

Revista Electrónica Nova Scientia

Aportaciones de la forestación a la
sostenibilidad urbana en ciudades tropicales.

Humedal Nuevo Amanecer,
Ciudad Madero, México

Forestation contributions to urban
sustainability in tropical cities. Nuevo
Amanecer wetland, Ciudad Madero, Mexico

Mireya Alicia Rosas Lusett y Miguel Ángel Bartorila

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo,
Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico

México

Mireya Alicia Rosas Lusett. E-mail: mrosas@docentes.uat.edu.mx

Resumen

Introducción. Las ciudades tropicales poseen condiciones climáticas para el desarrollo de la biota. La conservación de espacios naturales con abundante masa vegetal, es vital para la preservación de la biodiversidad en la ciudad, así como la arborización, que aporta mejoras a la calidad de vida. El artículo presenta los resultados del proyecto “Forestación y Rescate de la Laguna Nuevo Amanecer. Ciudad Madero, México”, financiado por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, 2015. El objetivo es validar el método de estudio a partir de indicadores en los proyectos de forestación urbana en la ciudad tropical a través de la medición de su impacto.

Método. 1. Se utilizaron indicadores del Plan de Indicadores de Sostenibilidad Urbana (Rueda, 2010) para valorar la situación actual del humedal Laguna Nuevo Amanecer.

2. Se elaboró propuesta de reforestación urbana a partir de parámetros de los indicadores de Diversidad de arbolado, Índice biótico del suelo y Densidad de árboles.

3. Se evaluó el impacto de la propuesta a través del Índice de funcionalidad de parques para el humedal y el indicador de Confort térmico para las calles.

Resultados. El incremento de la masa vegetal en la propuesta de reforestación urbana del espacio abierto, presenta impactos positivos en dos situaciones complementarias: los espacios naturales urbanos y las calles, considerando los indicadores:

Escenario 1. Para los espacios naturales urbanos se consideró el Índice de Funcionalidad de parques en la propuesta de reforestación da un valor cercano a 10, donde supera el valor deseable para el caso de ciudades templadas de 7.5, demostrando la existencia de mayor riqueza ecológica en las ciudades tropicales como un valor a mantener.

Escenario 2. Para las calles se consideró el indicador de Confort térmico en la propuesta de arborización se obtiene entre 7 y 9 horas de confort en el 74 % del polígono donde los valores deseables establecidos son en el 75%.

Conclusión. La conservación e incremento de las comunidades vegetales de los humedales y la arborización de calles mejoran de manera directa la calidad de vida en las ciudades tropicales y disminuye el impacto del cambio climático. La continuidad vegetal entre ambos escenarios refuerza el sistema de espacios abiertos, disminuyendo la isla de calor. En estos contextos los proyectos de forestación urbana pueden considerarse un instrumento de sostenibilidad básico que contribuye al incremento de la biodiversidad y del confort térmico.

Palabras Clave: Cambio climático; espacios abiertos; rescate de humedales; confort térmico

Recepción: 05-05-2017

Aceptación: 11-07-2017

Abstract

Introduction. Tropical cities have climatic conditions for the development of biota. The conservation of natural spaces with abundant mass of vegetation, is vital for the preservation of the biodiversity in the city, as forestation brings improvements to the quality of life. The article presents the results of the project "Forestation and Rescue of Laguna Nuevo Amanecer. Ciudad Madero, México, "funded by the Universidad Autónoma de Tamaulipas, 2015. The objective is to validate the method of study based on indicators in urban forestation projects in the tropical city through the measurement of its impact.

Method. 1. Indicators of the Urban Sustainability Indicators Plan (Rueda, 2010) were used to assess the current situation of the Laguna Nuevo Amanecer wetland.

2. A proposal for urban reforestation was made using the indicators of tree diversity, soil biotic index and tree density.

3. The impact of the proposal was evaluated through the Wetland Parks Functionality Index and the Thermal Comfort Indicator for the streets.

Results. The increase of mass vegetation in the proposal of urban reforestation in the open space presents positive impacts in two complementary situations: the urban natural spaces and the streets, considering the indicators.

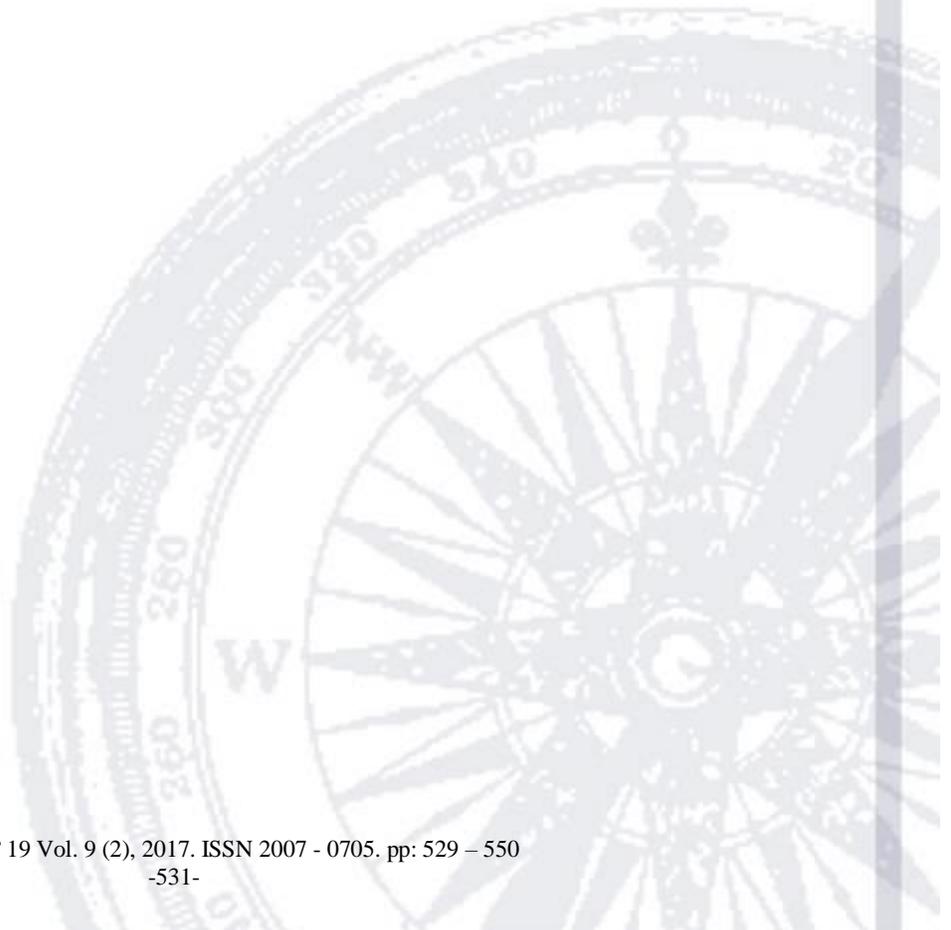
Stage 1. For the urban natural spaces, the Parks Functionality Index was considered in the reforestation proposal, giving a value close to 10, where it exceeds the desirable value for the case of temperate cities of 7.5, proving the existence of greater ecological wealth in Tropical cities as a value to maintain.

Stage 2. For the streets, the thermal comfort indicator was considered in the arborization proposal, between 7 and 9 hours of comfort in 74% of the polygon wh

Conclusion. Conservation and enhancement of wetland plant communities and tree-lined streets directly improve the quality of life in tropical cities and reduce the impact of climatic change.

Mass vegetation continuity between both scenarios reinforces the system of open spaces, diminishing the island of heat. In these contexts, urban forestry projects can be considered as a basic sustainability instrument that contributes to the increase of biodiversity and thermal comfort.

Keywords: Climatic change; open spaces; wetland rescue; thermal confort.



Introducción

La velocidad de crecimiento urbano y el desconocimiento de los aportes de la arborización a la calidad de vida ponen en primer plano la importancia de la forestación urbana. Las ciudades tropicales poseen condiciones climáticas para el desarrollo de la biota. Además, en áreas intraurbanas o periurbanas se encuentran espacios naturales, cuya conservación es vital para la preservación de la biodiversidad en la ciudad. La mayoría de los espacios abiertos en la ciudad tropical son las calles. La arborización puede aportar mejoras para la calidad de vida, donde el 60% del año las temperaturas promedio se presentan superiores a los 27°C. Sin embargo, en muchos casos las calles arboladas son escasas.

Biodiversidad en ciudades tropicales

Las ciudades tropicales presentan altos índices de biodiversidad, su conservación, así como incremento de la masa forestal contribuye a disminuir el impacto del cambio climático. La funcionalidad que aportan los espacios naturales urbanos y los parques, así como el mantenimiento de calles arboladas, poseen ventajas comparativas en estas latitudes. Lugo (2014) destaca que la interacción entre la cubierta verde, gente, e instituciones en los trópicos es un gran reto para estudiar, por lo tanto, la diversidad de la ciudad tropical requiere atención que deben prestar los científicos.

Los impactos más controvertidos en la biodiversidad se originan en las ciudades, Lugo (2010) incluye la extinción global y local de especies, la fragmentación y la diversificación del paisaje, la homogeneización y/o diversificación de la biota, la creación de nuevos hábitats y la introducción de especies foráneas. La pérdida de la biodiversidad es un fenómeno global y juega un papel importante en el funcionamiento de los ecosistemas a largo plazo (Myers, 1996). Preservar las grandes áreas intactas del hábitat natural es vital para la preservación de la biodiversidad, pero esto no es probable en lugares donde la urbanización se ha extendido dejando solo relictos del hábitat natural. En las ciudades tropicales los espacios verdes urbanos y suburbanos son biológicamente ricos. Una alternativa es el impulso de la biodiversidad en el ecosistema urbano para detener la pérdida y degradación de los bosques naturales.

Dwyer *et al.* (2000) considera substancial preservar la biodiversidad en los bosques urbanos, que incluyen vegetación a lo largo de las calles, en parques, arboledas, sitios abandonados, cementerios, áreas residenciales entre otros, los cuales son un porcentaje

significativo de la cubierta vegetal en la ciudad. Balmford *et al.* (2001) encontró que la densidad de población va relacionada con las aves, mamíferos, serpientes y la riqueza de especies; las zonas con mayor pérdida y fragmentación del hábitat, están relacionadas con fuertes cambios en el entorno, esto aumenta el riesgo de extinción y la tasa de pérdida de especies. Independientemente del tamaño de la extensión espacial hay que considerar el patrón de crecimiento urbano ya que muchas de las especies que actualmente encontramos en zonas con un fuerte impacto antrópico presentan una amplia tolerancia a la presencia del hombre. Araújo (2003), afirma que, en este contexto, existe una correlación positiva que frecuentemente se detecta al evaluar la asociación entre impactos humanos y riqueza de especies.

Se han realizado investigaciones en diferentes escalas donde las zonas urbanas y suburbanas presentan altos niveles de biodiversidad. En Flandes, Bélgica, Cornelis y Hermy (2004), descubrieron los parques están formados por 30, 50, 40 y 60% de plantas nativas, aves reproductoras, moscas y anfibios. A pesar de que las zonas urbanas y suburbanas pueden albergar altos niveles de biodiversidad Mc Kinney, (2002) afirma que, existe evidencia de que las áreas urbanas no soportan tantas especies no nativas en comparación con las áreas menos urbanizadas. La competencia entre las especies exóticas reduce la diversidad de las especies nativas. Regularmente, en la forestación urbana utiliza escasamente especies nativas. Carvallo (2009), menciona que las especies exóticas tienen efecto negativo sobre las especies y ecosistemas nativos, son una grave amenaza a la biodiversidad. La presencia de especies exóticas e invasoras hace que los ecosistemas cada vez sean más similares entre sí, generando homogeneización biótica con pérdida de identidad de los ecosistemas nativos. La reforestación con especies autóctonas mantiene la estabilidad del ecosistema.

Mantener espacios naturales en ámbitos urbanos, además de conservar la biodiversidad, implica otras mejoras. Uno de los beneficios es la climatización que repercute en un consumo hídrico acorde a las precipitaciones de la zona, exigiendo un riego mínimo. Otro es el escaso mantenimiento, ya que tienen un menor riesgo de enfermedades. Los relictos con vegetación autóctona son hábitats de la vida silvestre y mantienen la presencia de insectos y microorganismos nativos que benefician a las plantas al ayudarlas a mantenerse sanas sin usar fertilizantes y pesticidas químicos.

En el caso Anillo verde de Vitoria-Gasteiz, por ejemplo, se asociaron los espacios degradados de zonas marginales con los enclaves de alto valor ecológico a través de un filtro

verde periurbano (Marañón, 2001). El proyecto tiene la intención de frenar las prácticas irrespetuosas con el medio ambiente que se desarrollan en zonas industriales. Se utilizan superficies de agua, como recuperación de humedales desecados para solventar problemas de inundación convertidos en parques como un valor añadido. Se integran además cinco parques que rodean a la ciudad con acceso peatonal. Estos, aumentaron la biodiversidad vegetal y animal, mejoraron las zonas de proximidad al medio natural, introdujeron actividades educativas y de sensibilización ambiental.

El proyecto de forestación urbana e impacto del cambio climático

La vegetación es crucial para aminorar el efecto sobre el cambio climático, los árboles se convierten en el elemento central de estudio y proyecto en las ciudades tropicales. Los beneficios de la forestación en ámbitos urbanos no solo reducen la temperatura, sino que mejoran la calidad del aire, entre otros.

Corburn (2009), demuestra que el arbolado urbano reduce las temperaturas. En un estudio entre julio y octubre del 2005 registraron que se redujo de 2°C a 6°C y de 2°C a 9°C en la ciudad de Crown Heights, Brooklyn, acelera la refrigeración en la noche, aumentan la evapotranspiración y refrigeran por evaporación. Lwasa *et al.* (2014) hace una revisión bibliográfica que presenta los impactos del cambio climático en las zonas urbanas y peri-urbanas africanas. Afirma que la forestación urbana, también llamada silvicultura, regula los procesos ambientales como el clima, la filtración del agua, control de nutrientes y la biodiversidad. Asimismo, la forestación urbana influye en la protección contra las tormentas y la erosión, la regulación de inundaciones y la moderación del microclima, como lo explica Rojas (2013) la vegetación tropical es una herramienta válida para crear microclimas exteriores y elemento de protección.

Irga (2015), realizó un estudio de áreas verdes en Sídney Australia, en el cual analizó la calidad del aire del contexto urbano, encontró que los espacios verdes en el área urbana en un radio de 100m han reducido la contaminación del aire. Beckett *et al.* (2000), afirma que los árboles pueden disminuir los contaminantes de aire, al interceptar y acumular las partículas de la atmósfera a través de las hojas nuevas que tienen una superficie encerada en la que se produce el depósito de los contaminantes.

Indicadores para el proyecto y verificación

El estudio distingue dos escenarios: los espacios naturales urbanos y las calles. Se seleccionaron los indicadores, basados en el Plan de Indicadores de Sostenibilidad Urbana de Vitoria Gasteiz (Rueda, 2010), con el objetivo de medir el impacto ambiental de la forestación urbana a través del Índice de funcionalidad de parques (IF) y el Confort térmico (CTer). Además se aplicaron los indicadores de Diversidad de arbolado urbano (Harb), Permeabilidad del suelo (IBS) y Densidad de árboles (Da) para el proyecto de reforestación urbana (Figura 1).

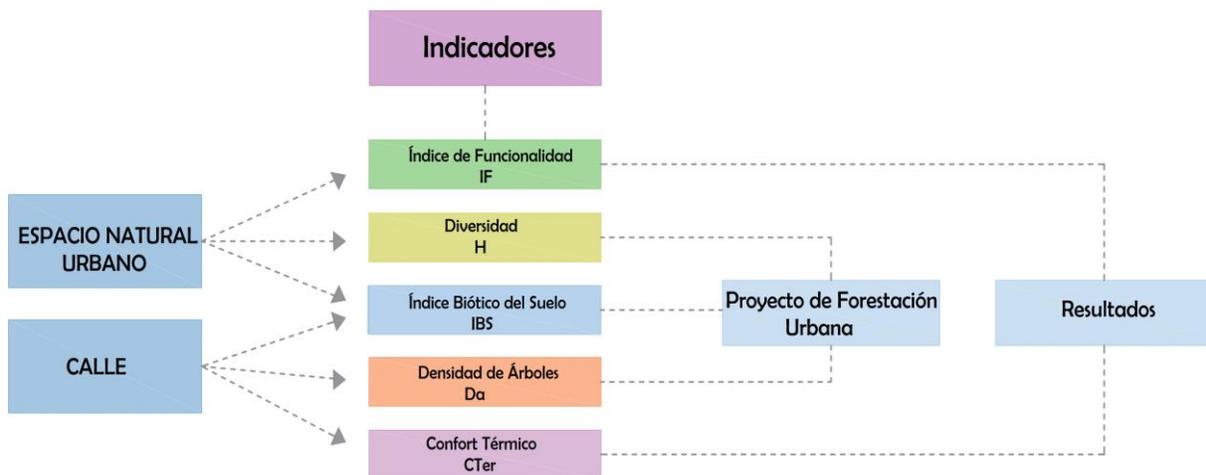


Figura 1. Esquema de indicadores de sostenibilidad urbana para la Reforestación Urbana.

Fuente: Elaboración propia 2016.

Indicadores de impacto

Los relictos de espacios naturales en la ciudad, como los parques juegan un papel esencial en la conservación de la biodiversidad del ecosistema urbano, actuando como islas dentro de la matriz urbana. El indicador que mide el *Índice de funcionalidad de parques* (IF), “permiten alojar una máxima diversidad de avifauna. La diversidad de un grupo trófico superior como las aves, muestran la diversidad de grupos inferiores, como los insectos; las aves son animales fáciles de detectar” (Rueda, 2010: 233). A diferencia de un parque urbano, el humedal de la laguna Nuevo Amanecer posee un valor diferencial que acentúa sus valores naturales como la dimensión de superficie de agua, una mayor biodiversidad, la reducida cobertura artificial y la estrecha relación con el hábitat fuente.

El *Confort térmico en el espacio público* (CTer) se refiere al porcentaje de horas de confort

entre las 8 y las 22 horas en las cuales una calle ofrece las condiciones adecuadas de confort térmico para el peatón. Los factores que influyen son: el clima, la morfología de la calle, los materiales en pavimentos y fachadas, la presencia de vegetación y la actividad metabólica del individuo. La unidad del indicador se expresa en % de horas útiles al día.

Indicadores para el proyecto de reforestación urbana

Los árboles en el humedal, están adaptados a este tipo de suelo, donde predomina el agua y la profundidad es baja, son un elemento esencial del hábitat, “al mantener una elevada diversidad se potencia la biodiversidad de otras especies en el ecosistema natural” (Rueda, 2010:239). El indicador *Diversidad de arbolado urbano* (Harb) relaciona el número de especies y la abundancia relativa de cada una, las cuales, mejoran la calidad de vida de la ciudad, conservan el agua y la energía, disminuyen la escorrentía fluvial y las inundaciones, reducen los niveles de ruido, renuevan la calidad del aire, entre otros. En los casos de comunidades naturales existentes la diversidad es mayor.

La permeabilidad a través del *Índice biótico del suelo* (IBS) es un valor que indica la relación entre las superficies funcionalmente significativas en el ciclo natural del suelo y la superficie total de una zona de estudio. Nuestra área de estudio está formada por tres tipos de superficies las permeables como el humedal que mantiene todas sus funciones naturales, el suelo de la estructura urbana que presenta superficies semipermeables, que han perdido parcialmente sus funciones, como calles sin pavimentar o terrenos baldíos, que mantienen parcialmente sus funciones biológicas, y los suelos impermeables como los edificados y pavimentados que no permiten el desarrollo de los ecosistemas.

La *Densidad de árboles por tramo de calle* (Dar) es un valor que relaciona el número de árboles por metro de tramo. Se evalúa la densidad de árboles en el tejido urbano para identificar los tramos de calle en los cuales existe un déficit de arbolado viario. Las calles arboladas de una ciudad purifican el aire, proporcionan sombra, disminuyen las temperaturas, absorben el CO₂, son un elemento estructural de la biodiversidad en el ecosistema urbano que permite la conectividad entre los espacios naturales.

Diagnóstico Humedal Nuevo Amanecer: relicto en la ciudad tropical

Ciudad Madero, cuyo origen a finales del siglo XIX fue la explotación petrolera en el Golfo de

México, presenta aún importantes espacios naturales fragmentados en el área urbana y sus bordes, destacando varios humedales. El área del humedal Laguna Nuevo Amanecer se encuentra situado en el centro geográfico de Ciudad Madero a 3.8 kilómetros de la Playa Miramar. El polígono del caso de estudio, que incluye el humedal tiene 166 hectáreas con una población de 11,762 habitantes (INEGI, 2010).

El polígono está formado por espacio público y lotificado. En el espacio público se identificaron 43.61 ha de calles, 24.98 ha de espacio verde y 28.68 ha de agua (laguna y canales pluviales). El espacio lotificado presenta 68.60 ha distribuidas en 126 manzanas. El área inundable en el polígono, según POT, (2011), es de 53.41ha. De la vegetación existente en calles se localizaron 517 especímenes. En el área propuesta para parque, se encontraron 1691 especímenes. Para el diagnóstico se presentan dos escenarios de trabajo, el área del humedal laguna Nuevo Amanecer y las calles. Para el diagnóstico del sector se utilizó el Índice de funcionalidad de parques, así como el Confort térmico.

Para evaluar la potencialidad del humedal Nuevo Amanecer se utilizó el Índice de funcionalidad de parques (IF) se midieron el (A) área, la (B) cobertura arbórea, la (C) cobertura de arbustos, (D) cobertura de césped, (E) cobertura de agua, (F) número de árboles de porte grande, (G) número de árboles de porte medio, (H) número de árboles de porte pequeño, (I) diversidad de especies de árboles y arbustos, (J) cobertura superficial medida como porcentaje de superficie artificial/ y (K) distancia al hábitat fuente; se le asignó un valor a cada factor y mediante la siguiente fórmula se obtuvo el valor de funcionalidad.

La fórmula utilizada es: $A^{0.15}+B^{0.12}+C^{0.12}+D^{0.05}+E^{0.06}+F^{0.05}+G^{0.05}+H^{0.05}+I^{0.2}-J^{0.1}-K^{0.05}$

El humedal tiene una superficie de 53.66 ha, de la cual el 53.45% corresponde a una cobertura de agua de 28.68 ha. En el margen fluvial, podemos apreciar una diversa vegetación que consiste en 63 especies; 26 nativas y 37 foráneas. Un 7.06 % del área es arbolada, con 1079 árboles pequeños, 522 árboles medianos y 90 árboles grandes. Un 0.02 % es superficie arbustiva, un 15.40 % es superficie de pasto, un 12.32 % son caminos pavimentados o edificios.

En todo el sector del parque existen árboles nativos y foráneos, perennes y caducifolios, muy diversos en todas las especies existentes, los árboles con mayor cantidad de especímenes son el *Cedrela odorata* (Nativo) y *Salix humboldtiana* (Nativo). El área seleccionada para parque en

el perímetro del humedal Nuevo Amanecer supera el objetivo deseado con un IFP de 10.1. Se caracterizaron los tramos de calle por tipología de sección para medir el *Confort térmico* (Cter), según orientación, proporción entre altura y distancia entre fachadas (h/d) y presencia de vegetación. Se seleccionaron once cañones urbanos y se realizaron mediciones de las variables climatológicas: temperatura del aire, humedad, dirección y velocidad del viento, se midieron las temperaturas de las superficies del suelo y de las fachadas, desde las 8:00 horas hasta las 20 horas; del día 26 de abril del 2015. Se tomaron los datos de radiación solar directa y difusa de la estación meteorológica ubicada en la FADU. El programa Confort Ex (Ochoa 2009) se utilizó para realizar el cálculo de confort de los escenarios elegidos. Se evaluaron los cañones en el Heliodon de múltiples soles, distinguiendo cuales fachadas recibían la radiación solar durante la mañana, a mediodía y en las horas críticas en el periodo de verano. Una vez obtenidas el número de horas de confort de cada uno de las calles, se dibujó el plano. Actualmente el valor es del 0%, muy bajo considerando que el establecido como deseable es 50% de horas de confort en el 75% de la superficie del polígono.

Reforestación Urbana: instrumento para la sostenibilidad

Espacios naturales y arborización de calles

La interpretación de la situación actual, así como las propuestas de reforestación urbana, consideran datos sobre biodiversidad y habitabilidad de espacio público. Los indicadores utilizados son: *diversidad del arbolado urbano* (Harb), *permeabilidad del suelo* y *densidad de árboles por tramo de calle*. Se realizó el cálculo de los indicadores que muestran el estado en que se encuentra el sector de estudio y posteriormente se utilizan sus parámetros para la hipótesis del proyecto.

Diversidad de arbolado urbano (Harb). Para calcular la diversidad de árboles del humedal laguna Nuevo Amanecer se aplica el índice de Shannon-Weaver, donde H es la diversidad y su unidad es el bit de información. Pi es probabilidad de ocurrencia de un individuo de la especie respecto al total de individuos (abundancia relativa de la especie). El indicador contempla el número de especie totales (riqueza total) y la abundancia relativa de cada una de ellas. Los valores de diversidad de arbolado oscilan entre 0 (para las que solo aparece una especie) y 5 (valor máximo obtenido).

La fórmula utilizada es: H (bits de información) = $-\sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i$ (*).

El valor resultado es de 4.48 bits. El valor de Harb deseables es de 2.5 bits en relación al parque urbano da un valor cercano a 5 bits. La condición de espacios abiertos naturales urbanos amplia el rango del parámetro con mayor riqueza ecológica. La superficie del humedal Nuevo Amanecer cuenta con 1691 individuos de árboles que corresponden a 63 especies, de las que destacan por su cantidad son la Mangifera con 196, el Ficus elástica con 146, Cocos nucifera con 138, la Cedrela orodata con 120 y el Persea americana con 101 individuos.

Índice biótico del suelo (IBS). Se calculó asignando un valor a cada tipo de suelo, que oscila entre 0 y 1, en función de su grado de naturalidad. Siendo 1 para los suelos totalmente permeables y 0 para los impermeables. Una vez asignado el valor a cada tipo de superficie en la zona estudiada, el índice biótico del suelo se calculó mediante la fórmula indicada, donde (fi) corresponde al factor de tipo de suelo, (ai) es el área de la superficie de suelo y (At) es el área total de la zona de estudio. La fórmula utilizada es: $IBS = [\sum (f_i \times a_i) / A_t]$.

Actualmente el polígono tiene un *Índice Biótico del Suelo (IBS)* por debajo del nivel óptimo con 26.54%. Se clasificaron los tipos de suelo y su factor correspondiente en: Superficies impermeables factor 0, son todas las áreas pavimentadas impermeabilizadas con respecto al agua y al aire, sin funciones ecológicas, como el asfalto, concreto, edificios y construcciones; superficies semipermeables factor 0.5, son las que permiten el traspaso de aire y agua. Como pavimentos de piedra, grava, arena, adocretos; y espacios verdes con conexión con suelo natural factor 1, son suelos con estructura edafológica natural. En ellos se desarrolla flora y fauna. Las zonas más permeables se localizan en el perímetro del humedal, así como en calles de tierra (Figura 2).



Figura 2. Indicador Índice Biótico del Suelo (ISB) actual.

Densidad de árboles por tramo de calle (Dar). Para evaluar la capacidad potencial de albergar arbolado viario en las calles se han evaluado los tramos con un ancho de calle superior a

8 metros, considerando como la anchura mínima para poder plantar arbolado de alineación en un tramo de calle. Se calculó contabilizando el arbolado viario por tramo de calle, no se contabilizó el arbolado presente en el humedal laguna Nuevo Amanecer. El valor obtenido se divide por la longitud del tramo (en metros), de esta forma se obtuvo un valor de densidad.



Figura 3. Indicador de Densidad de árboles (Dar) actual.

Solo el 2% de los tramos de calle del polígono de estudio presenta una densidad $>$ de 0.2, correspondiente a las calles Quintero, Calle 23, Privada Ocotlán y Av. Cuauhtémoc. El 98% de las calles presenta un parámetro no deseable con un valor <0.1 de densidad por tramo de calle. El valor oscila entre 0 y 1. Un valor de 0 corresponde a un tramo de calle sin arbolado y un valor de 1 corresponde a un tramo que presenta un árbol por cada 5 metros de calle, esto sucede en algunos tramos situados cerca de áreas con elevada densidad de vegetación arbórea (Figura 3.).

Proyecto Forestación urbana Humedal Laguna Nuevo Amanecer

La disciplina proyectual en el campo de urbanismo constituye un instrumento válido para la sostenibilidad, como es el caso de la reforestación urbana. La hipótesis de la propuesta de transformación del sector (Figura 4) considera el incremento de edificabilidad en el espacio lotificado a través de la densificación hasta 4 niveles, así como la ampliación y rediseño de espacio abierto. El proyecto, tomando en cuenta ciertos indicadores, se enfoca a la configuración de un sistema de espacios públicos que recicla el valor latente del humedal y reorganiza las vialidades. La permeabilidad del suelo se considera un tema clave como elemento de proyecto.

Considerando el indicador de Índice biótico del suelo en el polígono del humedal Nuevo Amanecer con la propuesta del parque y la redensificación así como en el nuevo diseño de calles plantea un 22.82% de impermeable no edificado, un 25.81% de impermeable edificado, el 2.69% semipermeable y el 48.68% permeable. Como consecuencia el IBS sube de un 26.54 % a un 47%, sobrepasando el porcentaje deseado que es de un 35%.

La propuesta de forestación urbana del espacio abierto presenta el incremento de la masa vegetal de dos situaciones complementarias: los espacios naturales urbanos y la calle. En primer lugar, la conservación de relictos del humedal laguna Nuevo Amanecer a través de la reforestación de bosques urbanos, la segunda situación el acondicionamiento de cañones urbanos a través de la arborización de las calles, recualificando el espacio público. El estudio morfológico de especies nativas fue la base para la selección de tipos de árboles utilizados. Así, la reforestación resultante configura grupos, el bosque urbano y líneas, la arborización de calles.



Figura 4. Propuesta de Reforestación Urbana HLNA.

Escenario 1. Reforestación de bosques urbanos

La ampliación de la superficie del humedal, para su integración en un parque, incorpora las áreas inundables, reubicando viviendas. El incremento de suelo público se consigue con la adquisición de 25 manzanas en áreas inundables, y en su mayoría irregulares, 6 en el borde noreste, sobre calle Corregidora, 15 en borde sureste, y 4 suroeste sobre la calle cuarta. Se conserva la vegetación existente y se crearon cuatro nuevos bosques urbanos. Se propusieron accesos al parque para peatones y ciclistas y se asignaron áreas recreativas con suelos permeables.

Las características de la vegetación para el diseño del parque son: especies nativas, de rápido crecimiento, resistente a una inundación temporal, tolerantes a la radiación solar y en cuanto a la raíz, profunda y pivotante o superficial y extendida. Se propone la reforestación con vegetación arbórea y arbustiva con floración de tipo perennifolio, follaje denso, considerando la altura y la armonía cromática entre las diferentes especies.

Considerando el indicador de Diversidad de arbolado urbano el proyecto procura conservar en el parque del humedal los relictos presentes y mantener la diversidad de especies en el valor original de 4.8 bits. A pesar de que las actividades humanas aumentan de manera directa o indirecta la dominancia y reducen la uniformidad y la variedad de especies, el proyecto procura no afectar tanto la diversidad. Se plantarán 1318 nuevos árboles obteniendo un total de especímenes es 3009 y la variedad de 63 especies.

Los 4 bosques urbanos propuestos fueron derivados de la selección de vegetación nativa contemplando para cada uno de ellos: densidades altas proporcionando un mayor confort térmico, estético, tolerancias a inundaciones, de tipo perennifolio y caducifolio. Cada uno de los bosques se identifica por contener varios especímenes de dos a tres especies arbórea y una o dos arbustivas, con la finalidad de destacarlos por la especie de mayor impacto visual. La predominancia de cada bosque es Coccoite, Guásima, Sauce y Amapola.

Escenario 2. Arborización de calles

La propuesta de reforestación de las calles se realizó en base al tipo de vialidad, dando prioridad al peatón e incrementando la superficie semipermeable. Se proponen 4 tipologías de calles: en los pares viales, calles secundarias, calles terciarias y en las calles terciarias que llegan al parque. Estas últimas, paseos peatonales que llegan al parque, se proponen dos franjas asimétricas de 4.80 metros y 2.25 metros y destaca en medio de ambas un área permeable verde de 7.8 m

Según la especie arbórea se agrupa en tres sectores, todas las especies son de rápido crecimiento. En el noreste del polígono del humedal laguna Nuevo Amanecer se propuso el árbol *Cordia alliodora*, su nombre común es Bojón, debido a que puede estar en una zona no inundable tiene un diámetro de 16m, un sistema radical central y profundo. También al sureste se propuso el *Gliricidia maculata*, su nombre común Palo de sol, el árbol tiene un diámetro de copa de 10m y un sistema radical profundo. En el noroeste del polígono se propuso el *Tabebuia rosea*, su nombre común es Palo de rosa, tiene un diámetro de copa de 16m, y su sistema radical es profundo. Los dos últimos son árboles aptos para zonas inundables ya que ocupan parte del polígono susceptible a inundación.

Teniendo en cuenta el indicador de Densidad de árboles por tramo de calle, se rediseñaron las calles y banquetas para albergar árboles de porte grande y mediano. Esto dio como resultado que el 26% de los tramos del polígono tienen una densidad de arbolado de más de 0.2 árboles/m, cumpliendo el criterio mínimo establecido. El 73% del polígono de humedal Nuevo Amanecer tiene una densidad de arbolado de 0.2 a 0.4 árboles/m y el 1% tiene una densidad de arbolado de 0 a 0.1.

En el estudio de la situación actual en número de árboles de la calle es nula, (densidad árboles es cero) la propuesta demuestra la importancia de incrementar la arborización (resultado es 0.2 árboles). Las calles arboladas aportan importante incremento del confort al espacio abierto público. Así, podemos resumir la Tabla 1 los árboles existentes y de nueva plantación en los dos escenarios.

	Escenario 1 Parque Humedal Laguna Nuevo Amanecer.	Especies nueva plantación	Escenario 2 Calles	Especies nueva plantación
Árboles existentes	1,691		527	
Nuevas Plantaciones	1,318	<i>Salix Babylonica</i> <i>Gliricidia Sepium</i> <i>Tabebuia Rosae</i> <i>Guazuma</i> <i>Ulmifolia</i> <i>Ceiba Pentandra</i> <i>Plumeria Alba</i> <i>Platanus</i> <i>Mexicana</i> <i>Leucaena</i> <i>Leucocephala</i> <i>Plumeria Rubra</i>	2,577	<i>Cordia Alliodora</i> <i>Gliricidia</i> <i>Maculata</i> <i>Gliricidia Sepiu</i> <i>Tabebuia Rosea</i> <i>Plumeria Rubra</i>
Proyecto Reforestación Urbana	3,009		3,104	

Tabla 1. Árboles existentes y nuevas plantaciones.

Resultados y discusión

El impacto positivo de la reforestación urbana en ciudades tropicales se verifica a partir de los resultados de la funcionalidad (IF) de los espacios naturales como parques que alojan una importante biodiversidad, así como el aumento del Confort térmico (Cter) en el espacio público, en un ámbito crítico en climas cálidos húmedos del trópico.

Los espacios naturales a través del IF muestran la importancia y el aporte de la biodiversidad en las ciudades tropicales, que agregan valor para la calidad de vida, el confort y el paisaje que solo depende de la conservación de estos espacios, casi a muy bajo costo. Dichos espacios pueden requerir escaso mantenimiento. Las características de los espacios naturales y de

parques urbanos, que explican cierta relación de sus componentes, contribuyen a preservar sus ecosistemas, generan una reciprocidad de armonía entre la naturaleza y la ciudad. En clave proyectual y considerando al Índice de funcionalidad en espacios naturales urbanos se puede comprobar que es más eficiente mantener el ecosistema que realizar un nuevo proyecto.

La forestación urbana de las calles arroja una de los mejores beneficios para la ciudad tropical, un tema clave que culturalmente está olvidado. Las condiciones climáticas en el trópico y que provocan discomfort (Figura 8) son simultáneamente propicias para el desarrollo de importantes comunidades vegetales. El uso adecuado de la arborización, además de tener un bajo costo de inversión y mantenimiento muestra un importante aumento de horas de confort en los espacios públicos.

Considerando el indicador (Cter) Confort térmico con la propuesta de arborización de las calles disminuye la transmitancia lumínica y con la de redensificación se redujo el Factor de Vista de Cielo. Los resultados nos dan que el 44% del polígono se obtienen 7 horas de confort (potencial de confort en verano suficiente), y en el 30% del polígono se cuenta con 9 horas de confort que es el promedio de horas con potencial de confort bueno establecido por el Plan de indicadores de sostenibilidad urbana de Vitoria Gasteiz. Sumando estos dos resultados nos dan el 74 % del polígono con los valores deseables, establecidos en 75%.

A continuación, podemos observar la síntesis de datos de los tipos de indicadores (impacto* y proyecto) en sus dos escenarios y las referencias (Tabla 2).

Escenarios		Indicadores	Parámetros de evaluación	Diagnóstico	Proyecto	Resultados (impacto)
Espacio natural urbano		IF Índice de Funcionalidad	7.5-10	10.11		11.31
		Harb Diversidad de arbolado urbano	2.5-5 bits cobertura > 75%	4.7	4.8	

Espacio natural urbano	Proyecto	IBS Permeabilidad del suelo	35%	26.54%	50.02%	
Calles		Dar Densidad de árboles	> 0.2 árboles/m cobertura > 75%	2%	26%	
Calles		Cter Confort térmico	50% hrs de confort cobertura > 75%	0%		74%

Tabla 2. Síntesis de escenarios e indicadores.

Conclusiones

Frente a los instrumentos de zonificación utilizados en la ciudad tropical, desde el enfoque de sostenibilidad se incorpora el reconocimiento de los valores locales que enriquece la identidad natural de un territorio. Así, proyectar desde el paisaje se convierte en una clara contribución que integra aspectos ecológicos, sociales y culturales simultáneamente. Por tanto, las aportaciones presentadas aquí sirven de referencia desde la valoración de lo pequeño a lo global, desde el estudio de los parámetros analíticos y la repercusión de los impactos obtenidos a su contribución a estrategias en materia proyectual.

Los resultados demuestran que existe una estrecha reciprocidad entre el incremento de la densidad de árboles, el confort y la permeabilidad. Las características bióticas del suelo y de las comunidades vegetales, no solo propician el mayor índice de biodiversidad urbana, sino que colaboran de manera clara mejorando el confort de los espacios abiertos públicos. La masa vegetal mejora de manera directa la calidad de vida de las ciudades tropicales contribuyendo a la disminución de aportaciones térmicas en suelos y pavimentos, mitigando las islas de calor. Dicho incremento, más suelo permeable y más árboles, mejora las condiciones de confort térmico para los habitantes y reduce el gasto energético de las viviendas.

En el caso de la forestación urbana, los análisis técnicos han de servir de estrategia de proyecto a través de sus dos vertientes básicas: la conservación e incremento de las comunidades

vegetales de los espacios naturales urbanos y el arbolado de calles. El caso de los humedales como la laguna Nuevo Amanecer aporta con su masa de agua, la estabilización térmica, un refugio de la fauna acuática y regula las inundaciones. Por lo tanto, es necesario respetarlo y darle su espacio, pues genera asimismo un ecotono urbano particular con una riqueza biológica única.

Referencias

- Araujo, M.B. (2003). The coincidence of people and biodiversity in Europe. *Global Ecology and Biogeography*, (12): 5–12.
- Balmford, A., Moore, J.L., Brooks, T., Burgess, N., Hansen, L.A., Williams, P., Rahbek, C. (2001). Conservation conflicts across Africa. *Science*, (291), 2616–2619.
- Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H., Taylor, G. (2000). Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and wind speed. *Glob. Change Biol*, (6), 995-1003.
- Carvalho, G. Especies exóticas e invasiones biológicas. *Ciencia Ahora*, (23), 15-21, 2009.
- Corburn, J. (2009). Cities, climate change and urban heat island mitigation: localizing global environmental science. *Urban Stud*, (46): 413–427.
- Cornelis, J. And Hermy, M. (2004). Biodiversity relationships in urban and suburban parks in Flandes. *Landscape and Urban Planning*, (69): 385-401.
- Dwyer, J.F., Nowak, D.J., Noble, M.H., Sisinni, S.M. (2000). Connecting people with ecosystems in the 21st century, an assessment of our nation's urban forests. General Technical Report, PNW-GTR-490. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland OR, 483.
- INEGI, (2010). Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Irga, P., Burchett, M., Torpy, F. (2015). Does urban forestry have a quantitative effect on ambient air quality in an urban environment? *Atmospheric Environment*, (120): 173-181.
- Lugo, A.E. Let's Not Forget the Biodiversity of the Cities. *Biotropica*, 42 (5): 576-577, 2010.
- Lugo, A.E. (2014). Tropical cities are diverse and deserve more social-ecological attention. *Ecology and Society*, 19 (3): 24.
- Lwasa S., Mugagga F., Wahab B., Simon D., Connors J., Griffith C. (2014). Urban and peri-urban agriculture and forestry: Transcending poverty alleviation to climate change mitigation and adaptation. *Urban Climate*, (7): 92–106.
- Marañón, B. (2001). El Anillo Verde de Vitoria Gasteiz. *Informes de la Construcción*, 53 (475):

73-86.

McKinney, M. (2002). Urbanization, Biodiversity and Conservation. *BioScience*, 52 (10): 883-890.

Myers, N. (1996). The biodiversity crisis and the future of evolution. *Environmentalist*, (16): 37-47.

Ochoa, J. (2009) Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort en los espacios urbanos. Ediciones Erasmus. Barcelona.

Rojas, G. (2013). La vegetación tropical en el confort climático urbano. Aplicado a Santo Domingo, República Dominicana en comparación con el clima mediterráneo, Barcelona, España. Tesis de maestría. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Cataluña.

Rueda, S. (2010). Plan de Indicadores de Sostenibilidad Urbana de Vitoria-Gasteiz. Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, Ayuntamiento Vitoria Gasteiz.

