adecuada de los ejemplares arbóreos y que lleve un registro sistemático de todas las observaciones, es el principio básico de todo Plan de Gestión.

Inspección de la condición del árbol. ¿Qué observar?

Las situaciones de riesgo se pueden controlar parcialmente, pero no se puede eliminar completamente sin suprimir el árbol. Por ello, el desafío está en desarrollar una adecuada gestión con el fin de asegurar un nivel de riesgo aceptable para sus gestores, compañías de seguros y la sociedad en general. La eliminación total del riesgo del arbolado urbano es una actividad económica y técnicamente inviable, por lo cual el gestor debe hacer uso de herramientas eficientes que orienten sus intervenciones,





como es el caso de las metodologías de evaluación del riesgo de árboles urbanos (Reyes de la Barra *et al.*, 2018).

El mecanismo para evaluar árboles según su peligrosidad es complejo, dado que existe una gran variabilidad natural en los árboles, diferente severidad de sus defectos y son diferentes también los lugares en los que se desarrollan. Originalmente, las evaluaciones de riesgo de árboles eran cualitativas, se identificaban defectos, pero no se cuantificaban. Estas evaluaciones consistían, simplemente, en una inspección visual y rápida, no estandarizada, por lo que primaba la subjetividad. En la década de los años 1960-70 se comenzó a trabajar con conocimientos y herramientas más adecuados y literatura técnica de mayor calidad. Pocos años después, aparecieron otras publicaciones y métodos, entre ellos, “Tree hazards: recognition and reduction in recreation areas” (Johnson, 1981) y “Detection and correction of hazard trees in Washington’s recreation areas” (Albers y Hayes, 1993). En 1991, aparece la obra “A Photographic guide to the evaluation of hazard trees in urban areas”, considerado el primer manual para evaluar la peligrosidad específicamente en árboles urbanos (Calaza Martínez, 2019).

La Evaluación Cuantitativa de Riesgo del Arbolado (QTRA, “Quantified Tree Risk Assessment”) propone un procedimiento de evaluación del riesgo que amplía conceptos anteriores y permite calcular una probabilidad de daño significativo para ser aplicado al cálculo del riesgo de fallos de árboles (Ellison, 2005). Mediante la evaluación de los componentes del riesgo de fallos, el valor del blanco, la probabilidad de fallo y el potencial del impacto, asignándoles estimaciones de probabilidad, el método propone un cálculo numérico del riesgo existente a partir del producto de las probabilidades estimadas. Este sistema cuenta con una amplia gama de valores que permite al evaluador de árboles identificar y analizar el riesgo de colapso en tres etapas clave. La primera etapa de evaluación de la planificación territorial analiza la vulnerabilidad al impacto y la probabilidad de ocupación. La segunda etapa evalúa las consecuencias potenciales del impacto, según el tamaño del árbol o la rama afectada. La tercera etapa calcula la probabilidad de que dicho árbol o rama colapse. Mediante el cálculo de estos componentes, el evaluador, con ayuda de la calculadora manual o la aplicación del software QTRA, puede estimar el Riesgo de daño anual para un árbol concreto. Los valores de riesgo se pueden clasificar y comparar, lo que incrementa la razonabilidad de la toma de decisiones de gestión. A su vez, el sistema QTRA permite adoptar distintos enfoques en función de cada contexto particular, permitiendo abarcar una evaluación general de grandes grupos de árboles a una evaluación detallada de un sólo árbol.

El plan de Tolerabilidad del riesgo (ToR) es un enfoque ampliamente aceptado para establecer si los riesgos son, en términos generales, aceptables, inaceptables o tolerables. Entre las razones de su amplia aceptación cabe mencionar que se trata de un método repetible e independiente de la evaluación predictiva, que ha sido revisado varias veces y está en continua evolución. Este enfoque establece como límite superior un riesgo de muerte anual de 1/1000000 y un límite inferior de 1/1000. Entre estos dos límites se establece una región donde la tolerabilidad del riesgo depende de los costes y beneficios de la reducción de dicho riesgo. En esta región tolerable es necesario sopesar si los beneficios del control de riesgos son suficientes para justificar su costo (Calaza Martínez e Iglesias Díaz, 2016). El uso de estos límites ofrece una base numérica para comparar evaluaciones de riesgo en árboles, lo que mejora y facilita la planificación de uso de espacios públicos ante situaciones de alto riesgo y permite reducir la necesidad de acciones correctoras contra el peligro en zonas de bajo uso. Por otro lado, el método de evaluación de riesgo y de tratamiento del sistema propuesto por Forbes-Laird (2010) (co-





nocido como THREATS, por sus siglas en inglés: “Risk Evaluation and Treatment System”) también presenta un enfoque cuantitativo muy interesante para análisis de grandes masas de ejemplares (Calaza Martínez, 2019).

Un método cualitativo de evaluación de riesgos y beneficios, actualmente utilizado en EE.UU., consiste en el sistema TRAQ o BMP de la Sociedad Internacional de Arboricultores (del inglés, ISA) desarrollado por Smiley *et al.* (2011), el cual es una derivación de un método previamente propuesto por Matheny y Clark (1994). Este método es el más utilizado por los especialistas norteamericanos y es el sistema oficial de la ISA.

Indicadores de peligrosidad. Defectos y riesgo de falla.

El Servicio Forestal de EE.UU. tiene entre sus funciones la investigación e implementación de prácticas tendientes al manejo del arbolado en sus diferentes escalas. Ha establecido una muy completa guía para la detección de riesgos en el arbolado, a partir de siete tipos principales de defectos: madera muerta, grietas, uniones débiles de ramas, pudrición, canchales, problemas de raíces y débil arquitectura de árbol (Pokorny *et al.*, 2003). Cada tipo de defecto tiene un rango de síntomas que indican la severidad y el potencial del riesgo del árbol a detectar. A su vez, cada tipo de defecto tiene un rango distintivo de síntomas que indica su gravedad y el potencial del árbol para fallar.

Se utilizan tres clasificaciones de riesgo de falla: bajo, moderado y alto. Un árbol con una clasificación baja de riesgo de falla tiene un defecto que no parece tener incidencia actual sobre la integridad estructural del árbol. Una calificación moderada de riesgo de falla puede o no dar como resultado una falla eventual. Esta situación no garantiza una acción correctiva inmediata. Un alto riesgo de falla indica un peligro inminente de fallar o ya ha fallado parcialmente, la acción correctiva debe tomarse tan pronto como sea posible (Calaza Martínez e Iglesias Díaz, 2016).





Fichas de defectos en los árboles

Ficha 1

Madera muerta

La madera muerta debe ser inmediatamente eliminada. A pesar de sobrevivir sobre el árbol por mucho tiempo, las ramas o trozos de copa muerta van a caer. La madera muerta con frecuencia está seca, es quebradiza y no interactúa con el viento como una rama sana o un árbol vivo, su peligrosidad se relaciona con la cercanía a bienes o personas que se hallan en sus inmediaciones.

Frecuentemente está asociada a enfermedades fúngicas, malos cortes o lesiones, problemas de aireación de raíces, suelos compactados, gases tóxicos en subsuelo que producen una rápida descomposición de la madera. Los síntomas de regresión de copa (comúnmente descenso de copa) indican desvitalizaciones o desarreglos en el sistema biológico del árbol.

Se debe actuar de manera inmediata si el árbol está seco o si una rama seca tiene el tamaño suficiente como para herir a alguien o causar daños severos (esto variará con el peso y la medida de la rama).



Arriba: árbol seco.

Abajo: madera muerta sobre ramas.



Ficha 2

Madera descompuesta en tronco y ramas

La madera descompuesta es el resultado de la interacción a largo plazo entre un árbol y el deterioro que causan los hongos. Existen especies que, por sus características, no responden bien a la poda. Como resultado, en las heridas abiertas se desarrollan pudriciones que resultan siempre en menor resistencia estructural y estabilidad reducida. El proceso de descomposición o pudrición de la madera pasa por varias etapas de degradación, hasta producir la cavidad.

Son indicadores de madera descompuesta: caries avanzadas, hongos y sus cuerpos fructíferos, cavidades u oquedades, agujeros, grietas abiertas o protuberancias en la madera, exudación de fluidos desde la corteza. Las heridas muy próximas pueden leerse como un indicio de la existencia de descomposición generalizada. Las caries pueden aparecer en las ramas, tallos y raíces.

El árbol por lo general se pudre de adentro hacia fuera y acaba formando una cavidad, aun cuando desde el exterior aparece saludable. La evaluación de la seguridad de un árbol que está afectado por la pudrición siempre debe estar a cargo de expertos en arboricultura. Existen diferentes técnicas exploratorias como tomografías o resistografías para reconocer daños internos que no se pueden observar a vista general de árbol.

Un árbol puede tener alguna cavidad interna o externa, una herida abierta, y aun así ser estructuralmente fuerte, siempre que la porción de madera sea lo suficientemente gruesa para garantizar la integridad estructural del ejemplar.

Se debe intervenir cuando: la pudrición avanzada va asociada con grietas, uniones de ramas débiles y otros defectos; si la rama tuviese suficiente envergadura como para causar heridas; si el espesor de madera sana (pared remanente) en heridas internas o "carcaza cerrada" es inferior a una parte, por cada seis partes del diámetro, en cualquier punto del tallo. En heridas abiertas se requieren dos partes de madera sana por cada seis partes del diámetro en cualquier punto del tallo, cuando la abertura es menor al 30% de la circunferencia del tronco.



Arriba: cavidad con cuerpos fructíferos.

Abajo: madera en descomposición



Ficha 3

Unión débil

Una unión débil existe cuando dos o más ramas del mismo tamaño, normalmente verticales, crecen muy juntas unas de otras, provocando que la corteza se desarrolle entre las ramas dentro de la unión. También se denomina "corteza incluida".

Esta corteza interna no tiene la fuerza estructural de la madera y la unión es mucho más débil. La corteza adicional también puede actuar como una cuña y forzar a romper la unión entre las ramas. Los árboles con tendencia a formar ramas verticales como el olmo y el arce producen por lo general uniones de ramas débiles.

En ocasiones, árboles que han sufrido algún tipo de stress ambiental o lesiones, o han sido mochados, producen ramas "epicórmicas". Estas crecen unidas débilmente al tronco principal, a veces con excesiva rapidez y se vuelven muy pesadas, por lo cual en algún momento pierden su conexión con el tronco y caen por no poder soportar su propio peso.

Debe actuarse inmediatamente si: existe una unión débil de rama en el mismo tallo, si una unión débil de rama está agrietada, si una unión débil de rama está asociada con una grieta, una cavidad u otro defecto.

En la actualidad, a partir de las investigaciones de Slater (2018), algunas de estas situaciones consideradas fallas graves, son puestas en discusión.



Arriba: unión débil.

Abajo: quiebre de rama codominante





Ficha 4

Problemas en raíces

Los árboles que han sufrido lesiones en raíces presentan daños mecánicos o pudriciones que comprometen su estabilidad y vigor. Los principales efectos nocivos sobre raíces se producen por: estrés ambiental, plagas, enfermedades o por acción antrópica: anillado, corte excesivo, excavación, zanjeo, compactación, cambios de nivel, pavimentación, tránsito de maquinaria o vehículos, contaminantes

En ocasiones un anclaje inadecuado puede provocar el derribo del árbol durante fuertes tormentas de viento o inesperadamente en verano cuando se ven cargados con el peso de las hojas.

Los principales defectos en raíces son: sistemas asimétricos poco profundos y escasamente extendidos debido al confinamiento en suelos superficiales y compactados; raíces estranguladoras, producto de ejemplares con deficiente gestión en vivero o exceso de tiempo en el contenedor; por una plantación deficiente sin respetar el cuello del fuste. Este tipo de raíces comprimen y matan el cambium en la zona basal y los árboles se rompen en este punto. Los árboles se van deteriorando, externamente los síntomas son sutiles y se expresan en un crecimiento atrofiado, temprana caída de hojas, y vulnerabilidad a problemas secundarios. Si el anillado supera el 40% de la circunferencia del tronco, es de sumo riesgo. Puede haber una predisposición genética de la especie a la presencia de raíces estranguladoras.

Una expresión frecuente en arboricultores es "el árbol habla por sus signos". Como la mayoría de las raíces defectuosas son subterráneas y no están a la vista, deben atenderse los síntomas que aparecen en el exterior como indicadores de problemas.



Diferentes daños en raíces





Ficha 5

Grietas

Las grietas son escisiones profundas a través de la corteza que llegan a la madera. Se forman cuando la carga excede la capacidad de la madera para soportarla. La gran mayoría de las grietas son causadas por compartimentación inadecuada de las heridas, por podas equivocadas con cortes al ras sin respetar la arruga de corteza. Una grieta de dimensión considerable es una manifestación de peligro porque indica que el árbol ha perdido la integridad y puede quebrarse. Las grietas pueden ocurrir en las ramas, en tallos o raíces y su gravedad ser de diferente magnitud; pueden ser verticales u horizontales, según la manera de afectar la madera. Las grietas verticales siguen el sentido de las fibras a lo largo del tronco.

Pueden ser de diferente tipo: grietas por esfuerzo cortante, que separan al árbol en dos partes a lo largo de las fibras. A medida que el árbol se inclina o mueve con el viento, se profundiza la grieta. Finalmente, la ampliación de la grieta hace que las dos mitades de la madera se abran. Siempre tiene un riesgo de fallo alto y aparecen con frecuencia en ejemplares con codominancia y corteza incluida. Otras grietas verticales son las enrolladas, donde los márgenes de las grietas se tuercen hacia dentro del árbol, lo que se conoce como "cuerno de carnero". Este tipo de grieta puede aparecer abierta o cerrada y se forma cuando una herida no se cierra correctamente. La corteza y la madera que forman los márgenes de la herida pueden tocarse, pero no sellar sobre la herida, sino enrollarse generando una cavidad interna.

Las grietas labiadas, se presentan como una costilla de madera abultada en el tronco; generalmente ocurren cuando el árbol logra cerrar una herida, sus márgenes se encuentran y fusionan, pero por condiciones ambientales extremas, vuelve a abrirse. Constituyen un alto riesgo de falla.

Las grietas horizontales son perpendiculares al flujo de fuerzas, al eje del tronco, y son una señal de una falla inminente de los árboles.

La presencia de grietas múltiples y el deterioro consecuente indican un árbol muy defectuoso con grave riesgo; su fortaleza mecánica está en peligro. Se debe actuar inmediatamente cuando: una grieta se extiende profunda o totalmente dentro del tallo, si hay dos o más grietas en la misma área general del tallo, si una grieta está en contacto con otro defecto y acelera el riesgo.



*Arriba: fuste con grieta longitudinal.
Abajo: grieta "cuerno de carnero".*



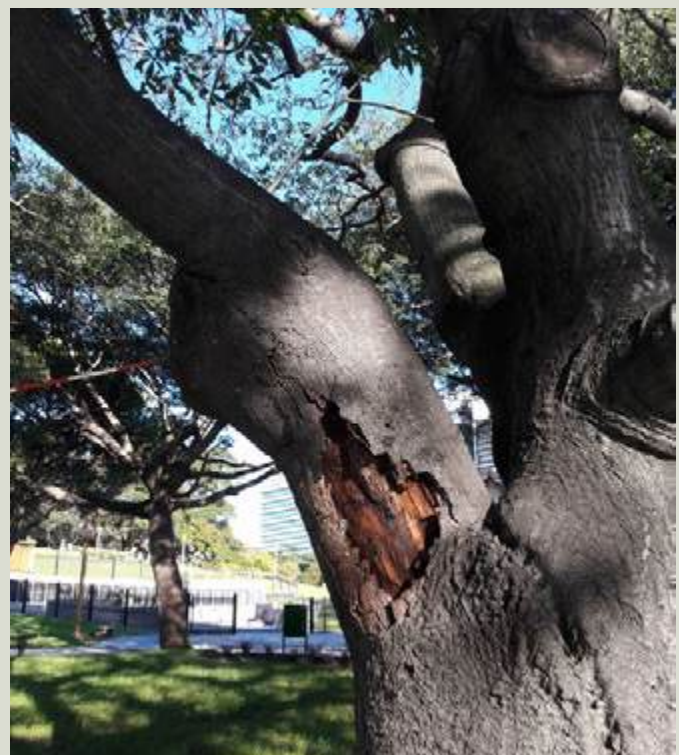
Ficha 6

Cancros

Es una zona donde la corteza y/o el cambium están muertos. Puede aparecer en tronco, ramas o raíces. Como el árbol añade un nuevo anillo anual de madera cada año, el área donde existe el cancro no será capaz de hacerlo. La presencia de un cancro de grandes dimensiones o la suma de varios menores muy próximos, aumenta la posibilidad de que se rompa el tallo cercano a la falla, dado que no existe suficiente madera para soportar mecánicamente al ejemplar.

El cancro puede ser causado por hongos, insectos, relámpagos, o daños mecánicos, tales como heridas causadas por vehículos, vandalismo, podadoras de césped o bordeadoras. Muchos cancos albergan, debajo de ellos, hongos descomponedores de la madera. Independientemente de su origen, la presencia de un cancro puede conducir al fracaso de árboles si tiene afectado un 40% o más de la circunferencia del árbol. Si también está presente una carie, la combinación de la decadencia y la úlcera o cancro puede debilitar el árbol con gran rapidez.

Se debe intervenir inmediatamente cuando un cancro o múltiples cancos afectan a más del 40% de la circunferencia del árbol, un cancro está físicamente conectado a una grieta, a una unión débil de rama, a una cavidad o a otro defecto.



Arriba: cancro en fuste.

Abajo: cancro en rama





Ficha 7

Arquitectura débil

A través del crecimiento el árbol se va estructurando. Una arquitectura débil indica fragilidad o desequilibrio estructural.

Los árboles inclinados son el ejemplo más común de una arquitectura pobre y esto, en el ámbito urbano, se da como consecuencia de las intervenciones del hombre a través de la poda o por la competencia por la luz y los recursos, el vandalismo o las condiciones climáticas adversas. El árbol modifica su forma final pero su compleja forma tridimensional se rige por un programa específico de crecimiento controlado por los genes.

Un árbol inclinado con un defecto grave en la parte inferior del tronco o en el cuello de la raíz es muy probable que falle porque tiene un desequilibrio estructural y una debilidad asociada en el tronco y las raíces. La presencia de canchales o cavidades basales, defectos de raíz o en la base del tronco, incrementa el riesgo en estos ejemplares.

Un tipo particular de arquitectura pobre es el llamado "árbol arpa". Es aquel ejemplar donde una gran rama horizontal soporta varias ramas menores verticales. Es común que presente con el tiempo grietas en la unión de la rama horizontal con el tronco debido al peso y al movimiento.

En la evaluación de un ejemplar con tronco inclinado, la presencia de síntomas de tensión aparece como grietas o arrugas en la parte interior de un árbol inclinado, producto de fibras de madera que se rompen. Por lo contrario, en la parte exterior del tronco inclinado, aparecen protuberancias en la corteza.

La intervención debe tener lugar cuando: un árbol se inclina excesivamente, si hay una rama que sobresale del resto de la copa, haciendo que el peso del ejemplar esté descompensado. Son los casos de ramas epicórmicas que han desarrollado en exceso y "un árbol crece sobre otro árbol".



Ejemplos de fallas que deforman la arquitectura





Ficha 8

Defectos múltiples

En muchas ocasiones más de un defecto puede estar presente en el ejemplar, su ubicación y dispersión deben leerse para comprender el estado del ejemplar.



Ejemplos de múltiples defectos: cavidades, raíces expuestas, canchros, fisuras, protuberancias, brotes epicórmicos.



Programa para la evaluación de riesgo del arbolado

El mantenimiento de cada uno de los árboles beneficia al bosque urbano y, transitivamente, a las poblaciones urbanas. Sin los cuidados pertinentes sólo se ocasionan costos indirectos y perjuicios, que incluyen desde la caída de árboles, una mayor incidencia de plagas, interferencias ocasionadas por ramas y raíces, entre tantos otros problemas. Para evitar conflictos con otra infraestructura urbana, por lo tanto, los árboles suelen requerir cierto nivel de actuación. A su vez, un mantenimiento proactivo (es decir, sistemático) también debe conducir a un manejo más eficiente de los árboles que el logrado cuando el mantenimiento es reactivo (es decir, crítico).

El gestor del bosque urbano tiene la tarea de aplicar aquel nivel de mantenimiento que optimice los beneficios netos de las poblaciones de árboles. La asignación de recursos para el mantenimiento (*i.e.* tiempo, dinero o trabajo) por debajo del nivel óptimo conlleva la desventaja de árboles potencialmente menos saludables, lo que reduce el período de vida o la vida útil de los árboles. La gestión debe conducir, entonces, un plan de inspecciones regulares y el consecuente trabajo de planificación que de estas tareas se desprende.

La evaluación de árboles debe incluir la **inspección** minuciosa de la zona de las raíces, cuello, tallo principal, ramas y ramificaciones, con el objetivo de establecer la severidad de los defectos y recomendar medidas correctivas antes que se produzca el incidente. Para esto se debe recorrer el ejemplar en toda su circunferencia y observar todo su desarrollo en altura por lo que en algunos casos es recomendable usar binoculares para visualizar las ramas más altas. Un error muy común durante las inspecciones es considerar el vigor de la copa como síntoma de buen estado y confundirla con la solidez de la estructura. El hecho de que la corona esté verde no es necesariamente señal de seguridad, ya que algunos defectos no tienen signos externos. Cuando el caso lo requiera se agregará a la inspección visual del árbol otras técnicas exploratorias (tomografías, resistografías, mazo, etc.), evaluaciones fitosanitarias que aporten diagnósticos detallados, estudios de suelo, e inclusive se solicitarán especificaciones de obras de infraestructura en cercanía recientes.

A fin de establecer una metodología de trabajo que permita planificar la prioridad de acciones se establecen dos tablas de indicadores. Una permite evaluar el estado del árbol y la estimación de la probabilidad de fallas, mientras la otra analiza las zonas de usos (es decir, los lugares con objetivos potenciales). La intersección de ambos datos arroja criterios para la prioridad de las intervenciones y genera planes de trabajo que concentren el esfuerzo de presupuestos públicos en tomas de decisión rápida.

La medida de la concentración o dispersión de las intervenciones es fundamental para la administración de los recursos disponibles. Una gestión estratégica debe tender a intervenir en forma eficiente, es decir trabajar sobre un cronograma de tareas programadas. Esto permite asignar distintos plazos para las inspecciones, organizar las tareas e identificar rápidamente situaciones de emergencia que puedan derivar del entrecruzamiento de datos relevados o de eventualidades como tormentas o accidentes. La identificación de los árboles de riesgo puede ayudar a la comunidad en la cuantificación del nivel de riesgo que plantean para la seguridad pública y en la prioridad para la implementación de acciones correctivas.





Prioridad de las intervenciones (cruce de datos entre defectos y zonas uso)

Cuantificar los datos de Estimación de riesgo (ER, 1 a 4) o Probabilidad de falla; Probabilidad de impacto sobre el objetivo o Zona de uso (ZU, 1 a 3) permite un sistema sencillo para asignar prioridades (P) de acción (Figuras 5.1 y 5.4). Existen diferentes modelos para el entrecruzamiento de estos datos (ver ejemplo en Figura 5.3), más o menos complejos, por lo que es aconsejable ajustar la evaluación a los requerimientos de cada gestión.

Bajo	Algunos defectos menores presentes: Muerte secundaria / muerte regresiva de la corona - defectos menores o heridas.
Moderado	A causa de varios defectos presenta decaimiento; cavidad del tallo dentro de los límites seguros de la pared remanente (grosor mayor a 2,5 cm de madera sana por cada 15 cm de diámetro del tallo); grietas que afecten al 30-40% del tronco; rama principal o tallo codominante con corteza incluida; raíces anilladas un 40% más que la circunferencia del árbol; 40% de las raíces dañadas dentro del CRR.
Alto	Defectos múltiples o significativos presentes; decaimiento o cavidad del sistema que exceden los límites de seguridad de la pared remanente: grosor mayor a 2,5 cm de madera seca por cada 15 cm de diámetro del tallo; grietas, particularmente aquellas en contacto con el suelo o asociadas con otros defectos; defectos que afectan en más de un 40% la circunferencia del árbol; más de 40% de las raíces dañadas dentro del CRR.
Muy Alto	Defectos múltiples y significativos presentes; obstrucción visual de señales de tránsito, obstrucción física del tráfico peatonal o vehicular; decaimiento o cavidad que excede los límites de seguridad; grietas severas, cuando un tallo o rama se divide por la mitad; defectos que afectan en más del 40% la circunferencia del árbol o CRR y decaimiento extenso; ramas muertas: rotas o colgantes o con una grieta; árboles muertos.

Figura 5.1.

Estimación de riesgo (ER) o Probabilidad de falla bajo, moderado, alto y muy alto (ER: 1 a 4). CRR refiere al radio crítico de raíz, equivalente a 45 cm por cada 2,5 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP).

Frecuente	Moderado	Ocasional
Rutas de emergencia, hospitales, escuelas, edificios de alto tránsito público, parques y plazas de alto uso, zonas juegos de niños, paradas de autobús, centros de visitantes, refugios; vías principales e intersecciones congestionadas en áreas de alto uso; estacionamientos adyacentes a áreas de alto uso, vistas escénicas; campings.	Uso Intermedio: estacionamientos adyacentes a áreas de uso temporal; caminos secundarios (vecindarios) y senderos de parques dentro de áreas de uso moderado.	Rutas y caminos de parques de bajo uso; estacionamientos adyacentes a áreas de bajo uso; áreas naturales tales como reservas o zonas ribereñas; áreas de transición con uso público limitado; áreas Industriales.

Figura 5.2.

Probabilidad de impacto sobre el objetivo o Zona de Uso (frecuente, moderado u ocasional; ZU: 3 a 1).



V- Identificación de riesgos en el arbolado urbano

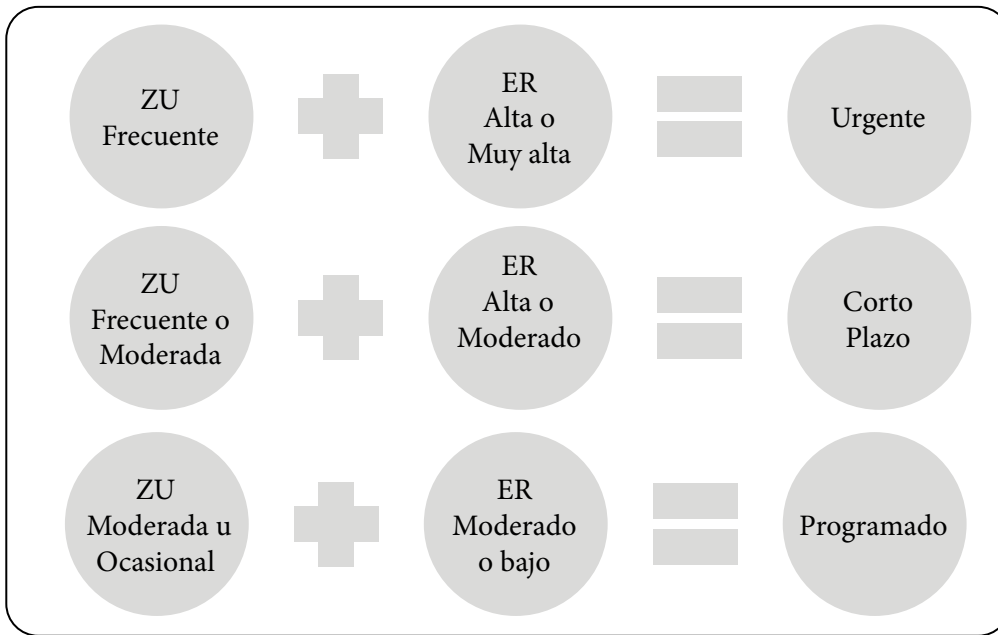


Figura 5.3.

Prioridades de acciones derivadas de la Probabilidad de impacto sobre el objetivo o Zona de Uso (ZU) y la Estimación de Riesgo (ER).

Categoría ER	Período de inspección	Método de inspección	Observaciones
Muy Alto - Alto	Anual	Individual de cada ejemplar	Considerar recorrido anual de observación de muestreo
Moderado	Cada 2 o 3 años	Individual de cada ejemplar	
Bajo	Cada 3 o 5 años	Individual de cada ejemplar	
Post tormenta	Inmediatamente después del evento	Observaciones	

Figura 5.4.

Directrices mínimas (período y método) para la programación de las inspecciones según ER (Estimación de Riesgo) y observaciones generales. Se incluye una cuarta categoría ER de post-tormenta.



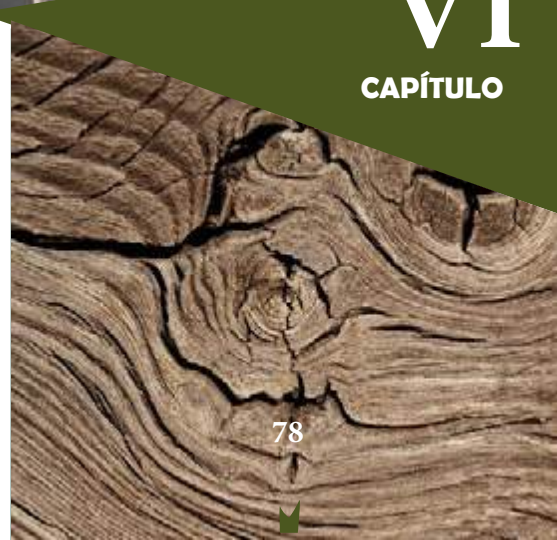
Bibliografía

- Albers, J. y Hayes, E. (1993). How to assess and correct hazard trees in recreational areas, St. Paul: Minnesota Department of Natural Resources. Recuperado de: <https://www.leg.mn.gov/docs/pre2003/other/930366.pdf>
- Calaza Martínez, P. e Iglesias Díaz, M.I. (2016). El riesgo del arbolado urbano. Contexto, concepto y evaluación. Madrid, España: Mundi Prensa.
- Calaza Martínez, P. (2019). Los orígenes de la evaluación de riesgo y su práctica profesional. Revista de la Asociación Española de Parques y Jardines Públicos. N° 92. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/340874579_Los_origenes_de_la_evaluacion_de_riesgo_y_su_practica_profesional
- Ellison, M. (2005). Quantified Tree Risk Assessment used in the management of amenity trees. *Journal of Arboriculture*, 31(2): 57-65. Recuperado de: https://unri.org/ECO%20697U%20S14/quantified_tree_risk_assessment-_ellison.pdf
- Johnson, D. (1981). Tree hazards: recognition and reduction in recreation sites, Technical report R-1, Lakewood, CO, USDA Forest Service, Forest Pest Management. 17 pp.
- Mattheck, C. y Breloer, H. (1994). The body language of trees: a handbook for failure analysis. London, UK: HMSO Publications Centre.
- Pokorny, J., O'Brien, J., Hauer, R., Johnson, G., Albers, J., Bedker, P. y Mielke, M. (2003). Urban Tree Risk Management: A Community Guide to Program Design and Implementation. USDA Forest Service Northeastern Area State and Private Forestry 1992 Folwell Ave. St. Paul, MN 55108.
- Reyes de la Barra, J., Ponce-Donoso, M., Vallejo-Barra, O., Daniluk-Mosquera, G. y Coelho-Duarte, A.P. (2018). Comparación de cuatro métodos de evaluación visual del riesgo de árboles urbanos. *Colombia Forestal*, 21(2): 161-173. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v21n2/0120-0739-cofo-21-02-00161.pdf>
- Slater, D. (2016). An argument against the axiom of uniform stress being applicable to trees. *Arboricultural Journal*, 38:143-164. doi: <https://doi.org/10.1080/03071375.2016.1202699>
- Slater, D. (2018). The association between natural braces and the development of bark-included junctions in trees. *Arboricultural Journal*, 40(1): 16-38.
- Smiley, E.T., Matheny, N. y Lilly, S. (2011). Best management practices: Tree risk assessment. (pp. 86). Champaign, IL, EE.UU.: International Society of Arboriculture.



Poda

VI CAPÍTULO





Introducción

En todo plan integral de gestión del bosque urbano, uno de los objetivos siempre presente, cualquiera sea la escala del sitio, es disponer de un arbolado biodiverso, en buen estado, protegido y seguro. Las especies leñosas de porte arbóreo plantadas en el ámbito urbano, modifican su comportamiento adaptando sus patrones naturales de crecimiento, su resistencia a condiciones ambientales y, sobre todo, sus posibilidades de falla. Este cambio de condiciones en que se desarrollan los árboles ocasiona frecuentemente acciones que persiguen adaptarlos al sitio en que se hallan, eliminando ramas, parte de la copa o fructificaciones peligrosas. Una de esas acciones es la poda, que puede definirse como “el corte parcial o total, de una rama o una raíz con un objetivo determinado” (Anaya, 2019).

La abscisión de ramas o poda natural es un proceso que involucra tejidos anatómicos y procesos fisiológicos, que ocurre debido a diferentes factores. En los bosques tupidos, la luz es insuficiente para que los árboles mantengan sus ramas. Las inferiores, más oscurecidas, mueren a ritmos variables; algunas caen y otras se mantienen muertas por algún tiempo, de acuerdo con el espacio que tienen disponible. En el ambiente urbano, la poda es el arte de cortar las ramas teniendo en cuenta los principios biológicos en que se basa el funcionamiento de los árboles, de acuerdo con diferentes objetivos que sirven para su mantenimiento sanitario y mecánico y según los requerimientos de convivencia con el sitio. No debe confundirse esta operación con los requerimientos del árbol en distintos escenarios: en la producción forestal, los cortes buscan mejorar la calidad de la madera; en la fruticultura, la poda busca manejar la cosecha o aumentar la producción de fruta. En el caso del árbol urbano, con las podas generalmente se busca corregir problemas ocasionados por árboles que fueron mal seleccionados para el sitio, que han deformado su morfología por competencia ante los cambios en la infraestructura, que entran en conflicto con diversas instalaciones, que sufren vandalismo o roturas en eventos climáticos, que no han recibido poda de formación o que han sido mal intervenidos, entre otros. Esto define que sólo se debería podar por saneamiento, ramas muertas, posibles interferencias, etc.

Una de las claves para mantener a los árboles en buenas condiciones y reducir las podas excesivas es la selección de la especie para cada tipo de posición y ambiente. Las actuaciones sobre el arbolado en un programa de mantenimiento se pueden definir como el conjunto de actividades o actuaciones técnicas y documentales cuyas finalidades son gestionar y conservar el arbolado para que cumpla sus funciones medioambientales, garantizando las acciones correctivas y preventivas (o predictivas) que eviten o minimicen fallas (fractura de ramas o caída de árboles) que puedan provocar inseguridad en el entorno urbano. Las actuaciones correctivas son aquellas que se realizan con carácter de urgencia ante un síntoma de inminente fallo. Las acciones preventivas o predictivas son todas aquellas que se realizan a fin de anticipar una falla que eventualmente pueda producirse.

Ningún árbol debe podarse sin antes establecer objetivos claramente definidos. Si no hay objetivo, la operación se convierte en desmoche o mutilación del ejemplar. Un árbol desmochado está casi inhabilitado para proporcionar los servicios ambientales para los que estaba destinado, difícilmente podrá producir aire limpio y fresco, capturar carbono, evitar la erosión del suelo, permitir la infiltración de agua, dar sombra y protección, alimento y abrigo a la fauna. Cuando no se conoce la técnica de la poda y se interviene en forma errónea, el sistema del árbol se des-



equilibra iniciándose un proceso irreversible que con el tiempo lleva a la declinación prematura y muerte del ejemplar.

El árbol es un ser vivo, autótrofo, que necesita su canopeo para producir su alimento. Cuando la poda se realiza adecuadamente, en términos de eliminación ajustada de material vivo (hojas y ramas), el árbol responde distribuyendo su nuevo crecimiento en toda la copa. Al eliminar hojas, se reduce la producción de carbohidratos que se generan en el proceso de fotosíntesis; al herir tejidos se promueve la inversión de hidratos de carbono para “compartimentar” o aislar la herida; al eliminar madera, además de la pérdida de tejido capaz de almacenar energía, se compromete la integridad estructural del árbol. Todas estas acciones sobre la parte aérea afectan, por otro lado, el funcionamiento del sistema de raíces. Esto significa que antes de hacer un corte se debe asegurar su justificación a fin de evitar fallas a consecuencia de prácticas sin objetivos claros o mal realizadas, por personal no capacitado o con herramientas inadecuadas que, además de los daños en el árbol, agregan a la gestión costos de mantenimiento excesivos.

Los árboles responden a las podas de acuerdo a su edad, fisiología, fortaleza y estacionalidad. Por esta razón, existe una época, intensidad y técnica adecuadas para podar cada especie, dependiendo de su sitio de plantación y objetivos de su desarrollo, dentro del contexto paisajístico (Rivas, 2000).

Objetivos de la poda

Toda decisión de poda sobre ejemplares arbóreos debe estar fundamentada en objetivos a lograr. Las operaciones deben reducirse al mínimo, tanto por razones económicas, como por razones biológicas. Hay una relación estrecha entre el funcionamiento de la parte aérea y el sistema radical, por lo cual cualquier acción sobre el follaje repercute en el sistema de raíces y viceversa. Por lo tanto, es necesario conocer y entender previamente la morfología y la fisiología de la planta y las interacciones que surgen con los procesos hormonales.

Por otro lado, los árboles son capaces de adaptarse a cargas mecánicas recurrentes externas, mediante cambios en su morfología y crecimiento, incrementando su estabilidad y resistencia a las cargas de viento. Las plantas responden a perturbaciones mecánicas, a estímulos bióticos o abióticos procedentes de situaciones de estrés medioambiental, a través de la alteración de su ritmo de crecimiento, morfología, anatomía o status fisiológico. Surge así el concepto de **thigmomorfogénesis**, definido como “adaptación fisiológica y morfológica de una planta a las influencias mecánicas medioambientales” (Jaffe y Forbes, 1993). Es decir, las plantas modifican su geometría y adaptan sus materiales a las perturbaciones mecánicas, a través de la elasticidad y la rigidez. Hay cambios anatómicos en los tejidos asociados con la resistencia a la fractura del tronco, una mayor lignificación del xilema y polímeros en las paredes celulares. El árbol compensa así defectos con tejido adicional. La **thigmomorfogénesis** es, entonces, una respuesta importante a considerar en algunas labores de poda, donde la eliminación de ramas o ramitas pueden comprometer la seguridad del árbol, ignorando que algunas formas que presentan los árboles están originadas por un crecimiento adaptativo derivado de perturbaciones mecánicas y sirven como indicadores del flujo de fuerzas existentes (Calaza Martínez e Iglesias Díaz, 2016). Con podas excesivas o exageradas se pierde el efecto aerodinámico de la copa.





En general, los motivos de poda están originados en razones utilitarias (la seguridad de personas y bienes), por razones sanitarias o por razones estéticas. En los árboles urbanos, los objetivos deben decidirse según el destino de la operación, de acuerdo con:

1. Reducir riesgos

Este objetivo se inicia con la detección temprana de defectos, mediante la elección de un ejemplar con buena estructura al momento de la plantación, y se mantiene durante toda la vida del árbol en el ambiente urbano a fin de controlar las fallas que puedan ocasionar daños.



Foto 6.1.
Retiro de una rama quebrada.

2. Eliminar interferencias

Persigue dirigir el crecimiento del árbol para alejarlo de un objeto (se suele requerir poda regular para mantener el espacio) ya sea tendidos aéreos, paso de peatones, tránsito vehicular, ramas de otros árboles, construcciones, luminarias, señales de tránsito.

3. Reducir la resistencia al viento

A partir de investigaciones de las últimas décadas, el concepto de poda para reducir la resistencia al viento ha cambiado, en función de la comprensión del funcionamiento del ramaje en la compensación de la circulación del aire a través de la copa y como estas adaptan su forma y crecimiento en respuestas adaptativas al medio.





Foto 6.2.
Ramas producen interferencias sobre una vivienda.



4. Mantener la sanidad

Este objetivo intenta contener o corregir defectos derivados de la mala salud de los árboles, disminuir la probabilidad de infestaciones y minimizar los riesgos por alta probabilidad de falla.

Foto 6.3.
Ramas secas en el ápice por problemas sanitarios.



5. Influir en la producción de flores y frutos

Persigue mediar en el tamaño y abundancia de flores y frutos, así como evitar la producción de frutos en aquellos casos en que los mismos generan inconvenientes. Por ejemplo: frutos que manchan, como en *Morus* (mora) y *Ligustrum* (ligustro), o frutos de tamaño exagerado, como *Maclura*.



6. Mejorar las vistas

Cuando se busca destacar los frentes de edificios públicos por su arquitectura o monumentos en espacios verdes por su valor patrimonial.

7. Mejorar la estética

Existen situaciones en las que se debe restaurar la copa de un árbol deteriorada por una mala poda (mutilación), daños producidos por obras públicas o daños derivados de un fenómeno meteorológico (tornados, huracanes, vientos fuertes, etc.).



Foto 6.4.

(a) Antes y (b) después del proceso de poda de restauración en un ejemplar añoso, con daños producidos por la obra pública.

8. Incrementar la esperanza de vida

En ejemplares monumentales, patrimoniales o históricos, la poda puede mejorar la condición general del árbol y la sustentabilidad en el tiempo.



Tipos de poda

Responde a la premisa “**qué**” podar para satisfacer los diferentes objetivos. Cada objetivo puede cumplirse con uno o más tipos de poda.

1. Poda de estructura o formativa

Consiste en la remoción de ramas vivas o troncos codominantes para lograr distanciamientos, manipular la orientación, regular el crecimiento y seleccionar la fuerza de anclaje de ramas.

En árboles jóvenes, la poda formativa consiste en la remoción total o parcial de ramas o ejes vivos a los efectos de seleccionar el tamaño, el ángulo de inserción con el tronco y el espacio entre las mismas, seleccionando un eje único y dominante en las especies de crecimiento monopodial. Se eliminan o acortan las ramas secundarias que compiten en largo con el eje principal; se eliminan o subordinan las ramas codominantes y aquellas que aparezcan cruzadas en la copa, como así también las que tengan un mal o débil anclaje. Si el eje principal estuviera dañado, se reconstituye con una nueva guía, a partir de una rama lateral vigorosa. El espaciado vertical de las ramas estructurales será aproximadamente de 30 cm, de acuerdo a la especie. Es la mejor práctica para la longevidad del árbol, además de una estrategia económica para el mantenimiento. Normalmente, este tipo de poda ocurre en los primeros 5 años después de la plantación, aunque puede tomar más tiempo. Depende de la estructura inicial, la especie y la tasa de crecimiento. Corregir la estructura cuando el árbol es joven es la mejor manera de reducir el riesgo a futuro.

Cuando se plantan árboles de buena calidad desde los viveros, con un solo líder y son gestionados apropiadamente hasta que se establezcan, las podas estructurales necesarias en árboles maduros serán mínimas. A medida que el árbol madura, la poda de **estructura** tiene como objetivos preservar a los árboles, manejando o corrigiendo defectos o condiciones que pueden conducir a fallas (Gilman *et al.*, 2014). En general se busca:

- ✓ Desarrollar o mantener un líder dominante.
- ✓ Identificar las ramas más bajas en la copa permanente.
- ✓ Prevenir el crecimiento de ramas demasiado largas por debajo de la copa permanente.
- ✓ Separar las ramas principales a lo largo del tronco dominante.
- ✓ Mantener el diámetro de las ramas a menos de la mitad del diámetro del tronco.
- ✓ Evitar el crecimiento de las ramas con corteza incluida.



Foto 6.5.

Árbol joven con buena poda de formación.



2. Poda de limpieza o sanitaria

Poda selectiva de ramas muertas, enfermas, quebradas, que presentan cavidades y/o muñones por podas mal ejecutadas anteriormente. Se realizan a fin de reducir riesgos de caída y minimizar infecciones e infestaciones. A su vez, permiten controlar ciertas plagas parásitas, epífitas o trepadoras. La premisa es quitar un mínimo de tejido vivo.



Foto 6.6.

Ramas secas que deben eliminarse.

3. Poda de aclareo o entresacado

Poda selectiva de ramas vivas para reducir la densidad de la copa. Esta acción consiste en la remoción o acortamiento de ramas de pequeño porte en el interior de la copa sin alterar su forma. En la actualidad es una práctica desaconsejada debido a las perturbaciones que provoca ante el embate de ráfagas de viento.



4. Poda de refaldado o alzada de copa

Poda selectiva de ramas vivas a fin de lograr despeje vertical. Consiste en el acortamiento o remoción con el objetivo de lograr el despeje para con edificios, vehículos o transeúntes. Se debe actuar sobre ramas de pequeño diámetro y en cada una de las operaciones la parte eliminada no deberá superar un tercio de la altura de la copa. Si el árbol es demasiado pequeño (menor a 1,80 m), para alcanzar la altura deseada se requerirá una elevación gradual durante un período de varios años. Una consideración importante en el proceso es la proporción de copa viva, que debe ser mayor al 60%. Una excesiva poda de refaldado puede generar un aletargamiento en el crecimiento y una transferencia de peso al ápice del árbol, generando una inadecuada relación entre la altura y el diámetro del tronco (coeficiente de esbeltez). Es importante recoSe observa la altura de la copa una vez realizado el progresivo refaldado puede generar un aletargamiento en el crecimiento y una transferencia de peso al ápice del árbol, generando una inadecuada relación entre la altura y el diámetro del tronco (coeficiente de esbeltez). Es importante recordar que el crecimiento en diámetro de una rama o tronco depende de la presencia de ramas laterales. La altura final de la copa está en relación con la ubicación del árbol y el ancho de su copa. En una zona peatonal, la altura libre del tronco puede estimarse en 2,20 m; en calles con circulación o estacionamiento de vehículos altos, será mayor a 4 m.



Foto 6.7.

Se observa la altura de la copa una vez realizado el progresivo refaldado.



5. Poda de reducción de copa o acortamiento

Consiste en la remoción selectiva de ramas y ejes para disminuir la altura y/o el volumen del ejemplar. El objetivo es minimizar riesgos, interferencias con cableados o edificios o mejorar el aspecto del árbol. Frecuentemente, las fallas en el árbol y los posibles riesgos asociados son el resultado de un árbol mal ubicado o que ha quedado fuera de escala en un área que no permite su crecimiento normal. En una reducción de copa se eliminará una porción de las ramas terminales, conservando en cada corte una rama lateral comúnmente llamada “tirasavia” de grosor suficiente (entre un tercio y la mitad del diámetro) para que pueda asumir su nuevo papel de eje dominante. Una mala intervención deriva en una mala geometría de la copa que puede causar inestabilidad o caída y cortes inapropiados resultan en estrés fisiológico y descomposición interna del árbol, que terminará con el debilitamiento y la muerte. Por otro lado, al reducir el largo de la rama con este tipo de corte, disminuye la masa y el movimiento de las ramas, lo que también ayuda a reducir el daño potencial que causan las tormentas.



Foto 6.8.

En el primer plano: árbol con reducción de copa mal realizada, la cual derivó en múltiples rebrotes en las ramas mutiladas.



6. Poda de restauración

Remoción selectiva de ramas, brotes o tocones de árboles que fueron descopados, dañados por tormentas o con cola de león (rama a la que se le produjo, con una mala poda, una transferencia de peso al ápice). El objetivo es mejorar la estructura dañada de un árbol, lo que puede requerir de varias podas a lo largo una serie de años. La tarea consiste en seleccionar dos o más brotes equidistantes por cada tocón, en función del diámetro del mismo, para que a través de sucesivos trabajos de poda se pueda restaurar la estructura dañada. Los brotes más vigorosos deben ser entresacados o cortados hasta brotes laterales para controlar el crecimiento en largo, o para asegurar un anclaje adecuado por el tamaño del mismo (Gilman, 2002; Anaya, 2019).



Foto 6.9.

Efectos de una poda de restauración programada a partir del descope del árbol luego de una tormenta.



Técnicas de poda

Método Hamburgo para la poda de los árboles

Cada corte de poda provoca una herida, lo que lleva, al menos en la madera expuesta en la superficie, a su decoloración y descomposición. La extensión del defecto resultante depende de la especie del árbol, la época y el diámetro de la herida, su tratamiento y, por último, pero no menos importante, de la unión de la rama con el tronco.

Las primeras investigaciones detalladas sobre la poda de árboles caducifolios fueron desarrolladas por Shigo y su equipo durante la década del '60. En Alemania, durante una conferencia de arboricultura en 1984, la presentación de aquellas ideas causó confusión y debate, pues proponían un sistema alternativo de corte, al exterior del cuello de la rama. Hasta ese momento, en Alemania, el corte al ras había sido considerado como el método correcto para suprimir una rama hasta el tronco. Por otra parte, una gran cantidad de ramas no tienen collar o tienen corteza incluida en la horcadura (Dujesiefken y Stobbe, 2002).

Durante más de una década, Dujesiefken y Stobbe (2002) realizaron una serie de investigaciones acerca de las reacciones a las heridas después de la poda en ramas con diferentes inserciones en el tronco. Tomaron un universo de 115 árboles de calles y parques que compartían características similares de edad, vigor y daños, registraron el diámetro de rama, el tamaño de la herida y la localización del corte y realizaron 750 heridas diferentes para comparar las consecuencias. Los resultados mostraron que, en los cortes rectos y al ras, las heridas son más grandes y que, si bien el desarrollo del tejido de callo en el borde de la herida es más rápido, las heridas tardan mucho más en cerrar o no llegan nunca a resolverse. Por otro lado, en los cortes que respetaron el exterior del collar, se produjeron heridas más pequeñas que cerraron rápidamente. En los cortes rectos, el área decolorada de madera y la necrosis cambial en el borde de la herida eran mayores que en los cortes por encima del collar de la rama, confirmando las recomendaciones iniciales de Shigo (Calaza Martínez e Iglesias Díaz, 2016).

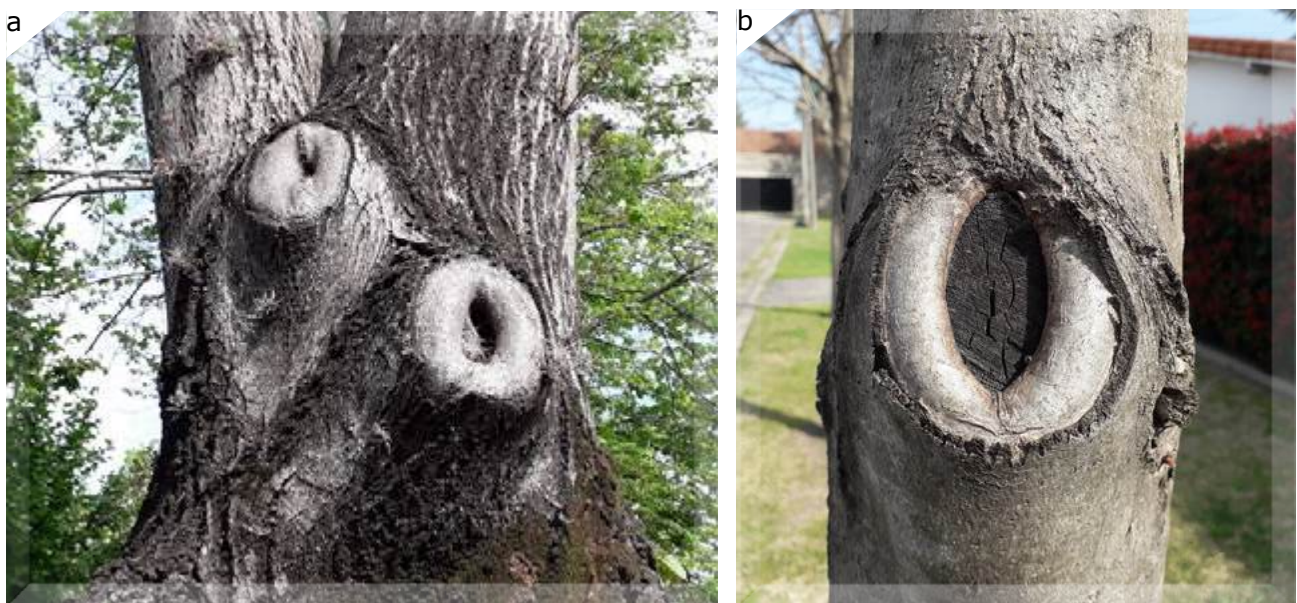


Foto 6.10.

(a) Diferentes cierres de heridas a consecuencia del diámetro y (b) forma del corte.



De acuerdo a la unión de la rama con el tronco, el corte debe estar afuera del tejido del tronco o tallo, de manera que la arruga de la corteza no sea dañada y permanezca en el tronco; los cortes a ras tienen que ser evitados (Dujesiefken y Stobbe, 2002). Como resultado de aquella investigación, el “Método Hamburgo para la Poda de los Árboles” fue introducido por primera vez como “Hamburger Schnitt Methode” en una conferencia de arboricultura en Heidelberg, Alemania, en mayo de 1989. Desde 1992 el sistema ha sido integrado en las reglas y regulaciones alemanas para los métodos de cuidado de árboles. Las nuevas recomendaciones para las ramas sin collar son también parte de la Guía de Poda Europea (1999).

Tipos de corte de poda

Existen tres tipos de cortes de poda: reducción, remoción y desmoche. Los cortes de **reducción** disminuyen el tamaño de una rama quitando la porción terminal hasta el encuentro con una rama lateral o tirasavia (Figura 6.1). Este tirasavia debe tener entre un tercio y la mitad del tamaño de la rama que se quita, ya que asumirá la importante tarea de soporte y supervivencia. La poda de reducción se usa para mejorar la estructura de las ramas, dirigir el crecimiento, quitar defectos de ramas o disminuir el tamaño de la planta. No debe eliminarse más del 20% del follaje durante una sola poda en los árboles más grandes y adultos.

Los cortes de **remoción** eliminan una rama o un tallo principal justo a la altura del cuello de la rama o del reborde de la corteza si no se puede identificar su cuello. En este tipo de corte debe haber una relación proporcional entre la parte que se quita y aquella que queda, la cual necesitará tener un diámetro más grande. Si la relación es inversa y la rama removida es mayor, la parte que queda no podrá soportar el corte provocándose su debilitamiento y marchitamiento (Purcell, 2015).

Los cortes de **desmoche** implican la reducción drástica de la copa de un árbol, removiendo total o parcialmente rebrotes jóvenes, ramas primarias o secundarias, hasta un brote o nudo sin considerar las ramas laterales cercanas. Estos cortes producen muñones con brotaciones excesivas, de uniones débiles que empeoran la condición del árbol. **Esta práctica es totalmente inaceptable en árboles sanos.** Sólo puede ser considerada en casos extremos en que el descope tenga como objetivo la recuperación del ejemplar luego de algún evento climático o vandalismo.

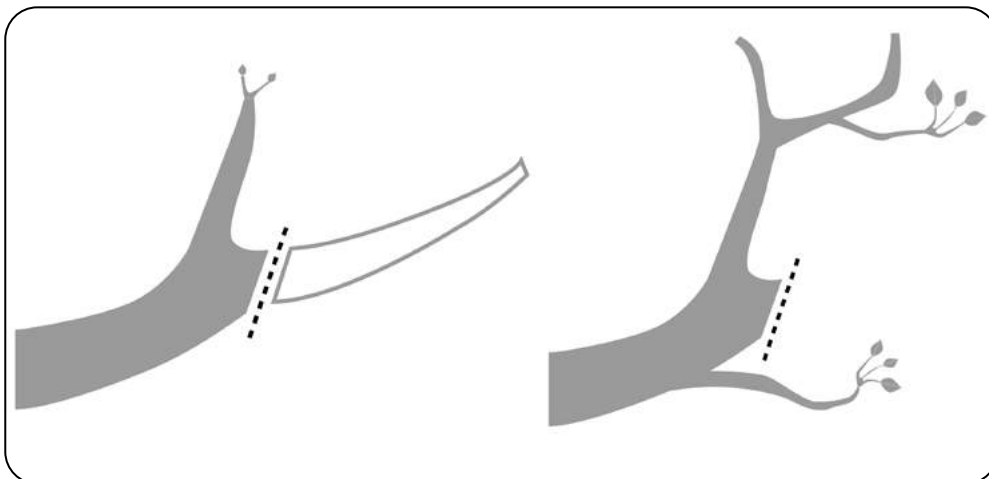


Figura 6.1.
Corte de reducción
a un tirasavia.



Foto 6.11.
Consecuencias del desmoche: múltiples brotaciones con unión débil.

Corte de ramas laterales con fuerte dominancia apical

El crecimiento de una rama y el tronco no suceden simultáneamente. De acuerdo a la especie y la época del año, primero comienza el crecimiento del tejido de la rama que avanza hacia la base del tronco y luego se produce el crecimiento del tejido del tronco que avanza hacia la rama. Año tras año, desde que la rama es joven y fina, los tejidos se solapan, generándose un extraordinario anclaje de la rama en el tronco. De esta superposición de tejidos surge una deformación en la unión tronco-rama o axila de la rama que se observa exteriormente como un pliegue sobre la corteza y por encima de la rama (**arruga de corteza**) y por debajo (**cuello de la rama**). En el interior de la zona de unión de la rama con el tronco, el desarrollo del cambium se perturba por la falta de espacio, y se forma en la porción del tronco una zona de defensa con patrones celulares diferentes en cuanto a constitución y contenido. Estas ramas principales conforman la copa temporal del árbol.

La combinación del cuello de la rama, el reborde de corteza de la rama y la superposición entre la rama y tallo son los componentes fisiológicos que forman lo que a veces se llama **zona de defensa** de la rama. Esta zona contiene compuestos químicos especializados que ayudan a resistir la transmisión de enfermedades y facilitan el cierre de las heridas. Dañarlas o extraerlas con la poda significa eliminar la defensa que tiene el árbol, exponiendo tejido de tronco al contacto con los microorganismos del aire (Purcell, 2015). Por ello, el primer paso antes de cualquier corte de ramas requiere identificar estos componentes claves para asegurar la poda de la rama sin intervenir el tejido del tronco.

Para facilitar la poda se recurre al trazado de líneas de corte que delimitan las zonas a intervenir. Como se indica en la Figura 6.2, la línea que une el exterior de la arruga de corteza con el inicio del cuello de la rama corresponde a la línea del corte correcto. De esta forma los riesgos de avance de una podredumbre hacia el tejido del tronco se limitan.



Foto 6.12.
Arruga de corteza visible.

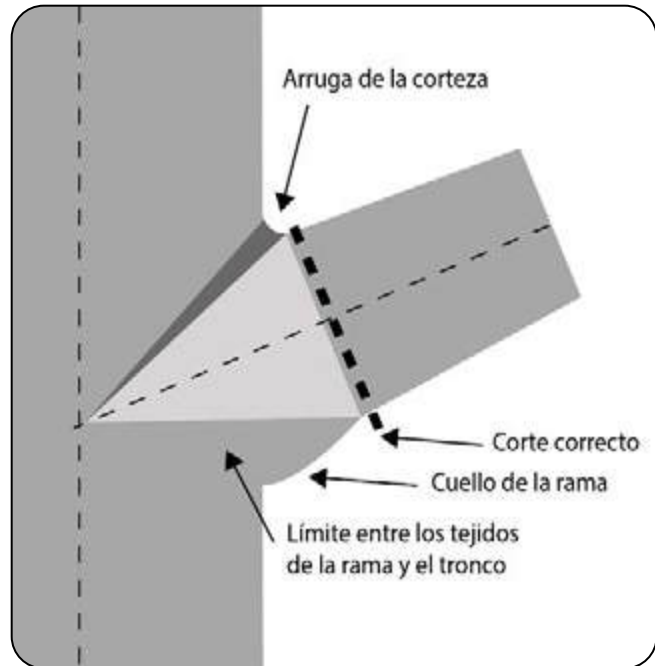


Figura 6.2.
Zonas de la rama para realizar el corte correcto.



Foto 6.13.
El corte de la rama central no respetó la zona de defensa, en los cortes de las ramas laterales se observa el cierre completo de la herida.



Cuando la rama es larga y pesada, se debe recurrir a la regla de los tres cortes o **método ternario** (Figura 6.3). El primer corte, o corte de dirección (corte 1), comienza en la base de la rama a unos 15 a 30 cm de la unión de la rama. El segundo corte, o de seguridad para eliminar peso, se hace encima o justo al lado del corte de reducción: se procede con la sierra desde la parte superior de la rama hacia abajo (corte 2). Este corte hace que la parte más pesada de la rama se separe sin afectar la zona de defensa. Luego se procede al tercer corte o final, el cual se realiza siguiendo la línea delimitada entre la arruga y el cuello de la rama (corte 3). Este tipo de corte de reducción impide que se rasgue la corteza o que por cortes inadecuados se produzcan rupturas, tocones o cortes al ras que crean problemas perjudiciales para la recuperación del árbol.



Figura 6.3.
Cortes para retirar la rama sin desgarros de corteza según el método ternario.

El sistema de corte correcto funciona para ramas laterales pero dentro de ciertos límites, dependiendo de la eficacia del sistema de defensa de la especie o su capacidad de compartimentar. Un corte correcto pero de un diámetro excesivo, si bien en el tiempo puede cerrar, no garantiza que no haya pudrición. Otros factores a tener en cuenta en cuanto a la velocidad de cierre de la herida son la edad, la época del año y la condición energética del árbol (Anaya, 2019).

Poda reductiva, de acortamiento o subordinación

En este tipo de corte se procede a la reducción dejando una rama lateral de menor diámetro o tirasavia. La línea de corte será la bisectriz del ángulo formado por la arruga de la corteza y la línea imaginaria perpendicular al eje de la rama a eliminar.

Foto 6.14.
(a) Cierre correcto de la herida. (b) Falla provocada por corte inadecuado, ignorando cuello y arruga de corteza.





Horquillas

Cuando un eje da origen a otros ejes con diámetro similar y ángulo cerrado, estamos en presencia de horquillas (Figura 6.4). Al ser del mismo diámetro no hay solapamiento de tejidos y, por lo tanto, no hay cuello y arruga, por ende no se origina zona de defensa. El corte adecuado se deberá hacer según la Figura 6.4.

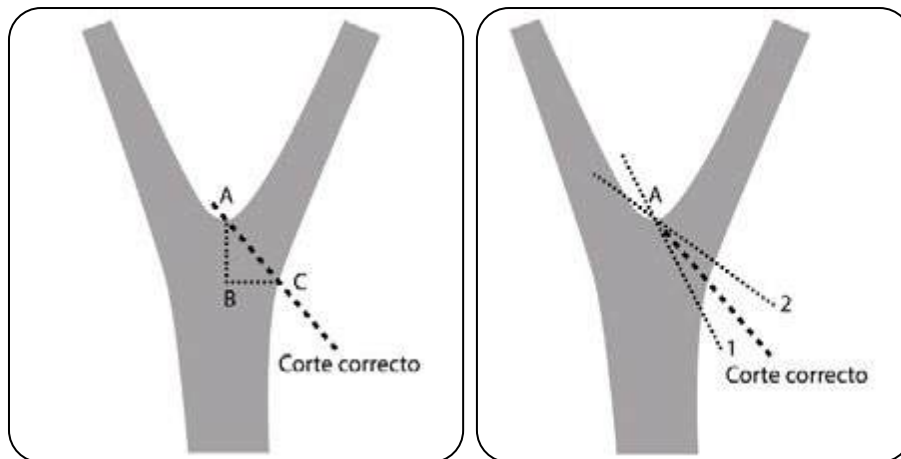


Figura 6.4.

Zona para el corte correcto en una horquilla con y sin arruga.

Las teorías sobre el tratamiento de horquillas, relacionadas con las uniones con corteza incluida propuestas por Mattheck y Breloer (1994), han sido puestas en discusión en la última década por Duncan Slater, quien a partir de centenares de observaciones analizó la madera formada en las uniones llamadas inestables o uniones con corteza incluida. En sus investigaciones se preguntó ¿qué causa que un árbol forme una unión de ramas con corteza incluida? Una de sus respuestas es que cuando una de las dos ramas que forman la unión de la rama crece en diámetro a un ritmo mayor que la otra, la base de la rama de crecimiento más lento se ocluye en la rama de crecimiento más rápido, formando eventualmente un nudo. Del análisis microscópico de esas zonas de uniones, se encuentra que la madera formada debajo de la cresta de la corteza de la rama tiene propiedades mecánicas muy diferentes al xilema en los tallos y ramas vecinas. Por otro lado, el desarrollo de las uniones de las ramas en forma de copa y la frecuencia con la que se encuentran en los árboles estudiados, lo llevaron a afirmar que la mayoría de las inclusiones de corteza no se separan y se abren por su propio crecimiento, y que la mayoría de las uniones en copa no fallan durante la vida útil del árbol. Sostiene, además, que el abultamiento alrededor de las uniones de las ramas significa un crecimiento compensatorio, no un signo de falla inminente (Slater, 2016; 2018). De su investigación deduce que las uniones que llama BI (unión de ramas con corteza incluida), con grandes protuberancias, no deberían ser necesariamente una señal de que se requieran trabajos importantes de reparación del árbol, como han sugerido autores anteriores, y que son necesarios más estudios científicos para evitar el derribo de árboles sin base segura.

Poda de una codominancia

Una codominancia es un eje similar al tronco con una suave transición que no forma zona de defensa en la unión. La presencia de codominancias está asociada a riesgo de rotura y a competencia excesiva con el brote dominante. Por tal motivo, cuando el diámetro se ajuste a los criterios



de proporción entre sistemas puede manejarse con una poda de subordinación (acortamiento a rama lateral). De esta forma se ralentiza su crecimiento generando menor carga y se minimiza el brazo de palanca.



Foto 6.15.
*(a) Ejemplar con ejes codominantes.
 (b) Ejemplar con falla por fractura debido a codominancia previa.*

Corte de ramas muertas

En presencia de una rama muerta, el corte debe realizarse evitando dañar la madera nueva: se debe cortar en el límite del callo sin dañarlo.



Foto 6.16.
Ramas secas o tocones.



Sellado o pincelado de los cortes

Existe un concepto erróneo que propone la cobertura de las heridas con diferentes productos: desde barro a productos formulados como pinturas o pastas a base de fungicidas, insecticidas y hormonas hasta derivados de hidrocarburos de acción fitotóxica. Esta es una práctica desaconsejada contra las podredumbres provocadas por microorganismos ya que, muy por el contrario, puede aumentar el período de susceptibilidad. Cuando estas coberturas se rajan por la exposición climática, la humedad penetra fácilmente y se generan condiciones favorables para los patógenos. Si estos productos son aplicados en heridas que están infectadas, la cobertura protege a los microorganismos y los procesos se desarrollan con mayor rapidez (Gilman y Black, 2019).

Épocas de poda: cuándo podar

El momento oportuno depende de la salud del árbol, las condiciones ambientales, la estación o época del año, los efectos y objetivos buscados. Se puede quitar madera muerta en cualquier cantidad y época del año ya que esta operación no tiene un impacto en los recursos del árbol.

El momento óptimo para podar madera verde o ramas vivas es al final de la primavera y comienzo del verano. Las reservas en el árbol siguen una curva anual: a finales del invierno las raicillas comienzan a absorber agua y nutrientes, las yemas comienzan a hincharse y los brotes a expandirse. Hasta ese momento las reservas son mínimas (se utilizaron para la brotación) y, a partir de la expansión foliar, toda la energía que captan las hojas mediante el proceso de la fotosíntesis es utilizada para incrementar las reservas (Purcell, 2015). Por lo tanto, el momento para una recuperación más rápida y eficaz de las heridas de la poda es cuando las células son más activas durante la estación de crecimiento. Los sistemas de defensa, que producen las capas de límite, el tejido calloso, se desarrollan y sellan con mayor velocidad en los cortes que se han hecho poco antes o al inicio de la estación de crecimiento activo (Anaya, 2019).

Por el contrario, los peores momentos para realizar la poda de tejido vivo son aquellos que coinciden con (i) la época de formación de las hojas, debido a que las reservas son reducidas o (ii) con la época en que las hojas comienzan a amarillear, ya que las sustancias generadas pierden la posibilidad de trasladarse a los sitios de almacenamiento o reserva. Estos procesos (i y ii) tienen lugar en momentos calendarios diferentes de acuerdo al tipo de especie y su fenología. Por esta sencilla razón, no hay un único momento recomendado de poda, los mitos sobre las podas invernales pertenecen a conceptos perimidos e inconvenientes, producto de prácticas arraigadas que la arboricultura moderna desestima. Se debe respetar lo que se define como **períodos de carencia: senescencia de hojas y brotación**.

Otro determinante del momento de poda es el estado del árbol producto de las condiciones ambientales. Se debe evitar la poda cuando el ejemplar tiene pocas reservas debido a la exposición a condiciones de estrés como pueden ser una gran sequía, inundación, defoliación por granizo o un intenso ataque de alguna plaga o enfermedad. En estas situaciones se debe dar tiempo al árbol para que recupere la energía perdida, permitiendo sólo realizar una poda de limpieza para eliminar las ramas secas o muertas.



Las podas de primavera avanzada-verano, cuando las hojas se encuentran totalmente desarrolladas, normalmente llamadas “poda en verde” tienen como ventajas que:

- Al producirse una herida producto de la poda queda al descubierto tejido de albura el cual se necrosa. A su vez, se elaboran sustancias inhibitoras del crecimiento de microorganismos: taninos, ligninas, suberina, sílice y resinas en coníferas. La velocidad de suberización y lignificación del tejido herido depende de la temperatura, reduciéndose cuando es baja ya que el proceso requiere de un cambium activo.
- Con la poda en verde el proceso de compartimentación (*CODIT*) se inicia inmediatamente después de la herida, mientras que en un traumatismo de poda realizado en invierno, este proceso se desencadena luego de semanas o meses. Esto último implica que la herida quede expuesta por una cantidad de tiempo comparativamente mayor. Por otro lado, también hay que considerar que, a medida que aumenta la temperatura, hay una mayor actividad de patógenos en el ambiente con potencial de infección, con lo cual una poda durante la latencia invernal en árboles caducos puede minimizar el riesgo de problemas de plagas o enfermedades que ingresen por las heridas. Para esto hay que tener en cuenta los ciclos biológicos de las plagas y los momentos de esporulación de los hongos xilófagos (Gilman y Bisson, 2007).
- La visualización de las ramas secas, enfermas y quebradas se hace más evidente cuando el árbol está con follaje activo.
- La poda en verde produce una reducida cantidad de brotes epicórmicos (brotes que se generan a partir de yemas adventicias: tronco, ramas primarias, zona de cortes) al estar previamente direccionadas las fuentes a los destinos ya establecidos. Esto tiene como ventaja que no se altera la arquitectura del árbol y se evita tener que volver a podar para eliminar los nuevos y excesivos brotes.
- Los árboles ornamentales con floración llamativa, que florecen en yemas formadas el año anterior, si requiriesen poda, habría que aplicarles una poda en verde luego de haber desarrollado su floración, preservando la floración del siguiente año. Es el caso, por ejemplo, del lapacho (*Handroanthus* spp.), el jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*), el árbol de Judea (*Cercis* spp.) y la magnolia (*Magnolia grandiflora*).
- Desde el punto de vista financiero la poda de árboles implica un costo muy importante en las gestiones públicas. Ampliando el calendario de poda, se pueden repartir los costos durante todo el año.

Intensidad de poda: cuánto podar

La cantidad de tejido vivo que se puede quitar depende de la especie, la edad, del tamaño, y la condición fisiológica del árbol, así como de los objetivos de la poda. Con respecto al genotipo, hay especies como *Betula*, *Fagus*, *Gleditsia*, *Juglans*, *Styphnolobium*, *Laburnum*, *Pyrus*, *Prunus*, que tienen baja capacidad de compartimentar, es decir, escasa capacidad para aislar la descomposición. En estos casos, se recomienda realizar cortes de menor calibre. En cambio, otras especies, como *Quercus*, *Tilia*, *Platanus*, *Populus*, *Acer*, *Salix*, *Fraxinus*, *Sorbus*, *Aesculus*, pueden tolerar una poda intensa, debido a





que presentan suficientes yemas latentes en madera, y a su mayor capacidad para compartimentar la descomposición (Morris, 2013).

Con respecto a la edad, los árboles jóvenes toleran mejor la eliminación de un porcentaje alto de tejido vivo que los árboles maduros. Más aun, a los ejemplares maduros se les debería remover menos del 10% del volumen total de la copa verde afectando sólo ramas de poco diámetro. De esta forma se garantiza no perder demasiadas reservas y dejar un área foliar suficiente para que el árbol pueda llevar a cabo el proceso de fotosíntesis. La copa (hojas) es el sistema con que cuenta el árbol para captar y transformar la energía en crecimiento y desarrollo; en la copa (ramas) se almacena energía (reservas); en la copa (brotes) se sintetizan las auxinas (hormonas que propician la dominancia apical y el crecimiento de las raíces). Por otra parte, un árbol puede recuperarse más rápido de varios cortes de poda pequeños que de una herida grande. Un ejemplar estresado o debilitado no debería ser podado.

Cuadro 6.1.

Dosis de poda (% máximo de follaje total retirado en una operación de poda) recomendada para cada etapa del desarrollo del árbol.

Etapa del desarrollo del árbol	Dosis de poda (%)
Joven, recién establecido	25 a 35%
Mediana edad	25%
Adulto	10%

En síntesis, la poda de los árboles urbanos debe ser una práctica de mantenimiento realizada bajo protocolos técnicos, supervisada por personal capacitado, y en ningún caso como respuestas a solicitudes sin fundamento. Como expresa el mentor de la arboricultura moderna, Alex Shigo, “La poda es una de las mejores cosas que un Arborista puede hacer por un árbol, pero una de las peores cosas que podemos hacer a un árbol”.

Bibliografía

- Anaya, C. (2019). La poda de los árboles urbanos. Recuperado de: <https://fliphtml5.com/mrnwx/zvab/basic>
- Calaza Martínez, P. e Iglesias Díaz, M. I. (2016). El riesgo del arbolado urbano. Contexto, concepto y evaluación. Madrid, España: Mundi Prensa.
- Dujesiefken, D., & Stobbe, H. (2002). The Hamburg Tree Pruning System—A framework for pruning of individual trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 1(2), 75-82. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/248907976_The_Hamburg_Tree_Pruning_System_-_A_framework_for_pruning_of_individual_trees
- Gilman, E. F. (2002). *An illustrated guide to pruning*. Second Edition. Albany, EEUU: Delmar Publishing
- Gilman, E. y Bisson, A. (2007). Developing a preventive pruning program in your community: Mature Trees. *EDIS 2007 (20)*. Recuperado de: <https://journals.flvc.org/edis/article/view/117005>



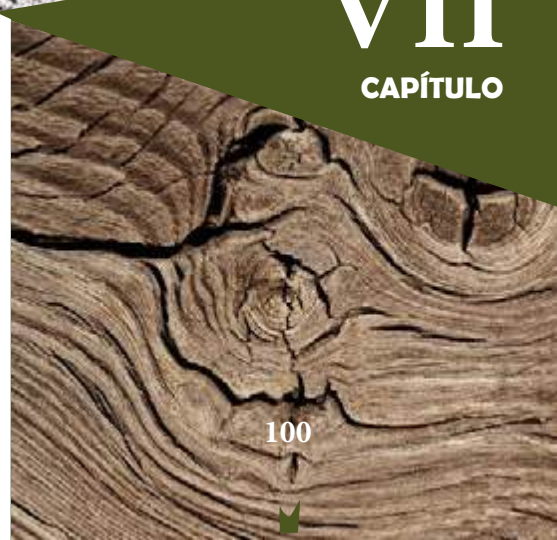
- Gilman, E., Kempf, B., Matheny, N. y Clark J. (2014). Structural Pruning: A Guide for the Green Industry. Society of Commercial Arboriculture. Visalia, EE.UU.: Urban Tree Foundation. Recuperado de: <http://portal.treebuzz.com/wp-content/uploads/Structural-Pruning-pt.-4-Copy.pdf>
- Gilman, E. y Black, R. (2019). Pruning Landscape Trees and Shrubs. EDIS 2005 (15). Recuperado de: <https://journals.flvc.org/edis/article/view/115230>.
- Jaffe, M.J. y Forbes, S. 1993. Thigmomorphogenesis: the effect of mechanical perturbation on plants. *Plant Growth Regulation*, 12(3): 313-324.
- Morris H. (2013). Tree pruning: A modern approach. International Dendrology Society. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/286331397_Tree_pruning_A_modern_approach
- Purcell, L. (2015). Lo esencial para la poda de árboles. Forestry and Natural Resources. Recuperado de: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/FNR/FNR-506-S-W.pdf>
- Rivas, D. (2000). Manual de Poda para los Árboles Urbanos. Chapingo, México. Gobierno del Distrito Federal. Manual técnico para poda y derribo. México. Recuperado de: http://centro.paot.org.mx/documentos/sma/manual_tecnico_arboles.pdf
- Slater, D. (2016). Evaluación de Horquillas en Árboles. Asociación Española de Arboricultura. ISBN: 978-0-900978-61-6.
- Slater, D. (2018). The association between natural braces and the development of bark-included junctions in trees. *Arboricultural Journal*, 40(1): 16-38.





Manejo de raíces en el ambiente urbano

VII
CAPÍTULO





Introducción

En el entorno urbano, el manejo del sistema radical¹ presenta dificultades asociadas al medio en que éstas se desarrollan, influenciado por el clima, la profundidad del suelo y sus características (textura, estructura y composición química), el entorno constructivo (solados, pavimentos) y por la acción antrópica ejercida sobre el árbol urbano. Estas condiciones afectan las funciones básicas del sistema radical ocasionando distintos grados de deterioro sanitario y fisiológico. Estos perjuicios impactan fundamentalmente sobre las raíces fisiológicamente activas.

Un error común con respecto a la estructura de la raíz del árbol es creer que el volumen y la distribución de las raíces reflejan el del tronco y las ramas. Normalmente, los árboles tienen sistemas radicales relativamente poco profundos pero generalizados que penetran a una profundidad inferior a 2 m, con un 80-90% dentro de los 60 cm superiores del perfil del suelo. Muchos factores pueden influir en el hábito de enraizamiento de un árbol: entre ellos los más importantes son la especie y las propiedades del suelo. Crow (2005) menciona que entre el 90% y el 99% de los sistemas de raíces de los árboles pueden concentrarse en el primer metro del perfil de suelo. Esto no es definitivo ni extensivo como norma, ya que existen diferencias en la distribución de las raíces de acuerdo con características genéticas según las especies (Dobson, 1995), con la posibilidad de tolerar condiciones edáficas inadecuadas, una pobre aireación o algún nivel de compactación.

Existe una creencia generalizada sobre la relación lineal entre la extensión del sistema de raíces de los árboles y el área alcanzada por la proyección de la copa. En contraposición, diferentes investigaciones realizadas a partir de excavaciones, tanto en ejemplares de vivero como en áreas urbanas (Gilman, 1988; Dobson, 1995; Crow, 2005; Day *et al.*, 2010) han establecido que la extensión se correlaciona con otros parámetros del ejemplar: la altura, más que la copa o “línea de goteo” (*i.e.* aquella que delimita una superficie correspondiente al círculo imaginario considerado en el suelo, formado por el borde exterior de la copa del ejemplar). También establecen que esta relación puede estar afectada por patrones genéticos propios de cada especie. Según estas investigaciones, las raíces pueden desarrollarse a distancias considerablemente superiores al perímetro de la copa. Asimismo, es frecuente el desarrollo asimétrico de las raíces, causado por variaciones edáficas o la topografía del suelo, ya sea como pendientes o lomas (Crow, 2005).

Cuando las raíces se pierden por cualquier motivo, se crea un desequilibrio en el “sistema árbol” que genera una situación de estrés. Los árboles normalmente tienen de 4 a 7 raíces principales y con sólo eliminar una de ellas a unos pocos centímetros del tronco se puede provocar la pérdida de hasta un 25% del sistema radical. El corte de raíces añosas suele provocar la proliferación de raíces de corona a nivel superficial, las cuales pueden producir ahorcamientos letales sobre las raíces absorbentes. Estos daños suelen quedar mimetizados o ser difícilmente observados en un corto plazo, pero comienzan a apreciarse en signos de declinación en la parte aérea, presentando ramas secas, poca vitalidad, alteraciones en el crecimiento y desarrollo, ataque de hongos de madera, entre otras consecuencias indeseadas.

¹ Cuando se habla de sistema radicular se hace referencia a los tipos de raíces de las plantas, pero también radical es sinónimo de raíz, ya que las mismas poseen sistemas radiculares o radicales en donde se describen sus partes. En la germinación se habla de radícula del embrión y no de sistema radical o radicular, puesto que la radícula es una parte de la plántula que dará origen a la futura raíz, en el caso de las Dicotiledóneas.





El sistema radical, en definitiva, es el punto más susceptible del árbol urbano, además del menos conocido

Estas situaciones complican la ejecución de acciones “correctivas” en el arbolado establecido y exigen el permanente replanteo de acciones “conductivas” en la instalación de nuevas plantaciones. Por tal motivo, al decidir la intervención de las raíces de un ejemplar es fundamental conocer el “patrón de crecimiento” (determinado por su especie) y observar las diferentes respuestas a las condiciones del sitio.

En coníferas y dicotiledóneas la raíz primaria se desarrolla produciendo raíces laterales que ramifican originando lo que se denomina un sistema radical *axonomorfo*. Este presenta una raíz principal que crece en profundidad y raíces laterales que se extienden por el suelo horizontalmente con cierta inclinación. Las raíces más viejas se encuentran cerca del cuello de la raíz, o en la zona de contacto entre el tallo y la raíz, mientras que las más jóvenes son las cercanas al extremo inferior. Desde las raíces laterales de primer orden brotan otras que atraviesan el suelo en diferentes direcciones y van ocupando todo el volumen de suelo conforme avanza la ramificación.

Este patrón general es condicionado por las características edáficas y el ambiente, que van generando diferencias en la proporción, tamaño y forma, tanto de las raíces horizontales superficiales, responsables de la absorción del agua de lluvia, como de las raíces verticales profundas que perforan las capas internas del suelo para alcanzar el nivel freático. La mayor parte de la absorción del agua se produce a través de la epidermis y los pelos radicales, que si bien son diminutos y mueren en pocos días, aumentan enormemente la superficie de absorción de la raíz. Otro gran incremento de la superficie de absorción es realizado por las micorrizas, especialmente en los árboles que presentan raíces nutricias cortas y gruesas con pocos pelos absorbentes, como es el caso de las coníferas, los robles o las especies tropicales.

Los sistemas de raíces pueden clasificarse por su morfología en:

- **Sistema radical uniforme ramificado:** con forma esférica, las raíces exploran el suelo formando un ángulo desde la vertical. Algunos ejemplos: *Alnus*, algunos *Quercus*, *Tilia*, *Platanus*, entre otros. Llamado también “heart-rooters” o acorazonado.
- **Raíces principales dominantes con crecimiento lateral:** poco profundas, que exploran las capas superficiales del suelo. En: *Betula*, *Populus*, *Salix*, algunos *Pinus*, entre otros. También llamadas “flat-rooters” o superficiales.
- **Sistema radical profundo y fuerte:** por ejemplo, en *Juglans*, *Quercus pubescens*, entre otros. También llamado pivotante.
- **Sistema sin raíz principal, con raíces tabulares:** raíces superficiales gruesas horizontales formando grandes contrafuertes, con puntos de anclaje vertical débiles. Algunos árboles tropicales (*Ficus elastica*).
- **Raíces zancos o fúlcreas y raíces subterráneas débiles:** nacen sobre ramas extendidas horizontalmente, se extienden hacia el suelo y finalmente lo penetran. Se desarrollan formando





columnas que crecen en diámetro y además pueden unirse por concrecencia, adquiriendo el aspecto de nuevos troncos. En: *Ficus benghalensis*, higuera de la India.

- **Raíces respiratorias o neumorrizas:** en algunas plantas palustres, son raíces especializadas con geotropismo negativo, que permiten mantener el intercambio gaseoso durante los períodos de inundación. En: *Taxodium distichum*. También llamadas neumatóforos.
- **Raíces gemíferas:** se forman yemas en las raíces que permiten la propagación vegetativa de la planta. En: *Populus sp.*

Relación árbol-cazoletas

El espacio físico destinado a la plantación puede materializarse en: planteras, cazuelas o cazoletas abiertas en las aceras o en cintas verdes distribuidas longitudinalmente en el recorrido de las mismas (también llamado retiro verde). La elección de uno u otro dispositivo se tomará de acuerdo con los metros disponibles, los usos de cada sitio, la normativa local, el proyecto paisajístico o la gestión de mantenimiento. Estos formatos, pueden replantearse si fuera necesario garantizar un buen desarrollo del ejemplar, evitando cortes excesivos de raíces que podrían ser letales para los ejemplares establecidos.

Al momento de diseñar el sitio de plantación o reconsiderar la cazoleta se debe considerar la posibilidad de instalar accesorios para la conducción de las raíces, así como evaluar las consecuencias de retirar obras poco convenientes como canteros elevados. La construcción de maceteros perimetrales es una práctica común, desaconsejada, que afecta el desarrollo del ejemplar. Estas pequeñas construcciones perturban gravemente al sistema de raíces, provocando “espiralamientos”, estrangulamientos,



Foto 7.1.

(a) Raíces expuestas luego de retirado cantero elevado. (b) Raíces expuestas cortadas por reparación de vereda.



aparición de raíces adventicias y sistemas compactos con menor superficie de exploración, lo que afecta tanto las funciones fisiológicas como mecánicas de las raíces. En muchas ocasiones estos accesorios ornamentales terminan destruidos por la presión de las raíces más gruesas, por lo que acaban siendo retirados dejando un “pan” de raíces que morirán por deshidratación disminuyendo el sistema activo, y exponiendo al árbol a mayores riesgos de caída.

Principales problemas en raíces de árboles urbanos

Los sistemas de raíces son esencialmente oportunistas (Perry, 1989); las raíces crecen donde los recursos están disponibles. En los suelos urbanos las raíces no leñosas superan las fluctuaciones y carencias del ambiente y las lesiones habituales, reponiéndose rápidamente por lo que su población y concentración en el suelo es extremadamente dinámica (Perry, 1989; Rizzardi y Calvo, 2019). Naturalmente las especies adaptadas a las zonas pantanosas (*Acer saccharinum*, *Platanus occidentalis*, *Liquidambar styraciflua*, entre otros) son más resistentes a las limitaciones en la tensión de oxígeno.

-Suelos compactados: este problema es el más frecuente en el medio urbano y puede ser compensado con múltiples estrategias. Por un lado, la preparación y selección de las plantas adaptadas al sitio. Algunas especies que se desarrollan adecuadamente en zonas húmedas son eficientes en suelos arcillosos o compactados, ya que las limitaciones de oxígeno en el medio urbano son similares a las de su entorno natural. Por otro lado, es necesario realizar el laboreo previo a la plantación y la roturación de las cazoletas permite constituir un medio con menos obstáculos y mejor infiltración.

En algunos casos, los riesgos asociados a problemas de raíz requieren más que la inspección visual acostumbrada; las técnicas y el instrumental varían de acuerdo al procedimiento que se crea apropiado. Algunas prácticas para observar, medir o estimar niveles o indicadores de compactación consisten en:

- Constatación por medio de instrumentos como el *penetrómetro*: que mide por presión aplicada al suelo, a través de una sonda a diferentes profundidades.
- Resistencia al cavado: si se puede penetrar el suelo fácilmente a dos palas de profundidad, entonces podrá estimarse que el suelo compactado no es una limitante.
- Compactación de la capa superficial produce incremento de la escorrentía y la erosión, menor tasa de infiltración, impide el paso del agua a las capas inferiores del suelo, disminuyendo la reserva de agua. Puede solucionarse con roturados superficiales, aireaciones.
- Compactación a profundidad disminuye la velocidad de infiltración por lo que aparecen problemas de encharcamiento, menor volumen de poros disponibles para el intercambio gaseoso. Las técnicas posibles (roturaciones en profundidad con arados subsoladores) son de difícil operatoria en sitios urbanos y de alto costo de ejecución y además no parecen aportar soluciones estables a largo plazo. La detección de rápida aparición y persistencia de encharcamientos es un indicador de compactación.
- La tasa de percolación es otro factor relativamente fácil de determinar. Un procedimiento sencillo consiste en cavar un hoyo en el área de plantación de aproximadamente 30 x 30 x 30 cm, luego llenar con agua y permitir que drene completamente para repetir la operación de





llenado por segunda vez. Si el drenaje se cumple en un período de un par de minutos, se está en presencia de un suelo de rápido drenaje, muchas veces asociado a presencia de materiales livianos (arenas), en tales casos se deberá optar por especies xerófitas, o bien proteger el hoyo de plantación con materia orgánica, que permitirá conservar la humedad. Si por el contrario el agua permanece por largos periodos o drena lentamente será necesario seleccionar especies adaptadas a períodos de anegamiento o instalar sistemas de drenajes para desagotar el exceso de agua.

- Observación por remoción del suelo entre raíces primarias: permite investigar evidencias de signos de decaimiento, enrollamientos, podredumbres etc. Puede utilizarse aire comprimido, agua o procedimientos manuales para quitar el suelo de entre las raíces, sin generar daños.

La excavación con aire comprimido como alternativa de métodos mecánicos o manuales comenzó en la década de 1960 entre las compañías de servicios interesadas en reducir los costos relacionados con la reparación de tuberías soterradas. La excavación neumática resultó ser una manera segura y confiable de excavar las tuberías sin que estas sufrieran daños. A mediados de la década de 1990, se propagó el uso de la tecnología de excavación con aire en las industrias de la arboricultura y la construcción.

El uso de una herramienta accionada por aire comprimido facilita la excavación, el manejo del suelo y el cuidado de los árboles en el espacio conocido como “zona crítica de raíces” de un árbol. A diferencia de las técnicas de excavación mecánica se remueve o afloja mediante una corriente de aire el suelo, sin dañar el sistema de raíces del árbol.

Esta herramienta puede usarse para mitigar condiciones del perfil de suelo que son desfavorables para la vida del árbol, suelos compactados, de bajo drenaje, con baja presencia de oxígeno o con desequilibrios en su composición física o química. Este tipo de labranza con aire se utiliza comúnmente para operaciones de manejo del suelo como la excavación radial de zanjas y el “mulching” vertical. Siempre es necesario realizar una prueba de humedad para garantizar que esté cercano a la capacidad de campo, pero no saturado. Con el suelo demasiado seco, se generará un exceso de polvo y, en condiciones muy húmedas, el uso dispersará barro y se puede afectar la estructura del suelo (Boletín de usos técnicos del *AirSpade*, 2016).

Por otra parte, el mercado ofrece una tecnología de aireación e inyección del suelo para proporcionar soluciones a problemas de compactación, drenaje deficiente y falta de nutrientes, a través de un geo-Inyector. Este dispositivo de aireación e inyección al suelo permite la aplicación de materiales granulados, fertilizantes líquidos, agua y aire.

Cuando los ejemplares establecidos se ven afectados por la compactación y la falta de drenaje, el sistema radical puede sufrir muerte por asfixia, acarreado posibles riesgos de pérdida de sustentación (por menor superficie de raíces) que modifica el centro de gravedad del ejemplar, haciéndolo susceptible a inclinarse, sobre todo en zonas ventosas.

- **Árboles con corona o cuello profundo:** esto sucede como consecuencia de una plantación inapropiada, la zona de cuello o separación tronco-raíz fue enterrada, o porque en algún momento se ha agregado suelo sobre el nivel del cuello. Estas situaciones someten al sistema de raíces a una mayor compactación, saturación y a escasez de oxígeno. Estas condiciones alteran la arquitectura del sistema



radical provocando un desarrollo superficial del mismo que perjudica al ejemplar durante los períodos de sequía, o la regeneración de nuevas estructuras cerca del borde del suelo, que a veces crecen hacia el tronco y se convierten en raíces estranguladoras. Cuanto más profundo esté el cuello, mayor es la probabilidad de tener problemas graves en raíces, los árboles afectados no logran su potencial de desarrollo, tienen una vida más corta, son más susceptibles a plagas y enfermedades y más proclives a una caída prematura. Los síntomas visibles de afecciones por cuello profundo son variables, dependen de múltiples factores y pueden ser de difícil observación sobre todo porque suelen confundirse con los presentados por el estrés hídrico. Indicios como crecimiento reducido de ramas y hojas, hojas descoloridas, copa rala o muerte regresiva, pueden presentarse como rasgos asociados, pero no existe ningún síntoma concreto que permita diagnosticar, de manera contundente, un problema de raíces por cuello profundo. Una vía de remediación es el retiro de un mínimo volumen de suelo alrededor de la base del árbol para mejorar la aireación, que se ejecuta en forma manual o con herramientas de excavación por presión de aire, que son rápidas y minimizan el daño a las raíces. Es aconsejable rellenar la depresión ocasionada con algún material con buena aireación para evitar peligros al árbol, o los transeúntes. El material seleccionado debe mantener el tronco lo más seco posible, por lo que se aconseja el uso de granza. De ser necesario, se puede realizar una inspección para observar la profundidad del desarrollo radical, por medio de una punta o aguja de agrimensur que penetre en el suelo y descubra la profundidad de las raíces.

Accesorios para la conducción de raíces

- **Barreras direccionadoras:** se instalan como una medida preventiva para la conducción de raíces. Estas barreras son una defensa física que se interpone entre el árbol y el objeto que se quiere proteger (solados, construcciones, etc.), especialmente cuando se prevén conflictos con otros elementos de servicios (tuberías, cables subterráneos, etc.). Para la elección de la barrera correcta se deben considerar: la dimensión y el tipo de raíz de la especie, la situación climática, edáfica, el asoleamiento, el espacio disponible, la infraestructura subterránea y el mantenimiento posterior. Una desventaja potencial de estos sistemas es que al restringir severamente el desarrollo de las raíces en una o más direcciones, pueden predisponer a los árboles a la inestabilidad.

Hay diferentes clases de barreras físicas: trampas y deflectores (Morgenroth, 2008). Las **trampas** son pantallas tejidas en nylon o de cobre con agujeros pequeños a través de los que se conduce el crecimiento de raíces. Se colocan opuestas al crecimiento radial, son permeables y permiten la circulación de agua lateral y el intercambio de gases. Los **deflectores** son impedimentos físicos que se construyen generalmente a partir de plásticos. Funcionan mediante la reorientación del crecimiento de la raíz por fuera de la infraestructura. El crecimiento inicial de raíces laterales se desvía hacia abajo, al entrar en contacto con la barrera, obligando en teoría a que las raíces crezcan en profundidad. Esta clase de barrera es ideal para carreteras o aceras. Debido a su impermeabilidad, estas barreras pueden afectar el movimiento del aire y el agua en todo el perfil del suelo.

Si bien la instalación de barreras es un método difundido, los estudios publicados describen méritos y limitaciones (Morgenroth, 2008). En todos los casos, la respuesta frente al obstáculo está muy influenciada por la interacción entre la especie, las condiciones ambientales y el diseño de la barrera,





lo que genera una variabilidad de respuesta en el crecimiento de las raíces. Esto no permite verificar hasta el momento si las barreras producen cambios significativos en el diámetro de la raíz.

Se encuentran disponibles distintos modelos de barreras (Figura 7.1):

- Barreras lineales: se instalan en zanjas estrechas a lo largo del borde de la zona de protección, como en una acera, son flexibles y pueden ser utilizadas cerca de un ejemplar nuevo o de un árbol existente.
- Barreras circulares: se instalan alrededor del cepellón de un árbol recién plantado y por el tipo de configuración circular, se utiliza a menudo en el arbolado de calle u otro tipo de espacios restrictivos.
- Barreras tridimensionales: presentan espacios de aire donde se ocupa un volumen dispuesto en forma perpendicular a la superficie, y se extiende hacia abajo relleno con una grava gruesa.
- Barreras lisas, con costillas, modulares: se trata de una adaptación de las barreras lineales que se han desarrollado en Europa en pos de brindar una gama de soluciones, que de acuerdo a la ubicación de los árboles, permiten mejorar el desarrollo del sistema de raíces conduciéndolas a profundidad para impedir conflictos con la infraestructura urbana o evitando el “espiralamiento” lo que se traduce en un mejor establecimiento del ejemplar. Este sistema de control de raíces se puede usar para rodear un solo árbol, o grupos de ellos, porque las costillas están diseñadas para dirigir el crecimiento de las raíces hacia abajo e impedir que sea lateral. Este tipo de barreras pueden evitar los daños típicos que se generan alrededor de los alcorques.

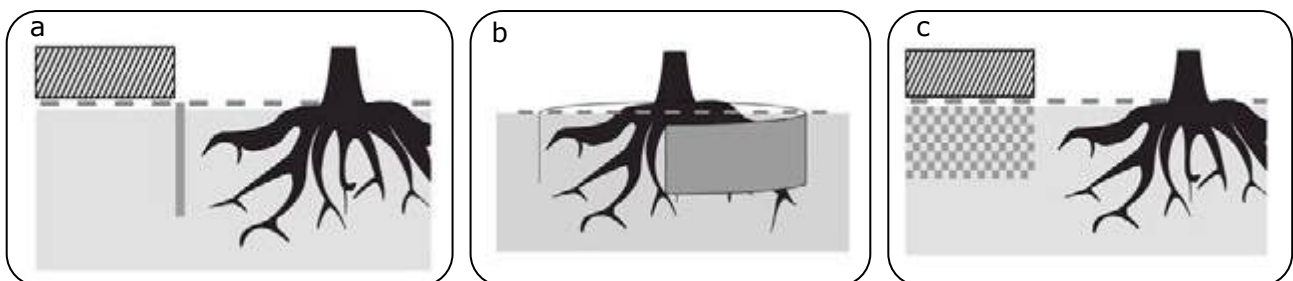


Figura 7.1.

(a) Barrera lineal, (b) barrera circular y (c) barrera tridimensional.

Protectores superficiales de planteras o alcorques: son accesorios destinados, en determinadas situaciones, a evitar la compactación del suelo ya que se colocan sobre la superficie de la cazoleta en sitios de alta circulación de peatones. Estos accesorios deben cumplir una serie de requisitos básicos:

- Permitir un intercambio gaseoso y de agua entre el perfil del suelo y el exterior, sin impermeabilizaciones y compactaciones.
- Garantizar el crecimiento del tronco, evitando heridas por roces al desarrollarse el ejemplar.
- Permitir su retiro de forma práctica para facilitar las labores de limpieza.
- Mantener el diseño del cubre alcorque en todo el trazado de una alineación barrial.





Los materiales para cubrir los alcorques dependen del diseño de la infraestructura urbana. Pueden elegirse según:

- ✓ Acolchados: cuando se realiza el cubrimiento con corteza triturada, restos de poda triturada o elementos similares.
- ✓ Rejillas: el alcorque se cubre con una armazón premoldeado, siendo los más comunes de fundición, acero u hormigón. Estos dispositivos permiten un buen intercambio hídrico y gaseoso y el control de malezas y residuos. Debe realizarse una revisión periódica a fin de controlar posibles daños en el arbolado y evitar accidentes de peatones. Deben ser fáciles de limpiar y de retirar.
- ✓ Pavimentos drenantes: en este caso se utiliza como cobertor un material permeable compuesto por áridos (gravas y gravillas) que se aglomeran con resinas; mantienen la humedad evitando la pérdida del agua del perfil. En la zona central, que rodea al tronco, incluye un material elástico que permite su crecimiento. Estos pavimentos garantizan la accesibilidad, requieren pocas tareas de mantenimiento, evitan las malezas y las limpiezas periódicas, pero no facilitan una penetración rápida del agua ni una buena aireación del suelo, por lo que su uso debe ser restringido a casos muy especiales (Protocolo de Gestión de Alcorques, 2021).

En todos los casos requieren de mantenimiento a fin de evitar hundimientos, deformaciones y lesiones sobre la corteza del árbol.



Foto 7.2.

(a) Rejilla de hierro fundido. (b) Solado permeable de resina. (c) Bloques de cemento.



- **Sistemas de riego:** se instalan en las planteras cuando las condiciones ambientales así lo requieren. Los sistemas de riego por goteo se ubican en torno al ejemplar, generalmente al momento de la plantación y luego de un tiempo dejan de ser utilizados. Otros sistemas permanentes como las acequias conducen el agua desde canales principales hasta los puntos de aplicación en situaciones donde el agua es un recurso escaso o pueden utilizarse para la conducción de agua excedente, colaborando en la disminución de la velocidad de la escorrentía, facilitando la infiltración y el control de la erosión.

Poda de raíz en aceras

La eliminación de parte del sistema de raíces por daños o interferencias en veredas o drenajes, o por dificultar el tránsito peatonal es, lamentablemente, una práctica habitual en el entorno urbano. Ante esta situación, la evaluación de los riesgos del ejemplar debe ser el punto inicial para la toma de decisiones a fin de garantizar la salud, estabilidad y longevidad del mismo y evitar consecuencias para la infraestructura y las personas.



Foto 7.3.

Daños en veredas e infraestructura ocasionados por acción de raíces.

Una pérdida severa del sistema de raíces genera situaciones de estrés que influyen en la absorción de agua y en la tasa de fotosíntesis. El resultado es un crecimiento reducido y el deterioro o incluso la muerte del ejemplar. La distancia de corte debe ser proporcional al diámetro del tronco. Es común creer que el sistema radical de un árbol es el reflejo de su copa. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, los árboles tienen sistemas radicales relativamente poco profundos pero generalizados. Generalmente penetran a una profundidad inferior a 2 m, concentrando un 80-90% de la biomasa radical dentro de los primeros 60 cm del perfil del suelo. La mayoría de las raíces fisiológicamente activas se encuentran en ese perfil de suelo y pueden extenderse en un diámetro 5 o 6 veces mayor a la proyección de la copa. En general, se toma como norma para los trabajos regulares la llamada “zona o línea de goteo” evitando el corte de raíces cercanas al fuste. La destrucción de las raíces fuera de la zona de goteo representaría alrededor de un 15% de pérdida, pero si los cortes se realizan entre esta zona y el tronco, la pérdida se incrementa alrededor de un 40%.





Los ejemplares jóvenes, sanos y vigorosos pueden sobrevivir a la pérdida rigurosa de raíces, mientras que los árboles grandes y añosos o en mal estado no soportan esta pérdida. La recuperación tras el estrés por pérdida severa de raíces depende de la sustitución rápida que la propia raíz pueda generar, de acuerdo con su sistema de reservas, hormonas estimulantes del crecimiento, suministro eficiente de agua y minerales.

El peor momento para realizar el corte de raíces en especies caducas es desde fines del invierno a principios de primavera, justo antes de la expansión foliar, debido a que las hormonas de crecimiento no están presentes en las raíces para estimular su crecimiento. En el caso de que sea necesario el corte de raíz, el momento adecuado sería el verano tardío o el período otoño/invierno, cuando el crecimiento se ha desacelerado, las reservas energéticas son elevadas y las hormonas de crecimiento están presentes en las raíces. Siempre es necesario prever que los trabajos de corte además no coincidan con las temporadas de vientos fuertes.

Cuadro 7.1.

Resistencia al corte de raíz por especie

Árboles tolerantes	Árboles poco tolerantes
<i>Ulmus spp.</i> , <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Gleditsia triacanthos var. inermis</i> , <i>Acer saccharinum</i> , <i>Platanus occidentalis</i> , <i>Liquidambar spp.</i> , <i>Acer negundo</i> , <i>Fraxinus spp.</i> , <i>Tilia spp.</i>	<i>Betula spp.</i> , <i>Liriodendron tulipifera</i> , <i>Ficus spp.</i> , coníferas

Procedimiento para realizar la poda de raíces superficiales

- 1- En primer lugar, se debe **excavar delicadamente la capa superficial del suelo**, hasta que las raíces queden expuestas para la poda. No se deben utilizar maquinarias pesadas o cortantes que puedan producir heridas que permitan la entrada de patógenos.
- 2- **Los cortes de raíces deben ser limpios**, para lo cual deben utilizarse herramientas adecuadas y afiladas. De esta forma se promueve la formación de callos y el cierre de la herida. Las heridas pueden cubrirse con compuestos hormonales para colaborar en su compartimentación.
- 3- Una vez terminado el corte es necesario volver a rellenar el hoyo y realizar un riego profundo para evitar que queden bolsones de aire. Si el relleno no fuera a ocurrir durante varios días, **las raíces no deben quedar expuestas**. El relleno del hoyo puede realizarse con una mezcla mejorada del suelo, agregando compost o turba para promover el crecimiento de raíces nuevas, sobre todo si el suelo existente es de mala calidad.
- 4- **No es necesario agregar fertilizantes** hasta que no sea visible la respuesta del árbol al corte de raíz. La fertilización debería realizarse entre la 6^o a 8^o semana durante el período de crecimiento.
- 5- **No es aconsejable realizar una poda de reducción de copa** al mismo tiempo que la poda radical, especialmente en aquellos contextos donde la humedad no sea una limitante que afecta la transpiración. El follaje colaborará en la elaboración de reservas y en producción de hormonas que, en suma, permitirán un restablecimiento más rápido y eficiente y favorecerá el desarrollo de nuevas raíces. Sólo se deberían podar ramas secas o débiles.



Poda de raíces a profundidad del perfil por interferencia con cimientos

Esta práctica se aplica cuando las raíces de los árboles generan interferencias con las construcciones, observándose grietas, rajaduras en frentes o paredes internas, como también desniveles en los solados del interior de las viviendas. En estas situaciones, la acción consiste en un zanjeo de 1 m de profundidad, lo más alejado del eje del árbol, y próximo a la línea municipal.

En aquellos casos que, por la inclinación del árbol hacia la calzada, el desequilibrio de la copa, la susceptibilidad de la especie o la baja relación entre el ancho de la vereda y el porte del árbol, antes de comenzar con las tareas de zanjado, se deberá evaluar la necesidad de realizar una poda cuyo exclusivo objetivo será eliminar o acortar ramas que acompañen la inclinación del ejemplar. En el caso de árboles con inclinación del fuste mayor a los 45°, cavidades basales y signos de probables fallas, se deberá evaluar el retiro del ejemplar.

En caso de decidir el corte profundo de raíces, deben emplearse herramientas filosas que permitan realizar cortes precisos y sin desgarros. Si los diámetros de corte son mayores a 5 cm, despejar la tierra que circunda la raíz y cortar con serrucho. Las raíces que accidentalmente se quiebren por la acción de la pala, deberán cortarse unos centímetros hacia el tronco también con serrucho. Las heridas desgarradas son susceptibles al ataque de microorganismos, mientras que los cortes nítidos ayudan al cierre de heridas y la regeneración del sistema afectado.

En los trabajos de zanjeado debe evitarse que las raíces permanezcan expuestas al aire libre, las mismas deben ser cubiertas rápidamente, sobre todo en condiciones de tiempo cálido y seco. Para mantener la humedad se puede recurrir a proteger las raíces con una arpillera mojada. Las zanjas deben rellenarse hasta el nivel original, evitando la compactación. Antes de la reparación del solado, deberá completarse la excavación con sustrato de calidad, para facilitar la recuperación del tejido de raíces (Palermo Arce, 2015).

Cuidados de las raíces durante las obras de infraestructura urbana

La compresión excesiva producida durante las obras lleva inevitablemente a la muerte paulatina de raíces, situación que no queda expuesta inmediatamente, sino que comienza a evidenciarse con la aparición de síntomas de decaimiento progresivo (disminución o menor tamaño de follaje, brotaciones sobre el fuste, aparición de fructificaciones fúngicas, plagas, o ramas secas como preludio de la muerte del ejemplar). Esta situación de agotamiento de reservas es irreversible en ejemplares añosos (Palermo Arce, 2015). Por ello, durante el desarrollo de obras de infraestructura es necesario proteger el sistema radical de la compactación producida por el movimiento de la maquinaria y establecer metodologías de intervención en zonas de raíces.

Otra situación provocada por el movimiento de suelos durante las obras de infraestructura se debe al agregado de suelos pesados o por deposición de materiales de construcción. Esto desencadena un cambio de pH de las capas superiores del suelo que obstaculiza la absorción de nutrientes. A corto plazo se hace evidente el amarillamiento del follaje, la caída de hojas prematuras, la disminución en el crecimiento, el aumento de la susceptibilidad a plagas y enfermedades.





Foto 7.4.

Ausencia de cuidados en obras de infraestructura urbana.

Los **zanjeos** permanentes ocasionan el deterioro de las raíces laterales que trabajan como líneas de tracción, dejando al árbol con escasa sustentación, sobre todo si no se vuelve a compactar el material removido. Las actividades de construcción en inmediaciones del ejemplar que afecten más de un 40% de raíces localizadas dentro de la zona crítica de corte de raíces, se traducirá en un árbol que se encuentra en inminente peligro de caída por el embate de vientos o exceso de agua por tormentas o inundaciones.

Además de la pérdida de raíces, en muchas ocasiones las obras producen lesiones en la corteza de raíces expuestas, cortezas, roturas de ramas que aumentan el alto potencial de fracaso del ejemplar. El replanteo de servicios urbanos implica muchas veces la extracción de varios ejemplares, situación que provoca vulnerabilidad en el sistema radical de los árboles cercanos que se conservan, ante el cambio de las condiciones del emplazamiento por aumento de la incidencia de la radiación solar y el viento. A pesar de que algunos de estos problemas son de carácter temporal, pueden poner en peligro la salud del árbol cuando se combinan con los daños adicionales de la construcción.

Otras medidas a adoptar para la conservación del arbolado afectado por obras

- Control del tráfico en los alrededores estableciendo medidas de protección como **vallado en la zona crítica de raíces** (Figura 7.2) que se establece siguiendo la proyección a la copa y teniendo en cuenta que las raíces pueden alcanzar hasta 2 a 3 veces el largo de las ramas. Si bien la superficie de protección se calcula según el DAP, debe considerarse también la edad, vigor y amplitud de la copa. Para estos cálculos existen múltiples estándares orientativos.
- **Túnel vs Zanqueo:** la apertura de zanjas cerca del árbol mata una gran parte de raíces, mientras que los túneles que se efectúan por debajo de los 30 cm no provocan daños graves (Figura 7.3). Se debe prever una distancia de excavación a por lo menos 30 a 60 cm desde el centro del árbol para evitar el daño en alguna raíz pivotante.

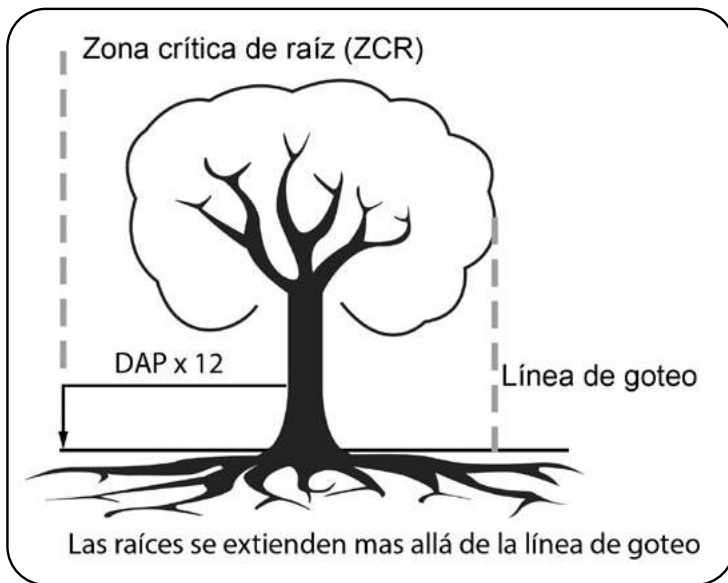


Figura 7.2.

Zona crítica de raíces (ZCR). Distancia según los estándares establecidos por Australian Standard AS4970-2009 ("Protection of Trees on Development Sites"). Para palmeras y otras monocotiledóneas, la ZCR no debe ser inferior a 1 m por fuera de la corona y para árboles fastigiados la distancia corresponde a la mitad de la altura del ejemplar.

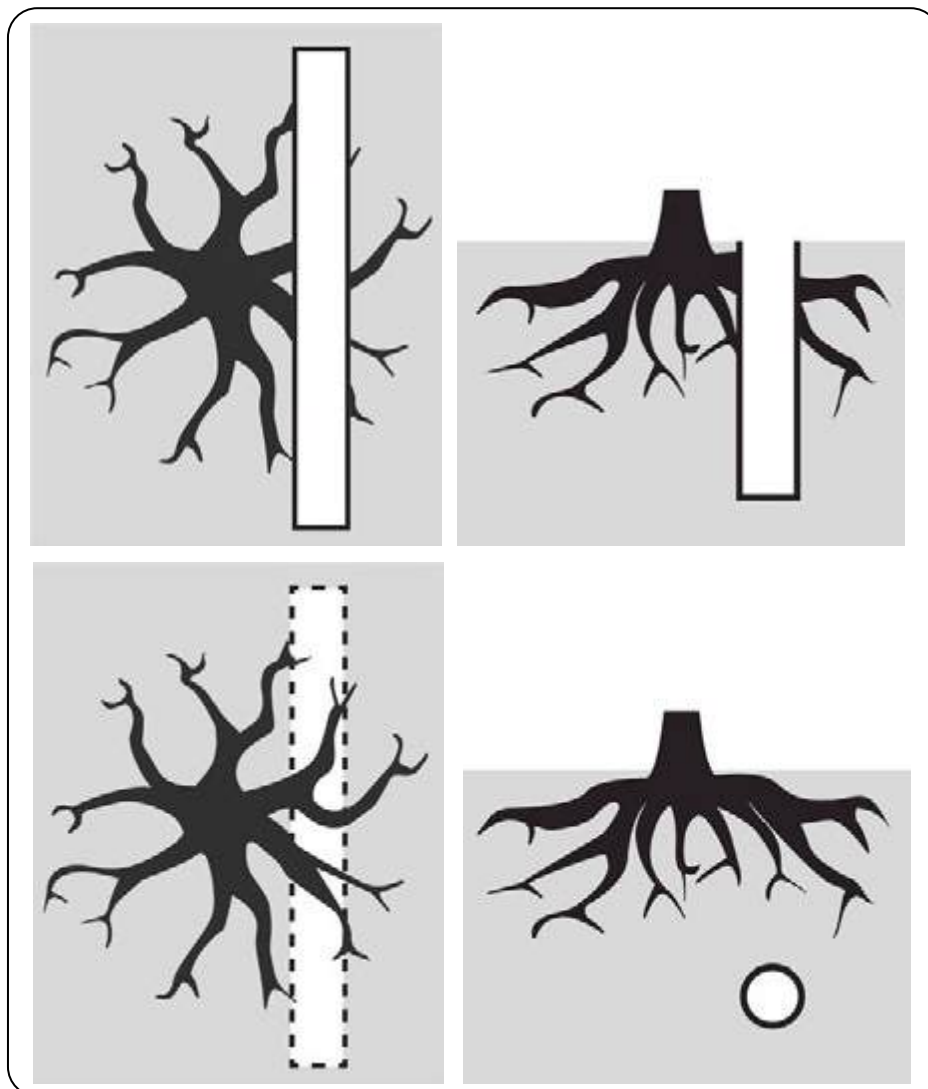


Figura 7.3.

Diferencias entre el zanjeo con corte de raíz y el tunelado por debajo de las raíces.



- **Mantillos protectores:** cuando fuese imposible el vallado perimetral, el uso temporal de un mantillo de chips de madera o granza amortigua el impacto de la maquinaria y los transeúntes, distribuyendo el peso en un área mayor, gracias a sus espacios aireados. El mantillo debe tener unos 15 a 30 cm de espesor y se colocarse sobre una lámina de geotextil.
- **Puentes o rampas:** evitan la compactación del suelo en la zona crítica de raíces. Este tipo de instalaciones pueden ser transitorias durante las obras de construcción para evitar el apisonamiento provocado por la maquinaria pesada, o permanentes cuando la superficie de raíces a intervenir es excesiva, para especies susceptibles a la compactación o para árboles añosos.



Foto 7.5.

Rampa sobre raíces. Parque Chacabuco. CABA.

- **Contenciones:** cuando las decisiones de obra modifican la cota original del terreno y parte del sistema radical pudiese quedar expuesto o requerir de cortes profundos, es aconsejable realizar muretes de contención a la altura de la línea de goteo, de manera de no dejar expuesto al ejemplar a diferentes niveles de humedad.
- **Juntas de dilatación cerca de árboles:** su instalación es ideal al momento de reparar aceras peatonales. Permite reducir el número de recambios del embaldosado. Construcciones más eficientes, con materiales no convencionales como solados sobre contrapisos de grava gruesa, adoquines o solados semi-permanentes, removibles o ajustables cerca de los árboles son recursos eficaces para retardar o detener el daño de raíces, que no crecerán entre los poros de los materiales permeables profundizando la exploración de suelo más profundo.





Cuidados de las raíces de los árboles urbanos

Muchos de los árboles en el ámbito urbano no accederán a los cuidados básicos de su suelo, por lo tanto, decaen a medida que sus sistemas de raíces vayan envejeciendo y enfermándose, pero en ocasiones cuando el ejemplar es notable o se encuentra en áreas verdes es posible efectuar toda una serie de tareas que repercuten en su estado general.

La **inspección durante y post obras** es necesaria para evaluar la evolución de los ejemplares, sus daños, fallas o la posible aparición de plagas o enfermedades y determinar qué tratamiento es aplicable en cada caso.

- La **aireación** radial consiste en la construcción de zanjas estrechas de 20 cm a 30 cm de profundidad, que se distribuyen a modo de rayos de una rueda a partir de 1,2 m del tronco del árbol (Figura 7.4). Las zanjas se extienden hasta por lo menos la línea de goteo. Si el objetivo principal es reducir la compactación, se rellenan con tierra vegetal (libre de patologías) o compost, lo que estimulará el crecimiento de nuevas raíces.
- El “**mulching**” **vertical** es otra técnica que permite mejorar las condiciones de aireación, infiltración y disponibilidad de nutrientes, en árboles estresados en suelos pobres y compactados (Figura 7.5). El método consiste en la perforación de agujeros de aproximadamente 10 cm de diámetro por 40 cm de profundidad, distribuidos en toda la zona de goteo del árbol a partir de 2,5 m de distancia del tronco. El suelo que se extrae debe desecharse y en su lugar se recomienda rellenar los hoyos con materia orgánica y arena gruesa al 50%.

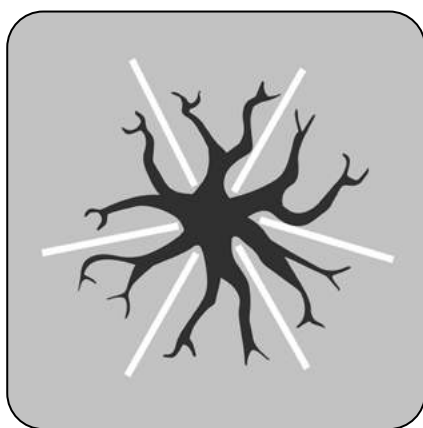


Figura 7.4.
Planta distribución zanjado.

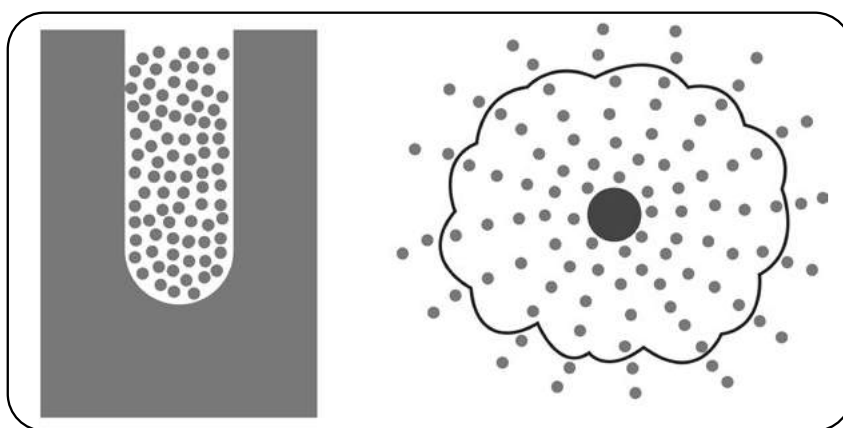


Figura 7.5.
Detalle corte hoyo “mulching” vertical y diseño de la dispersión del hoyado.

El momento adecuado para ejecutar esta tarea es a finales del otoño, repitiendo las operaciones a principios de primavera. El primer año no es necesario fertilizar; para cuando se decidiera hacerlo es necesario tomar el DAP, para determinar la cantidad de producto. La proporción se calcula: cada 2,5 cm DAP/900 gr de 10/10/10 o 10/6/4. El fertilizante se debe esparcir uniformemente en todos los orificios.





- La **fertilización** no es una práctica que deba ejecutarse hasta que el árbol afectado se haya restablecido. El estrés debe atenderse paulatinamente a lo largo de, por lo menos, dos años de seguimiento y tratamiento. Los árboles jóvenes de rápido crecimiento deben fertilizarse una vez al año, mientras que, en los maduros, la fertilización se puede realizar cada 2 o 3 años.
- El **riego profundo** debe asegurarse en períodos de sequías, luego de obras que hayan modificado el terreno y de acciones de aireación o el “mulching” vertical. Es necesario contar con una penetración de agua de entre 30 a 45 cm de profundidad aplicada por goteo lento en toda la extensión radical.
- La colocación de una capa delgada de **mantillo o “mulch”** permite reducir la competencia con malezas, evitar la compactación del suelo y aumentar la conservación de la humedad. Es necesario mantener distancia entre el “mulch” y el fuste para evitar pudrición del cuello.

Cuadro 7.2.

Listado de acciones sugeridas para minimizar el impacto sobre las raíces de los árboles durante las obras de construcción.

Tareas recomendadas

- Restringir accesos y usos en torno a los árboles.
- Restringir el tránsito de vehículos y equipo pesado.
- Establecer zonas de protección alrededor de los árboles individuales y de los grupos.
- Colocar capa de mantillo o grava para reducir la compactación.
- Reparar los daños con rapidez.
- Asegurar la estabilidad estructural del árbol.
- No rellenar o cambiar la altura del suelo en torno al cuello del árbol.
- Evaluar la tolerancia de las especies a los cambios de pendientes y rellenos.
- Reducir la apertura de zanjas en la línea de goteo del árbol.
- Considerar la posibilidad de hacer túneles.
- Minimizar el número de trincheras.
- Minimizar pavimentación en la zona de protección del árbol.
- Considerar la posibilidad de materiales porosos para las superficies transitables.
- Podar los daños sobre raíces.
- Designar sitios de almacenamiento de materiales lejos de los árboles.
- No enterrar los materiales de construcción en el sitio.
- Limpiar los derrames rápidamente para reducir la contaminación del suelo.
- Retirar los materiales de construcción utilizados en el sitio.

Bibliografía

- Boletín de usos técnicos del AirSpade. (2016). Recuperado de: https://cdn.shopify.com/s/files/1/2656/7538/files/AirSpade_Guide_Spanish_lr.pdf?6994200422756099493
- Crow, P. (2005). The Influence of Soils and Species on Tree Root Depth. *Information Note*. Forestry Commission. Recuperado de: <https://www.forestresearch.gov.uk/documents/6734/FCIN078.pdf>

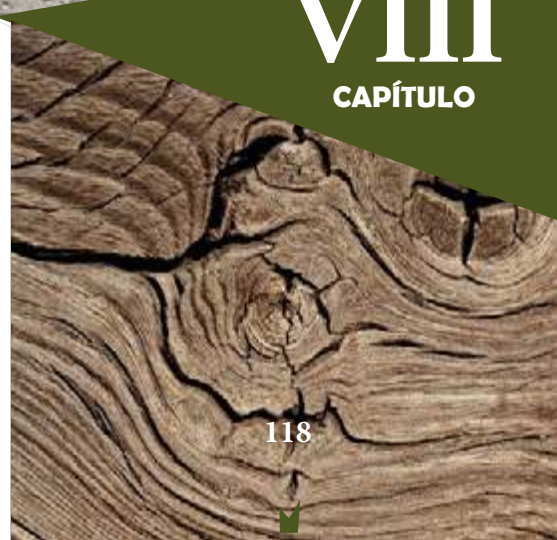


- Day, S.D., Wiseman, P.E., Dickinson, S.B. y Harris, R. (2010). Contemporary Concepts of Root System Architecture of Urban Trees. *Arboriculture & Urban Forestry*, 36(4). Recuperado de: https://frec.vt.edu/content/dam/frec_vt_edu/documents/p149_159.pdf
- Dobson, M. (1995). Tree root system. Arboriculture Research and Information note. AAIS – Arboricultural Advisory and Information Service. Recuperado de: <https://www.trees.org.uk/Trees.org.uk/files/61/6181f2b7-e35d-4075-832f-5e230d16aa9e.pdf>
- Gilman, E.F. (1988). Predicting Root Spread from Trunk diameter and branch spread. *Journal of Arboriculture*, 14(4):85-89.
- Morgenroth J. (2008). A Review of Root Barrier Research. *Arboriculture & Urban Forestry*, 34(2): 84-88. Recuperado de: <http://auf.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=3034&Type=2>
- Palermo Arce M. (2015). Tareas de mantenimiento del arbolado urbano. Guías didácticas asignatura Arbolado Urbano. Cátedra de Jardinería FAUBA. Recuperado de: https://ced.agro.uba.ar/moodle/pluginfile.php/3797/mod_resource/content/1/Clase%209%20Tareas%20de%20mantenimiento.pdf
- Perry, T.O. (1989). Tree Roots: Facts and Fallacies. *Arnoldia*, 49(4), 2-21. Recuperado de: <http://arnoldia.arboretum.harvard.edu/pdf/articles/1989-49-4-tree-roots-facts-and-fallacies.pdf>
- Protocolo de Gestión de Alcorques de la ciudad de Madrid (2021). Recuperado de: <https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/ZonasVerdes/ToDoSobre/PlanInfraestructuraVerdeYBiodiversidad/OtrosDocumentos/Protocolo%20de%20gestion%20de%20alcorques.pdf>
- Rizzardi S. y Calvo G. (2019). Sistema radicular de los árboles en ámbitos urbanos. *Terra Mundus* V.5 N.1 (Jul-Dic) 2019. Recuperado de <https://publicacionescientificas.uces.edu.ar/index.php/terra-mundus/issue/view/70>
- Van Voris, P., Cataldo D.A., Cowan C.E., Gordon N.R., Cline, J.F., Burton, F.G. y Skeins, W.E. (1988). Long-term controlled release of herbicides: Root growth inhibition. (pp. 223–240). En: Cross, B. y Scher, H.B. (Eds.). *Pesticide Formulations, Innovations and Developments*. American Chemical Society Symposium Series 371.
- Watson, G. W., Hewitt, A.M., Custic, M y Lo M. (2014). The management of tree root systems in urban and suburban settings: A review of soil influence on root growth. *Arboricultural & Urban Forestry*, 40(4): 25. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/287320019_The_management_of_tree_root_systems_in_urban_and_suburban_settings_II_A_review_of_strategies_to_mitigate_human_impacts
- Tree Protection Procedures for Hume City Council Development of Tree Protection Specifications. (2013). AS 4970 (2009) Australian Standard, Protection of Trees on Development Sites, Standards Australia. Recuperado de: https://www.hume.vic.gov.au/files/sharedassets/public/residents/parks-and-reserves/tree_protection_procedures.pdf



Planificación y manejo de la plantación del arbolado urbano

VIII
CAPÍTULO





Introducción

La integración de las plantaciones en el diseño del bosque urbano es fundamental para generar una sucesión armónica que garantice, tanto las funciones ambientales, como la identidad del perfil arbóreo de una ciudad. Las difíciles condiciones que genera el ámbito urbano para el desarrollo del arbolado son determinantes a la hora de tomar decisiones en relación a qué plantar y cómo mantener los árboles en áreas urbanas. En tal sentido, se debe considerar que, en el ámbito urbano, los árboles son sometidos tanto a situaciones extremas o limitantes de temperatura, oxígeno, nutrientes, volumen de suelo y humedad; como a tareas de mantenimiento (como poda de ramas y raíces), y daños por obras de infraestructura indebidamente planificadas. Por lo tanto, al plantar un árbol nuevo es razonable pensar que deberá afrontar duras condiciones de subsistencia, será más proclive a sufrir enfermedades y a tener un pronóstico de vida útil más limitado que en su ámbito natural.

Para minimizar estos efectos negativos sobre el árbol, hay que considerar que un **plan de plantación** no puede formar parte de proyectos de segunda línea, ya que esta tarea, si bien requiere de una inversión inicial importante, asegura a futuro menores gastos y una amplia gama de beneficios ambientales insustituibles. Por tal motivo, la evaluación de las condiciones específicas permite definir cuáles son las especies apropiadas y qué tareas de gestión se vinculan a la plantación y a su posterior mantenimiento.

Frecuentemente, se implementan en las ciudades planes de plantación mediocres o que fracasan en sus objetivos por varios motivos: no existe una norma estándar para la instalación de árboles de alineación, no se dispone de personal especializado, no se prevé un plan de mantenimiento posterior, hay demasiados desajustes administrativos o no se pone en conocimiento a la ciudadanía de las funciones y valores del arbolado como servicio urbano esencial.

No hay peor panorama urbano que una ciudad sin continuidad entre generaciones de árboles.

Consideraciones para desarrollar un plan de plantación

El primer paso en la gestión de una plantación es la **planificación**, a partir de la cual se establecen los objetivos, considerando una serie de factores biológicos, sociales, económicos, logísticos, en función del proyecto. Un programa de plantación debe analizarse como una unidad según la concepción de gestión y planificación urbana, y considerarse como un área en continua renovación.

Es indispensable estimar que la nueva plantación se realizará generalmente entre generaciones anteriores del arbolado. Por lo tanto, deben ajustarse las conexiones biológicas y ornamentales entre las nuevas y las viejas especies, observando el recambio de ejemplares en estado de decrepitud o riesgo, la planificación de nuevas áreas verdes, los tipos de plantación (alineaciones en calles, avenidas, autopistas, bulevares, ejemplares aislados, pequeños grupos, o grandes masas), entre otros.

Analizar todos estos aspectos provee información ajustada, que permite tomar decisiones realistas en el proceso de planificación estratégica. A su vez, esta información permite asumir las acciones necesarias para la concreción o corrección de la planificación; sólo conociendo las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas que inciden en cada caso, se pondrán objetivos asequibles.





La planificación permite coordinar y diseñar **diferentes etapas de gestión**, que a su vez incluyen numerosos temas a considerar para lograr un programa completo y cohesivo. En base a ello, se divide el proceso de plantación en: tareas previas a la plantación, tareas durante la plantación y tareas post-plantación.

Tareas previas a la plantación

Comprende una serie de actividades de gabinete que sólo pueden organizarse sobre la base de un profundo conocimiento del territorio y sus factores influyentes. Esto permite reconocer oportunidades y fortalezas, así como considerar las debilidades del proyecto. Esta etapa incluye:

1. Investigación de los factores legales, económicos, históricos, políticos y sociales.
2. Proposición de objetivos y planificación.
3. Consideraciones de infraestructura urbana.
4. Determinación de la vegetación apropiada.
5. Programación logística.

1. Investigación de los factores legales, económicos, históricos, políticos y sociales

Antes de proponer cualquier objetivo es necesario realizar un proceso de investigación sobre el territorio a intervenir, que permita conocer los diferentes factores que inciden de forma positiva o negativa en el proyecto.

Factores legales. Existen pautas establecidas para el manejo del arbolado, a nivel local, provincial y nacional que han de regular las acciones del proyecto de plantación dentro del manejo del arbolado público.

Factores económicos. Todas las fases del proyecto deben ajustarse a las posibilidades presupuestarias, sobre todo si se tiene en cuenta que una plantación proyectada y realizada de manera incorrecta, a futuro será más onerosa de mantener. La variable económica incide tanto como las limitantes físicas del sitio en la selección de las especies convenientes; árboles de crecimiento exagerado que requieran podas recurrentes o con raíces agresivas, equivalen a costos permanentes en el mantenimiento posterior; especies poco rústicas o propensas a enfermedades y plagas también serán de alto costo de mantenimiento o de corta vida. Errores en la ejecución de cualquiera de las fases del proyecto de plantación excederá el porcentaje razonable de pérdidas, que no debería superar el 10%. Por último, una selección adecuada de proveedores y contratistas garantizaría la obtención de ejemplares que cumplan con los estándares solicitados y el cumplimiento de las tareas culturales pautadas.

Factores históricos, políticos y sociales. Es fundamental comprender las relaciones actuales y pasadas entre el ámbito, sus habitantes, sus gestores y el arbolado. Seguramente en la “Memoria verde” de cada sitio se encontrarán los antecedentes favorables y desfavorables del manejo y la





valoración del área. Del mismo modo es necesario conocer y establecer los argumentos actuales que se postulan acerca del arbolado urbano verificando la empatía y la participación de todos los actores involucrados (vecinos, arboricultores, gestores gubernamentales). Teniendo en cuenta estas relaciones con la comunidad, se podrán identificar las principales aspiraciones y controlar aspectos como el vandalismo o la plantación inadecuada. Reconocer y valorar la identidad del arbolado, aun cuando se presente caótica o ecléctica, permitiría generar unidad en el proceso evolutivo de su paisaje.

Dentro de los factores sociales es necesario comprender las diferencias en el uso y ocupación del suelo que se suceden en la ciudad. Esta variabilidad ofrece una cantidad de “sub-sitios” de tratamiento específico con capacidades ambientales y culturales definidas, ya sean áreas de uso residencial, comercial, industrial, mixto, espacios verdes públicos, barrios privados, áreas de protección histórica, reservas. En cualquier escala de intervención, sea de ámbito público o privado, el sitio genera una serie de condiciones limitantes en las propuestas estratégicas necesarias para un desarrollo sostenible.

2. Proposición de objetivos y planificación

Los objetivos generales fijan los logros a cumplimentar en el proyecto teniendo en cuenta los factores y aspiraciones identificados. Por lo tanto, no deben exceder la posibilidad de la evaluación de sus avances o fracasos. Los objetivos específicos se relacionan directamente con los objetivos generales, detallando los procesos necesarios y las metas establecidas para su realización.

Cuadro 8.1.

Ejemplo de objetivos para un programa de plantación.

Objetivo general	Objetivos específicos	Acciones
Desarrollar mejoras en la calidad de vida urbana a través del arbolado urbano	<p>Establecer estrategias de gestión para garantizar una plantación sustentable.</p> <p>Definir programas para enriquecer la biodiversidad vegetal y animal.</p> <p>Promover acciones para mejorar la calidad del aire, la reducción de CO₂ atmosférico y reducir los efectos nocivos de la isla de calor.</p>	<p>Realizar manuales técnicos y protocolos de trabajo.</p> <p>Diseñar alineaciones y agrupaciones para el embellecimiento y la continuidad entre áreas divergentes.</p> <p>Diseñar proyectos con especies nativas.</p> <p>Controlar la vegetación invasora.</p> <p>Diseñar alineaciones y agrupaciones para reducción de ruidos, maximizar la escorrentía, aumentar las zonas de sombras, etc.</p> <p>Iniciar acciones que promuevan el valor del arbolado para reducir el gasto energético (calefacción en invierno, refrigeración en verano).</p>





3. Consideraciones de infraestructura urbana

La diversidad de usos y componentes en el reducido y limitado espacio urbano exige gestionar el sitio adecuado para que el árbol pueda crecer y desarrollar su parte aérea y subterránea hasta la madurez considerando:

- Las **diferencias de luminancia** entre los barrios con viviendas bajas o sin árboles de gran porte y las zonas urbanas donde los edificios en altura impiden la entrada de luz solar, generando un cono de sombra durante gran parte del día, que limita las decisiones sobre las especies a elegir.
- El **espacio aéreo**, condicionado por los cableados, las luminarias, las señales y otros organizadores del tránsito, paradas de transporte, árboles de mayor porte, entre otros dispositivos.
- El **espacio subterráneo**, condicionado por los tendidos de servicios, cañerías e, inclusive, raíces de otros árboles.
- La **frecuencia y tipo de tránsito** en relación al ancho de la calzada (avenidas, calles, autopistas).
- El **ancho de la acera y de la calzada** para que al disponer el área de la cazoleta no se obstruya la accesibilidad y el tránsito de personas, por lo general debe garantizarse como mínimo un área de más de 90 cm de paso. Por lo tanto, el ancho de vereda determinará el tamaño de la plantera y ambos datos combinados con los otros factores espaciales finalmente permitirán elegir la especie adecuada para cada sitio.

El desarrollo del sistema radical de un árbol (dimensión espacial, patrón del ramaje, entrenudos y largo total) se encuentra influenciado por la genética (Foxx *et al.*, 1984; Kalliokosky *et al.*, 2008) y por las condiciones del entorno en el cual se desarrolla: disponibilidad de nutrientes, abastecimiento de oxígeno, humedad, presión osmótica, temperatura, patógenos, porosidad y textura del suelo (Sutton, 1980; Foxx *et al.*, 1984). En contra del pensamiento habitual, las raíces pueden extenderse a distancias considerablemente superiores al perímetro del canopeo (Dobson, 1995; Crow, 2005), siendo estas distancias equivalentes, al menos, a la altura del árbol, y en determinados casos (especialmente en suelos infértiles o compactados) superiores a 2 y 3 veces la altura del árbol. En las condiciones urbanas, suele existir un conflicto entre el tamaño ideal de la plantera y el que efectivamente se le destina. Frecuentemente, se tiende a reducir el tamaño del sitio de plantación al mínimo posible, lo que suele tener consecuencias negativas tanto para los árboles como para los solados.

Pueden indicarse algunas relaciones posibles, según lo establecido en cada situación urbana, su diseño y reglamentaciones vigentes:

- Veredas de menos de 1,80 m: generalmente se evita la plantación tradicional.
- Veredas entre 1,8 y 2,4 m: lado mínimo plantera 0,8 m.
- Veredas entre 2,4 y 3,4 m: lado mínimo plantera 1,2 m.
- Veredas entre 3,4 y 7 m: plantera corrida.

Si bien cada localidad o municipio determina en el marco de su Planeamiento Urbano las especificaciones para las construcciones en el espacio público, generalmente se considera que las planteras





deben construirse a nivel para facilitar la accesibilidad y evitar accidentes. Estas mismas consideraciones impiden el uso de cercos perimetrales en aceras angostas.

Muchas veces a través del tiempo los vecinos intervienen el espacio público construyendo canteros elevados en torno a árboles maduros que luego rellenan para ajardinarlos. Este agregado de sustrato sobre la base del ejemplar que había sido plantado a nivel, garantiza una mala salud del árbol a mediano plazo.



Foto 8.1.

(a) Las planteras elevadas son perjudiciales para el árbol y suelen terminar rotas por la presión de tronco y raíces; (b) el agregado de sustrato sobre plantación a nivel es, en todo sentido, perjudicial.

4. Pautas para la selección de especies adecuadas

La elección vegetal debe decidirse según los objetivos del proyecto, las características del sitio y aquellas de las especies, de manera que la plantación que se proponga sea sustentable en el tiempo.

Los criterios de selección que definen las tolerancias y cualidades que aseguren una elección óptima de las especies de árboles se pueden agrupar en cuatro ítems:

- **Idoneidad del árbol:** es decir, los requisitos de crecimiento de los ejemplares y sus limitaciones de acuerdo a la categoría de sitio.
- **Entrega de servicios ecosistémicos:** beneficios que la sociedad obtiene de procesos y funciones de los ecosistemas.
- **“Diservicios”:** o problemas no deseados de algunas especies. Incluyen alta producción de polen, proliferación de frutos, raíces agresivas, emisión de compuestos orgánicos volátiles.¹

¹ El ozono (O₃) urbano es un contaminante secundario que se forma en la tropósfera mediante una reacción fotoquímica entre los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs). En zonas donde la concentración de ozono es elevada o en áreas industriales, se deben seleccionar sobre todo especies que emitan una baja cantidad de VOCs. Entre las especies con altos índices potenciales formadores de ozono (IPFO) se encuentran: *Robinia pseudoacacia*, *Liquidambar styraciflua*, *Prunus cerasifera*, *Olea europaea*, *Acacia dealbata*, *Betula pendula* (Criollo et al., 2016).



- **Resiliencia al cambio climático:** es un factor de gran consideración en la actualidad debido a la incidencia sobre la climatología local. Distintos caracteres se seleccionan considerando este factor: tolerancia a sequía, resistencia a las heladas, tolerancia al anegamiento temporal, respuesta a temperaturas elevadas del aire y acortado letargo invernal.

El árbol de la acera deberá ser capaz de tener un crecimiento inicial rápido, a la vez que una muy buena sanidad. Al elegir la especie deberán considerarse tres aspectos fundamentales: la seguridad, la funcionalidad y la estética. Sobre estos conceptos entonces, perseguir el axioma de la arboricultura moderna “El árbol adecuado para el sitio correcto” permitiría optimizar los objetivos y minimizar las probabilidades de conflicto.

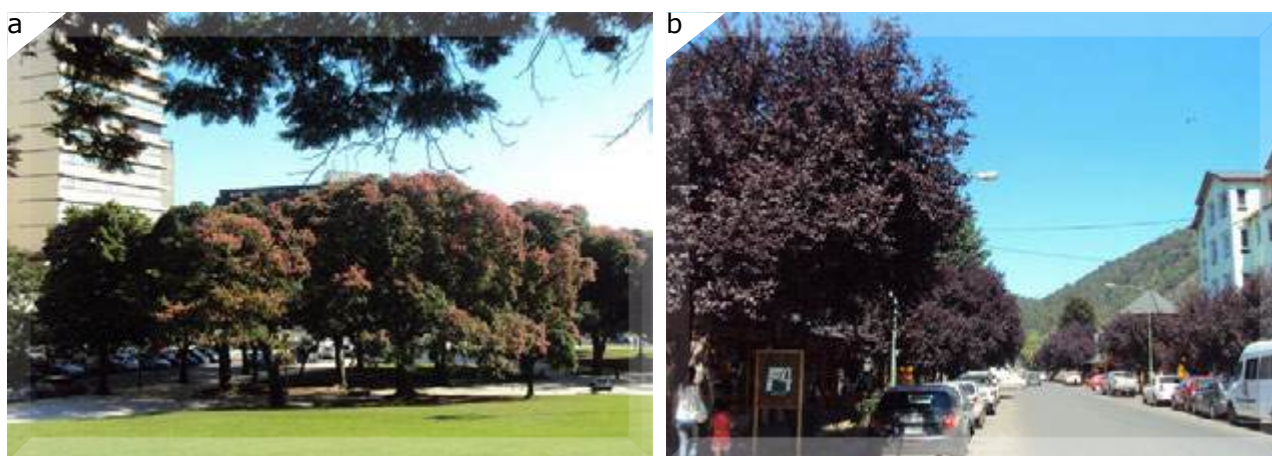


Foto 8.2.

Conjuntos arbóreos en (a) espacios verdes o (b) en alineación, creando paisajes armónicos.

Al diseñar una plantación urbana, es recomendable seleccionar la mayor cantidad de especies posibles a fin de garantizar la biodiversidad del bosque urbano y disminuir los riesgos de infecciones masivas por plagas y enfermedades. Esta organización colabora además en la percepción de un ambiente lo más “natural” posible.

Una fórmula conocida como “regla 30:20:10”, ideada por Frank Santamour en 1990, establece que una especie no debería comprometer más del 10% del arbolado público total, así como tampoco debería plantarse más de un 20% de especies de un mismo género, ni utilizarse más de un 30% de especies de una misma familia al encarar tanto la renovación del arbolado, como los planes habituales de gestión (Santamour, 1990).

Otro aspecto relevante es la rusticidad o capacidad de una planta para sobrevivir a las temperaturas extremas de la región geográfica particular en la cual se encuentra. Aunque una parte de la población a veces propicia la plantación de especies originarias, en ocasiones las especies nativas pueden no ser la opción más apropiada. Frecuentemente, los sitios urbanos han sido severamente alterados y no proporcionan las condiciones más adecuadas de crecimiento para muchas especies propias de la región (Nowak, 1997). La selección de especies resistentes, con alta sanidad, que sean compatibles con las estructuras existentes y los usos del sitio, disminuirá la necesidad de mantenimiento y de futuros reemplazos. Por otro lado, los pronósticos de



variaciones ambientales en un horizonte de cambio climático, extrema la necesidad de investigación sobre las especies a instalar para cada sitio en particular (Martínez *et al.*, 2008).

Independientemente de que su origen sea nativo o exótico, cada una de las especies leñosas se caracterizan por el tamaño, la forma de la copa, el color y aspecto del follaje, la floración, la velocidad de crecimiento, su resistencia a diferentes adversidades (plagas, enfermedades, salinidad, anegamiento) y el comportamiento del sistema radical, entre otros aspectos. A su vez, las especies pueden clasificarse en heliófilas (sensibles a la sombra) o esciófilas (tolerantes a la sombra), según sus requerimientos lumínicos sean elevados o bajos, respectivamente.

Además de descartarse las especies propensas a fracturas mecánicas, deben eliminarse de cualquier elección aquellas que puedan ocasionar situaciones de dermatitis o alteraciones a la salud. Esto como ocurre, por ejemplo, con varias anacardiáceas, entre ellas un caso muy común es el *Rhus succedanea*, que afecta no sólo por contacto directo con la savia de la planta, sino que se transmite de una persona a otra y contamina materiales que facilitan la afección. Los efectos a veces aparecen luego de varios días, lo que dificulta conocer el origen de la afección.



Foto 8.3.

Rhus succedanea, una especie muy atractiva por su coloración otoñal, pero con graves consecuencias sobre la salud humana.

- **Desarrollo y forma natural del árbol.** Seleccionar especies que se adapten a las acotadas situaciones urbanas garantiza la menor pérdida de las características estructurales y ornamentales del ejemplar de acuerdo a las condiciones del sitio. Estas recomendaciones se basan en las dimensiones de la parte aérea y del desarrollo radical previsto.

La arquitectura y extensión del sistema de raíces constituirá en el árbol maduro un aspecto fundamental de su seguridad, que es el anclaje. La genética caracteriza el tipo de raíz para cada especie, pero su expresión es influenciada por las condiciones del suelo y su grado de compactación, los factores climáticos y las prácticas culturales, etc.

Evaluar qué dimensiones alcanzará la especie en el sitio, según sus posibilidades de desarrollo y si estas dimensiones resultarán proporcionadas a las del lugar de implantación y a la distancia de percepción, es en todo sentido imprescindible. La dimensión o magnitud se refiere al tamaño de los árboles,



los cuales se clasifican habitualmente de primera magnitud, cuando superan los 15 m de altura; de segunda magnitud, cuando miden entre 10 y 15 m; y de tercera magnitud, si la altura se ubica entre 5 y 10 m. La selección debe también privilegiar aquellas especies que garanticen y optimicen una buena cobertura de copa, que asegure cumplir con los objetivos relacionados con los aportes ambientales del árbol. A pesar de que, en términos generales, se cree que cuantos más árboles tenga una ciudad, tanto mejor, el parámetro más importante es la cobertura de copa, debido a la función que el área foliar desempeña en los servicios que prestan los bosques urbanos y periurbanos (Calaza Martínez *et al.*, 2018). Numerosas investigaciones han demostrado una asociación entre el dosel de los bosques urbanos y el enfriamiento, la mejora del microclimas, la salud mental y física de las personas, y posiblemente también la reducción de la contaminación del aire y el ruido (McPherson *et al.*, 2003; Servicio Forestal de los Estados Unidos, 2004; Borelli *et al.*, 2018).

Al crear vecindarios más frondosos, también se alienta a las personas a pasar más tiempo al aire libre e interactuar con ellos, lo que a su vez promueve la salud social. Muchas de las ciudades más ambiciosas del mundo en términos de “ecologización”, incluidas Barcelona, Bristol, Canberra, Seattle y Vancouver, se han fijado el objetivo de alcanzar un 30% de cobertura del dosel. A nivel de vecindario, el 30% debería ser un nivel mínimo al que las ciudades deberían esforzarse por lograr con la cobertura de dosel. Cuando sea difícil que los árboles crezcan y prosperen, por ejemplo, en climas áridos, el objetivo debería ser el 30% de vegetación (Konijnendijk van den Bosch, 2021).

La forma o silueta de los árboles depende fundamentalmente del tipo de ramificación de la especie: puede ser monopodial o simpodial. La primera se estructura con un tronco central a partir del cual crecen ramas laterales y definen una forma de árbol lineal (columnares o cónicas). La segunda, en cambio, desarrolla ramificaciones a modo colonial que desde una determinada altura otorgan al árbol una forma globosa característica; si las ramas son flexibles la copa toma forma péndula (Grau y Kortsarz, 2017). Por otra parte, los árboles pueden tener sus troncos vestidos o desnudos, es decir, su follaje puede llegar hasta el nivel del suelo, pudiendo ser usados como límite visual y físico del espacio o bien, este se eleva a determinada altura y permite límites virtuales y uso del espacio por debajo.

- **Características ornamentales.** La observación de las especies más representativas en el entorno ofrece datos valiosos acerca de sus adaptaciones, posibilidades de desarrollo del potencial ornamental y características significativas que colaboran en definir la cultura arbórea del sitio.

El **follaje** brinda un gran peso decorativo, ya sea por los cambios estacionales en las especies caducas, o por las variedades de verdes o no verdes permanentes (atropurpúreos, variegados, áurea, glaucos) que imprimen al sitio contrastes en función del cielo, las edificaciones linderas, la relación entre árboles de mayor antigüedad. La densidad de hojas también es un parámetro valioso en climas con veranos tórridos, donde la generación de sombra es necesaria para actuar como moderador de la temperatura.

De acuerdo al **tipo de madera**, es indispensable descartar aquellas especies de madera blanda debido a que se quiebran fácilmente (*Populus, Salix, Acer, Styphnolobium*, entre otros). En términos de **fenología**, se seleccionan para climas templados diferentes especies en función de la ubicación que tenga por destino. Para alineaciones en calles, especies caducas, para avenidas y bulevares, especies semi-persistentes, quedando la mayor variación entre caducas, persistentes y palmeras para los espacios verdes.

Las **floraciones** explosivas o proterantes aún de corta duración son espectaculares, además de marcar las estaciones en determinadas latitudes, como sucede en la región pampeana y chaqueña

VIII- Planificación y manejo de la plantación del arbolado urbano



con lapachos y jacarandás. Las **fructificaciones** presentan todo un catálogo de inconvenientes en el manejo y selección de árboles para las aceras. Es positivo evitar las especies demasiado fructíferas que pueden cubrir veredas y obstruir drenajes (*Fraxinus*, *Platanus*); las de frutos carnosos y resbalosos (*Melia*, *Morus*, *Eriobotrya*); las de frutos tintóreos (*Morus*, *Ligustrum*), las de frutos tóxicos (*Melia*), o las de frutos de gran tamaño (*Araucaria*, *Maclura*, *Persea*).

Al decidir el ejemplar que se agregue a una acera se debe considerar tanto la fisonomía arbórea como la “personalidad” del barrio, que en gran parte está definida por su paisaje. Como regla general debería respetarse la especie predominante en alineaciones originales (cuando sean además las adecuadas al sitio). En caso de mezclar especies nativas y exóticas deberían buscarse elementos comunes en su concordancia estética y biológica.



Foto 8.4.

Aportes ornamentales por cambios estacionales de tono del follaje o por floración:

(a) *Fraxinus pennsylvanica*, (b) *Liquidambar styraciflua*,
(c) *Jacaranda mimosifolia* y (d) *Handroanthus impetiginosus*.



Decisiones desacertadas no mostrarán quizá perjuicios durante los primeros años de la instalación del ejemplar, pero sus consecuencias serán “padecidas” por las generaciones siguientes.



Foto 8.5.

Elección de especie inadecuada en aceras menores de 3 m: (a) Platanus y (b) Liquidambar. Elección de especie adecuada en acera mayor de 3 m: (c) Peltophorum.

5. Programación logística

Especificaciones técnicas para la adquisición del material vegetal.

- **Tipo de material vegetal:** es importante tener conocimiento del sistema de reproducción, pues la forma de multiplicación define junto con la disponibilidad de tierras del vivero, el tipo de almacenamiento, es decir si las plantas serán almacenadas en tierra, a campo o en envase. En consecuencia, el tipo de reproducción determina, en gran medida, el costo final del material y su disponibilidad en el tiempo.
- **Aspectos genéticos:** debe considerarse la adaptación local. Es preferible seleccionar plantas reproducidas a partir de semillas provenientes de la misma área a arborizar para asegurar (i) su adaptación local (ecotipo²) y (ii) variabilidad genética (lo que requiere que las semillas sean recogidas de distintos árboles para obtener la mayor diversidad posible en la producción). La diversidad sexual sólo se garantiza mediante multiplicación sexual, utilizando plantas madre de ambos sexos.
- **Calidad de planta:** es el conjunto de características que permiten su óptima implantación con la máxima esperanza de supervivencia y desarrollo. Los criterios a tener en cuenta para evaluar la parte aérea y radical de cada planta son:
 - Desarrollo
 - Conformación
 - Proporción
 - Estado sanitario

² La expresión local de la especie (población) en cualquier punto del rango geográfico producto de un conjunto de adaptaciones, se denomina ecotipo.



Además de la planta, el concepto de calidad abarca al sustrato y al contenedor.

- **Tipo de árbol o vegetal:** árbol de **hoja caduca** es aquel que pierde y renueva todo el follaje una vez al año, es decir caducifolio. Esta época de pérdida y renovación no coincide para todas las especies; por el contrario, según su adaptación fuera del área de origen o dispersión, la caducidad es diferente. Por su parte, árbol de **hoja perenne** es aquel que presenta follaje activo durante todo el año, ya que sus hojas más antiguas no caen antes de haberse desarrollado las nuevas; llamados también persistentes. Por otro lado, las **coníferas** son plantas leñosas, árboles o arbustos, de follaje perenne, salvo pocas excepciones (*Taxodium*, *Larix*, *Metasequoia*) con hojas generalmente en forma de aguja o escama. Por último, la **palmera** es un vegetal normalmente constituido por un eje (estípite), el cual está coronado por un penacho de hojas grandes. En sentido estricto, no deben ser llamadas árboles, pues no poseen tejido leñoso.



Foto 8.6.

(a) Árbol caduco -*Acer saccharinum*- y
(b) árbol semi-persistente -*Jacaranda mimosifolia*- en acera. (c) Palmeras -*Syagrus romanzoffiana*- en espacios verdes.

VIII- Planificación y manejo de la plantación del arbolado urbano



- **Parámetros de calidad:** es necesario definir parámetros para la condición de compra de las plantas. Esto permite la verificación de los ejemplares según lo establecido (Benito y Palermo Arce, 2014).

Cuadro 8.2.

Parámetros de calidad: Propios, Internos y Externos.

Propios	Internos	Externos
Autenticidad de especie y variedad. Compatibilidad injerto- porta-injerto.	Estado hídrico. Estado sanitario.	Tamaño de la planta. Refaldado: altura de inserción de las ramas primarias. Forma y estructura de la copa. Forma de anclaje de las ramas: deben estar bien espaciadas; el diámetro de la rama primaria no debe ser mayor a los 2/3 del diámetro del tronco. Color del follaje y de ramas. Rectitud del tronco: disminución paulatina del diámetro del tronco con la altura (ahusamiento) Relación altura total/diámetro del cuello de la raíz. Cepellón: forma y dimensiones. Sin heridas en la corteza ni ramas aplastadas o rotas; sin corteza incluida. Sin ejes codominantes. Sin hojas y yemas secas, vacías o sin ellas. Sin síntomas o signos de plagas y enfermedades. Sin síntomas de deshidratación. Buena cantidad y dimensión de raíces. Adecuadas características del suelo o del sustrato. Presencia de raíces secundarias y raicillas. Sin exceso de raíces o raíces espiraladas. Ausencia de raíces estranguladas. Cota de plantación adecuada.



Foto 8.7.

*Defectos comunes de ejemplares: (a) mala inserción de ramas primarias en *Jacaranda mimosifolia*; (b) ejemplar con dos ejes en *Handroanthus impetiginosus*; (c) estructura deficiente del árbol joven en *Peltophorum dubium*. CABA.*





- **Formas de presentación:** de acuerdo a la época de plantación se considerarán las diferentes formas de presentación ofrecidas por los viveros, que determinan su transporte, costo y secuencia de plantación.

Cuadro 8.3.

Formas de presentación.

Raíz desnuda	<p>Características: sin suelo, para árboles pequeños o medianos de algunas especies, en general caducifolias.</p> <p>Época: los ejemplares son retirados del campo de cultivo cuando se encuentran en estado de latencia, a comienzos del invierno en los climas templados. De esta manera pueden plantarse antes que las yemas comiencen a hincharse en primavera.</p> <p>Observaciones: deben presentar raíces bien ramificadas, copa manteniendo equilibrio con las raíces, no deben tener cortes de poda de más de 2 cm de diámetro.</p> <p>Transporte y acopio: se deben rodear las raíces con aserrín, astillas de madera, arpillera, telas húmedas o hidrogel.</p> <p>Especies recomendadas para formato de raíz desnuda: <i>Acer</i>, <i>Aesculus</i>, <i>Albizzia</i>, <i>Catalpa</i>, <i>Fraxinus</i>, <i>Malus</i>, <i>Melia</i>, <i>Platanus</i>, <i>Populus</i>, <i>Robinia</i>, <i>Salix</i>, <i>Styphnolobium</i>, <i>Tilia</i>, <i>Ulmus</i>.</p>
Cepellón	<p>Características: envuelto con arpillera, totora u otro tejido.</p> <p>Época: esta forma de cultivo admite su uso sólo en épocas otoño- invernales. No admite la plantación estival.</p> <p>Observaciones: cepellón sólido y sin rajaduras, proporcional con el tamaño de la planta. Debe estar envuelto con material biodegradable. Sistema de raíces bien desarrollado. No debe tener raíces cortadas de más de 2 cm de diámetro. No debe deshacerse el cepellón en el manipuleo y transporte.</p> <p>Transporte y acopio: durante el traslado los árboles que presenten algunas hojas o yemas expuestas, el cepellón debería cubrirse para evitar daños en sus brotes. En el caso que los árboles no se replanten inmediatamente llegados a destino, se debe evitar que el cepellón se seque o se caliente al sol. Cubrir con aserrín o arpillera húmeda, puede conservarse en forma vertical por varias semanas.</p> <p>Especies recomendadas: caducas, persistentes, semi-persistentes, coníferas, palmeras.</p>
Envasado	<p>Características: contenedor que permite el traslado de los árboles conservando la estructura del sistema de raíces.</p> <p>Época: plantación en cualquier época del año, aún en verano.</p> <p>Observaciones: estos ejemplares pueden provenir de especies que fueron plantados directamente en el contenedor, o que luego de permanecer en el campo de cultivo, se retiran en el momento de reposo del ejemplar y se instalan en el contenedor. En estos casos, es necesario que hayan permanecido suficiente tiempo en el envase a fin de que hayan desarrollado raíces nuevas y se haya consolidado el pan de tierra con raíces. Raíces proporcionadas con el tamaño de la planta. Mantener la forma del envase al extraer la planta. Utilizar un envase lo suficientemente rígido a fin de poder mantener la forma del cepellón. Tener el tallo de la planta en el centro del envase. Evitar raíces espiraladas o estranguladas, o que sobresalgan por los orificios del envase. Ello sugeriría plantas envejecidas en el contenedor. Cantidad de sustrato en relación al tamaño del envase.</p> <p>Transporte y acopio: no deben descalzarse las plantas del contenedor. Pueden conservarse en forma vertical por varias semanas con riego.</p> <p>Especies recomendadas: caducas, persistentes y semi persistentes, coníferas, palmeras.</p>

- **Período de plantación.** La plantación de árboles debería realizarse durante la estación de menor actividad o latencia de las plantas, siendo el momento ideal el otoño, después de la caída de las hojas, previo al desarrollo de brotes nuevos en primavera. Las condiciones ambientales frescas permiten el desarrollo de las raíces en el nuevo sitio de instalación, antes que las lluvias y las temperaturas de primavera y verano promuevan el crecimiento de la parte aérea de la planta. No obstante, la plantación de ejemplares en contenedor puede realizarse en cualquier época del año.
- **Especies recomendadas para alineación según el ancho de acera.** Para el área de influencia de la región pampeana de la Argentina, se mencionan algunas de las especies que presentan buen comportamiento para el arbolado de alineación (Cuadro 8.4).



Cuadro 8.4.

Especies recomendadas para la región pampeana.

En aceras hasta 3.2 metros de ancho	En aceras entre 3.2 y 4 metros de ancho	En aceras de más de 4 metros
<p>Arce tridentado (<i>Acer buergerianum</i>) Ciruelo de jardín o Prunus pissardi (<i>Prunus cerasifera</i> vr. <i>atropurpurea</i>) Fotinia (<i>Photinia fraseri</i>) Pezuña de vaca (<i>Bauhinia forficata</i> sp. <i>pruinosa</i>) Árbol de Judea (<i>Cercis siliquastrum</i>) Crespón (<i>Lagerstroemia indica</i>) Fumo bravo (<i>Solanum granuloso-leprosum</i>)</p>	<p>Acer (<i>Acer saccharinum</i>) Olmo dorado (<i>Ulmus glabra</i> 'Aurea') Fresno dorado (<i>Fraxinus excelsior</i> cv. 'Aurea') Acacia de Constantinopla (<i>Albizia julibrissin</i>) Jacarandá (<i>Jacaranda mimosifolia</i>) Fresno rojo (<i>Fraxinus angustifolia</i> 'Raywood') Palito dulce (<i>Hovenia dulcis</i>)</p>	<p>Tilo (<i>Tilia americana</i> f. <i>moltkei</i>= <i>Tilia x moltkei</i>) Jacarandá (<i>Jacaranda mimosifolia</i>) Tipa blanca (<i>Tipuana tipu</i>) Liquidámbar columnar (<i>Liquidambar formosana</i>) Liquidámbar (<i>Liquidambar styraciflua</i>) Plátano (<i>Platanus x acerifolia</i>) Lapacho rosado (<i>Handroanthus impetiginosus</i>) Tulipanero (<i>Liriodendron tulipifera</i>) Ibirá pita (<i>Peltophorum dubium</i>)</p>

Existen especies que no deben ser utilizadas en el arbolado de alineación. En algunos casos la normativa es clara al respecto como ocurre, por ejemplo, en la Legislación de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, que prohíbe la plantación de *Populus* sp. (álamo), *Salix* sp. (sauce), *Ficus elastica* (gomero) y *Ficus benjamina* (ficus). Las dos primeras especies mencionadas, álamo y sauce, fueron ampliamente utilizadas en las viejas forestaciones, sobre todo en los barrios de la ciudad, porque dan sombra muy rápido. En el caso del álamo, su prohibición actual radica en sus raíces gemíferas (en ellas se forman yemas que propaga la planta), planteando un problema sin solución, ya que no puede resolverse ni aun aplicando la técnica de confinamiento que impida la propagación radical. Con características similares, el sauce crea problemas no sólo por sus raíces superficiales, también por madera blanda, que se quiebra con facilidad en las tormentas. Por su parte, los gomeros y el ficus provocan múltiples inconvenientes por el desarrollo agresivo de sus raíces y el follaje perenne que no permite el paso del sol durante el invierno.

Por supuesto no deben incluirse en el listado de especies a implantar aquellas consideradas de hábito invasor, como sucede con el ligustro o siempreverde (*Ligustrum lucidum*), acacia negra (*Gleditsia triacanthos*), tamarisco (*Tamarix gallica*), entre otras.

- **Selección del vivero proveedor.** La selección del vivero es una decisión importante ya que las especies ofrecidas deben estar encuadradas dentro de los parámetros que se hayan fijado. La selección realizada “en gabinete” deberá adecuarse a la oferta que brindan los viveros productores de la zona y requiere de un elaborado ejercicio entre quién compra y quién vende. Puede suceder que la cantidad de plantas o especies requeridas no pueden ser aportadas por un solo vivero; en ese caso se recurre a varios proveedores, con lo cual los esfuerzos de coordinación se multiplicarán pero también se asegurará una mayor diversidad de orígenes y, en consecuencia, mayor variabilidad genética.





La reserva de plantas debería realizarse con, al menos, un año de anticipación. Esto permitiría al vivero productor tener el tiempo necesario para adecuar su depósito o “stock” de plantas a los requerimientos según la estrategia de plantación elegida.

Tareas durante la plantación

Preparación del área de recepción

Por razones operativas y de costos es conveniente que el vivero y otros proveedores entreguen la totalidad de insumos necesarios para el proyecto en un solo momento o cada 2-3 días. La necesidad de preparar un área de recepción de plantas en la zona de plantación depende fundamentalmente de la cantidad de plantas involucradas en el proyecto, del personal, el transporte y las herramientas disponibles al realizar la plantación. También debe preverse el acopio de otros materiales como tutores, sustratos, direccionadores de raíces, etc. para que se encuentren disponibles cuando es debido.

El área de acopio en lo posible debe ser sombreada y con buena disponibilidad de agua para evitar un mayor estrés en las plantas. Si las plantas constan de envase es sencillo mantener un riego adecuado y colocarlas de forma tal que no se produzcan quebraduras de ramas. Si las plantas llegan a raíz desnuda, antes de su recepción, se deberán preparar zanjas o trincheras, de profundidad adecuada al tamaño de raíces, y un sustrato suelto (como arena o viruta de álamo o sauce mezclados con tierra del lugar). Cuando las plantas son descargadas en el área de recepción deben colocarse tal cual llegan dentro de las trincheras y cubrirse rápidamente con el sustrato descrito previamente y regadas en forma abundante. De esta forma, se asegura que las raíces no sufrirán desecamientos y permanecerán vivas hasta la plantación definitiva. Son fundamentales todas las tareas de mantenimiento en el acopio, porque éstas garantizan la aclimatación³ de las plantas y un menor nivel de estrés post-plantación.

De acuerdo a la relación entre cantidad y dimensión de las plantas, la disponibilidad de personal, la distancia del área de acopio, la disponibilidad y calidad de las herramientas y de la movilidad y del presupuesto, se calcula cuántos ejemplares pueden ser plantados por día. A su vez, este cálculo permite establecer cómo será el sistema de suministros programado.

Tareas previas en el sitio de plantación

Las tareas de marcación del terreno y de realización de hoyos de plantación deben anteponerse a la llegada de las plantas. Por ello, su programación deberá llevarse a cabo según la disponibilidad de personal y herramientas adecuadas, como por ejemplo hoyadoras. El ancho del hoyo de plantación y su profundidad se establecen en función del tamaño del ejemplar, la calidad del suelo y la necesidad de recambio o no de sustrato. En sitios donde los suelos son de calidad, el hoyo no debe

³ Es el proceso por el cual un organismo se adapta a los cambios graduales en su medio ambiente (tales como un cambio de temperatura, humedad, fotoperíodo o pH), lo que le permite mantener sus características bajo diferentes condiciones ambientales. La aclimatación se da en un período corto de tiempo (días o semanas), y durante el período vital del organismo (a diferencia de la adaptación).





ser mucho mayor que el tamaño del cepellón, para que no se hunda posteriormente. Sólo será lo necesariamente ancho para permitir trabajar y agregar sustrato de calidad. En situaciones de suelo de mala calidad, conviene hacer hoyos más grandes (siempre hacia lo ancho) para suplir la mala calidad del sustrato.

Al realizar el hoyo se debe evitar el “acristalamiento” (“glazing”) o barnizado de las paredes que se produce por la el contacto de la herramienta con el suelo, ocasionando una especie de pared impenetrable para el nuevo sistema radical. Los suelos arcillosos son más propensos a este inconveniente. También se observa con frecuencia cuando se cavan los hoyos anticipadamente, quedando expuestos, que la tierra se seca y se endurece. Esto se evita trabajando con un nivel de humedad del suelo por debajo de la capacidad de campo.

Es fundamental observar las condiciones de seguridad en las áreas de uso público, señalizando o cubriendo momentáneamente los hoyos o impidiendo el paso de peatones.

Plantación

Una vez recibido el ejemplar y con el hoyo cavado se procede a verificar la profundidad del mismo de modo de asegurar que el cuello del árbol no quede por debajo del nivel del suelo.

En caso de utilizarse mecanismos para confinar raíces estos se colocan paralelos a la línea edificada y a la profundidad necesaria desde la altura del cuello del árbol para que cumplan su función: “obligar” a las raíces a dirigirse en profundidad y así minimizar la interferencia con las construcciones. Existen diferentes tipos de direccionadores que son analizados en el Capítulo 7. Uno muy utilizado, por su bajo costo y fácil instalación, es el polietileno negro de alrededor de 400 micrones.

Al retirarse el envase se verifica la calidad de las raíces, se remueven aquellas que estén muertas o heridas y se retira el exceso de tierra sobre las mismas. Es adecuado desarmar levemente el perímetro del pan de tierra de modo que las raíces puedan entrar en contacto con el nuevo suelo con menor tracción.

Al momento de colocar el árbol en el hoyo, se debe orientar la planta observando la posición del ramaje para que tenga las mejores posibilidades de desarrollo sin recurrir a podas frecuentes y evitando fracturas por viento u otros agentes. Hay que asegurarse que el fuste se encuentre derecho para luego añadir el sustrato.

En árboles injertados es necesario evitar que la parte de unión quede expuesta a pleno sol, de modo que hay que buscar la forma en que la copa pueda sombrear el injerto durante las horas de mayor exposición.

Para el relleno se aconseja colocar una mezcla conformada en un 70% por el material originario del hoyo (considerando que es material de buena calidad) y un 30% por “compost” o humus y, luego, apisonar el cepellón. Cabe aclarar que nunca debe aportarse material orgánico, sustrato o cualquier otro sustrato sobre la base del ejemplar. A continuación, se procede al riego, tanto para otorgar agua a la planta, como para consolidar el sustrato y mejorar la interface de contacto con las raíces. Una vez que haya drenado, se acomoda el suelo desplazado, y se contornea la “palangana de riego”. Si ha de instalarse un sistema de irrigación mecánico, acequias o drenajes que capturan el agua de lluvia, éste es el momento. Nunca se debe aportar material orgánico, sustrato u otro sobre la base del ejemplar.



No debe quitarse material verde sano que con su actividad fotosintética provee recursos al nuevo ejemplar, sólo debe eliminarse las ramas quebradas o secas. Finalmente se procede a tutorar, colocar bandas anti hormigas, sistemas anti vandálicos, o cualquier sistema de protección.

El sistema de tutorado puede variar de acuerdo al proyecto, la ubicación, el tránsito de vehículos o peatones, la especie, los insumos disponibles, pero sobre todo de acuerdo al envasado que ha condicionado el desarrollo radical. La ubicación de los tutores debe evitar que el ejemplar se vuelva inestable con las lluvias y riegos frecuentes lo que ocasiona ruptura de raíces por movimiento del fuste y, al mismo tiempo, hay que asegurar que la copa pueda moverse libremente para que no se quiebre con los vientos fuertes. Cualquiera sea el sistema se debe evitar que los tutores golpeen o lastimen la corteza. Por tal motivo, el atado debe verificarse con frecuencia aun cuando se haya colocado una protección, esta puede desplazarse y con el tiempo ocasionar lesiones irreparables.

La cantidad de tutores puede variar de 1 a 3, depende del sitio de emplazamiento, las necesidades particulares del ejemplar, los costos presupuestados y el mantenimiento posterior. Inclusive hay sistemas de tutorado subterráneo, indicados especialmente para áreas de alto tránsito o vandalismo. La atadura entre los tutores y el ejemplar se realiza por lo general en forma de "8" y con elementos flexibles que minimicen la fricción (bandas de goma, cintas plásticas). El tutorado excesivo o mal realizado sólo produce estrés en el ejemplar, desmejora sus posibilidades de crecimiento y lo hace susceptible a quebraduras, torceduras y deformaciones.

Muchos árboles no necesitan estaquearse, sobre todo las coníferas y aquellos que poseen un fuste robusto o con ramas bajas que distribuyen mejor el peso. En la vía pública, el estaqueado sirve como sistema de protección y por tal motivo hay diferentes posibilidades más o menos ornamentales, firmes y seguras. El tutorado debe ser visible a los transeúntes.

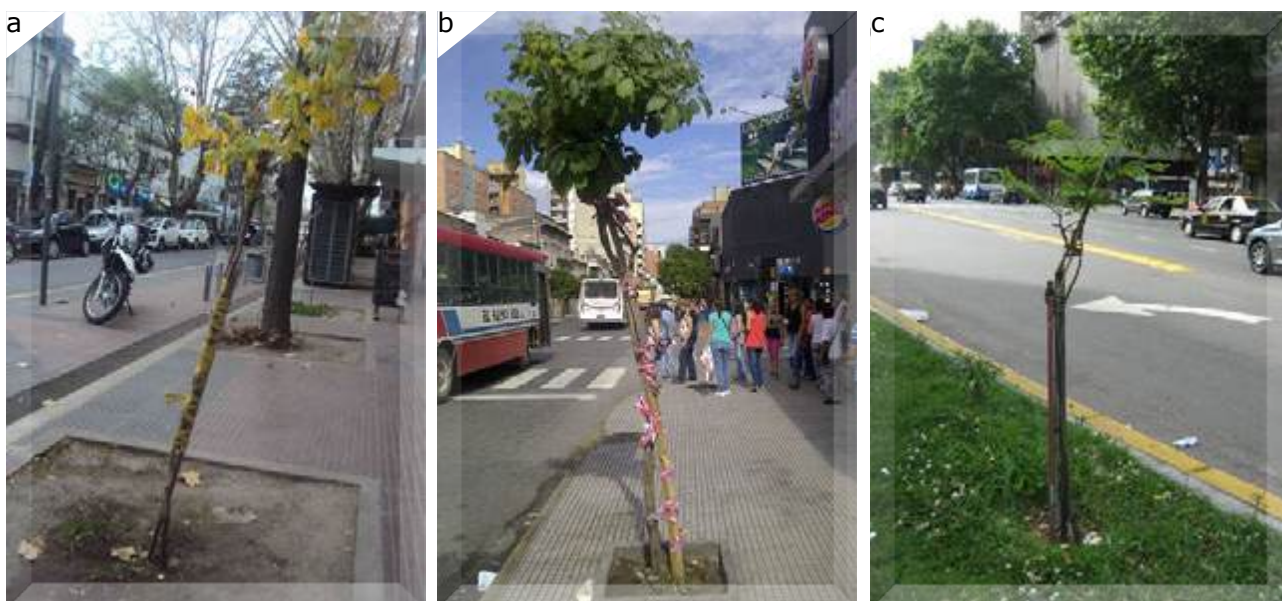


Foto 8.8.

Situaciones comunes de tutorado deficiente, sobre árboles de mala calidad, realizados con materiales y prácticas artesanales o vecinales.



En ocasiones es necesario proteger el fuste (de animales, maquinaria, etc.) por lo que se utilizan “refugios” de materiales orgánicos como ramas o cañas, o materiales plásticos que permiten un buen desarrollo del ejemplar evitando daños. Estas protecciones actúan además sobre el fuste como un “mini invernáculo”, en zonas frías son una excelente protección ante las bajas temperaturas, y en zonas áridas o muy calurosas, si bien incrementan la temperatura cerca del fuste, minimizan la falta de agua. En zonas húmedas colaboran en la condensación de la humedad ambiente, y retienen, entre las paredes del refugio, la transpiración de la planta, manteniendo el suelo húmedo e incrementando los niveles de CO₂. Estos factores favorecen el desarrollo de los microorganismos del suelo e incrementan el crecimiento de las plantas en niveles evidentes, principalmente en los primeros años de vida del ejemplar. No obstante, las condiciones húmedas pueden favorecer la presencia de patógenos en ocasiones en que no se inspeccionan los ejemplares de manera frecuente.

No es necesario fertilizar al momento de plantación ya que si las plantas son de buena calidad y fueron bien tratadas poseen las suficientes reservas para un buen crecimiento en su primera temporada. Si existieran problemas de nutrientes, sólo se recomienda el agregado de nitrógeno que se desplazará al sustrato con el primer riego.

Tareas post-plantación

El ejemplar recién plantado deberá superar una conjunción de factores difíciles que causan estrés, debilidad, escaso vigor o brotación, etc. Por ello, es indispensable considerar el mantenimiento y seguimiento de la nueva plantación, para garantizar un buen período de riego, control fitosanitario, mantenimiento de tutores y limpieza de planteras. El seguimiento de los nuevos ejemplares nos permitirá observar qué plantas detienen su desarrollo, decaen o mueren por causas traumáticas que ocurran con posterioridad a la plantación.

La principal preocupación post-plantación debe ser mantener el correcto grado de humedad del suelo. Esto implica maximizar la disponibilidad de agua para las plantas y evitar la ocurrencia de excesos, sobre todo en suelos compactados o arcillosos, o con altas temperaturas en primavera verano.

Como regla común se considera necesario dos años de riego frecuente, teniendo en cuenta el tipo de plantación superficial y la escasez de raíces. La necesidad de riego sólo puede valorarse tomando muestras del suelo en un número representativo de ejemplares. Esto permite definir el equilibrio correcto y la frecuencia de riego apropiada para cada sitio.

Es muy importante revisar el fuste para verificar posibles daños por quemadura solar, vandalismo, daños mecánicos ocasionados por el mantenimiento de planteras, etc. Para garantizar la restauración del sistema radical es necesario que la planta comience a desarrollar copa y volumen de fuste. Ese es buen momento para resolver los posibles estrangulamientos por ataduras de los tutores y posteriormente llevar a cabo su retirada. Avanzado el tiempo se comenzarán con las tareas de poda convenientes sobre el ejemplar joven.



Seguimiento y evaluación

Sólo podremos conocer los avances alcanzados si se evalúan los logros y los desaciertos de los diferentes objetivos del proyecto. El porcentaje de árboles bien implantados es un indicador de una buena planificación. Por lo tanto, el seguimiento de los ejemplares por un buen período de tiempo es una práctica recomendable y responsable.

Sin evaluación no hay superación en las metas ni aprendizaje en la gestión. La evaluación de una plantación requiere:

- Observar y documentar las fases del proyecto.
- Observar y documentar la tasa de crecimiento de los ejemplares y los factores del ambiente que la afectan, pues permite evaluar el comportamiento de cada individuo o de una especie.
- Observar y documentar las tareas de mantenimiento, ya que permite evaluar cómo inciden las distintas prácticas llevadas a cabo sobre el desarrollo vegetal.

Bibliografía

- Benito, G. y Palermo Arce, M. (2014). Planificación y manejo de la Plantación del Arbolado Urbano. Guías Didácticas asignatura Arbolado urbano. Cátedra de Jardinería FAUBA. Recuperado de: https://ced.agro.uba.ar/moodle/pluginfile.php/163352/mod_resource/content/1/PLANIFICACION%20Y%20MANEJO%20DE%20LA%20PLANTACION%20DEL%20ARBOLADO%20URBANO.pdf
- Borelli, S., Conigliaro, M. y Pineda, F. (2018). Los bosques urbanos en el contexto global. *Unasylya. Revista internacional sobre bosques y actividades e industrias forestales*, 69(1), 3-10. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/I8707ES/i8707es.pdf>
- Calaza Martínez, P. y Iglesias Díaz, M. I. (2016). El riesgo del arbolado urbano. Contexto, concepto y evaluación. Madrid, España: Mundi Prensa.
- Calaza Martínez, P., Cariñanos, P., Escobedo, F. J., Schwab, J. y Tovar, G. (2018). Crear paisajes urbanos e infraestructura verde. *Unasylya: Revista internacional sobre bosques y actividades e industrias forestales*, 69, 2018/1. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i8707es/I8707ES.pdf>
- Criollo, C., Assar C, R., Cáceres, L. D. y Préndez, B. M. (2016). Arbolado urbano, calidad del aire y afecciones respiratorias en seis comunas de la provincia de Santiago, Chile. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 32, 77-86. Recuperado de <https://www.scielo.cl/pdf/rcher/v32n2/art03.pdf>
- Crow, P. (2005). The influence of soils and species on tree root depth. Information Note. Forestry Commission. Recuperado de: <https://www.forestresearch.gov.uk/documents/6734/FCIN078.pdf>
- Dobson, M. (1995). Tree root system. Arboriculture Research and Information note. AAIS-Arboricultural Advisory and Information Service. Recuperado de: <https://www.trees.org.uk/Trees.org.uk/files/61/6181f2b7-e35d-4075-832f-5e230d16aa9e.pdf>

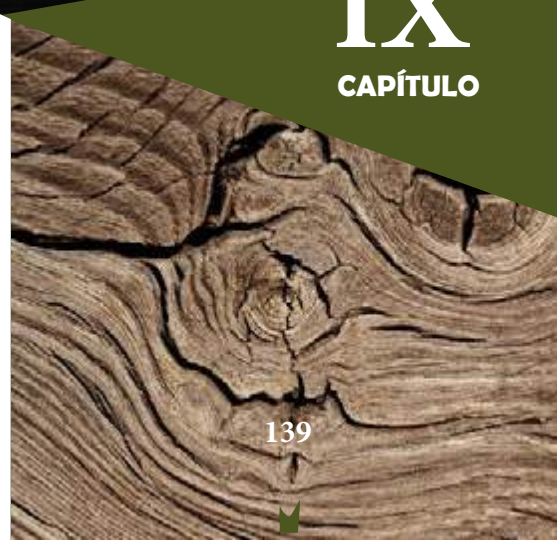


- Foxx, T. S., Tierney, G. D. y Williams, J. M. (1984). *Rooting Depths of Plants Relative to Biological and Environmental Factors*. Los Álamos, New Mexico: U.S. Government Printing Office. Recuperado de: <https://www.osti.gov/servlets/purl/6215530>
- Grau, A. y Kortsarz, A. (Eds.). (2017). *Guía de Arbolado de Tucumán*. Segunda edición. Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán. Recuperado de: <http://www.guiadearbolado.com.ar/Publicaciones/GuideArboladodeTucuman-2Edicion.pdf>
- Harris, R., Clark, J. R. y Matheny, N. (2004). *Arboriculture: Integrated management of landscape trees, shrubs and vines*. Upper Saddle River, N.J., EE.UU.: Prentice Hall.
- Kalliokoski, T., Nygren, P. y Sievänen, R. (2008). Coarse root architecture of three boreal tree species growing in mixed stands. *Silva Fennica*, 42(2), 189-210. Recuperado de: <https://silvafennica.fi/pdf/article252.pdf>
- Konijnendijk van den Bosch, C. (2021). Promoting health and wellbeing through urban forests – Introducing the 3-30-300 rule. Recuperado de: <https://www.linkedin.com/pulse/promoting-health-wellbeing-through-urban-forests-rule-cecil/?published=t&trackingId=gY40Q61JS1uzjKp3vuCLmg%3D%3D>
- McPherson, E.G., Simpson, J.R., Peper, P.J., Xiao, Q., Maco, S.E., Hoefer, P.J. y Davis, D. (2003). *Northern mountain and prairie community tree guide: benefits, costs and strategic planting*. Albany, EE.UU.: Estación de investigación del sureste del Pacífico, Servicio Forestal de EE.UU.. Recuperado de: https://www.fs.fed.us/psw/topics/urban_forestry/products/cufr_258.pdf
- Martínez, C.F., Cantón, M.A. y Roig, F.A. (2008). Dendrocronología y variabilidad hídrica en el crecimiento de árboles urbanos. Capítulo II Anillos de Crecimiento. En: Castro, M. A. (Coord.). *Bioindicadores de Contaminación Ambiental*. (pp. 71-86). Buenos Aires, Argentina: Editorial Dunken.
- Nowak, D.J., Dwyer, J. F. y Childs, C. (1997). Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano. Capítulo 2. En Krishnamurthy L. y Rente Nascimento, J. (Eds.). *Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/265540211_Los_beneficios_y_costos_del_enverdecimiento_urbano
- Santamour, F.S., Jr. (1990). Trees for urban planting: Diversity, uniformity, and common sense. *Proceedings 7th Conference Metropolitan Tree Improvement Alliance (METRIA)* 7: 57-65. Lisle, Illinois: The Morton Arboretum. Recuperado de: <http://new.www.tree-care.info/mhattachments/pdficoI0kyRZI.pdf>
- Servicio Forestal de los Estados Unidos. (2004). *The large tree argument. The case of large-stature trees vs. small-stature trees*. Davis, Estados Unidos: Servicio Forestal de los Estados Unidos. Recuperado de: <https://www.arborillogical.com/media/2453/benefits-us-forest-service-the-large-tree-argument.pdf>
- Sutton, R.F. (1980). Root system morphogenesis. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 10(1): 264-292. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.700.5040&rep=rep1&type=pdf>



Trasplante de ejemplares

IX
CAPÍTULO





Introducción

El desarrollo de las áreas urbanas requiere muchas veces la reubicación de grandes ejemplares arbóreos. Esta situación presenta diversos motivos a considerar que incluyen tanto la factibilidad del trasplante como la valuación económica, ecológica y paisajística.

Si bien la práctica de trasplante de grandes ejemplares se remonta a la antigüedad, hoy en día se han desarrollado numerosos avances que pretenden garantizar la efectividad del proceso. Estos progresos se basan en el conocimiento fisiológico de la vegetación, su interrelación con el suelo y el clima, y en las técnicas aplicadas durante el procedimiento.

El proceso de trasplante involucra diferentes tareas que incluyen desde el retiro del ejemplar de su sitio de origen, el traslado, la plantación y su mantenimiento posterior. Estas tareas deben ejecutarse con precisión y celeridad, lo cual demanda el diseño de un claro programa de ejecución de las labores y la capacitación y experiencia de quienes asumen las distintas operaciones. Dicho programa, a su vez, debe contemplar las dificultades a superar, que involucran tanto la sobrevida del ejemplar como los posibles riesgos para el personal, los actores circunstanciales y las instalaciones aledañas.

Factores a considerar

Al momento de decidir la ejecución de un trasplante se deben considerar:

1. Características del ejemplar

- **Valor histórico, ecológico, ornamental, económico del ejemplar:** estas características son procedentes para definir el esfuerzo del trasplante aun cuando las dificultades sean excesivas. Sólo una evaluación técnica desfavorable o limitaciones propias de la especie deberían impedir el traslado de ejemplares que presenten alguna de estas cualidades.
- **Características de la especie:** aptitud a ser trasplantada, según la dificultad puede definirse como de fácil, difícil, o poco aptas para el trasplante (ver listado en el Cuadro 9.3 al final del capítulo). Estos grados de dificultad determinan el método apropiado de trasplante.
- **Período estacional:** siempre es posible realizar un trasplante, pero existen épocas favorables según la fenología. A excepción de las palmeras, el resto de las especies se trasplantan cuando se detiene el desarrollo vegetativo o en reposo vegetativo. Por lo tanto, en cada región, el momento del año en el cual es factible realizar el trasplante de una especie dada variará en función del clima o las condiciones anuales de temperatura. Estas recomendaciones estacionales inciden también en la recuperación del estrés post-trasplante.

Cuadro 9.1.

Período estacional sugerido para el trasplante de ejemplares por fenología.

Otoño	Invierno-Primavera	Verano
- Caducas: después de la caída de las hojas, pero antes que el suelo se enfríe.	- Persistentes, caducas y coníferas: antes de la brotación primaveral.	- Palmeras: desde fines de primavera cuando hay mayor crecimiento de raíces. - Persistentes, caducifolias o semi-persistentes: sólo con cuidados extremos.





Para el trasplante de verano de especies persistentes, semi-persistentes o caducifolias, deben considerarse dos situaciones de alto grado de estrés: el aumento de la transpiración de las hojas y la desecación o deshidratación de las raíces. La transpiración se eleva durante el período diurno, con altas temperaturas y baja humedad. En estas circunstancias, puede ser aconsejable el uso de anti-transpirantes para detener el efecto de pérdida de agua producido por vía estomática ante las diferencias que presenta el nuevo sitio de emplazamiento y según los cambios químicos internos del árbol. Estos productos pueden aplicarse por vía radical (empapado) o foliar (aspersión o “spray”). Ambos métodos deberían ser aplicados al menos 24 h antes de iniciar el cavado del cepellón y sus efectos pueden durar hasta tres semanas.

Otra consideración para los trasplantes estivales, en el caso de palmeras, es la observación del estado sanitario, especialmente en zonas afectadas por picudo (*Rhynchophorus palmarum*). Cuando esta plaga constituye una amenaza se recomienda realizar un tratamiento sanitario preventivo con fungicida e insecticida (raíces y hojas) durante el mes previo a las labores propias del trasplante.

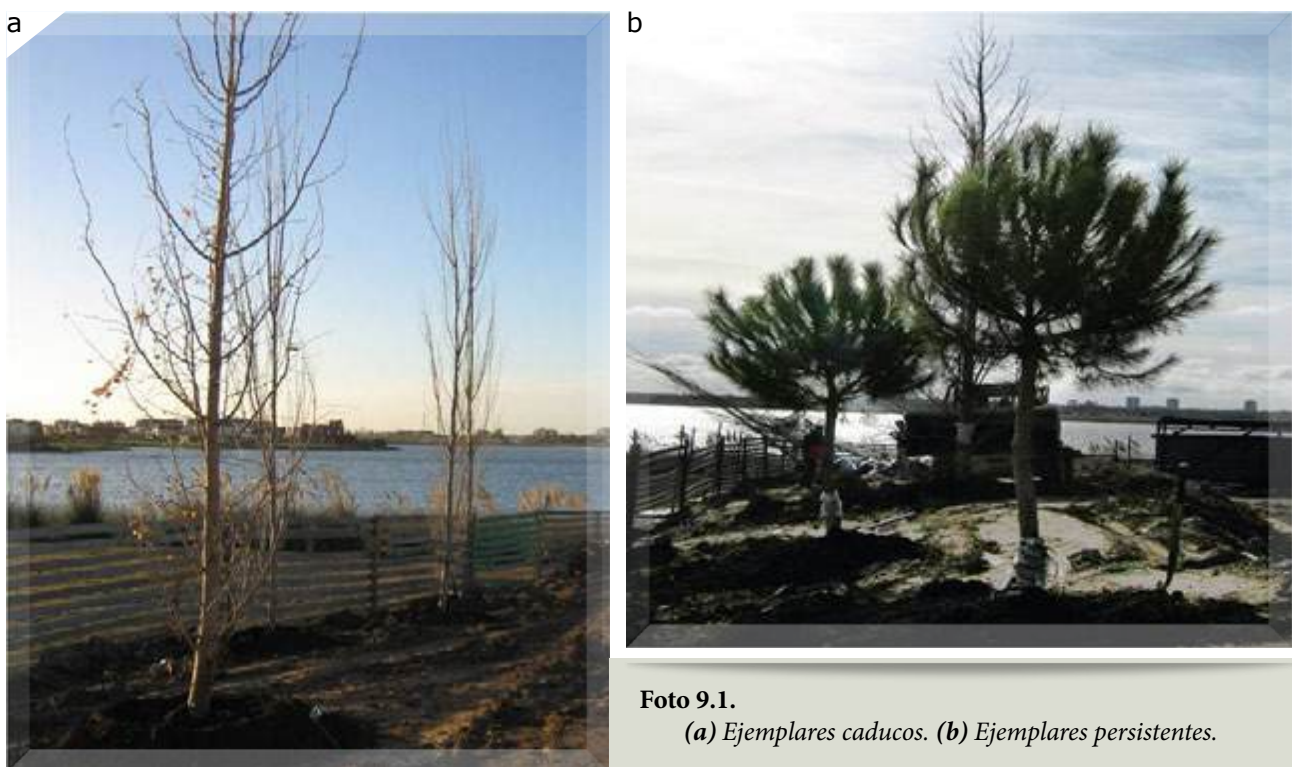


Foto 9.1.

(a) Ejemplares caducos. (b) Ejemplares persistentes.

- **Magnitud:** el tamaño del árbol es muchas veces proporcional a las posibilidades de éxito del proceso. Los ejemplares pequeños tienden a sufrir un menor estrés y presentar una mejor adaptabilidad al entorno, una recuperación más rápida y una menor pérdida de las características estructurales que aquellos de mayor tamaño.

Los denominados “súper ejemplares”, tienen un alto costo de transporte, una lenta recuperación y adaptabilidad al entorno. En algunas especies, la pérdida de sus características morfológicas por poda de copa puede ser importante. A su vez, estos ejemplares tienen un alto costo de manejo y requieren un alto mantenimiento posterior.





Foto 9.2.
*Súper
ejemplares.*

- **Velocidad de crecimiento:** los árboles de rápido crecimiento viven poco, son propensos al quiebre (madera blanda), pero generalmente son muy tolerantes a las dificultades del sitio y del trasplante. Los árboles de moderado crecimiento tienen buena tolerancia a las dificultades del sitio y, dependiendo de las características de su madera, son menos proclives a quebramientos. Su trasplante requiere cuidados moderados. Los árboles de lento crecimiento son susceptibles a los cambios en el entorno y a las tareas de trasplante, por lo que exigen la más alta técnica y tecnología para asegurar su traslado.
- **Capacidad de adaptación al sitio:** es necesario considerar paridad de condiciones entre el sitio de origen y el de trasplante de manera de garantizar que el ejemplar pueda adaptarse a las características climáticas, los requerimientos edáficos, nutricionales e hídricos y pueda ser resistente a plagas y enfermedades. Debe observarse la ubicación del ejemplar en el lugar de origen, sus adaptaciones a la cantidad de radiación, la orientación con respecto al sol, la protección que ofrece el canopeo de otros árboles, la competencia con el resto de la vegetación, la dirección y velocidad de los vientos, la compatibilidad entre suelos (composición, pH y drenaje), la fauna presente y el efecto antrópico (actividades en el entorno, daños asociados, etc.). Estas capacidades están en buen grado definidas por el desarrollo de las raíces estructurales condicionadas por el sitio de origen. Según las adaptaciones al suelo es posible encontrar:

Raíces largas, profundas con escasas laterales: suelos arenosos.

Raíces gruesas, expuestas, poco extendidas: suelos rocosos o arcillosos.





Sistema radical uniforme, compacto: suelos fértiles.

Raíces poco profundas, expuestas: suelos compactados.

- **Según el cultivo:** los ejemplares mejor adaptados son aquellos que fueron cultivados para ser trasplantados, ya que todas las tareas de vivero se ejecutaron para proveer un árbol sano y bien estructurado. Cuando el trasplante se efectúa sobre individuos urbanos o silvestres es más difícil garantizar la sobrevivencia, ya que en estos casos los sistemas de raíces son muy particulares por lo que hay que evaluar qué técnica será apropiada, sin llegar a medidas drásticas en pérdida radical que se expresarán en la estructura de la copa.

2. Condiciones particulares del ejemplar

- Estado ontológico: la evaluación del ejemplar nos permite decidir acerca de la posibilidad de trasplante. La edad puede ser una limitante si no se cuenta con la técnica, la tecnología y el mantenimiento adecuado. La resistencia de los árboles jóvenes siempre es mayor a la de los añosos.
- Estado fitosanitario: al momento del trasplante los ejemplares deben estar con buena salud. Si por algún motivo se prevé trasplantar un ejemplar enfermo se procederá a su tratamiento antes de iniciar el proceso.
- Estado estructural: detectar morfología (se prefiere un sistema simétrico) y daños o compresión de raíces, ramas con corteza incluida, ramas codominantes, proporción entre la copa y el fuste, proporción del ramaje y/o cavidades.

Mantenimiento, costo y dificultades

Resulta indispensable evaluar las dificultades de extracción en buenas condiciones sobre todo en áreas urbanas, que presentan mayores riesgos. Los costos del trasplante estarán asociados al tamaño del ejemplar, al grado de dificultad de todo el proceso (que involucra preparación, traslado, reubicación y mantenimiento), a las instalaciones (sistema de riego, construcciones, entre otras) y a las tareas culturales que acompañen el proceso de establecimiento.

3. Procedimiento de trasplante

En la actualidad podemos diferenciar varios métodos de trasplante: el método manual, el trasplante en plataformas y el sistema de trasplante con trasplantadora. Cada una de estas alternativas se adapta a las diferentes situaciones del ejemplar, las condiciones del sitio, el presupuesto, los tiempos de ejecución del proyecto y la disponibilidad técnica y tecnológica. Además de estas consideraciones es importante definir cómo se ha de conformar el traslado del sistema de raíces. En general, se recomienda que esta operación se realice mediante la confección de un cepellón y sólo para algunas ocasiones resulta una opción posible el trasplante a raíz desnuda.





Método manual

Trasplante a raíz desnuda: indicado para especies caducas o palmeras en climas templados, suelos arenosos y en cortas distancias de traslado. Una vez realizado el trasplante es indispensable asegurar el ejemplar para que no se produzcan pequeños movimientos que rompen los pelos y raíces nuevas que comienzan a desarrollarse.

Trasplante con cepellón: todas las especies son aptas para trasplante en cepellón. Su construcción involucra las siguientes consideraciones:

- **Banqueo o repicado:** corresponde a la excavación alrededor del árbol para la conformación del *cepellón* o porción de tierra que se moverá con el árbol como contenedor del sistema radical. Se debe evaluar al momento de preparar el cepellón el estado del ejemplar, la calidad del sustrato y la extensión de las raíces. Es sumamente importante en esta operación asegurar que no se modificará la cota del cuello del árbol y determinar su orientación para respetarla en el nuevo sitio de emplazamiento.
- **Determinar el tamaño del cepellón:** las recomendaciones habituales para determinar la medida del cepellón sugieren que por cada 2,5 cm de diámetro de tronco, medido a 1,4 m de altura se deben calcular 30 cm de cepellón. Otros autores proponen que cada 2,5 cm de radio, medido a 1,40 m de altura se calculen 30 cm de cepellón (Jordan, 2013) o que se considere una relación de 9 veces el diámetro de tronco medido 30 cm sobre el cuello de la raíz para determinar la medida del cepellón (Lilly, 1999). En especies resistentes al trasplante se puede reducir ésta regla a 6 veces el diámetro de fuste.

La profundidad del cepellón depende de la extensión de las raíces laterales. En general se recomienda de 0,75 a 1 m. Otra alternativa consiste en considerar la ausencia de raíces de diámetros mayores a 5 cm a profundidades entre 70 y 90 cm como suficiente para determinar la profundidad de corte para la mayoría de las especies. El cepellón, cuanto más grande, mejor.

- **Confección del cepellón:** existen varios métodos de acuerdo con el tiempo previsto en el proyecto. Si se dispone de tiempo previo, se recomienda el método de los “Tres años” que propone realizar podas un tercio del cepellón por año, para recién trasplantar al cuarto período (Figura 9.1). Esto favorece notablemente la recuperación de las raíces adventicias. Cuando los tiempos de los proyectos son acotados, este procedimiento puede reducirse a bianual o anual, teniendo en cuenta que se aumenta el estrés sobre el ejemplar. En todos los casos es conveniente efectuar el corte en el período en que el árbol se encuentra en crecimiento activo y puede generar raíces nuevas para minimizar las pérdidas causadas (en sitios templados fríos, de mediados de primavera a finales de otoño; en lugares templados cálidos, desde principios de primavera a finales de otoño).
- **Demarcación perimetral del cepellón:** es sumamente importante que la demarcación perimetral del cepellón sea simétrica y circular, de modo de garantizar una forma cónica, de lados redondeados y base reducida. Esto brinda mayor estabilidad al momento de izar el ejemplar.

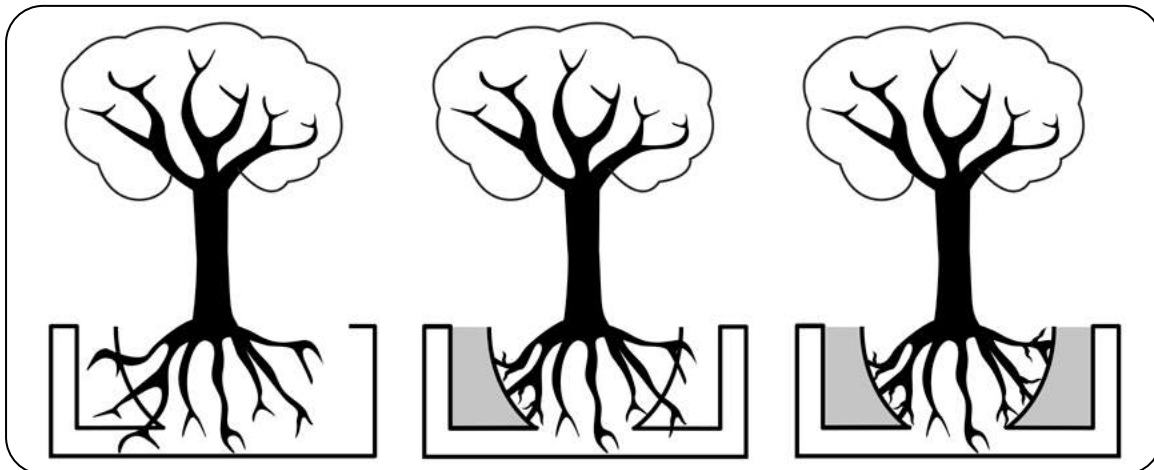


Figura 9.1.

Armado del cepellón en ciclos. En cada ciclo se van cortando parte del sistema de raíces y cubriendo la zanja perimetral con un sustrato poroso y rico para estimular la aparición de nuevas raíces adventicias. Una vez terminado el proceso de corte de raíces, se procede a la envoltura y al retiro del cepellón con sólo la pérdida de las raíces de la base.

- **Zanjado perimetral:** puede realizarse de manera mecánica o manual. En caso de utilizar maquinaria pesada, ésta debe comenzar el cavado a una distancia de, por lo menos, 50 cm de la línea perimetral del cepellón para finalmente consolidar el perfilado de raíces mediante herramientas manuales, serruchos, palas, tijeras, etc. bien afiladas y desinfectadas. Cuando por las características del sustrato, éste se desmorone o se formen cavidades, deben rellenarse y compactarse para garantizar la forma del bloque. Es aconsejable un riego profundo el día anterior a la extracción de manera de mejorar la adhesión de las raíces al sustrato. Una vez realizado el corte de raíces, se procede a excavar un poco más profundo, de manera que el cepellón quede sobre un montículo de suelo que permita dar la forma deseada (forma tronco cónica), luego proceder a su **envoltura** y finalmente realizar el retiro.



Foto 9.3.

*(a) Ejemplar cultivado a campo para ser trasplantado.
(b) Ejemplar listo para ser transportado.*



4. Tipos de envase para cepellón

- **Envoltura:** debe ser preferentemente de material biodegradable (arpillera, totora, rafia u otro tejido no sintético, aunque en muchas ocasiones se envuelve con envoltorio de polietileno de baja densidad autoadherente). Se procede primero a colocar una tapa de tejido circular como cobertura superior del cepellón, la cual debe tener un orificio central del mismo tamaño que el tronco y exceder la medida del perímetro del bloque, para que los laterales del tejido puedan cubrir todo el pan de raíces. La envoltura debe estar firme antes de proceder al izado para garantizar la estabilidad del sustrato y del sistema radical. En el caso de usar sogas para el amarre del tejido, éstas no deberían instalarse sobre el tronco ya que podrían causar lesiones irreparables.



Foto 9.4.

Cepellón con envoltura de plástico.



- **Encajonado:** sustituye el envoltorio de tejidos por un contenedor de madera. Se utiliza en ejemplares que se preparan con mucha anterioridad. Es de fácil manejo y transporte y los riesgos de deterioro en raíces se minimizan. La preparación del cepellón sigue los pasos anteriormente mencionados, con la diferencia que se formará con sección cuadrangular, de modo de adaptarse al contenedor de madera.

5. Izado, traslado y trasplante

El **izado** se realiza una vez asegurado el cepellón. La forma de manipulación dependerá del peso y del tamaño del ejemplar. En el caso de árboles de mediano a gran tamaño la operación se realiza con grúa.

Primero se sujeta el ejemplar a la línea de izado asegurando que las zonas de contacto con el árbol se encuentren protegidas con plástico o fieltro. La soga de izado se ubica de manera de compensar la carga y evitar el desequilibrio del árbol al momento de moverlo. Dependiendo de la forma y tamaño del árbol se pueden colocar otras sogas auxiliares para estabilizar el izado. Una vez sujeto y asegurado, se procede a cortar por debajo de las raíces separando al árbol del suelo (con herramientas manuales o recurriendo al malacate de la grúa). Finalmente se termina de envolver el bloque.

Una vez levantado el ejemplar del suelo, éste se coloca sobre el vehículo que lo transportará si requiere desplazamiento. En el acoplado, la posición del árbol se adecuará a las necesidades de seguridad y al tipo de obstáculos que deba atravesar. Es importante al momento de modificar la ubicación del ejemplar marcar la orientación en el emplazamiento original. Esto evita alteraciones en la actividad fotosintética y en la evapotranspiración del árbol. Se puede hacer la marcación con una señal de tinta biodegradable sobre el fuste o colocando alguna atadura que no vaya a deslizarse.

El traslado del árbol es la parte del procedimiento que presenta los riesgos propios de manipular cargas pesadas. Los cálculos de las cargas que se van a manejar y los elementos o aparejos de izaje, así como el método deben ser definidos por personal calificado, entrenado y con experiencia.

Es importante contar con una logística previa para que los trabajadores intervinientes conozcan la operatoria y cuáles serán sus funciones particulares, además de las medidas de seguridad que deben guardarse tanto para la protección del personal como de los bienes circundantes. También es necesario definir con anterioridad cuáles serán las herramientas y los equipos necesarios.

Las tareas que se desarrollan en la vía pública deben ser anunciadas con anterioridad. Esto permite contar con equipos de apoyo de ser necesario, y evitar inconvenientes a los afectados ocasionalmente por la interrupción del tránsito vehicular y peatonal.

El **traslado**, aun cuando sea por cortas distancias o períodos, requiere medidas de protección del árbol y la evaluación de la logística apropiada. El traslado en camión requiere que el fuste vaya bien protegido para evitar que se dañe la corteza. La copa del árbol puede envolverse con arpillera, sin ajustar, para reducir las posibilidades de desecación o daños mecánicos por quiebre del ramaje.

El **trasplante en plataforma** es un método que implica las tareas de preparación del cepellón tradicional con cobertura, con la diferencia de que por debajo del cepellón se construye una plataforma metálica dimensionada que sirve de base para el traslado del ejemplar. Sobre esta plataforma se monta





el sistema hidráulico para el izado. Este procedimiento permite manipular un volumen de cepellón mucho más grande del normalmente previsto, por lo que es sumamente recomendado para el traslado de súper ejemplares, ejemplares añosos, o árboles multitronco, que de otra manera no soportarían las alteraciones en el medio ni la pérdida de parte de su sistema radical.

Al moverse el cepellón sobre la plataforma el tronco no sufre heridas de ningún tipo, porque las sujeciones se atan a los extremos de la tarima, lo que por otro lado no estropea el ramaje y por lo tanto no modifica la silueta arbórea. El cepellón es de sección cuadrada y tiene la base plana que facilita su depósito sin riesgo de desmoronamiento. Esto permite, también, el acopio del ejemplar hasta que las circunstancias sean las adecuadas para su plantación definitiva.

El sistema permite mover volúmenes de hasta 400 o 500 t, por lo que no hay límite en cuanto al tamaño de los árboles a transportar. Las restricciones para el traslado están dadas, por tanto, por el volumen de la carga y del sistema vertical del ejemplar a trasladar en las rutas del itinerario, así como por los obstáculos aéreos que se presenten en el recorrido (puentes, luminarias, otros árboles, etc.).

El **trasplante mecánico** consiste en la ejecución del trasplante en “un solo paso”, ya que la maquinaria se adapta a la tarea de cavado del cepellón, transporte y plantación del ejemplar. Comúnmente, se llama a este sistema “espadas de trasplante” debido a las cuchillas cóncavas que actúan a modo de pala ajustándose al tamaño del sistema radical en forma envolvente (Figura 9.2). El ejemplar se mueve entonces como en un gran contenedor protegido de daños en su fuste y ramaje, hasta el sitio de plantación. El mismo equipo efectúa con antelación el hoyo para la plantación. Este tipo de maquinaria se encuentra disponible para una extensa variedad de tamaños de cepellón, es rápida y eficiente para la reubicación de ejemplares de gran porte que no requieren ser transportados grandes distancias. Entre otros beneficios genera menos daños en raíces ya que el corte de las cuchillas es limpio y filoso, especialmente en suelos compactados o duros, no se producen roturas o fisuras en el cepellón. Es un método viable para el trasplante en casi cualquier época del año teniendo en cuenta las características del ejemplar. En la preparación del cepellón (previo a la utilización de la trasplantadora) se aplicarán también los procedimientos de banqueo y riego profundo considerando las proporciones impuestas por las palas.

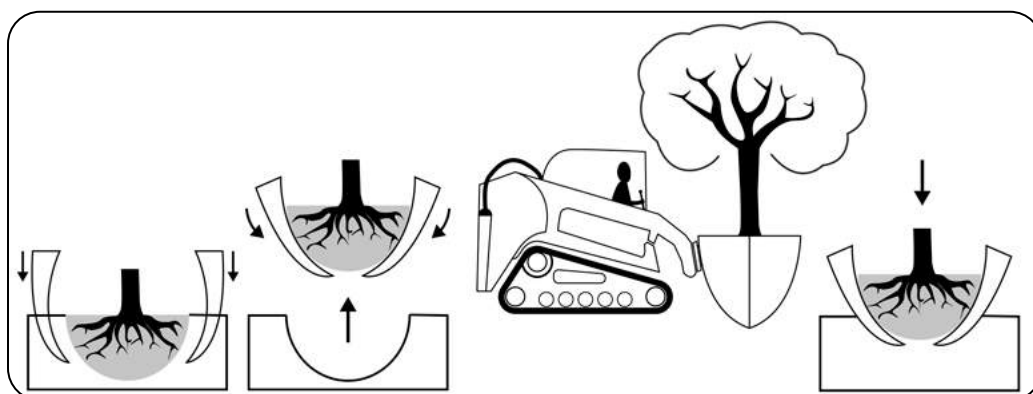


Figura 9.2.

Procedimiento de extracción, traslado y plantación mediante máquina trasplantadora. Las cuchillas cóncavas sujetas al equipo de transporte cavan un cepellón cónico en torno al ejemplar manteniéndolo compacto. Luego, se levanta y traslada el árbol contenido entre las mismas cuchillas y se planta en la nueva posición.



Preparación del sitio de plantación

Comprobar la capacidad de drenaje y aireación del sitio de plantación debe ser una tarea previa a la selección de la especie a trasplantar ya que existen limitaciones infranqueables y otras que pueden mejorarse con sistemas de drenaje o sustratos mejorados. La colocación de estos sistemas debe preceder el momento de la plantación. En caso de requerir sistema de riego debe también estar pre instalado.

Es preferible la preparación del **hoyo de plantación** con anterioridad, considerando que su ancho y profundidad se adaptará al cepellón de modo de no producirse una plantación baja. Es muy importante que el cepellón quede firme y que el suelo o sustrato no impida el desarrollo de las raíces horizontales fundamentalmente en los primeros 45 cm de profundidad. Las caras del hoyo deben estar levemente inclinadas hacia adentro y no quedar lisas por el corte de las herramientas, ya que dificultan la penetración de las raíces.

Plantación

En líneas generales, las tareas de plantación no difieren de las tradicionales, pero es fundamental el cuidado y la rapidez en el desarrollo de las mismas si se pretende lograr una veloz recuperación del sistema de raíces. Antes de plantar un ejemplar, se debe revisar que el cepellón sea sólido y que presente poco o nulo movimiento del fuste; se deben considerar de igual forma las lesiones que se hayan



Foto 9.5.

Secuencia que inicia con el izado del árbol desde el camión al sitio de plantación, continua con posicionamiento en el hoyo de plantación, el retiro de la envoltura y finaliza con la nivelación.



producido en el tronco y ramas que pueden convertirse en el medio de penetración de plagas y enfermedades que podrían afectar el posterior establecimiento del ejemplar.

Al plantar es necesario eliminar la envoltura del cepellón. La colocación del árbol en el hoyo se debe hacer con mucha precaución. Es importante asegurar que el cepellón esté en posición vertical y que el árbol se plante derecho, nunca profundo y en lo posible con la misma orientación que en su sitio de origen. A continuación, se cubre el hoyo con una mezcla de tierra del lugar y sustrato mejorado. Esta mezcla mejora la interfaz de penetración de las nuevas raíces, sin generar cambios drásticos entre el sustrato del hoyo y el suelo circundante. Luego debe compactarse, se realizan las palanganas de riego y se procede al tutorado.

El **tutorado o estaqueado** varía según el tamaño y ubicación del ejemplar. En árboles de gran tamaño es necesaria la colocación de tensores para evitar el movimiento o vuelco del ejemplar. Estas estructuras se colocan a un tercio a la mitad de la altura del fuste. Las sujeciones en contacto con la corteza deben estar cubiertas por protección plástica y no deben interferir con el ramaje. Los tensores deben ser de cable de acero y contar con mecanismos que permitan mantenerlos firmes pero flexibles.

Para ejemplares medianos a grandes, los tensores se ajustan a un taco de madera que se entierra unos 70 cm y a una distancia de entre 1 a 2 m del fuste, orientados según los vientos predominantes. En ejemplares ubicados en sitios sin vientos fuertes, pueden colocarse tutores de madera a ambos lados del ejemplar sujetándose con riendas flexibles en la parte media alta del árbol y protegiendo la zona de contacto con la corteza. En otras ocasiones puede confeccionarse una estructura con puntales de madera para dar sostén y protección al ejemplar. Los trípodes de madera se utilizan habitualmente para la sujeción de palmeras. Otro sistema de tutorado especialmente indicado para zonas de alto tránsito consiste en sujetar el cepellón bajo tierra mediante correas sujetas a anclajes enterrados (Figura 9.3). Cuando los trasplantes se ubiquen en espacios públicos los tensores deben ser visibles y seguros para evitar accidentes y vandalismo.



Foto 9.6.

(a) Sistema de tutorado con estructuras de madera. (b) Sistema de tutorado con tensores enterrados. En este caso, los alambres se cubrieron con material visible para que sean fácilmente advertidos en el espacio público.

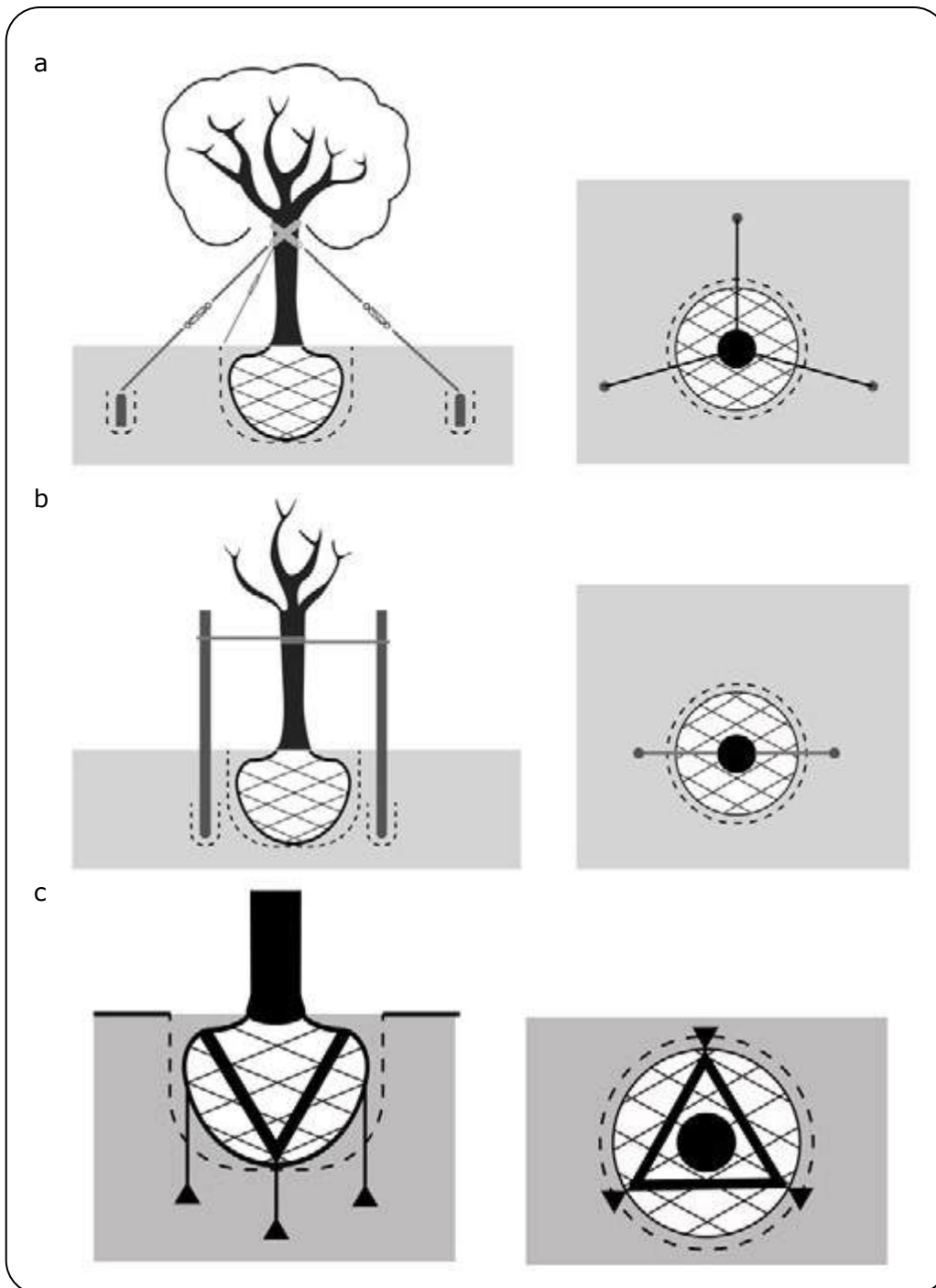


Figura 9.3.
*Sistemas de
tutorado:
(a) tensores
aéreos, (b) con
dos tutores
laterales y
(c) sujeción
subterránea
con correas
de anclaje.*

El **riego** al momento del trasplante debe ser profundo para garantizar el desarrollo de raíces fuera del cepellón. La cantidad de agua se relaciona directamente con el porte del ejemplar, el tipo de suelo y la pluviometría del lugar. Como norma general se debe humedecer el sustrato con un riego de bajo caudal de manera que el agua se infiltre lentamente.

No siempre se considera necesario realizar una **poda** preparatoria antes del trasplante, particularmente porque muchas veces esto resulta en descopes devastadores que aumentan la posibilidad de fracaso del ejemplar. En el momento de trasplante tampoco se recomienda la poda, a excepción de ramas quebradas, secas o enfermas.



Cuidados posteriores al trasplante

Es indispensable conocer los requerimientos hídricos particulares de cada especie de acuerdo con las condiciones del sitio (suelo, exposición, vientos) para así programar un sistema de riego apropiado. Independientemente del sistema (mecánico o manual), el riego no debe ser excesivo, esto sólo provoca daños irreparables en raíces y ablandamiento del suelo, aumentando las probabilidades de vuelco. Es necesario verificar que el agua no posea alto contenido de sales. En algunos casos puede ser conveniente el riego en forma de neblina o “mist” para arbustos grandes y árboles, sobre todo en sitios con temperaturas frías, ya que favorece el descenso de la transpiración. El momento ideal es por la tarde.

Es aconsejable el mantenimiento del riego por lo menos durante dos ciclos de crecimiento, incrementando la frecuencia si se presentan épocas de sequía. De ninguna manera puede producirse golpeteo sobre el árbol o los anclajes del riego por aspersión. Es conveniente el riego por goteo o con manguera directamente en la olla de plantación.

Cuando la ubicación del ejemplar lo permita se considera apropiado el agregado de una capa de “mulch”, para evitar la desecación excesiva del suelo por altas temperaturas o brindar protección de las raíces ante las bajas temperaturas. Se aconseja el uso de umbráculos en aquellos ambientes donde se esperan variaciones repentinas de la temperatura, condición que genera un gran estrés biológico. A su vez, el uso de umbráculos permite evitar los rayos de sol directos en la temporada estival, reduciendo la formación de quemaduras sobre los tejidos foliares que determinan la detección o disminución de la actividad fotosintética.

El uso de productos fitoterapéuticos y fertilizantes se organiza de acuerdo a las condiciones del ejemplar. Al momento del trasplante se debe evitar la deshidratación durante los períodos de mayor temperatura, por lo que en algunos casos pueden emplearse sustancias anti-transpirantes (aceite coadyuvante al 1%) en el follaje que está más expuesto al sol. Esto debe controlarse ya que estos compuestos, a corto plazo, pueden ocluir el proceso estomático. En relación con la fertilización, se recomienda utilizar productos nitrogenados de liberación lenta durante la primavera para promover el desarrollo vegetal.

El uso de barreras anti-hormigas u hormiguicidas debería contemplarse al momento de la plantación, al igual que realizar visitas periódicas de control fitosanitario hasta al menos un año después de realizado el trasplante. Es necesario diferenciar síntomas “normales” como la pérdida de algunas hojas y necrosis de algunas ramas jóvenes que puede mantenerse durante meses, considerando que por lo menos durante el primer año el ejemplar puede mantenerse con vida consumiendo las reservas acumuladas en los tejidos internos.

Trasplante de palmeras

El trasplante de palmeras y árboles difiere, ya que éstas presentan características biológicas, requerimientos, cuidados y épocas apropiadas de realización particulares. La época de trasplante, por ejemplo, coincide con su período de desarrollo radical. Por lo tanto, debe realizarse durante la primavera tardía y el verano, es decir con altas temperaturas, pero nunca extremas.



El tamaño del cepellón se considera según el diámetro de raíces activas; teniendo en cuenta que el sistema radical renueva constantemente las raíces adventicias cercanas al estípite, el cepellón podrá hacerse mucho más pequeño en proporción al tamaño del ejemplar. El pan de suelo debe ser arenoso, y mantenerse húmedo y consolidado. Es conveniente envolverlo en arpillera, plástico o inclusive envasarlo, para facilitar su transporte. Se considera razonable realizar el corte de raíces entre 6 a 8 semanas antes del trasplante, de manera de estimular la recuperación radical y disminuir el estrés. A su vez, se recomienda retirar entre un tercio y la mitad de las frondas, principalmente las inmediatas a la yema, para evitar roces. La corona de hojas restantes se envuelve como protección del ápice, y se mantiene así por varios meses.

La plantación se efectúa realizando un hoyo levemente más ancho que el tamaño del cepellón, pero **no** debe ser más profundo. Es fundamental compactar bien el suelo y regar moderadamente. El tutorado debe ser firme para minimizar las vibraciones y movimientos. Es necesario verificar un buen drenaje, porque de otra manera la acumulación de agua producirá la muerte del ejemplar.

Los cuidados post-trasplante incluyen el riego semanal durante la primera temporada, la protección contra frío o calor extremos, y el agregado de fertilizante nitrogenado y micronutrientes.



Foto 9.7.

*Ejemplares de pindó (*Syagrus romanzoffiana*) en el Camino de las palmeras, Parque Lezama, CABA.*



Cuadro 9.2.

Guía para la ejecución de tareas de trasplante.

<p>Fase Pre-trasplante</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Localización del ejemplar • Reconocer especie y realizar VVA (Valoración Visual del Árbol) • Comprobar las condiciones edáficas • Decidir época de trasplante (persistentes, caducas o palmeras) • Realizar cálculos para dimensionar el cepellón, cuantificar su peso • Estimar infraestructura necesaria y organización de las fases correspondientes • Descompactar el terreno • De ser necesario: podar ligeramente un 20% del volumen de copa respetando la estructura y dimensiones • Realizar el cepellón • Proteger del cepellón • Sujetar el árbol a la estructura diseñada para extraer el conjunto copa-cepellón
<p>Fase Extracción</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Anclar los cables de la grúa a la estructura montada en el cepellón del árbol • Extraer el conjunto sin producir daños sobre el cepellón
<p>Fase Transporte</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sujetar el cepellón al camión para evitar movimiento • Transportar a velocidad reducida • Pre-diseñar la ruta para evitar el contacto de la copa con cables del tendido eléctrico u otros obstáculos
<p>Fase Plantación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Abrir del hoyo de plantación con antelación • Presentar el árbol sobre el hoyo de plantación • Colocar drenajes • Tener en cuenta la orientación previa • Comprobar la profundidad final • Aportar tierra para el asentamiento • Formar una cazoleta para riego • Compactar y regar
<p>Fase Post-trasplante</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Agregar cobertura o “mulch” • Regar moderadamente 1 a 2 veces por semana • Colocar anti-transpirantes para evitar la evapotranspiración excesiva • Programar un período de control, seguimiento y evaluación de síntomas post-trasplante





Cuadro 9.3.

Listado de Especies (Zona templada Argentina).

Latifoliadas caducas de fácil trasplante	<i>Platanus acerifolia, Ceiba speciosa, Ceiba chodatii, Quercus palustris, Fraxinus pennsylvanica, Fraxinus excelsior, Liquidambar styraciflua, Robinia pseudoacacia, Aesculus hippocastanum, Erythrina crista-galli, Lagerstroemia indica, Handroanthus impetiginosus, Acer palmatum, Salix spp., Populus spp., Morus alba, Ulmus procera 'Aurea', Ginkgo biloba, Peltophorum dubium.</i>
Latifoliadas persistentes o semi-persistentes de fácil trasplante	<i>Ligustrum lucidum, Magnolia grandiflora, Eriobotrya japonica, Jacaranda mimosifolia, Tipuana tipu, Ficus elastica, Enterolobium contortisiliquum, Schinus areira.</i>
Coníferas	<i>Cedrus atlantica, Cedrus deodara, Cupressus sempervirens var. Stricta, Taxodium distichum, Agathis robusta, Araucaria angustifolia, Pinus spp.</i>
Palmeras	Todas las especies
Especies de difícil trasplante	<i>Grevillea robusta, Brachychiton populneus, Tilia viridis subespecie x moltkei, Firmiana platanifolia, Liriodendron tulipifera, Gleditsia triacanthos, Cupressocyparis leylandii.</i>
Especies menos aptas para el trasplante	<i>Cinnamomum camphora, Cinnamomum glanduliferum, Casuarina cunninghamiana, Albizia julibrissin, Ulmus procera, Acacia melanoxyton, Eucalyptus spp., Quercus robur.</i>

Bibliografía

- Jordán, M. (2013). Trasplantando Árboles Grandes. Recuperado de: <https://isahispana.com//portals/0/docs/treecare/Transplantando%20%C3%A1rboles%20grandes.pdf>
- Lilly, S.J. (1999). Manual de arboricultura: guía de estudio para la certificación del arborista. (pp. 158). ISBN 9706543546. México: Sociedad Internacional de Arboricultura.





Gestión de Árboles Patrimoniales

X
CAPÍTULO





Introducción

El perfil de árboles añosos expresa características de alto valor ecológico, ornamental y cultural para el paisaje urbano. Estos ejemplares, que envejecen a medida que las ciudades se transforman, viven expuestos a las variaciones drásticas de su entorno y en ocasiones a insensibles planes de gestión e indiferencia social. Estas cuestiones los vuelven vulnerables, a menos que se garantice su protección.

Para evitar la degradación y desaparición del patrimonio arbóreo es necesario establecer instrumentos de protección y planificación, promover la formación de equipos especializados e impulsar la interrelación con profesionales expertos. De esta manera se podrán asegurar las acciones de asistencia continua, individualizada y especializada.

El primer paso para diseñar un programa de protección exige conocer el marco legal municipal, provincial, nacional e internacional que refiere a la protección del arbolado. Luego, para poder identificar el universo comprendido dentro del concepto de “Árboles Patrimoniales”, se procederá a establecer **criterios de valoración** que, en general, se encuadran en las definiciones establecidas para el resguardo patrimonial de bienes culturales y naturales. Estos criterios permiten, a su vez, reconocer como atributos para la protección: **el valor histórico, cultural, simbólico, natural o científico** de los bienes a proteger. Un árbol puede reunir varios de estos parámetros. Sobre estos criterios de valoración se establecen las siguientes **categorías**:

-**Árboles Singulares**: ejemplares únicos o raros para su especie, distribución geográfica o estado de conservación; especies que se encuentren en peligro de extinción o que presenten peculiaridades o alteraciones de interés académico o científico.



Foto 10.1.
*Árbol singular
único en su
especie (Melaleuca
ericifolia). Parque
Lezama, CABA.*





-**Árboles Notables:** referidos a características ornamentales o culturales que lo hacen destacable en su contexto. En esta categoría se incluyen otros términos como “árboles históricos o simbólicos” para aquellos ejemplares que se relacionan a eventos de la historia nacional, regional o local.



Foto 10.2.

Árbol Histórico. Retoño del Algarrobo de Pueyrredón. Plaza Gral. Pueyrredón, CABA.

- **Árboles Monumentales:** referido al tamaño y edad.

El tamaño de un árbol monumental añoso se define en función de un gran perímetro de tronco para la especie. No se utiliza la dimensión de la copa ya que se trata de un parámetro que varía notablemente en correspondencia con los cambios progresivos de la arquitectura que conducen a su atrincheramiento (*i.e.* reiteración retardada o estructuras independientes que no están en la secuencia gradual de crecimiento). El atrincheramiento puede producirse también como respuesta a un alto estrés acelerando la senescencia. Las copas de grandes dimensiones corresponden generalmente a árboles maduros o extra maduros.

Muchas veces, conocer la edad certera de los ejemplares vivos es imposible. Por ello, es necesario comprender que la vejez es una condición que puede variar de acuerdo al clima u otros factores del ambiente que influyen en la tasa de crecimiento y longevidad. En cualquier caso, para evitar la subjetividad, es indispen-



sable reconocer las transformaciones arquitecturales basadas en los criterios morfológicos y de desarrollo según las fases de Rimbault y Tanguy (1993), o en la distribución etaria de árboles de la misma especie en un grupo definido.

Con respecto a la edad, las catalogaciones internacionales han permitido depurar muchas terminologías que permiten definir con exactitud términos como árbol “viejo”, “añoso” o “longevo” (“Ancient”) o árbol “veterano” (“Veteran”):

-Se define como árbol viejo al que “ha sobrepasado la madurez y es viejo, o añoso, en comparación con otros árboles de la misma especie” (Lonsdale, 2013). Un árbol viejo reúne todas o la mayor parte de las siguientes características: (i) posee interés biológico, estético o cultural, debido a su avanzada edad, (ii) está en una etapa de desarrollo en la que el árbol se describe como viejo o extra-maduro, y/o (iii) tiene una edad cronológica elevada en relación con otros individuos de la misma especie (Owen y Alderman, 2011). El término viejo se emplea específicamente para árboles con una edad avanzada.

- Árbol veterano son todos aquellos árboles que presentan características físicas de árbol viejo, pero que no son viejos en edad comparados con otros de la misma especie. En este caso la vejez es independiente de la edad cronológica.

Estas valoraciones aplican a los ejemplares de plantas superiores, tanto angiospermas como gimnospermas, de origen autóctono o exótico; plantados como árboles aislados, en alineación o en grupo.



Foto 10.3.

Árboles monumentales: Gomeros de Plaza San Martín de Tours, CABA.





Otro aspecto relevante exige definir diferentes niveles de protección administrativa como: **protección genérica** (para todos los ejemplares arbóreos que superen o iguallen alguno de los parámetros establecidos), **protección cautelar** (en caso que el árbol se encuentre en peligro) o **protección expresa** (cuando aun contando con la protección genérica sea necesario declarar mediante ley, decreto, edicto u orden competente la protección del ejemplar). Los parámetros establecidos por la protección genérica ajustan otras especificaciones orientadoras para la selección de los árboles a proteger como la **edad** y el **tamaño**, ambos valores relativos que se fijan generalmente en 100 años para árboles añosos, o a partir de la altura, perímetro de tronco y diámetro de copa que se consideren sobresalientes y que deben ajustarse teniendo en cuenta las variaciones entre especies, origen y condiciones de crecimiento en el sitio.

En función de las categorías de valoración y las medidas de protección se define la confección del **registro** documento para control, administración, identificación y descripción de los bienes. “El registro debe responder a preguntas tan simples como: qué tenemos, dónde lo tenemos y cómo lo tenemos” (Nagel Vega, 2009). Las funciones primarias del registro exigen la identificación de los bienes en forma textual y visual. Por tal motivo, se asigna a cada bien un número de registro que debe ser único e irreplicable y se complementa su tipificación completando una ficha con datos específicos y al menos una fotografía de referencia con fecha de la toma.

Ficha N° 1. Modelo de ficha de registro

Ficha de registro	
<p>Nº Registro:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Denominación: nombre de referencia: "..." - Especie: Nombre científico / Nombre vulgar. - Cantidad: número de individuos. - Posible año de plantación. 	 <p><i>Plano general. Seibo Alvear. 2010</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> - Ubicación específica: nombre de espacio verde, escuela, museo, hospital, etc.; o calle y número de chapa catastral. - Localización exacta: puntualización exacta mediante referencias del sitio. - Ubicación mediante planos a escala y/o coordenadas georeferenciadas. - Ubicación en el territorio: comuna, barrio. - Área de protección según el Código Urbano: - Propietario: municipal, particular, mixto. - Accesos: libre-restringido. - Gestionado por: 	
<ul style="list-style-type: none"> - Categoría: Árbol Histórico / Árbol Notable - Subcategoría: - Tipo de protección: Ley-Ordenanza-Decreto. - Motivos de singularidad del ejemplar o el conjunto: resumen de los datos relevantes o significativos asociados al ejemplar/es y que son motivo de su protección. Cuando el árbol o arboleda forme parte de un jardín histórico o un espacio verde con protección histórica pueden agregarse una descripción relevante en relación al sitio. Debe completarse con indicación de citas, bibliografía, etc. - Fotografías, planos generales, detalles: con epígrafe y datadas. 	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p><i>Detalle floración. Cavidad fuste. 2010</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>Plano de ubicación</i></p> </div> </div>	



Entre otras utilidades el registro permite, entre otras utilidades, la planificación de nuevas incorporaciones, facilita el acceso a la información y provee una plataforma para futuros estudios e investigaciones. Entre las numerosas sugerencias para la confección de **fichas de registro** que pueden adaptarse al registro de árboles históricos y notables, las propuestas por la Lista de Verificación para la Identificación de Objetos (Object ID) permite definir una ficha mixta para normalizar el vocabulario y la metodología aplicada (ICOM, 1997).

La organización del registro exige el desarrollo del **inventario** para el conocimiento cualitativo y cuantitativo de los bienes. Los inventarios se establecen “con miras a la conservación y la salvaguardia”, registrar e inventariar no son ejercicios abstractos, sino acciones instrumentales necesarias que dan una medida del grado de voluntad política en la materia” (UNESCO, 2014). El inventario se organiza a partir de metodologías y dispositivos que permiten recolectar, investigar, organizar y actualizar los datos. Se pueden definir diferentes tipos de inventario (de identificación, histórico, de seguimiento, entre otros).

Ficha N° 2. Modelo de ficha de relevamiento

Inventario de Monitoreo Ficha de inspección	Evaluación de riesgo: Alto - Moderado - Bajo. Bancos: Personas- instalaciones - Vehículos - Edificios - Otros. Ocupación: Rara - Ocasional - Frecuente - Constante. Posibilidad de fallo: Muy probable - Probable - Poco Probable - Improbable
-Nº Registro: -Denominación (nombre de referencia): "..." -Fecha: -Inspector:	Observaciones:
Medidas del árbol (DAP - Altura):	Tareas solicitadas Poda: Objetivos: Tipo: Corte de raíces: Superficial - Profunda Tratamiento sanitario: Mejoramiento del suelo: Mejoramiento del entorno: Diagnósticos accesorios:
Raíces: Expuestas - Dañadas - Cortadas.	
Copa y follaje: Descopado - Descopado y rebrotado - Coloración anormal Desfoliado - Raleado - Desbalanceado.	Cumplimiento de las tareas solicitada: fecha y conformidad.
Fuste: cavidad basal - media - alta - Decortezado - Fisurado - Quebrado inclinado más 45° - Inclinado menos 45°	
Ramas: Cavidad longitudinal - Cancros - Tocones - Descortezadas Fisuradas - Quebradas - Secas - Excesivas - Cruzadas.	
Sanidad: Plagas / Enfermedades: Daños	
Suelo: Compactado - Arenoso - Fertil Cementado - Otros.	
Entorno: Tipo de plantera o cantero: Solado/Encespado: Otras instalaciones cercanas: Luminarias - Cestos - Bebederos Monumentos, Edificios, etc. Perímetro: Enrejado - Ajardinado - Sin protección. Puntales o sujeciones: Cartelería informativa: Cartelería precautoria:	
<i>Timbó del Parque General Paz. 2020</i>	



La **catalogación**, paso posterior al inventario, recopila los datos de los bienes protegidos de manera homogénea y especializada, deja constancia de la razón de su excepcionalidad, expresa el marco de protección y recopila todos los documentos accesorios que hacen al resguardo del ejemplar. Los catálogos se desarrollan en diferentes soportes como libros, folletos, blogs, etc. Pueden ser de acceso público o restringido.

Todo el material recolectado debe, finalmente, conformar una base de datos actualizada que permita cumplimentar **programas de gestión** para el manejo integral de los ejemplares. Los programas de gestión deben organizar objetivos, recursos y metas a corto, mediano y largo plazo, considerando todas las tareas destinadas a mantener la integridad del ejemplar, su sitio de emplazamiento y la planificación del reemplazo o renovación si se evalúa necesaria la conservación de un ejemplar o de un paisaje de alto valor patrimonial (Palermo Arce, 2010). En muchos casos el cultivo de retoños a partir de bancos de semillas o de propagación agámica puede ser aprovechado, además, con fines educativos o científicos.

El **mantenimiento** general se ajusta sistemáticamente a partir de la evaluación de riesgo, teniendo en cuenta que para la poda de ramas o raíces no pueden aplicarse los mismos objetivos que se aplican al resto de los árboles urbanos y que es necesario además la gestión del sitio que rodea al ejemplar. Sobre estas consideraciones, el control y manejo de las fallas en árboles añosos permitirá una senescencia respetuosa y las buenas acciones educarán a la comunidad sobre la valoración progresiva de los sistemas biológicos.



Foto 10.4.

Apuntalamiento de un ejemplar histórico inclinado, con cavidades en el fuste y ramas.



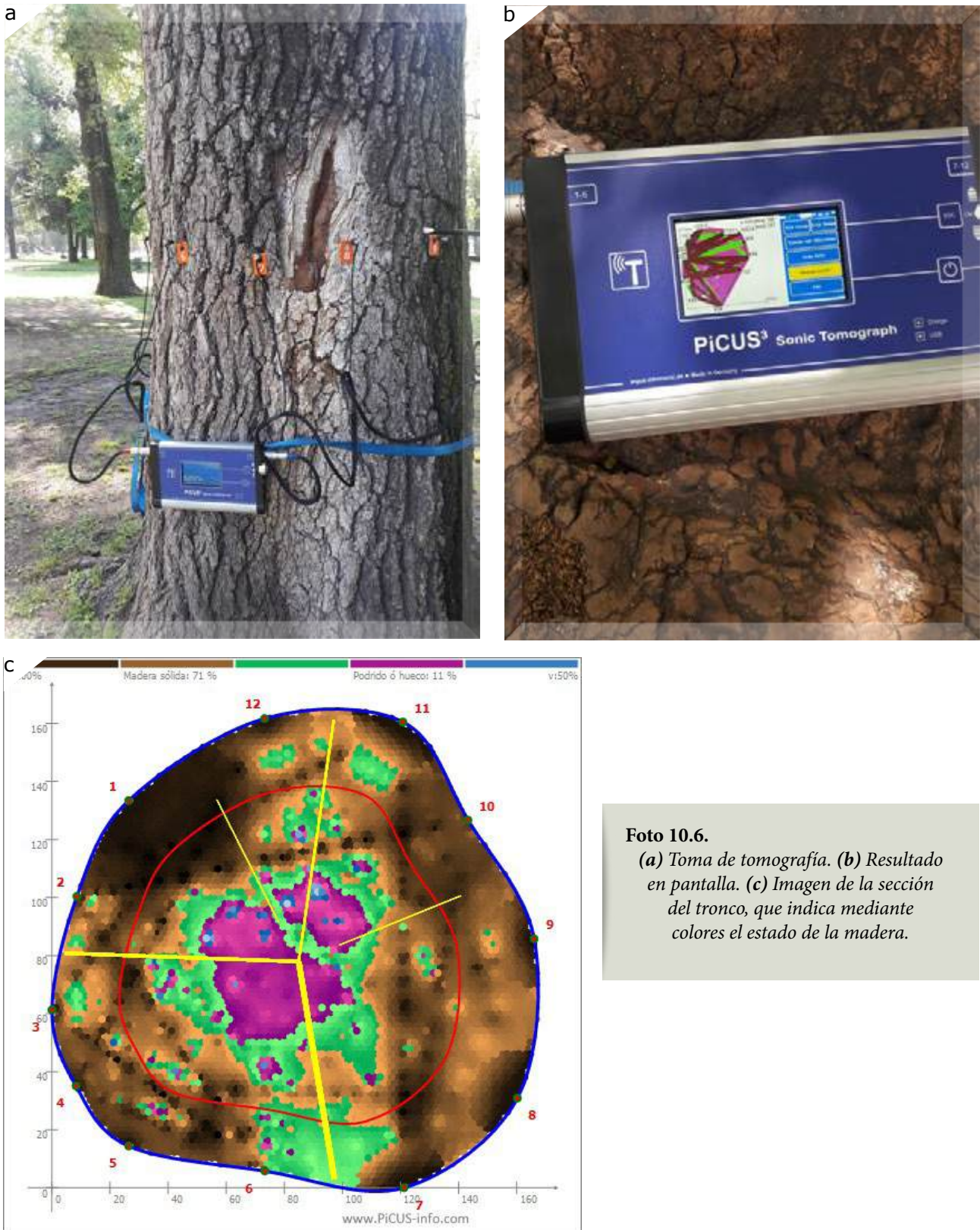
Los programas de mantenimiento del arbolado requieren soluciones específicas como el desplazamiento de las personas por fuera del canopeo para evitar la compactación y prevenir accidentes; medidas de restauración paulatina para el tratamiento de cavidades, desgarros. También puede surgir la necesidad de realizar el apuntalamiento de árboles inclinados o ramas de gran porte (“cabling” o “bracing”) para el soporte de estructuras debilitadas, el tratamiento de plagas y enfermedades, o el control de la competencia de otros ejemplares linderos. Así y todo, en ocasiones resulta una buena decisión no ejecutar ninguna tarea sobre un ejemplar que no presente riesgos y permitir que cumpla su ciclo vital con dignidad hasta su muerte natural.



Foto 10.5.

Zona de protección para el árbol y los usuarios del parque.

Los árboles añosos requieren relevamientos continuos y detallados y la **observación de sus capacidades fisiológicas antes de efectuar cualquier tipo de tarea**. La toma de decisiones informadas requiere en muchos casos la realización de análisis patológicos para detectar la incidencia de enfermedades e identificar el ataque de plagas, a fin de sugerir tratamientos. A su vez, es posible recurrir a otras medidas de diagnóstico mediante el uso de herramientas complementarias como el resistógrafo (que registra la resistencia al avance que ofrece la madera), el tomógrafo sónico (que emplea impulsos de sonido que se emiten y reciben desde un conjunto de sensores para obtener una imagen bidimensional de la sección del árbol o componer una imagen tridimensional del tronco para analizar y cuantificar el estado interno de la madera) o el radar penetrante de suelo (que permite detectar raíces, contenido y flujo de agua y drenaje para optimizar las condiciones de crecimiento).



En un árbol añoso, se produce la muerte centripeta de la copa y de la raíz haciendo progresiva la pérdida de ramas principales y de raíces de anclaje, el avance de las pudriciones y el debilitamiento general de las capacidades. Como describen Raimbault y Tanguy (1993), en la fase de senescencia habitualmente se producen nuevas brotaciones en *epitonía* (se desarrollan sobre la parte superior de la



estructura a partir de ramas ya existentes, renovando progresivamente los ejes principales), reiteraciones y en rebrotes en raíz, capaces de recrear estructuras de copa y raíz más discretas, pero funcionales. Naturalmente en algún momento se produce la reducción espontánea de altura y el volumen de la copa y esto implica una mirada de alerta y la programación de tareas que acompañe la decrepitud sin acelerarla. Esta situación exige, como parte de la gestión de los árboles añosos, informar a la comunidad sobre el estado de situación del árbol y sobre las tareas que se llevarán a cabo.



Foto 10.7.

(a) Aguaribay de Plaza Lavalle, año 2009. (b) Aguaribay de Plaza Lavalle, año 2020.

La gestión de las agrupaciones o alineaciones es compleja en sí misma, pero a diferencia del árbol singular individual, una adecuada gestión sobre la densidad permite que estas puedan tener una pervivencia como conjunto. En todos los casos se prioriza el conjunto sobre los individuos, gestionando la densidad del grupo en forma progresiva. Se comienza por los ejemplares más débiles, riesgosos, eliminando los de crecimiento espontáneo o que no pertenezcan al grupo paisajístico o especie dominante.

Una medida muy importante para la conservación de los árboles aislados o las agrupaciones protegidas es la señalización. Esto permite que sean fácilmente reconocibles, evita la trepa sobre sus ramas o raíces, informa sobre la posible caída de ramas o los motivos de su estado y las medidas de conservación.

Cualquier tipo de acción debe ser parte de un trabajo programado, continuo y a largo plazo para evaluar la efectividad del trabajo. Para asegurar la continuidad de una gestión a largo plazo, es necesario consensuar la administración de los bienes protegidos con los distintos actores involucrados: áreas de gestión, vecinos, organizaciones no gubernamentales. La comunicación de los valores patrimoniales de arbolado a través de los organismos competentes deberá facilitar el apoyo y promoción del conocimiento de los árboles protegidos y de la concientización para su conservación, así como la inclusión en circuitos y currículos eco-educativos, la creación de archivos documentales, publicaciones, entre otras prácticas.



Bibliografía

- International Council of Museums (ICOM): Object ID - *Cataloguing Cultural Objects*. Recuperado de: <https://icom.museum/en/resources/standards-guidelines/objectid/>
- Lonsdale, D. (Ed.). (2013). *Ancient and other veteran trees: further guidance on management*. (pp. 212). London: The Tree Council. Recuperado de: <https://symposiumleitza2017.files.wordpress.com/2017/11/e280a2-c3a1rboles-veteranos-guia-avanzada-para-su-gestion3.pdf>
- Nagel Vega, L. (Editor.). (2009). *Manual de Registro y documentación de bienes culturales*. Centro de Documentación de Bienes Patrimoniales. Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos-DIBAM. Recuperado de: https://www.cdbp.patrimoniocultural.gob.cl/652/articles-26006_archivo_01.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura y Oficina fuera de la sede de la UNESCO. (2014). *Indicadores UNESCO de Cultura para el Desarrollo: Manual Metodológico*. Recuperado de: https://es.unesco.org/creativity/sites/creativity/files/iucd_manual_metodologico_1.pdf
- Owen, K. y Alderman, D. (2011). *The ancient tree hunt. Mapping the future for ancient trees*. Woodland Trust. Project Review. Julio 2006-October 2011. Recuperado de: <https://sarahgileseditorial.files.wordpress.com/2020/04/ancient-tree-hunt-summary-evaluation.pdf>
- Palermo Arce, M. (2010). *Programa de protección, gestión y conservación de Árboles Históricos, Notables y Singulares de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires*. XIV Congresso Brasileiro de Arborização Urbana. Bento Gonçalves, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. ISSN 2179- 7684.
- Raimbault, P. y Tanguy, M. (1993). *La gestion des arbres d'ornement. 1ère partie: une méthode d'analyse et de diagnostic de la partie aérienne*. *Rev. For. Fr.* XLV-2, 97-117.

Gabriela Benito es Ing. Agrónoma por la Facultad de Agronomía UBA. Especialista en Planeamiento Paisajista y Medio Ambiente por la UN de La Plata. Técnica en el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires desde 2004 hasta 2020, en el área de Gestión de Arbolado Urbano y de Proyecto en la Dirección General de Espacios Verdes; entre 2009 y 2020 fue curadora de la colección viva del Jardín Botánico Carlos Thays. Es docente en la Tecnicatura en Jardinería de la FAUBA desde 2003 en varias asignaturas, entre ellas Arbolado Urbano. Miembro fundador de la Asociación Civil de Arboricultura de Argentina.

Marcela Palermo Arce es Técnica en Jardinería por la Facultad de Agronomía UBA y egresada de la Escuela Nacional de Bellas Artes Manuel Belgrano. Técnica investigadora en el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires desde 2005 para el Área de Arbolado Urbano y Espacios Verdes. Fue encargada de la gestión de los Árboles Históricos y Notables entre 2010 y 2020. Docente en la Tecnicatura en Jardinería de la FAUBA desde 2005 en varias asignaturas, entre ellas Arbolado Urbano. Miembro de la Asociación Civil de Arboricultura de Argentina.

ISBN 978-987-3738-35-7



EDITORIAL FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES