

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA  
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES  
SAN JUAN, PUERTO RICO**

**ALTERNATIVA AMBIENTALMENTE EFECTIVA PARA  
MINIMIZAR LA ISLA URBANA DE CALOR EN EL  
CENTRO URBANO TRADICIONAL  
DEL MUNICIPIO AUTÓNOMO DE CAGUAS**

Requisito parcial para la obtención del  
Grado de Maestría en Planificación  
en Planificación Ambiental

Por  
Héctor Hiram Colón Morales

7 de mayo 2009

## **DEDICATORIA**

*A mi abuela Lydia por todo su amor y  
cariño y a toda mi familia por su apoyo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento a todos los seres que de alguna u otra forma me dieron luz y dirección para completar este proyecto. A los miembros del Comité, Carlos M. Padín Bibiloni y José E. Rivera Santana en sus funciones como lectores, por todos sus comentarios, correcciones, sugerencias y recomendaciones al cuerpo del proyecto. En especial al Director del Proyecto el Sr. Guillermo Rivera Cruz por toda su paciencia, dedicación y sabiduría para encaminarnos hacia la culminación de este proceso. Agradezco, con todo el corazón, a mi madre Fredeswinda Morales Tirado por todas sus aportaciones, correcciones y sugerencias al escrito del proyecto. Además, quiero agradecer a la Geógrafa Anilda Fernández Vega que brindó su conocimiento, destrezas y tiempo en la preparación de los mapas e imágenes de satélite utilizadas. Por último, agradezco a Jinny Fortuño Borrero, Milka L. Miranda Rodríguez y Juliann Mariel Rosado Pagán por las palabras de apoyo brindadas en momentos que las necesitaba.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE APÉNDICES.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
Trasfondo del problema.....	1
Problema de estudio.....	3
Justificación del estudio.....	4
Metas y Objetivos.....	6
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
Marco conceptual.....	14
Estudio de casos.....	21
Marco legal.....	26
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	39
Área de estudio.....	39
Fuentes de datos.....	40
Diseño metodológico.....	41
Técnicas de análisis.....	43
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	44
Crecimiento poblacional versus crecimiento urbano en el Municipio.....	44
Centro Urbano Tradicional: el suelo y sus usos.....	47
CAPÍTULO V: ALTERNATIVAS, ESTRATEGIAS Y PLAN DE ACCIÓN.....	52
Alternativas evaluadas.....	52
No intervención.....	52
Albedo.....	52
Forestación urbana.....	53
Naturación urbana.....	55
Selección de mejor alternativa.....	57
Desarrollo del criterio de evaluación.....	57
Evaluación y selección de alternativa.....	58
Implantación de alternativa seleccionada.....	60
Objetivos y Estrategias de Implantación.....	60
Guía de diseño para proyecto piloto de naturación urbana.....	68
CAPÍTULO VI: CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....	76

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Área construida en el Municipio de Caguas.....	88
Tabla 2. Comparación de alternativas.....	89
Tabla 3. Matriz de estrategias de implantación objetivo 1.....	90
Tabla 4. Matriz de estrategias de implantación objetivo 2.....	91
Tabla 5. Matriz de estrategias de implantación objetivo 3.....	92
Tabla 6. Matriz de estrategias de implantación objetivo 4.....	93

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio (Centro Urbano Tradicional).....	95
Figura 2. Mapa Crecimiento del área construida Municipio Autónomo de Caguas.....	96
Figura 3. Foto aérea Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 1937.....	97
Figura 4. Foto aérea Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 1951.....	98
Figura 5. Foto aérea Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 1967.....	99
Figura 6. Foto aérea Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 1991.....	100
Figura 7. Foto aérea Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 2006.....	101
Figura 8. Foto aérea Centro Urbano Tradicional Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 1937.....	102
Figura 9. Foto aérea Centro Urbano Tradicional Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 1951.....	103
Figura 10. Foto aérea Centro Urbano Tradicional Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 1967.....	104
Figura 11. Foto aérea Centro Urbano Tradicional Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 2006.....	105
Figura 12. Mapa de estructuras dentro del Centro Urbano Tradicional.....	106
Figura 13. Mapa de uso de suelo del Centro Urbano Tradicional.....	107
Figura 14. Imagen satélite Ikonos 2002, Áreas verdes.....	108
Figura 15. Imagen satélite Ikonos 2002, Banda 4.....	109

## LISTA DE APÉNDICES

Apéndice1. Fotos digitales de la condición actual del Centro Urbano Tradicional.....	111
Foto1. Calle Padilla El Caribe.....	112
Foto2. Vista parcial del CUT .....	113
Foto 3.Lote utilizado como estacionamiento.....	114
Foto 4. Lote utilizado como estacionamiento.....	115
Foto5. Calle Muñoz Rivera.....	116
Foto 6. Calle Vizcarrondo.....	117
Foto7. Calle Jiménez Sicardó.....	118
Foto 8. Aceras calle Muñoz Rivera.....	119
Apéndice 2. Diseño proyecto piloto techo naturado experimental.....	120

## RESUMEN

El Centro Urbano Tradicional (CUT) del Municipio Autónomo de Caguas actualmente es un área de alta densidad urbana. Los cambios de uso del suelo en el CUT y su periferia, de área verde a área construida, permitieron la deforestación, compactación e impermeabilización de los suelos con superficies de concreto y asfalto. Estas superficies absorben e irradian energía térmica provocando un sobrecalentamiento del microclima urbano. Este sobrecalentamiento del área construida contribuye a la formación del fenómeno de la isla urbana de calor, el cual puede fomentar aumentos en la concentración de gases dentro de la zona, además de producir un incremento en el consumo de energía por los edificios y residencias. En este proyecto de planificación establecimos la condición físico espacial actual del CUT y a partir del mismo, desarrollamos y evaluamos diferentes alternativas dirigidas a mitigar el problema de estudio. Durante esta etapa, se identificaron tres alternativas que cumplieran con nuestra meta, ya que se había probado que podían contribuir a mitigar el problema de estudio. Las alternativas fueron el aumento de albedo, la forestación urbana y la naturación urbana. Utilizando un criterio ambiental específico se seleccionó la naturación urbana como la alternativa con la mayor capacidad para disminuir, en grados centígrados, la temperatura de las superficies. Una vez seleccionada la alternativa, desarrollamos objetivos y estrategias dirigidas a su implantación. Como parte del proyecto se incluye una guía para establecer un proyecto piloto en naturación de techos.



## ABSTRACT

The Traditional Urban Center (TUC) of the Autonomous Municipality of Caguas at this moment is a high density urban area. The changes in land use/land cover in the TUC and periphery, from green area to constructed area, allowed the deforestation, compaction and waterproofing of land with concrete and asphalt surfaces. These surfaces absorb and radiate thermal energy bringing an over heat of the urban microclimate. This overheat of the constructed area contributes to the formation of the urban heat island phenomenon, which can foment increases in gas concentration within the zone, besides producing an increase in the power consumption by the buildings and residences. In this project we established the present space physical conditions of the TUC, developed and evaluated different alternatives to mitigate the study problem. During this stage, three alternatives were identified that fulfilled our goal. The alternatives were; increase albedo, urban forestry and greening of roofs and facades. Using a specific environmental criterion the greening of roofs and facades prove to be the alternative with the greater capacity to decrease surface temperature in centigrade degree (°C). Once the alternative was selected we developed implantation objectives and strategies. The project also includes a guide to establish a green roof pilot project.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### **Trasfondo del problema de planificación**

Un estudio realizado sobre el fenómeno de la isla urbana de calor en el Municipio de Caguas (Matos & Rodríguez, 1997) analizó el componente termal de imágenes de satélites dentro de la extensión territorial del Municipio. Este estudio reveló la presencia de varios espacios o puntos de calor extremo en varios sectores. Uno de estos espacios lo constituye el área urbana central, la cual incluye el Centro Urbano Tradicional (CUT). El estudio, a su vez, señala que son estos mismos espacios, los que tienen la menor densidad de áreas verdes o carecen de las mismas.

El CUT, durante su crecimiento y desarrollo histórico, no contempló la necesidad de planificar y/o mantener espacios verdes, excepto la Plaza Palmer que es el único ornato planificado en el centro de la ciudad. En gran medida, esto se debe al modelo de urbanismo establecido por las autoridades españolas, donde se acomodaba esta gran área de esparcimiento alrededor de los ejes centrales, la Iglesia y la Alcaldía. Obviamente, mientras la ciudad se expandía, la periferia inmediata al CUT era un área verde extensa con uso agrícola y no había necesidad de mantener espacios verdes dentro del mismo. Esta condición de espacios verdes circundantes al centro, de fácil acceso, permaneció sin muchos cambios hasta finales del siglo 19.

En la primera parte del siglo 20, comenzó a cambiar el paisaje urbano del CUT. El establecimiento de nuevas fábricas y comercios, acompañado de un aumento en la población, dio paso a los primeros ensanches del CUT. Surgieron nuevas urbanizaciones

planificadas con relación al Centro y a su vez, se desarrollaron comunidades poco planificadas (llamadas barriadas y/o arrabales) que interactuaron con la nueva dinámica del crecimiento de la ciudad. A comienzos de la década del 1950, cuando empieza la llamada modernización de Puerto Rico, los suelos que históricamente se utilizaron para el desarrollo de nuestra agricultura se convirtieron, en un periodo relativamente corto de tiempo; en suelos urbanos cargados de una variedad de usos.

Además, los cambios repentinos en el modelo económico propiciaron esta tendencia de crecimiento urbano en el CUT. Según indica el Plan Urbanístico Caguas 20/20 elaborado en 1998 y citamos, *“En Caguas, el rápido crecimiento poblacional coincidió con la tendencia de posguerra dirigida hacia los estilos suburbanos y desarrollos de baja densidad. Como consecuencia, el área construida de la ciudad se expandió de manera no concentrada combinando exponencialmente la prestación de servicios y mantenimiento a través del ambiente local ecológicamente sensitivo”*.

Este nuevo modelo de crecimiento desarrollado a partir de la última mitad del siglo 20, contemplaba en su planificación, el diseño y construcción de áreas verdes; ya que se implantó reglamentación a estos efectos. A través de los mecanismos de política pública de la Junta de Planificación, se estableció el Reglamento de Lotificación y Urbanización de Puerto Rico. No obstante, dicho crecimiento continuó su tendencia al desparrame fuera de la periferia y hacia áreas vacantes en el suelo rústico. El CUT, por su parte, quedó encerrado por su periferia altamente construida y ahora experimenta situaciones de carácter ambiental y de convivencia urbana, resultado de no haber planificado a través del tiempo, la conservación de áreas verdes en su interior, más allá de la Plaza Palmer.

## **Problema de planificación**

El Centro Urbano Tradicional (CUT) del Municipio Autónomo de Caguas actualmente es un área de alta densidad urbana con infraestructura gris y superficies impermeabilizadas cubriendo el paisaje. Edificios, viviendas, centros comerciales, calles, aceras, lotes de estacionamiento, postes de alumbrado y tendido eléctrico son algunos de los protagonistas en esta zona. Lo que no presenta este paisaje son espacios continuos de vegetación.

Por razones históricas, los cambios de uso del suelo en el CUT y su periferia de área verde a área construida, impulsados por el Gobierno Central a través de una reglamentación dirigida hacia la promoción de la industria de la construcción, permitieron la deforestación, compactación e impermeabilización de los suelos con superficies de concreto y asfalto. Estas superficies absorben e irradian energía térmica provocando un sobrecalentamiento del microclima urbano. El sobrecalentamiento del área construida del CUT y su periferia contribuye a la formación del fenómeno de la isla urbana de calor, según lo confirma el estudio de Matos & Rodríguez (1997). Investigaciones científicas en otras ciudades del mundo confirman que este fenómeno tiene el efecto de aumentar la concentración de gases nocivos en el área y en consecuencia, un aumento de posibles efectos adversos en la salud respiratoria de los ciudadanos y visitantes. Además, el sobrecalentamiento produce un incremento en el consumo de energía eléctrica en edificios y residencias por el uso continuo de sistemas de acondicionamiento de aire para contrarrestar este aumento en temperatura.

Al momento, los esfuerzos de planificación del Municipio a corto, mediano y largo plazo relacionados con el desarrollo de áreas verdes que pudieran contrarrestar

estos efectos, sólo incluyen planes de arborización y diseño de espacios públicos que van más dirigidos o están basados en proyectos de desarrollo urbano o diseño paisajista. Los mismos no necesariamente están dirigidos a mejorar la condición ambiental del sobrecalentamiento, además de otros problemas ambientales en el CUT y su periferia.

### **Justificación del proyecto de planificación**

La necesidad de minimizar los efectos de la isla urbana de calor dentro del área construida del Centro Urbano Tradicional del Municipio Autónomo de Caguas, surge de la preocupación en torno a; cómo los efectos del problema de estudio inciden en la calidad de vida de los ciudadanos cuyas actividades cotidianas principales se desarrollan en el CUT. Estos efectos inciden directamente sobre el microclima urbano en términos de temperatura y calidad del aire por el aumento en la concentración de gases que podrían ser nocivos a la salud. Precisamente, el Municipio reconoce que; aunque no se ha llevado experimentación dirigida a medir la calidad del aire dentro del CUT *“se puede decir que la contaminación del aire representa un grave problema y posiblemente una amenaza a la salud de los usuarios del distrito. La localización del CUT dentro de un valle rodeado por montañas y la falta de circulación de aire que puede resultar, es un factor importante que contribuye al problema.”* (PACUT, 2007).

La búsqueda de alternativas que se enfoquen en los beneficios ambientales para atacar el problema de estudio, contribuiría a minimizar otras acciones provocadas por los efectos del fenómeno de la isla urbana de calor. A nivel estructural, permitiría minimizar problemas que confrontan las edificaciones como el sobrecalentamiento de la estructura y el alto consumo de energía eléctrica. En términos de calidad de vida, se ofrecerían nuevos espacios habitables aptos para la recreación y el esparcimiento. Además,

promueven una mejoría en la calidad del aire que se respira, disminuyendo la incidencia de enfermedades respiratorias de la población.

Mirando a nivel global y actuando localmente, la integración de la naturaleza a la zona del CUT cobra mayor vigencia e importancia en lo relacionado a la mitigación o adaptación al calentamiento global y al cambio climático. Se reconoce que existen alternativas que son altamente efectivas (en términos cualitativos o de calidad) que estarían contribuyendo a reducir la temperatura a nivel local y global, además de contribuir al reciclaje de los gases de invernadero que aportan a la degradación de la capa de ozono. Ya no solamente se está calentando el microclima de las zonas urbanas debido a cambios en los usos del suelo, sino que estos cambios, sumados a otras variables a nivel local y mundial, están sobrecalentando el planeta. Esto plantea un problema ambiental de grandes proporciones, de los cuales no estamos exentos.

Por lo antes expuesto, este proyecto está dirigido a evaluar y seleccionar, de diferentes alternativas a ser consideradas, aquella que permitiría minimizar el sobrecalentamiento del CUT. Dentro de las alternativas a ser evaluadas se encuentran la no intervención, aumento de albedo, forestación urbana y la naturación urbana. Cada una de las alternativas será analizada y se seleccionará aquella que demuestre una mayor aproximación hacia la efectividad de su implantación, utilizando como medida de evaluación, un criterio ambiental específico. La aportación e importancia de este proyecto está en los objetivos y estrategias de implantación y en las recomendaciones que se hagan de acuerdo con la alternativa seleccionada.

El proyecto toma relevancia, ya que el Municipio Autónomo de Caguas ha desarrollado una serie de proyectos dirigidos a encaminarla como una ciudad

ambientalmente sostenible. Entre éstos se encuentran; el Plan Urbanístico Caguas 20/20 del 1998, el Plan de Ordenamiento Territorial del 1998, el Plan de Área Centro Urbano Tradicional del 2007, el Plan Estratégico Caguas 2005-2008. No obstante, dentro del Programa de Gobierno 2009-2012, el Municipio tiene en agenda el desarrollo de otras iniciativas y planes dirigidos al CUT que son a fin con este estudio; como el desarrollo de estrategias de reducción en consumo de energía en la Ciudad y la implantación de auditorias energéticas en instalaciones municipales.

### **Meta y Objetivos**

Meta:

Recomendar una alternativa ambientalmente efectiva que contribuya a minimizar los efectos de la isla urbana de calor en el Centro Urbano Tradicional del Municipio Autónomo de Caguas.

Objetivos:

1. Analizar la condición físico espacial actual del CUT para determinar las posibilidades de implantar alguna alternativa que contribuya a minimizar el problema de estudio.
2. Identificar y evaluar objetivamente aquellas alternativas existentes que podrían aplicarse en el CUT para seleccionar aquella que mejor cumpla, en términos cualitativos, con un criterio de evaluación ambiental específico.
3. Desarrollar objetivos y estrategias generales para la implantación de la alternativa seleccionada.
4. Presentar una guía de diseño que sirva de modelo para el desarrollo de un proyecto piloto de la alternativa seleccionada.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

El propósito de este Capítulo es presentar aquella información importante proveniente de fuentes primarias y secundarias que provean un marco de referencia para la introducción de conceptos de carácter procesal y normativa que son pertinentes al tema de estudio. El mismo está dividido en trasfondo histórico, marco conceptual, estudio de casos y marco legal. En el trasfondo histórico, se hace una revisión de los antecedentes y/o condiciones que se han desarrollado a través del tiempo y que dan paso al problema de estudio. El marco conceptual presenta un espacio para aclarar o profundizar en aquellos conceptos, definiciones o teorías que se mencionan dentro del cuerpo del escrito, pero que no se explican detalladamente. En el área de estudio de casos, se examinan ejemplos de Puerto Rico y otros países que enfrentan el problema del sobrecalentamiento de las zonas urbanas y las estrategias que se han utilizado para contrarrestarlo. Por último, en el marco legal se revisan leyes, planes y reglamentos estatales y municipales que de alguna u otra manera aplican al tema de estudio.

#### **Trasfondo histórico**

La dinámica con la cual el Centro Urbano Tradicional (CUT) crece y se desarrolla, la relación con su periferia y el uso que se le ha dado a los suelos, es el producto de un proceso histórico que se estableció para el año 1775, lo que hoy conocemos como Caguas. En los comienzos del siglo 19, el Municipio “*era un pueblo pequeño básicamente rural*” y “*hasta el final del siglo 19 el Centro Urbano era la única área desarrollada*” (PACUT, 2007). Para este periodo y citamos: “*No había calles ni*



*aceras pavimentadas*” (Memorial POT, 1997) y la plaza era el único espacio público para uso recreativo y comercial, con ornato planificado. Los edificios presentes en los alrededores de la plaza eran de mampostería y el resto de las edificaciones “*eran en madera, terreras, techadas en tejas de barro o de zinc galvanizado*” (Memorial POT, 1997). En términos poblacionales, para cuando se funda el Municipio, habían 772 habitantes y “*en 1828, seis décadas después de fundado, la población del pueblo era de 1828 habitantes*” (Memorial POT, 1997).

La periferia del CUT y el resto del territorio, desde el establecimiento del Municipio hasta finales del siglo 19, estaba compuesto por “*48 haciendas y 11 hatos*” (Memorial POT, 1997). Los suelos estaban destinados para uso agrícola donde se sembraba caña, café y tabaco. Estas haciendas y hatos permanecieron funcionando hasta finales del siglo 19 y principios del siglo 20, donde el CUT servía como “*un centro de agricultura, con un área comercial pequeña y áreas residenciales sustanciales donde vivía la mayoría de la población*” (PACUT, 2007). La economía era agrícola con muy pocas fábricas presentes y la mayoría de los comercios eran al detal. La población hasta finales del siglo era de 17,820 pero para el año “*1899, ya bajo el dominio de los Estados Unidos de América, la población del Municipio había alcanzado la cifra de 19,857 personas*” (Memorial POT, 1997).

En las primeras décadas del siglo 20 comenzó el ensanche del CUT, el cual había permanecido dentro de un área de 81 cuerdas desde el año 1819. El primer ensanche fue la urbanización Campo Alegre en 1908 y luego “*con la construcción de una urbanización de 300 solares en Savarona en el 1912, la Urbanización Grillo en 1927 y la Urbanización Paradís en 1930, se logró establecer el resto del distrito que se conoce*

*como el CUT*” (PACUT, 2007). Estas urbanizaciones fueron planificadas siguiendo una relación directa con *“la red vial y el tejido urbano del centro”* (PACUT, 2007).

El ensanche del CUT se da como consecuencia de un crecimiento en el comercio, mejoras a la infraestructura y el establecimiento de varias industrias de tabaco y caña, altamente relacionadas con las haciendas establecidas en el Municipio. Estas industrias, al experimentar alzas en el precio del tabaco a nivel mundial, impulsaron una bonanza económica que *“se tradujo en el crecimiento físico y poblacional de la ciudad”* (Memorial POT, 1997). Esta latente actividad económica produjo la migración de población de las áreas rurales más remotas hacia la periferia del creciente centro urbano, desarrollándose así los arrabales y barriadas. Estos, a diferencia de las urbanizaciones establecidas para este momento, guardaban una relación estrecha con el centro; pero de forma no planificada con relación al tejido urbano y a la red vial. Para el 1930, la población del Municipio era de 47,728 habitantes.

A mediados de siglo, entre los años 1940 al 1968, Puerto Rico experimentó una transformación en su modelo económico. De una economía basada en la agricultura se transforma a una dirigida hacia la *“modernización”* e industrialización. *“Los estudiosos señalan que la industrialización es un fenómeno muy complejo y abarcador. Comprende un cúmulo de procesos que están entrelazados y son interdependientes”* (Scarano, 2000). Debido a esta interdependencia, el modelo industrial trajo unos cambios significativos en el ámbito económico, social, físico y ambiental existentes hasta ese momento. Estos cambios *“marcaron el comienzo del rápido desarrollo económico de Puerto Rico”* (Wells, 1972), que a su vez produjo un movimiento poblacional nunca antes experimentado; un crecimiento físico espacial con poca o ninguna planificación y fue el

comienzo de la degradación del espacio natural existente. Los llamados pequeños barrios periferales fueron agrandándose sin control y sin respetar el carácter urbano prevaleciente. Obviamente, Caguas no fue la excepción a estos cambios.

En la década de 1940, el nuevo enfoque económico comienza a incidir sobre el aspecto social. Mayor cantidad de gente se vio obligada a migrar de las zonas rurales a las zonas urbanas en busca de empleo y una mejor calidad de vida, que según Dietz (1997); es un patrón típico en los procesos de industrialización. *“La población boricua, tanto en su estructura como en su dinamismo, registró cambios impresionantes durante los primeros lustros de la industrialización”* (Scarano, 2000). En Caguas, el patrón de crecimiento poblacional fue bastante marcado, registrando *“tasas anuales de crecimiento de 2.1 por ciento (1940) y 3.3 por ciento (1950). Por su parte la población rural decreció, absoluta y proporcionalmente”* (Memorial POT, 1997).

El territorio del Municipio no estuvo exento de los cambios físico espaciales propiciados por el nuevo modelo económico y el establecimiento del programa Operación Manos a la Obra. Santana (1994) menciona que *“a través de una apertura total a corporaciones y capital norteamericano, de la provisión de exenciones contributivas y de la infraestructura requerida, la famosa “Operación Manos a la Obra” pretendió incrementar velozmente la inversión extranjera, la industrialización y el ingreso per cápita, en lugar de lograr la distribución equitativa del ingreso o una economía nacional puertorriqueña.”* Continúa Santana diciendo que los planificadores compartieron algunos modelos teóricos, que influyeron el diseño de dicha estrategia y que *“tanto el énfasis en la rápida industrialización como la negligencia en la agricultura, reflejan el pensamiento de posguerra de que las sociedades agrícolas y*

*rurales son esencialmente atrasadas, y que el desarrollo económico requiere la modernización por medio de la industrialización, la urbanización y la adopción de los valores culturales y sociales de las llamadas “sociedades avanzadas” de Europa y los EE.UU.”*

A partir de esta estrategia *“se comenzó la implantación de programas de infraestructura, desarrollo de industrias, y programas de interés social que tuvieron una inevitable expresión urbanística”* (PACUT, 2007). Durante las décadas del 40 y el 50 *“Caguas entró en una etapa de mucha construcción: sus calles, caminos y carreteras fueron mejorados”, “hubo una proliferación de urbanizaciones públicas y privadas”, “se desarrollan los primeros proyectos de Vivienda Rural”* (Memorial POT, 1997) y se planificaron un sin número de edificios gubernamentales. En este mismo periodo, *“se pavimentan en concreto las calles del centro del pueblo y se construyeron los encintados y las aceras”* (Memorial POT, 1997).

Los proyectos de renovación urbana desarrollados *“en la parte sur del CUT y otros proyectos en el norte del CUT, eliminaron grandes sectores de la zona histórica de la ciudad y crearon nuevos desarrollos que no se integraron con la escala del tejido urbano tradicional”* (PACUT, 2007). También *“las haciendas fueron quebrando, la siembras de tabaco se fueron tapando con cemento y empezaron a ser sustituidas por las fábricas livianas”* (Memorial POT, 1997). Las fábricas impulsadas por el Gobierno a través de la Compañía de Fomento Industrial, a su vez, desplazaron a las centrales y las haciendas como principales empleadores.

En los comienzos de la segunda mitad del siglo 20, entre las décadas del 50 y 60; *“se hace patente la explosión suburbana de Caguas; fenómeno favorecido por el rápido*

*crecimiento económico de Puerto Rico que caracterizó la época” (Memorial POT, 1997). Es para este tiempo que comienza “la construcción de centros comerciales a través de toda la zona urbana”, y aparecen “los primeros proyectos de urbanización aislados del núcleo urbano tradicional” (Memorial POT, 1997). Los mismos “consistieron principalmente de proyectos de vivienda unifamiliares dirigidos a la familia media” (Memorial POT, 1997).*

Estos desarrollos ocuparon *“terrenos que hasta hacia poco estaban sembrados de caña” (Memorial POT, 1997) creando “un patrón de desparramamiento que cambiaría para siempre la forma urbana de Caguas” (PACUT, 2007) con “un tejido urbano reflejo de una política de escasa, sino ausente, integración física” (Memorial POT, 1997). Algunos desarrollos se dieron de forma dispersa alrededor de la ciudad y otros proyectos vinieron “a ocupar el espacio remanente entre la ciudad y los desarrollos al extremo sur de la periferia urbana”. Es precisamente de estos años en adelante que “la inversión para el desarrollo de nuevas viviendas al igual como para el establecimiento de nuevas industrias y centros comerciales ha favorecido las áreas en la periferia de la ciudad, mientras el Centro Urbano y sus vecindarios residenciales aledaños han sufrido el deterioro marcado” (PACUT, 2007).*

Entre las décadas del 70 y 80 *“Caguas se convirtió en un centro de compras para los pueblos cercanos” y “se consideró un área metropolitana para fines censales” (Memorial POT, 1997). A finales de los 80, la economía sufrió una desaceleración y la expansión urbana se vio limitada; pero esto no impidió que se añadieran nuevas cuerdas al área construida donde “los desarrollos de proyectos unifamiliares ocurrieron en forma dispersa en toda la periferia” (Memorial POT, 1997).*

Es en la década del 90 que se *“viene a presenciar el relleno de los bolsillos del interior del tejido urbano con proyectos de mediana densidad y centros comerciales principalmente”* (Memorial POT, 1997). Es también para esta fecha que *“Caguas se convierte en un importante centro de vivienda, empleo, comercio, servicios, recreación y transborde en la isla. Lo que fue a principios de este siglo un área primordialmente de terrenos agrícolas, se convierte en un área urbana, en el cual predominan las urbanizaciones”* (Memorial POT, 1997).

Ya para finales del siglo 20, no solamente se desparramaba la periferia del centro del Municipio, sino que también el CUT en su dinámica constante de crecimiento, comenzó a utilizar intensivamente el suelo. El CUT quedó encerrado por su periferia altamente construida, y ahora, dos siglos más tarde, desde su establecimiento como pueblo, experimenta varios problemas ambientales. *“En efecto, medio siglo después de los primeros experimentos populistas de fomento industrial, empieza a generalizarse entre los puertorriqueños la idea de que las crisis ambientales forman parte del alto precio que se paga- y seguirá pagándose por el futuro previsible- por el fomento industrial desenfrenado”* (Scarano, 2000).

Las condiciones de crecimiento antes señaladas son el resultado de un proceso histórico desde el establecimiento del asentamiento de Caguas como pueblo para el siglo 18, hasta su desarrollo como ciudad hoy día. La dinámica con la cual el Centro Urbano Tradicional y su periferia se relacionan y se transforman es parte de este proceso. Durante el mismo, el sistema socio-económico adoptado por el gobierno de Puerto Rico ha evolucionado afectando negativamente el más importante de los sistemas, el ecológico y/o natural. Esto ha fomentado *“un crecimiento no-sustentable, no-saludable y auto-*

*destrutivo*” (Puerto Rico, En Ruta hacia el Desarrollo Inteligente, 2001) conocido como desparrame urbano. Este crecimiento físico espacial poco planificado, trajo como consecuencia varios problemas ambientales que hoy día son más visibles en el CUT.

### **Marco conceptual**

El propósito de esta sección es abundar en aquellos conceptos que nos ayuden a entender mejor el contenido del escrito. Comenzaremos con la definición del término planificación en general, sus comienzos teóricos y su desarrollo hasta hoy día. Luego continuaremos con los conceptos y/o definiciones específicas del tema de estudio que van desde definir *isla urbana de calor* hasta *edificios verdes*.

Si hacemos una búsqueda sencilla, planificación es un término para el cual podemos encontrar diferentes definiciones, todo depende del contexto para el cual se utiliza el concepto. Según el Diccionario de la Lengua Española (2001), Planificación se define como “*plan general, metódicamente organizado y frecuentemente de gran amplitud para obtener un objetivo determinado*”, tal como el desarrollo armónico de la ciudad, el desarrollo económico, la investigación científica, etc. En términos generales, la planificación es una actividad humana donde se establecen “*metas dirigidas a resolver problemas*” (Anderson, 1995), donde sus funciones, según Campbell y Fainstein (2003), “*se extienden mas allá de meras actividades técnicas para dirigirse hacia retos, sociales, económicos y ambientales mayores*”.

La planificación, como la conocemos hoy día, es el resultado de un proceso que comienza desde los tiempos del Imperio Griego, donde se utilizaba la planificación desde un aspecto físico espacial para amoldarse y mejorar el entorno. Es para el siglo 20, que la planificación evoluciona hacia otros aspectos ya que el progreso alcanzado en términos

físico espaciales se convierte en un problema. La planificación del siglo 20 se caracterizó por ser utilizada como instrumento de reforma social, de gerencia científica, de aprendizaje social y de movilización social. En esta última, según Friedman (1987), se pasa del conocimiento a la acción, dándole importancia a las masas en los procesos de planificación ya que son ellos los que conocen los problemas del entorno y a los que afecta directamente.

La planificación ambiental surge precisamente como una respuesta social a los problemas que el desarrollo del entorno ha creado a través del tiempo. Según Daniels (2003) “*la planificación ambiental es decidir como utilizar los recursos naturales, el capital financiero y a las personas para alcanzar y mantener comunidades saludables y altos niveles de calidad de vida*”. Este aspecto de la planificación está dirigido o se enfoca hacia la sabia utilización del entorno lo que ayuda a evitar y/o minimizar problemas como la contaminación del aire, agua y suelo, entre otros problemas. En los últimos años, la planificación ambiental está ligada al concepto del desarrollo sustentable.

Por su parte, un proyecto como lo es este trabajo, *es un esfuerzo planificado, temporal y único, realizado para crear productos o servicios únicos que agreguen valor o provoquen un cambio beneficioso* (A Guide to the Project Management Body of Knowledge, 2004). Podríamos definir un proyecto de planificación ambiental como una actividad temporal y única que va dirigida ha establecer prioridades y objetivos para alcanzar una meta establecida con el propósito de mejorar las condiciones del ambiente y mejorar la calidad de vida en un lugar determinado.

A continuación se presenta una explicación general de los conceptos que inciden en el desarrollo de este proyecto de planificación ambiental:



### *Desarrollo sustentable*

El término desarrollo sustentable se aplica al desarrollo socio-económico y fue formalizado por primera vez en el documento conocido como Informe Brundtland (1987), fruto de los trabajos de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, creada en Asamblea de las Naciones Unidas en 1983. Dicha definición se incorporaría en el Tercer Principio de la Declaración de Río (1992): “*Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades*” (Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, Comisión Brundtland, 1987).

El ámbito del desarrollo sustentable puede dividirse conceptualmente en tres partes: ambiental, económico y social. Se considera el aspecto social por la relación entre el bienestar social con el medio ambiente y la bonanza económica. Deben satisfacerse las necesidades de la sociedad como alimentación, ropa, vivienda y trabajo, pues si la pobreza es habitual, el mundo estará encaminado a catástrofes de varios tipos, incluidas las ecológicas. Asimismo, el desarrollo y el bienestar social, están limitados por el nivel tecnológico, los recursos del medio ambiente y la capacidad del medio ambiente para absorber los efectos de la actividad humana. Ante esta situación, se plantea la posibilidad de mejorar la tecnología y la organización social de forma que el medio ambiente pueda recuperarse al mismo ritmo que es afectado por la actividad humana.

### *Desarrollo inteligente*

El desarrollo inteligente es un concepto que está ligado al desarrollo sustentable. Según el documento, *Cómo Alcanzar el Desarrollo Inteligente, 100 Políticas para su Implementación* (s.f); el mismo está dirigido a beneficiar la economía, la comunidad y el

medio ambiente. Se indica que este tipo de desarrollo provee a las comunidades, mecanismos de acción que les permite tomar decisiones en la dirección correcta en cuanto a la utilización de los terrenos, logrando que se garantice un desarrollo urbano sustentable y una mejor calidad de vida. Esto como respuesta a la tendencia de los últimos 50 años donde el desparrame urbano se ha convertido en una amenaza a la calidad de vida de las comunidades *“El desarrollo inteligente crea la posibilidad para que las comunidades crezcan en maneras que favorecen el desarrollo económico y la generación de empleos; crea vecindarios sólidos con diferentes opciones de vivienda, comercio y transportación, y establece comunidades saludables que proveen a las familias de un medio ambiente limpio”*(Cómo Alcanzar el Desarrollo Inteligente, 100 Políticas para su Implementación, s.f).

#### *Urbanismo verde (Green Urbanism)*

El urbanismo verde, según Beatley (2000), enfatiza en la importancia de la ciudad y el urbanismo positivo en moldear lugares, comunidades y estilos de vida más sustentables. Esta visión de planificación surge de modelos de ciudades europeas y se diferencia grandemente del movimiento hacia el Nuevo Urbanismo Americano. El mismo establece que nuestro viejo concepto de urbanismo, la forma en que vemos las ciudades, pueblos y comunidades está incompleta y se debe expandir para incorporar la ecología, formas y estilos de vida que sean ecológicamente responsables. Beatley menciona que este tipo de visión tiene como objetivo; disminuir la huella ecológica de la ciudad, integrar la naturaleza a los usos de ésta, ver a la ciudad como un todo, emular los procesos cíclicos naturales en el metabolismo de la ciudad, promover estilos de vida sustentables, saludables y mejorar la calidad de vida de los que en ellas habitan. Los

mejores ejemplos de urbanismo verde se pueden encontrar en diferentes ciudades de Europa entre las cuales podemos mencionar Heidelberg, Alemania; Graz, Austria y Dunkerque, Francia.

#### *Infraestructura gris*

El concepto de infraestructura gris según Juncos (2005) “*normalmente se refiere a la red de instalaciones públicas tales como: carreteras, aceras, acueductos y alcantarillados, pozos, plantas de tratamiento de agua negras, tendido eléctrico, y líneas telefónicas, entre otros*”. Se le conoce como gris ya que los materiales que se utilizan para su construcción son el concreto y el asfalto. Las ciudades de hoy día se caracterizan por la alta concentración de infraestructura gris, las cuales tienden a ser superficies altamente impermeabilizadas.

#### *Infraestructura verde*

La infraestructura verde se define como el “*conjunto de recursos biológicos o naturales que actúan de forma integrada para facilitar los procesos ecológicos; promover la interconexión entre las áreas verdes y sostener la vida silvestre*” (Santana et. al, 2005). Según Juncos (2005), “*esta red, compuesta de espacios naturales-llamados también espacios verdes- es la médula y al mismo tiempo el almacén de los cuales depende la sustentabilidad económica, social y ambiental de las comunidades humanas*”. Por tanto, se desprende que la infraestructura verde es necesaria para el mantenimiento y sostén de los ciudadanos que habitan o conviven en un área determinada.

#### *Microclima urbano*

Según Botkin y Keller (2000), cuando hablamos del clima se refiere a las características de las condiciones atmosféricas de un lugar en la tierra durante periodos

largos de tiempo. A diferencia del clima, el microclima es la condición climática presente a una escala local. Estas condiciones atmosféricas locales pueden variar grandemente cuando hablamos del microclima urbano, esto debido a las características específicas de las ciudades, como la geografía, el patrón de los vientos, la morfología urbana, los usos del suelo, los materiales de construcción, la altura de los edificios, entre otras. De igual forma, según Van (2008), las actividades humanas que se desarrollan en las ciudades producen grandes cantidades de calor antropogénico. El calor emitido por el tráfico, los edificios comerciales e industriales y residencias influyen grandemente en la temperatura de las ciudades, todas ellas con un efecto directo en el microclima y con posibles consecuencias ambientales.

#### *Fenómeno Isla urbana de calor*

El fenómeno de la isla urbana de calor se define como “*la diferencia en temperatura del aire que existe entre las zonas urbanas con relación a sus áreas suburbanas y rurales circundantes*” (Shmaefsky, 2006). Esta diferencia en temperatura puede fluctuar entre el rango de 2° y 5° centígrados. Entre los factores que influyen para que este fenómeno ocurra se encuentran: la escasez de áreas verdes que bloqueen la radiación solar en áreas urbanas de alta densidad, la ausencia de vegetación que lleve a cabo el proceso de evapotranspiración, el cual permite el enfriamiento del microclima urbano, la presencia de grandes áreas de superficies impermeabilizadas con baja reflectividad, las grandes cantidades de gases y calor emitidos por los autos y acondicionadores de aire (Shmaefsky, 2006). Precisamente un estudio reseñado en el *Bulletin of the American Meteorological Society* (2007), reveló que la temperatura del aire en áreas comerciales de la ciudad de Tokio, Japón aumentaban entre 1° y 2°

centígrados en días regulares de trabajo debido al calor que liberan los acondicionadores de aire y se ha registrado que *por cada grado de aumento en temperatura, el consumo eléctrico puede aumentar entre 1-2% para sistemas de acondicionamiento de aire* (EPA, 1992).

Por su parte, los materiales de construcción como el concreto y el asfalto absorben mayor radiación solar, particularmente en días cálidos y soleados, al compararse con las áreas verdes. Durante la tarde y noche, cuando el área construida ya no recibe la radiación solar, estas superficies irradian el calor absorbido durante el día y mediante el proceso de convección se eleva la temperatura del microclima de la zona. Estas temperaturas elevadas quedan atrapadas en forma de un domo sobre las zonas urbanas debido a que las temperaturas frescas de la noche vienen descendiendo. Al formarse el domo, *quedan a su vez atrapados gases contaminantes los cuales son nocivos a la salud* (Estes, Quattrochi, Stasiak, 2003).

### *Edificios Verdes*

La forma en que se han diseñado y construido las estructuras a través de los años, entendiéndose edificios residenciales, comerciales, industriales, institucionales y gubernamentales ha evolucionado hacia un nuevo concepto conocido como edificios verdes. Los edificios verdes *“son edificios en donde el ambiente es considerado durante las fases de planificación, diseño, construcción y operación”* (Imada, 2003). Este concepto surge como respuesta al conocimiento que se tiene sobre, cómo las edificaciones contribuyen a la degradación del medio ambiente y la necesidad de cambio hacia construcciones eficientes y efectivas que nos permitan un desarrollo, en términos físico espacial, inteligente y sustentable.

### *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)*

LEED es el sistema de puntuación establecido por el U.S. Green Building Council para certificar los edificios verdes. Con este sistema lo que se busca es fortalecer y acelerar la adopción a nivel global de edificios verdes sustentables y el desarrollo de prácticas mediante la creación e implementación de herramientas y criterios de desempeño universalmente entendidos y aceptados. El sistema es utilizado como punto de referencia en las etapas de diseño, construcción y operación de edificios verdes. Se utiliza un acercamiento sustentable en el cual se ve al edificio como un todo y donde se reconocen cinco áreas principales de intervención para asegurar la salud del hombre y el ambiente. Las cinco áreas que cubre son; desarrollo de sitios sustentables, ahorros en agua, eficiencia energética, selección de materiales y la calidad ambiental de los interiores (USGBC, 2009).

### **Estudio de casos**

A continuación se describen algunos estudios de casos donde se implantaron diversas estrategias relacionadas al control del microclima urbano y la conservación de energía, efectos relacionados al fenómeno de la isla urbana de calor.

#### *Beneficio de los árboles urbanos en la ciudad de Garland, Texas, USA*

La Revista Environmental Health (2000) publicó un artículo acerca de un estudio realizado por la organización sin fines de lucro American Forest que demuestra los beneficios de los árboles urbanos en la ciudad de Garland, Texas. El Urban Forest Center (UEA por sus siglas en inglés) de la American Forest, realizó un análisis del ecosistema urbano en diez (10) áreas dentro de la ciudad, que incluían áreas residenciales, comerciales e industriales con una cobertura de entre 4 y 21 acres. El estudio estaba

dirigido a analizar el valor de la cobertura arbórea en la conservación de energía, la calidad del aire y el manejo de escorrentías. El mismo utilizó sistemas de información geográfica e investigaciones científicas para determinar el efecto de los árboles en el ambiente urbano. Además, utilizaron un programa de computadora (CITYgreen) para calcular los ahorros en términos monetarios de la cobertura de los árboles.

Los resultados revelaron que la cobertura actual de árboles le estaba ahorrando a la ciudad aproximadamente 5.3 millones de dólares al año. En términos de conservación de energía, el estudio indica que la cobertura de árboles existente y sus efectos de enfriamiento y sombra evitaron que se emitieran 4,400 toneladas de carbón por la utilización de enseres eléctricos destinados al acondicionamiento del aire. En el área de calidad de aire, el estudio encontró que la cobertura de árboles remueve aproximadamente 497,000 libras de contaminantes con un valor estimado de \$1.2 millones por año. También, el estudio encontró que los árboles urbanos actualmente almacenan 209,000 toneladas de carbono y secuestran otras 503 toneladas de carbono. A manera de ejemplo, un área residencial de 3.86 acres (12,140.57 m<sup>2</sup>) con un 18 por ciento (2,185 m<sup>2</sup>) de cobertura arbórea provee una reducción en las escorrentías de un 3 por ciento, ahorros energéticos de 103 dólares y la remoción de contaminantes atmosféricos de 76 dólares por año. Si este por ciento de cobertura se aumenta a un 45 por ciento (5,463.26 m<sup>2</sup>) para el mismo lugar, esto se traduciría en un 16.1% de reducción en escorrentías, 431 dólares en ahorros energéticos y 438 dólares en remoción de contaminantes. Según la American Forest, las ciudades deben mantener un 40 por ciento de cobertura de árboles, lo cual se traduciría en ahorros anuales millonarios.

*Evaluación de un techo naturado en la ciudad de Ottawa, Canadá*

Según Liu (2004), tomando en consideración que no existía información técnica que hiciera constar los beneficios de un techo naturado en el contexto del ambiente de Canadá; se comenzó un estudio de campo dirigido a evaluar el desempeño de un techo naturado reconociendo el potencial que tienen los mismos en la disminución de las islas urbanas de calor y el control de las escorrentías. El estudio fue realizado en un techo del edificio del Consejo Nacional de Investigación (NRC, por sus siglas en inglés) de Canadá; donde se comparó el desempeño de un techo convencional y un techo naturado en términos de temperatura, eficiencia energética y control de escorrentías.

Los resultados del estudio revelaron que la temperatura en el techo convencional alcanzaba los 70°C en las tardes mientras que la temperatura del techo naturado solamente alcanzaba los 25 °C, una diferencia de 45°C. Durante el periodo de estudio (660 días en total), el techo convencional alcanzó temperaturas, todos los días, que fluctuaron entre los 30°C y 70°C mientras que el techo naturado solamente durante 18 días del tiempo total alcanzó temperaturas mayores de los 30°C. Con relación a la eficiencia energética, la demanda de energía por consumo de aires acondicionados debido a la transferencia de calor a través de la superficie del techo disminuyó de 6.0 a 7.5 kWh/día a menos de 1.5 kWh/día, lo cual representa una reducción de un 75%. En el renglón de control de escorrentías, el techo naturado demostró una capacidad de retener 245mm de un total de 450mm de lluvia que cayeron durante 5 meses del estudio; lo que significa un 54% de reducción en las escorrentías que bajan del techo, esto comparado con el techo convencional.

Dentro de las implicaciones que tienen los resultados del estudio se menciona que



*la reducción en la temperatura de la superficie puede ayudar a disminuir la isla urbana de calor... moderar el flujo de calor a través del techo mediante sombra, insulación y evapotranspiración lo cual reduce la demanda de energía para el acondicionamiento de los espacios (Liu, 2004).*

*Techo naturado de la Escuela de Ciencias Sociales, Universidad de Puerto Rico-Recinto de Río Piedras, San Juan, Puerto Rico*

La naturación no es algo nuevo en Puerto Rico. En el 1995, la Universidad de Puerto Rico-Recinto Universitario de Río Piedras instaló una terraza ecológica en el edificio de Ciencias Sociales, con la ayuda de técnicos provenientes de Alemania. Esta cubierta ajardinada extensiva fue instalada con el propósito de probar dos tratamientos de impermeabilización, diferentes medios de cultivo y monitorear qué especies de plantas se establecerían en la terraza adicional a la sembrada originalmente. Los estudios que se han realizado en el techo han sido dirigidos a medir el crecimiento de las plantas y la cobertura de las mismas en diferentes parcelas. Deck, Frank, Miley y Weber (2005) comenzaron un estudio para investigar varias variables en la terraza, pero, no pudieron completarlo y fueron muy pocos los datos obtenidos. El techo lleva instalado diecisiete años y ha soportado el embate de varios huracanes. Las especies presentes en el área han demostrado ser las adecuadas para la terraza de tipo extensiva instalada.

*Isla urbana de calor en San Juan, Puerto Rico*

Dos estudios independientes (Velázquez, 2002; Murphy, 2007) realizados sobre el Municipio de San Juan confirmaron la presencia y/o formación del fenómeno de la isla urbana de calor sobre el área. El estudio de Velázquez (2002) utilizó información obtenida mediante imágenes de satélite identificando diferencias en temperatura entre las áreas rurales y el área urbanizada de San Juan confirmando la formación de la isla urbana

de calor. El estudio establece que el fenómeno ha tenido un incremento a razón de  $.06\text{ }^{\circ}\text{C/}$  por año durante los pasados 40 años y con proyecciones de aumento a  $8^{\circ}\text{C}$  para el año 2050, esto asociado con el crecimiento del área urbana. Por su parte Murphy (2007) recopiló datos de temperatura mediante estaciones fijas y móviles ubicadas en zonas rurales y áreas urbanizadas del Municipio de San Juan y utilizó información de la cobertura del suelo para poder estimar el crecimiento de la isla urbana de calor relacionado con el crecimiento urbano. Los resultados del estudio revelaron; la formación en las noches de la isla urbana de calor sobre el Municipio, la necesidad de áreas verdes para aminorar los efectos del fenómeno y como dato sumamente importante menciona que la formación de la isla urbana de calor asociada al crecimiento urbano en el futuro podría impedir la formación de nubes en los alrededores de la Sierra de Luquillo.

*Ciudad verde: El caso de la ciudad de Chicago, Illinois, Estados Unidos*

Chicago es una de las ciudades en los Estados Unidos que aspira a convertirse en una ciudad verde. Su política pública dirigida hacia el establecimiento de techos verde se centró alrededor de la necesidad de reducir la isla urbana de calor, luego de una desastrosa ola de calor que se registró en los años noventa (Laberge, 2006). Esto ha llevado a la ciudad a implementar el “Urban Heat Island Initiative”. Esta iniciativa está diseñada para realizar investigación en diferentes áreas de la naturación como: plantas, eficiencia energética, entre otras. La misma está siendo implementada en el centro de la ciudad y está acompañada por programas de becas para financiar los proyectos de investigación en el tema.

Además, la ciudad tiene política pública establecida (“Building Green/Green Roof Policy”) que requiere que se “*incluyan techos verdes y otras tecnologías sustentables en*

*el diseño, construcción y mantenimiento de proyectos, tanto públicos como privados que estén recibiendo asistencia de la ciudad”* (Laberge, 2006). Adicional a la política pública establecida, se han desarrollado programas de incentivos para que los comerciantes y residentes adopten la técnica y así aumentar el por ciento de cobertura de los techos verdes. Por ejemplo, la ciudad desarrolló el “Green Roof Improvement Fund”. Este fondo, subvenciona un programa piloto que está destinado a crear nuevos techos verdes en los edificios existentes dentro del centro urbano. El incentivo tiene un límite del 50% del costo hasta un máximo de \$100,000 y la cubierta ajardinada debe cubrir el 50% del área del techo. La ciudad de Chicago, mediante estas y otras iniciativas, tiene como meta convertirse en la ciudad más verde de América.

## **Marco legal**

### Leyes estatales

*Artículo VI, Sección 19 de la Constitución del Estado Libre Asociado de Puerto Rico*

Este Artículo establece que debe ser política pública del Estado Libre Asociado de Puerto Rico el conservar, desarrollar y utilizar sus recursos naturales en la manera más efectiva posible para el bienestar general de la comunidad.

*Ley Número 416 de 22 septiembre de 2004, según enmendada (Ley Sobre Política Pública Ambiental de Puerto Rico)*

El 18 de junio de 1970, el Gobierno de Puerto Rico promulgó la Ley Número 9, conocida como la Ley sobre Política Pública Ambiental. Esta fue la primera legislación que se creaba con el propósito de *“atender de modo integral los asuntos concretos que se plantean en el país con relación a la administración y protección del ambiente”*

(Asamblea Legislativa, 2004). En el año 2004, la Asamblea Legislativa derogó y sustituyó esta Ley con una nueva ley con el motivo de *“actualizar las disposiciones para adaptarlas a las necesidades y realidades de nuestros tiempos, dirigirnos a lograr la mayor y más eficaz protección del ambiente y asegurarnos de que los aspectos ambientales son integrados y tomados en consideración en todo esfuerzo gubernamental para satisfacer las necesidades sociales y económicas, entre otras, de las presentes y futuras generaciones de puertorriqueños”* (Asamblea Legislativa, 2004).

Los fines de esta Ley están dirigidos a establecer *“una deseable y conveniente armonía entre el hombre y su medio ambiente”*, *“fomentar los esfuerzos que impedirían o eliminarían daños al ambiente y la biosfera y estimular la salud y el bienestar del hombre”*; y *“enriquecer la comprensión de los sistemas ecológicos y fuentes naturales importantes para Puerto Rico, y establecer la Junta de Calidad Ambiental”* (Asamblea Legislativa, 2004). El Estado reconoce en el Artículo 3,- Declaración de la política pública ambiental *“el profundo impacto de la actividad del hombre en las interrelaciones de todos los componentes del medio ambiente natural, especialmente las profundas influencias del crecimiento poblacional, la alta densidad de la urbanización, la expansión industrial”*, además de reconocer *“que toda persona tiene derecho y deberá gozar de un medio ambiente saludable”* (Asamblea Legislativa, 2004).

Es por esto, que la política pública continua del Estado va dirigida a *“alentar y promover el bienestar general y asegura que los sistemas naturales estén saludables y tengan la capacidad de sostener la vida en todas sus formas, así como la actividad social y económica en el marco de una cultura de sustentabilidad”*. (Asamblea Legislativa, 2004). Dentro del Artículo 4, -Deberes y responsabilidades del Gobierno del Estado Libre

Asociado de Puerto Rico, la ley estipula que para poder implantar esta ley el Estado deberá utilizar todos los medios posibles para que Puerto Rico pueda, entre varios deberes y responsabilidades mencionados, *“asegurar para todos los puertorriqueños paisajes seguros, saludables, productivos y estéticos y culturalmente placenteros”* (Asamblea Legislativa, 2004).

*Ley Número 267 de 10 de septiembre de 2004 (Ley sobre Política Pública de Desarrollo Sostenible)*

Dentro del marco mundial sobre la necesidad de dirigir a las naciones hacia un desarrollo sostenible, el Gobierno de Puerto Rico estableció la Ley sobre Política Pública de Desarrollo Sostenible. Esta ley se crea con el fin de que *“se fomente el logro de una deseable y conveniente calidad de vida para los puertorriqueños; el fomentar la armonización de las políticas, programas y actividades gubernamentales relacionadas con los aspectos sociales, económicos y ambientales, entre otros; dirigir a Puerto Rico hacia el logro de su desarrollo sostenible.”*(Asamblea Legislativa, 2004). Esta ley establece que es deber de todas las agencias, departamentos, municipios, corporaciones e instrumentalidades del gobierno que revisen sus reglamentos, políticas y procedimientos con el fin de estar en cumplimiento con las disposiciones de esta ley.

*Ley Número 550 de 3 de octubre de 2004 (Ley para el Plan Maestro para el Uso de Terrenos)*

Esta Ley reconoce que los problemas ambientales que enfrenta y enfrentará Puerto Rico en los próximos años será el resultado de *“promover el crecimiento económico mas que lograr alcanzar un desarrollo sustentable, dejando a un lado, en muchos casos, factores tales como, la calidad del ambiente, la seguridad colectiva, los efectos sociales y las implicaciones en el área de la salud”* (Asamblea Legislativa, 2004).

La pérdida de terrenos agrícolas, la contaminación en general de nuestros recursos naturales, el desparrame urbano, el deterioro de los centros urbanos, la pérdida de biodiversidad, se debe en gran medida a la *“falta de un instrumento de planificación tan esencial como un plan de uso de terrenos”* (Asamblea Legislativa, 2004).

Esta Ley declara como política pública del Estado *“el promover la elaboración del Plan de Uso de Terrenos” “para que sirva de instrumento principal en la planificación que propicie el desarrollo sustentable de nuestro país y el aprovechamiento óptimo de los terrenos, basados en un enfoque integral, en la justicia social y en la mas amplia participación de todos los sectores de la sociedad”* (Asamblea Legislativa, 2004). Además, establece considerar iniciativas de desarrollo sustentable, altamente relacionadas con los objetivos de este proyecto, como *“el propiciar la conexión de las áreas verdes, articulando la infraestructura verde en nuestras ciudades de manera que la misma sirva su función múltiple ecológica”* (Asamblea Legislativa 2004).

*Ley Num.75 de 24 de junio de 1975, según enmendada (Ley Orgánica de la Junta de Planificación)*

La Junta de Planificación fue creada originalmente mediante la Ley Número 213 del 12 de mayo de 1942 *“como una agencia con funciones normativas y con la responsabilidad de diseñar e implementar política pública en términos de planificación, urbanismo, y desarrollo económico y social entre otras”* (Senado de PR, 2001). Luego, se establece esta nueva Ley que revisa de forma integral los estatutos bajo los cuales se había creado la Junta y se crea la Ley Orgánica de la Junta de Planificación.

Bajo la nueva Ley, el propósito general es *“guiar el desarrollo integral de Puerto Rico de modo coordinado, adecuado, económico, el cual, de acuerdo con las actuales y futuras necesidades sociales y los recursos humanos, ambientales, físicos y*

*económicos...” “...y aquella eficiencia, economía y bienestar social en el proceso de desarrollo, en la distribución de la población, en el uso de las tierras, y otros recursos naturales...” “...que tiendan a crear condiciones favorables para que la sociedad pueda desarrollarse integralmente (Junta de Planificación, 2008).*

Dentro de las funciones y facultades de la Junta se encuentra la preparación y adopción de un Plan de Desarrollo Integral de Puerto Rico y los Planes de Usos de Terrenos. El Plan de Desarrollo Integral, según la ley, esbozará las políticas y estrategias de desarrollo integral de Puerto Rico. Mientras, los Planes de Usos de Terrenos *“designarán la distribución, localización, extensión, e intensidad de los usos de los terrenos para propósitos urbanos, rurales, agrícolas, de explotación minera, bosques, conservación y protección de los recursos naturales, recreación, transportación y comunicaciones, generación de energía, y para actividades residenciales, comerciales, industriales, educativas, públicas e institucionales”* (Junta de Planificación, 2008).

*Ley Num. 23 de de 20 de junio de 1972, según enmendada (Ley Orgánica del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales)*

Esta Ley en su exposición de motivos establece que *“la complejidad que exhiben los procesos económicos y sociales de Puerto Rico en sus interrelaciones con el mundo de los recursos naturales presenta retos de enorme magnitud para todos nuestros ciudadanos”* (Asamblea Legislativa, 1972). Además, menciona que *“la magnitud de las fuerzas demográficas, económicas y geográficas que se reúnen en Puerto Rico tienden a acelerar el deterioro ambiental, ejercen grandes presiones sobre la conservación de los recursos naturales y someten a las estructuras gubernamentales existentes a serios reclamos por soluciones rápidas y efectivas a esos agudos problemas”* (Asamblea Legislativa, 1972).

Es por tal razón que el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales “*será responsable de implementar en lo que respecta a la fase operacional, la política pública del Estado Libre Asociado de Puerto Rico*”. “*A estos efectos pondrá en vigor programas para la utilización y conservación de los recursos naturales de Puerto Rico, siempre dentro de las normas que establezca la Junta de Calidad Ambiental*” (Asamblea Legislativa, 1972).

*Ley Número 213 de 5 agosto de 1999 (Ley de Bosques Urbanos de Puerto Rico)*

La exposición de motivos de esta Ley reconoce que “*hoy día, un gran número de los ciudadanos vive en las zonas urbanas de los pueblos y ciudades. Esta concentración social se traduce en un mayor número de personas que están aisladas de la naturaleza debido al desarrollo urbano*” (Asamblea Legislativa, 1999). Además, reconoce una serie de problemas ambientales presentes en las zonas urbanas debidos al crecimiento poblacional y urbano. Entre éstos, se mencionan el calentamiento global, la fragmentación del ecosistema y con éste la pérdida de biodiversidad, así como aumentos en los niveles de ruido y temperatura, mencionados directamente en el “Heat Island Effect”.

Es por esto, que el propósito de esta ley es establecer la política pública “*que regirá la creación, establecimiento, manejo, restauración y conservación de los Bosques Urbanos de Puerto Rico*” (Asamblea Legislativa, 1999). La medida ayudaría a “*mejorar la calidad de aire en los centro urbanos, minimizar el Efecto de Isla Termal y mejorar la ambientación, tanto en el contexto funcional como el estético*”. Esto con el fin de “*proteger la salud pública, seguridad y bienestar general del ciudadano y futuras generaciones*” (Asamblea Legislativa, 1999).



*Política Pública Energética de Puerto Rico, Orden Ejecutiva OE-1993-57*

El 28 de diciembre de 1993, mediante Orden Ejecutiva se adopta la Política Pública Energética de Puerto Rico. La misma fue elaborada por el Comité de Cogeneración y Generación de Energía. En ella queda plasmada que *“es nuestra política pública energética el promover un futuro energético más eficiente, menos vulnerable, más económico y ambientalmente sostenible.”*(AAE, 2009). La Política tiene tres fundamentos principales; el primer fundamento básico es *“el desarrollo de la metodología para incluir los costos evitados ambientales y de salud pública en todo análisis económico de viabilidad”*. El segundo fundamento básico habla sobre *“la integración del aspecto energético relacionado con los aspectos científicos-técnicos y socioeconómicos que pudieran ponerse en efecto como parte del Plan Estratégico de Desarrollo Integral de Puerto Rico”*. El tercer fundamento primordial de la política *“será las consideraciones ambientales, de salud y seguridad pública”* a la hora de evaluar la generación de energía eléctrica a partir de fuentes alternas, donde se descarta por completo la utilización de la energía nuclear como alternativa.

Los fundamentos mencionados serán alcanzados mediante una serie de objetivos y estrategias a corto, mediano y largo plazo dividido en diferentes áreas. Estas áreas son: energía eléctrica, transportación, desperdicios sólidos, construcción, educación, investigación y gobierno interno. Dentro de las diferentes áreas existen varios objetivos y estrategias que están relacionados directamente con este proyecto. Entre ellos se encuentran el desarrollo *“de programas agresivos de conservación de energía a nivel residencial, comercial e industrial”*, la modificación de *“los códigos de construcción para permitir la incorporación de nuevas tecnologías, diseños y equipo de conservación*

*de energía en nueva construcción comercial, residencial e industrial, y “desarrollar prácticas para alcanzar niveles óptimos de conservación y eficiencia energética en los programas y actividades del gobierno.”*

*Ley Número 81 del 30 de agosto de 1991, según enmendada (Ley de Municipios Autónomos de Puerto Rico)*

Esta ley se establece con el propósito de *“otorgar a los municipios el máximo posible de autonomía y proveerles las herramientas financieras, así como los poderes y facultades necesarias para asumir una función central y fundamental en su desarrollo urbano, social y económico”* (OCAM, 2007). El Capítulo XIII de esta ley establece la política pública para la adopción de los Planes de Ordenación con el fin de promover el bienestar económico y social de la población. Dentro de las metas propuestas se encuentra el que se ordenara el suelo urbano de acuerdo a doce objetivos, de los cuales dos están íntimamente ligados a este proyecto. El objetivo siete persigue el *“rescate y mejora del espacio público del municipio, fomentando la protección y desarrollo de áreas verdes, así como la siembra de árboles y vegetación para mejorar la calidad del ambiente de la ciudad”*. El objetivo diez establece la *“coordinación e integración de los aspectos físico-espaciales con las estrategias de desarrollo económico, social y ambiental diseñadas por el municipio”* (OCAM, 2007)

*Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Caguas, 1998*

En el año 1998, el Municipio Autónomo de Caguas adopta su Plan de Ordenación Territorial en cumplimiento con la Ley de Municipios Autónomos. Esta ley, en su Capítulo XIII, *“autoriza a los municipios a adoptar Planes de Ordenación (Planes Territoriales, Planes de Ensanche y Planes de Área) para disponer el uso del suelo dentro de sus límites territoriales y promover el bienestar social y económico de la*

*población” (Plan de Ordenación Territorial Caguas, 1998). Estos Planes de Ordenación, “contendrán las estrategias y disposiciones para el manejo del suelo urbano; la transformación del suelo urbanizable en suelo urbano de forma funcional, estética y compacta; y la conservación, protección, y utilización –de forma no urbana- del suelo rústico.” (OCAM, 2007). Además, la ley señala que los “Planes de Ordenación constituirán instrumentos del territorio municipal. Los mismos protegerán los suelos, promoverán el uso balanceado, provechoso y eficaz de los mismos y propiciarán el desarrollo cabal de cada municipio” (OCAM, 2007).*

#### *Plan Urbanístico Caguas 20/20*

El Plan Urbanístico Caguas 20/20 fue preparado por la firma de consultoría Antonio DiMambro & Asociados para el Municipio Autónomo de Caguas. Este plan es un estudio estratégico de diseño urbano. El mismo presenta una nueva visión hacia donde debe dirigirse el crecimiento del Municipio y cómo debe ser la tipología de crecimiento (en términos físico espaciales) en el siglo 21. Este estudio utiliza iniciativas dentro de lo que se conoce como crecimiento estratégico con la meta de *“desarrollar un escenario estratégico para acomodar la expansión de la población de la ciudad en los próximos 25 años de manera que se mejoren y se preserven las características especiales de la ciudad y el ambiente a sus alrededores”*. A estos fines, se desarrollaron varias iniciativas y acciones enfocadas a atender los problemas de una manera holística. Entre las iniciativas presentadas se incluyen estrategias dirigidas a la transportación, el desarrollo de parques lineales a lo largo en las riberas de los ríos que cruzan la ciudad, proyectos de revitalización y rehabilitación del centro urbano.

El Plan enfoca diferentes acciones que se relacionan con el tema de este proyecto.

Se mencionan estrategias dirigidas a integrar el ambiente ecológicamente sensitivo con los desarrollos que se proponen para diferentes áreas. Según el Plan, este acercamiento ecológico lo que busca es que los nuevos desarrollos conserven la mayor cantidad de vegetación original en los lugares de construcción. El Plan, además menciona la necesidad de detener las construcciones hacia las laderas de las montañas del valle por entender que esto ayudaría a disminuir los “*impactos negativos de la erosión y cambios en el clima local*” (Caguas 20/20). Las acciones dirigidas hacia el centro urbano lo que buscan es devolver la importancia y la vitalidad a esta zona; además de mejorar la calidad de vida de los que lo habitan.

#### *Plan Estratégico Caguas 2005-2008*

El Plan Estratégico Caguas 2005-2008 surge de la revisión del Plan Estratégico 2001-2004. El mismo recoge todo un análisis de las fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades que enfrenta el Municipio. A su vez, desglosa una serie de “*lineamientos estratégicos, objetivos generales comunes y objetivos estratégicos*”. Dentro de estos lineamientos y objetivos podemos encontrar un sinnúmero de estrategias, acciones, proyectos existentes y/o a desarrollar, que son cónsonos con los fines de este proyecto. Por ejemplo, el Plan menciona la necesidad de “*continuar promoviendo niveles cada vez más altos en el bienestar de los ciudadanos...*”, “*dar nuevo impulso a la Revitalización del Centro Urbano Tradicional...*” y “*además de intensificar las iniciativas para convertir a Caguas en una ciudad de personas y comunidades saludables y seguras*”. Estas medidas se complementan con el fortalecimiento o el empuje que el Municipio lleva en la implantación de un modelo de desarrollo sustentable donde se integren las necesidades sociales, económicas y ambientales. Precisamente, uno de sus objetivos es

completar la primera fase “*para convertir a Caguas en un destino de turismo cultural y ecológico*”.

A manera de reforzar estos objetivos comunes, en términos estratégicos, el Plan contempla establecer la Secretaría de Desarrollo Económico Sustentable, finalizar el proyecto del Río Cagüitas y conectar el mismo al Corredor Ecológico Caguas–Aguas Buenas. Además, menciona múltiples iniciativas de conservación como completar la reforestación y embellecimiento del Centro Urbano Tradicional y del Municipio en general, fortalecer el programa de árboles de la ciudad y establecer planes de conservación de energía en edificios, entre otros.

*Plan de Área del Centro Urbano Tradicional (PACUT), 2004*

Este Plan de Área fue preparado por disposición de la Ley de Municipios Autónomos. La elaboración del mismo está incluida dentro del Programa de Acción del Plan de Ordenación Territorial del Municipio con el fin de “*disponer la ordenación integral del Centro Urbano de Caguas*” (PACUT, 2007). El Plan contiene tres documentos: el Memorial, el Programa y el Reglamento. En el Memorial, se presenta información detallada sobre el desarrollo histórico del CUT desde un contexto económico físico y social; un inventario, diagnóstico y recomendaciones para una planeación efectiva del entorno del CUT; y las metas y los objetivos en las cuales se basará el Plan en su ejecución. En el Capítulo 11 del Plan titulado Ambiente, se tocan temas relacionados con este proyecto como por ejemplo, el proyecto de arborización del CUT. En el Programa se establece la secuencia con la cual se completarán los programas y proyectos necesarios para mejorar el entorno urbano y social del CUT. Además, se estableció el Reglamento de Ordenación del CUT, que implantó nuevos distritos de

calificación de suelo para promover la actividad urbana y económica. El PACUT es uno de los documentos de planificación a nivel municipal que contiene normas de paisajismo como elemento esencial dentro de la nueva ordenación del CUT.

*Reglamento de Lotificación y Urbanización de Puerto Rico (Reglamento de Planificación Número 3)*

Este reglamento reconoce que la subdivisión legal del terreno es una pieza clave en el desarrollo físico espacial, por lo cual es importante reglamentar la lotificación y así asegurar una ordenación apropiada para los usos esperados del suelo. Reconociendo esta importancia es “*el propósito de este reglamento es establecer las guías y controles que regirán la autorización de lotificaciones y urbanizaciones y asegurar que los nuevos desarrollos tengan la infraestructura física y social necesaria para el desarrollo futuro anticipado del sector bajo consideración.*”. El mismo establece normas para permisos, diseño de lotificaciones, mejoras de lotificaciones, mejoras extramuros y variaciones.

*Reglamento para el Control de la Contaminación Atmosférica de la JCA (vigente desde el 28 de agosto de 1995)*

Este Reglamento fue creado para conservar la calidad natural del aire, con énfasis en trabajar para eliminar o controlar la contaminación atmosférica. Establece normas y requisitos para los contaminantes que puedan ser dañinos a la salud o bienestar de los seres humanos, animales y vegetación. Además, incluye los requisitos para permisos de operación de las fuentes principales de contaminantes del aire (bajo el Título V de la Ley de Aire Limpio).

## Leyes federales

### *Ley de Aire Limpio (Clean Air Act of 1970)*

Ley federal enmendada en 1990, que regula las emisiones al aire de fuentes estacionarias y móviles. Esta Ley autoriza a la EPA a establecer límites a las concentraciones de contaminantes mediante las Normas Nacionales de Calidad de Aire. Esta Ley permite que estados individuales establezcan controles más estrictos, pero no menos estrictos que aquellos establecidos para todo el país.

### *Normas Nacionales de Calidad de Aire (National Ambient Air Quality Standards, NAAQS)*

Por medio de estas normas, la EPA establece las concentraciones máximas de contaminantes de diversas fuentes, que son dañinos a la salud pública y al medio ambiente. La EPA ha determinado NAAQS para 6 contaminantes principales (“criteria pollutants”) como indicadores de calidad de aire. Cuando un área no cumple con las normas de calidad de aire para alguno de estos contaminantes, puede convertirse en un “área de no-logro” NAAQS anual y de 24 horas.

### *Principios de Justicia Ambiental*

Estos principios fueron establecidos por la Orden Ejecutiva 12898 del Presidente de los Estados Unidos Bill Clinton firmada en 1994. El concepto de Justicia Ambiental se refiere a cuando los riesgos ambientales, las inversiones y los beneficios se distribuyen por igual, ya sea directa o indirecta, en cualquier nivel jurisdiccional, y cuando el acceso a las inversiones medioambientales, los beneficios y los recursos naturales se distribuyen por igual; y cuando el acceso a la información, la participación en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en relación con el medio ambiente son cuestiones que gozan de todos. Bajo estos principios, la EPA estableció la Oficina de Justicia Ambiental.

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

En este Capítulo describiremos el área de estudio y presentaremos el diseño metodológico para cada uno de los objetivos de este proyecto con el fin de recomendar una alternativa ambientalmente efectiva para minimizar la isla urbana de calor en el CUT del Municipio Autónomo de Caguas.

#### **Área de estudio**

El Centro Urbano Tradicional (CUT) del Municipio de Caguas *“es un área de 203 cuerdas justamente en el corazón del pueblo, organizada alrededor de la Plaza Palmer”* (PACUT, 2007) (Figura 1). El CUT ubica dentro del Barrio Pueblo y está delimitado al Norte por la Carretera Estatal PR-189, al Este por la Avenida Rafael Cordero, al Sur y al Oeste por la Avenida José Mercado. Sus vías de acceso principales lo conforman las calles Muñoz Rivera, Ruiz Belvis, Betances, Corchado, Acosta y Gautier Benítez. En estas vías de circulación se ubican los principales edificios gubernamentales a nivel municipal y estatal (Casa Alcaldía, Centro de Gobierno Municipal, Oficinas de Servicio Directo al Ciudadano, Centro Gubernamental Estatal, el Tribunal de Primera Instancia, Comandancia de Policía Estatal, entre otros). Actualmente, el CUT es un área donde se desarrollan múltiples usos mixtos que van desde el uso mixto comercial residencial en el centro hasta el uso comercial e institucional que se ubica en la periferia del CUT.



## **Objetivos**

El logro de la meta general del proyecto dependerá de la realización de los objetivos planteados como parte del análisis del problema. Estos objetivos responderán a la conclusión de tareas específicas, la evaluación de logros esperados y las condiciones cualitativas de las alternativas presentadas. A continuación, presentamos las fuentes de datos utilizadas, el diseño metodológico que se desarrolló para completar cada objetivo y las técnicas de análisis utilizadas.

## **Fuente de datos**

Las fuentes de datos utilizadas para el desarrollo del proyecto son

- Capas de información digital del Sistema Información Geográfica (SIG) de la Oficina de Ordenación Territorial del Municipio Autónomo de Caguas
- Imágenes de satélite (2002) del Sistema Información Geográfica de la Oficina de Ordenación Territorial del Municipio Autónomo de Caguas
- Mapas del Sistema Información Geográfica de la Oficina de Ordenación Territorial del Municipio Autónomo de Caguas
- Fotos
  - Serie histórica de fotos aéreas digitalizadas del CUT y su periferia, del Sistema Información Geográfica y Fotogrametría de la Junta de Planificación de Puerto Rico, para los años 1937, 1951, 1967 1991 y 2006.
  - Fotos áreas del CUT de la Oficina de Ordenación Territorial del Municipio Autónomo de Caguas (2004, 2007).
  - Digitales del paisaje urbano de archivos personales (2008).

- Censo Poblacional 2000 del Negociado del Censo Federal de los EE.UU.

## **Diseño metodológico**

Objetivo 1:

**Analizar la condición físico espacial actual del CUT para determinar las posibilidades de implantar alguna alternativa que contribuya a minimizar el problema de estudio**

### *Visitas de campo*

- Recorrimos el área de estudio para documentar mediante fotografías la condición actual de las calles, aceras, áreas verdes existentes y edificios del CUT. Tuvimos la oportunidad de visitar los techos de algunos edificios gubernamentales donde podíamos apreciar cuál era la dinámica urbana del CUT.

### *Fotointerpretación de imágenes aéreas*

- Utilizamos la técnica de foto lectura de imágenes para identificar los diversos espacios (infraestructura gris e infraestructura verde) dentro del CUT y los posibles espacios de intervención e interconexión que pudieran existir para la creación de un corredor.

### *Diagnóstico de la condición físico espacial del CUT*

-Una vez obtenida la información gráfica de la condición actual, generamos mapas, planos y/o un memorial explicativo donde se evidencia la condición físico espacial actual del CUT para identificar la viabilidad de implantar algunas de las alternativas estudiadas.

## Objetivo 2:

**Identificar y evaluar objetivamente aquellas alternativas existentes que podrían aplicarse en el CUT para seleccionar aquella que mejor cumpla en términos cualitativos, mediante la utilización de un criterio de evaluación ambiental específico.**

- Comenzamos la búsqueda de información en diferentes bases de datos y referencias bibliográficas disponibles en las bibliotecas de la Universidad Metropolitana-Recinto de Cupey y en la Universidad de Puerto Rico-Recinto Universitario de Río Piedras.
- A partir de la información generada procedimos a establecer el criterio de evaluación específico para poder evaluar las alternativas y verificar cuál de ellas era ambientalmente efectiva. Por ser nuestro trabajo dirigido al área ambiental, nuestro criterio debía ser uno de carácter ambiental.
- Una vez determinamos el criterio ambiental a utilizarse, evaluamos y comparamos las alternativas y seleccionamos la alternativa que mejor cumplía con el parámetro de efectividad seleccionado.

## Objetivo 3:

**Desarrollar objetivos y estrategias generales para la implantación de la alternativa seleccionada.**

- Una vez seleccionamos la alternativa, procedimos a establecer cuales serían las bases legales y el alcance que tendría la implantación de esta alternativa, esto a través de ciertos objetivos y estrategias de implantación.
- Revisamos los objetivos y estrategias para auscultar que las mismas cumplieran con la política pública actual del Municipio y de las futuras iniciativas dirigidas al desarrollo de planes de diseño urbanístico que se fueran a

desarrollar en el CUT, entre otras.

- En la implantación de las estrategias determinamos el personal y/o entidad responsable de implantarlas, el costo aproximado (en algunos casos), tiempo requerido de implantación y el logro esperado.

#### Objetivo 4

##### **Presentar una guía de diseño que sirva de modelo para el desarrollo de un proyecto piloto de la alternativa seleccionada.**

- Como parte esencial del desarrollo del proyecto, una vez presentamos los objetivos y estrategias de implantación de la alternativa, se decidió incluir una guía básica para el desarrollo de un proyecto piloto como una aportación adicional.
- El desarrollo de esta guía se basó en la experiencia, preparación y conocimiento personal en el área de estudio, y aunque la misma es de carácter general, sienta las bases para que esta alternativa pueda ser implantada en otros niveles.
- Esta guía incluye tipo y cantidad de material, procedimientos mecánicos, procedimientos para la medición de variables para investigación científica y aspectos de mantenimiento del proyecto.

#### **Técnicas de análisis**

- Cuantitativa
- Análisis físico espacial (histórico y actual)
- Análisis comparativo de datos secundarios
- Fotointerpretación de imágenes primarias y secundarias

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DEL PROBLEMA**

Los cambios en el uso del suelo y la falta de espacios continuos con vegetación dentro del Centro Urbano Tradicional y su periferia han provocado un sobrecalentamiento del área produciendo el efecto de la isla urbana de calor. Este problema abarca diferentes dimensiones, ya que no sólo afecta el microclima urbano, sino que a su vez afecta el sistema social y económico. En este capítulo, se analiza el problema desde la perspectiva del crecimiento físico espacial y su relación directa y proporcional con el aumento poblacional que experimenta el Municipio. Además, se analizan los diferentes efectos y problemas que conlleva la impermeabilización de los suelos y la falta de vegetación dentro del CUT y cómo esto provoca el sobrecalentamiento del área.

#### **Crecimiento poblacional versus crecimiento urbano en el Municipio**

El Municipio Autónomo de Caguas ha estado sometido a la presión del desarrollo desde principios del siglo pasado. Esto debido a cambios en la economía, patrones de crecimiento y estilos de vida. La población ha aumentado en gran manera, lo que representa un cambio repentino en el uso de los suelos de su territorio. Este aumento ha llevado su huella urbana a crecer del CUT hacia fuera; de una forma desparramada, carente de continuidad, de elementos naturales y de estética.

La población de Caguas ha aumentado significativamente desde los comienzos del siglo 20. Entre los años 1930 al 1940, la población aumentó de 47,728 a 53,356 habitantes (U.S. Census Bureau, 2000). El área construida por su parte, según la tabla de

Área Construida en el Municipio de Caguas (Tabla 1), era de 258.3 cuerdas para el año 1937. Utilicemos como referencia esta misma tabla y el mapa de Crecimiento del Área Construida del Municipio Autónomo de Caguas (el crecimiento se identifica en rojo), para los años 1952, 1977 y 2004 (Figura 2) para compararlos con los datos censales de los años más cercanos a estas fechas. Al hacerlo podremos observar la relación directamente proporcional que existe entre el crecimiento urbano y el aumento poblacional del Municipio a través de estos años.

La población del Municipio para el año 1950 era de 60,132 habitantes (U.S. Census Bureau, 2000) y el área construida todavía se concentraba mayormente en el CUT. Había unas 429.9 cuerdas añadidas con relación a las existentes en el 1937, para un total de 688.3 cuerdas acumuladas de área construida en el año 1951. En el año 1977, podemos observar como el área construida se había expandido a la periferia del CUT, donde cinco años antes (1972) ya había 1,265.7 cuerdas añadidas para un total de 3,129.8 cuerdas acumuladas de área construida. Esto nos brinda una idea que aproximadamente en un lapso de 21 años (1951 al 1972) se añadieron 2,441.5 cuerdas de área construida y la población había aumentando a 95,661 habitantes para el año 1970. Ya para el año 1980, la población de Caguas alcanzaba los 117,959 habitantes, un aumento de casi el doble de la población en sólo 30 años (1950-1980). El Municipio, para ese periodo, estaba en la segunda fase del desarrollo de la ciudad, la urbanización.

En el mismo mapa de Área Construida podemos observar como para el año 2004, la huella urbana se extiende hacia las sub-urbanizaciones. La población en el año 2000 era de 140,502 (U.S. Census Bureau, 2000) y el Municipio sobrepasa las 5,597 cuerdas acumuladas de área construida que se reportan para el 1993. La fase de sub-urbanización

mencionada es la tercera fase del crecimiento de la ciudad. La misma se caracteriza por la sobre utilización del suelo y el rompimiento de la red vial existente para dirigir el desarrollo hacia áreas menos densas o no pobladas.

A manera de tener una imagen clara del crecimiento del área construida desde el CUT hacia la periferia, utilicemos la serie histórica de fotos aéreas tomadas sobre el Municipio para los años 1937, 1951, 1967, 1991 y 2006. En ellas, podemos observar cómo se van impactando los suelos del valle y cambiando sus usos de suelo agrícola y área verde a área construida. En la foto del 1937 (Figura 3), podemos ver el CUT compacto rodeado por vastos terrenos de uso agrícola, en su mayoría utilizados para la siembra de caña y tabaco. Al ver la foto del 1951 (Figura 4), apenas se pueden observar cambios en la morfología del centro y su periferia. Si analizamos la foto del 1967 (Figura 5), notamos como en 16 años ha cambiado el paisaje. Aquí se comienza el ensanche con la construcción de nuevas urbanizaciones hacia el Norte, Este y Sur del CUT y se puede apreciar que no guardan ningún tipo de relación con el mismo. Si observamos la foto del año 1991 (Figura 6), podemos notar como el CUT queda prácticamente rodeado de área construida, con excepción de un área verde que colinda con el centro al Noroeste y otra hacia el Este. Además, observamos cómo la expansión urbana sigue conquistando los suelos agrícolas del valle. En la foto del 2006 (Figura 7), observamos cómo prácticamente el CUT queda desprovisto de áreas verdes, salvo algunos espacios no continuos y de poca extensión en términos de territorio.

Como hemos podido observar, el aumento poblacional y el crecimiento del área construida que experimentó el Municipio de Caguas desde principios del siglo 20 ha sido una relación directa y proporcional. Estos aumentos son la respuesta, en términos físico

espaciales y poblacional, a los procesos de modernización e industrialización que se dieron en Puerto Rico. A manera de ejemplo y como dato interesante que nos explica el porqué del crecimiento del área construida desparramada hacia la periferia del CUT es, según Rivera (2006), que durante los años del 1950 al 1960 se establece en Puerto Rico las políticas de la Federal Housing Administration (FHA). Con ellas, se dio paso al desarrollo de la periferia del CUT con la construcción de casas unifamiliares con solares de 300 metros cuadrados. De esta manera, se comienzan a utilizar los suelos mayormente agrícolas para la construcción de urbanizaciones, fomentando así, el desparrame urbano. Según Severino (1999), los procesos de urbanización y metropolización que se desarrollan con la expansión urbana de baja densidad y de uso extensivo del terreno causan la llamada degradación ambiental. Según indica el documento del Plan Urbanístico Caguas 20/20 (1998), *“En menos de veinticinco años- para el año 2020- la población de Caguas está proyectada a aumentar a más de 250,000 habitantes. El ambiente físico existente de la ciudad no está diseñado para manejar el crecimiento acelerado en una manera que pueda sostener el bienestar económico, social o ambiental”*.

### **Centro Urbano Tradicional: el suelo y sus usos**

Ya vimos de manera general como el Municipio fue creciendo, tanto en términos físico espaciales como en población, pero ahora veamos específicamente el área de estudio y su desarrollo. En los comienzos del siglo 19 y hasta finales del mismo, el Centro Urbano Tradicional era la única área desarrollada dentro del Municipio. Los edificios presentes en los alrededores de la plaza eran construidos, algunos utilizando mampostería y otros madera, con techos en tejas de barro o de zinc. Las calles no



estaban pavimentadas y no había aceras. La plaza era el único espacio público para uso recreativo y comercial. Durante estos años, no se contempló la necesidad de planificar y/o mantener áreas verdes dentro del centro, excepto el ornato planificado de la Plaza Palmer, ya que la periferia inmediata era un área verde extensa y accesible. Es para la primera parte del siglo 20, que el paisaje del CUT comienza a cambiar. Se comienza con la construcción de las primeras urbanizaciones, escuelas, se pavimentan las calles y se construyen los encintados y las aceras. En un periodo relativamente corto de tiempo; los suelos fueron cargados de una variedad de usos. (Figuras 8, 9 y 10)

Hoy día, el Centro Urbano Tradicional del Municipio Autónomo de Caguas es una zona de alta densidad urbana con infraestructura gris presente en casi la totalidad del área, tal como la presenta la foto aérea CUT tomada para el año 2007 (Figura 11). El paisaje está definido por edificios, viviendas, lotes comerciales, calles, aceras, lotes de estacionamiento, postes de alumbrado, tendido eléctrico y algunos espacios para la recreación pasiva (Apéndice 1, foto 1). A esta estampa, podemos añadir los vehículos de motor que transitan por sus calles, los ciudadanos y visitantes que caminan por el área. Lo que no presenta este paisaje urbano son espacios continuos de vegetación y/o infraestructura verde para contrarrestar el desarrollo de infraestructura gris.

El CUT, de ser un área mayormente residencial, se ha convertido en un área comercial y de servicio. Esto debido, en gran medida, a la zonificación que otorgó la Junta de Planificación en el 1970 a muchos Centros Urbanos de la isla, con el propósito de fomentar el desarrollo económico de los mismos. Sin embargo, la calificación otorgada, de Uso Comercial 3 (UC-3) junto con la calificación de Uso Residencial 4 (UR-4), a la mayoría del CUT, lo que hizo fue promover *“una visión suburbana en vez*

*de una visión urbanística de un centro urbano” (PACUT, 2007). Este cambio en la calificación, por ejemplo, ha aumentado la necesidad de estacionamiento dentro de la zona y “ha relegado a un segundo lugar la importancia de muchas estructuras de valor histórico, para demolerlas y convertirlas en estacionamientos” (Memorial POT, 1997).*

El CUT comprende un área total de 797,871 m<sup>2</sup> con unas 1,398 estructuras construidas que ocupan un área de 306,712 m<sup>2</sup> del territorio (Figura12). Los restantes 491,159 m<sup>2</sup> del área total están compuestos por espacios no construidos dentro de lotes con edificios, calles, aceras, lotes de estacionamientos, lotes vacantes, áreas recreativas y áreas verdes. Cabe señalar que la mayoría del área de los espacios antes mencionados son superficies impermeabilizadas, consideradas área construida y que sólo un área mínima al suroeste de la delimitación oficial del CUT está considerada como área verde para efectos del mapa de Uso de Suelos del Municipio (Figura 13). Si observamos la imagen de satélite de Áreas verdes (Figura 14) podemos identificar en azul otras áreas dentro del CUT como posibles áreas verdes. De igual forma, si observamos la misma imagen, pero en Banda 4, la cual simula una imagen infrarrojo (Figura 15), también se pueden identificar en color verde y verde claro otras posibles áreas verdes y en rojo las superficies impermeabilizadas dentro del CUT. Es necesario señalar que esta imagen es del 2002 y actualmente (2009) muchos de los espacios se han transformado, lo que significa que probablemente haya menos áreas verdes que las identificadas en aquel momento. Esto dado a que la tendencia a través de los años ha sido; aumentar el área construida y disminuir el área verde.

Por otro lado, la mayoría de los edificios construidos en el CUT en los últimos años ocupan prácticamente la totalidad del espacio dentro de los lotes, dejando muy poco

o ningún espacio entre una estructura y la otra (Apéndice 1, foto 2). De tener espacio disponible dentro del lote se utiliza para estacionamiento, lo que aumenta el área impermeabilizada y a su vez limita el área de siembra dentro de cada lote. Las lotificaciones que están libres de estructuras en su mayoría son utilizadas para estacionamiento por lo que el área total del lote es impermeabilizada con asfalto (Apéndice 1, fotos 3 y 4). Las calles del CUT, con excepción de las avenidas periferales y las calles que rodean la plaza, son estrechas (Apéndice 1, fotos 5 y 6) y están cubiertas de tendido eléctrico y telefónico que van de un lado a otro de las mismas (Apéndice 1, foto 7). Las aceras, con excepción de algunas, dentro del distrito comercial e histórico, son estrechas y en algunos casos no miden más de tres pies de ancho. En las mismas están enclavados los postes de alumbrado, tendido eléctrico y telefónico, rótulos y metros de estacionamiento (Apéndice 1, foto 8). Son muy pocas las aceras que proveen áreas de siembra.

Los cambios en el uso del suelo dentro del CUT y su periferia fomentaron la eliminación e impermeabilización de las áreas verdes. El efecto combinado de eliminación de las áreas verdes, el aumento en área de superficies construidas, sumado a otros factores, tienden a aumentar la temperatura del microclima dentro de la zona urbana. Esto especialmente en épocas de verano, produciendo el fenómeno conocido como isla urbana de calor. Este fenómeno fue corroborado por el estudio de Matos y Rodríguez (1997) donde se identificaron puntos críticos de calor dentro del Municipio, entre los cuales se encuentran varios puntos dentro del Centro Urbano Tradicional. Estas áreas, según el estudio, se caracterizan precisamente por ser áreas de alta densidad en términos de área construida, poca o ninguna presencia vegetal y escasa humedad.

Este fenómeno tiende a incrementarse en el Municipio por su localización en términos topográficos en el interior del Valle del Turabo. Esta condición de formación de la isla urbana de calor dentro del valle hace que disminuya la mezcla y disipación de las masas de aire bajo ciertas condiciones de calma, haciendo que aumenten las concentraciones de gases no deseados que *“pueden tener implicaciones substanciales en la calidad de aire y la salud humana dentro de la región afectada”* (Stone & Rodger, 2001). Estas condiciones también influyen en las actividades cotidianas en el CUT, ya que se consume mayor cantidad de energía para mantener los edificios con un clima interno adecuado. Obviamente, el consumo excesivo de energía, el aumento en los costos de provisión de los mismos, el aumento en los costos de maquinaria y mantenimiento, la falta de espacios verdes que puedan aminorar el efecto del calor y los posibles gastos médicos-hospitalarios de residentes y visitantes del CUT que son más sensitivos a la presencia de ciertos químicos y partículas en el aire, son retos que hay que solucionar para que la convivencia urbana en el CUT sea agradable y así minimizar los efectos de la isla urbana de calor.

## CAPÍTULO V

### ALTERNATIVAS, ESTRATEGIAS Y PLAN DE ACCIÓN

Este capítulo está dirigido a evaluar, seleccionar y recomendar dentro de diferentes alternativas a ser consideradas, aquella que ayude a mitigar el sobrecalentamiento del CUT. Las alternativas consideradas son la no intervención, la forestación urbana, el aumento en albedo de las superficies y la naturación urbana. Cada una de ellas fue evaluada utilizando un análisis comparativo basado en un criterio de carácter ambiental.

#### **Alternativas evaluadas**

##### *No intervención*

Dentro de las alternativas a ser evaluadas consideramos la no intervención. Esta alternativa es la no acción dentro del área de estudio. Sólo se considera el estado actual y las acciones de política pública que el Municipio actualmente desarrolla dentro de la zona como el Plan Urbanístico Caguas 20/20 y el PACUT. En términos de salud ambiental, el Municipio reconoce el problema de la contaminación del aire pero no menciona estrategias específicas dirigidas a mejorar en este renglón. La conservación de energía se menciona en el Plan Estratégico de Caguas 2005-2008, pero sólo para once edificios y no se menciona la estrategia para alcanzar dicho objetivo.

##### *Albedo*

*La reflectividad solar o el albedo es el por ciento de energía solar reflejada por una superficie (EPA, s.f). A mayor reflectividad de las superficies, menor será la cantidad de calor que estas superficies absorban. “Al aumentar la reflectividad, se disminuyen las*

*temperaturas de las superficies; lo cual contribuye a una disminución en la temperatura del aire ya que la intensidad del calor por convección en superficies menos calientes es menor*” (Synnefa, 2008). Según se desprende de un estudio realizado por el Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) reseñado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (2004): *“la membrana reflectiva instalada sobre un techo de un edificio comercial en la ciudad de Texas pudo disminuir la temperatura de la superficie del techo de 168°F (76°C) a 126°F (52°C) una diferencia de 42°F”*. Además, el consumo de energía del edificio destinado a acondicionadores de aires disminuyó en un 11 por ciento. Otro estudio del LBNL, esta vez reseñado por la EPA, que compara la emitancia y reflectividad de varios techos; se encontró una diferencia de 33°C entre un techo convencional y un techo con un por ciento alto de albedo.

#### *Forestación urbana*

Según Sharpe, Hendee y Sharpe (2003), la forestación urbana es *una rama especializada de la forestación que tiene como propósito el cultivo y manejo de los árboles para su contribución presente y potencial al bienestar psicológico, sociológico y económico de la sociedad urbana*. Esta técnica de siembra sistémica de árboles dentro de los espacios urbanos es altamente utilizada en las grandes ciudades a través de todo el mundo. Es utilizada de forma paisajista para el mejoramiento estético de las calles, aceras y parques; proveer sombra para el mejoramiento y revitalización de la calidad de vida en la zona urbana. En términos ecológicos, los árboles son de gran importancia por sus múltiples beneficios. Entre los beneficios que nos proveen podemos mencionar, el mejoramiento de condiciones extremas de temperatura en el microclima urbano, filtrar contaminantes atmosféricos, mantener la estabilidad de los suelos, creación de hábitat

para animales e insectos, absorber el ruido, evitar la erosión causada por la lluvia y promover la producción de oxígeno (EPA, 1992).

La forestación urbana, más allá del punto de vista estético paisajista, podría contribuir en el aumento de áreas verdes dentro de las zonas urbanas ayudando a contrarrestar el fenómeno de la isla urbana de calor y por ende, la reducción de las temperaturas. Esto mediante el proceso de evapotranspiración de las hojas que permite un enfriamiento del aire en sus alrededores. Según la página de la EPA-Energy Savings from Trees and Vegetation (2009) indica y citamos: *“si árboles y vegetación son sembrados ampliamente a través de una ciudad, el proceso natural de enfriamiento de la evapotranspiración puede disminuir la temperatura del aire local e indirectamente disminuir la demanda de acondicionamiento de aire en los edificios”*. Con relación al proceso de evapotranspiración, varios estudios han señalado de temperaturas alrededor de los nueve grados Fahrenheit más frescas en arboledas que en terreno abierto. De igual forma mencionan, áreas suburbanas con árboles maduros donde las temperaturas son de cuatro a seis grados Fahrenheit más frescas que en zonas suburbanas sin árboles (EPA, s.f).

Además de la evapotranspiración, la sombra de las copas de los árboles no permite que los rayos del sol alcancen de forma directa las superficies de las calles, aceras, fachadas de edificio y residencias evitando el sobrecalentamiento de las mismas. La EPA menciona que según científicos de la Universidad Internacional de Florida, la siembra estratégica de árboles y vegetación para bloquear la radiación directa del sol y prevenir la transferencia de calor a casas y edificios, puede reducir el consumo de energía utilizada para enfriamiento hasta un 40% anualmente. Adicional, de diferentes estudios

reseñados que midieron las reducciones en temperatura de diferentes superficies, uno encontró una reducción de 20 a 45 grados Fahrenheit para paredes y techos de edificios.

De igual forma, los árboles urbanos ayudan en el reciclaje de contaminantes atmosféricos presentes en las capas bajas de la atmósfera como el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y el Ozono (O<sub>3</sub>); entre otros. Estos gases son los principales causantes del efecto de invernadero y son los mismos que quedan atrapados dentro del domo creado por las islas urbanas de calor. El aumento en la concentración de estos gases podría producir enfermedades respiratorias principalmente entre los niños y ancianos presentes en la zona, así como también, a la ciudadanía y visitantes en general.

Algunas de las limitaciones que podría enfrentar esta técnica es la falta de espacios de siembra, rompimiento de aceras, estructuras, y calles por el crecimiento de las raíces, desprendimiento de ramas en espacios públicos y calles, además de falta de mantenimiento adecuado.

#### *Naturación urbana*

El concepto naturación se adopta, según Briz (2004) de la terminología latina “natura” que significa naturaleza en su sentido más amplio. El mismo, “*implica involucrar la vida urbana y rural en un medio ambiente donde la naturaleza recupere el protagonismo, a través de especies vegetales que mejoren las condiciones de vida de una forma sostenible.*” Además, Briz indica que la naturación se enfocará “*como la acción de incorporar o fomentar la naturaleza en nuestra vida cotidiana*”. Esto implica, llevar la naturaleza a recuperar los espacios de los cuales fue desplazada y ahora son espacios estériles en la ciudad. La definición del concepto es una de visión amplia donde se presenta el término como uno holístico e integrador.



El término que define la técnica utilizada para naturalizar los techos específicamente es cubiertas ajardinadas o “green roofs”. *“Un techo verde es un espacio verde creado al añadir capas de medios de crecimiento y plantas encima de un sistema tradicional de impermeabilizado de techo”* (Peck & Kuhn, 2003). Uniendo las definiciones de Briz, Peck y Kuhn, podríamos concluir que la naturalización de techos es una técnica fitoremediativa que utiliza la aplicación y adición de varias capas de materiales orgánicos y sintéticos para crear una cubierta vegetal que sirve como medio para el mejoramiento de la ecología urbana.

Las cubiertas ajardinadas, según Dunnett y Kingsbury (2004), se pueden dividir en las cultivadas de forma intensiva o extensiva. Las cubiertas ajardinadas intensivas son aquellas que necesitan un cuidado especial en términos de mantenimiento, ya que suelen tener plantas que necesitan riego, los medios de cultivo son profundos y suelen ser costosos en su instalación. Las cubiertas ajardinadas extensivas son aquellas que su medio de cultivo es poco profundo, no necesitan sistemas de riego, las plantas son adecuadas para condiciones extremas y no necesita mucho o ningún mantenimiento. Su instalación suele ser más económica que las cubiertas intensivas. Estas cubiertas vegetales también se pueden incorporar a las fachadas de las residencias y edificios mediante la utilización de diferentes técnicas de siembra de enredaderas. Precisamente, un estudio reveló reducciones en temperatura de hasta 36 grados Fahrenheit (aproximadamente de 20 grados centígrados) en las paredes de edificios donde se sembraron enredaderas (EPA, s.f.).

La naturalización de estructuras como componente esencial de la infraestructura verde en las ciudades, va dirigida a servir como elemento conector de los espacios

urbanos a través de los techos, ayudando a aumentar el porcentaje de cobertura de áreas verdes dentro de la zona urbana. Este aumento de cobertura en área verde trae por consiguiente el beneficio de enfriamiento del aire circundante mediante el proceso de evapotranspiración de las plantas lo cual ayuda a minimizar los efectos de la isla urbana de calor. Además las plantas permiten reducir la concentración de gases dentro de los espacios urbanos. De igual forma, estas áreas verdes creadas en los techos y fachadas sirven como áreas de captación de lluvia, hábitculo de diferentes especies, además de contribuir a que se completen los ciclos biogeoquímicos tan esenciales para la ecología urbana.

No sólo ha demostrado ser eficiente en la mitigación del calentamiento de la zona urbana, sino que también, permite que las estructuras trabajen con más eficiencia. Por ejemplo *“un modelo de simulación regional utilizó una cobertura de 50% de techo verde en Toronto y encontró una reducción de 2°C en algunas áreas”* (Oberndorfer, 2007). Ciudades y países como *“Berlín, Madrid, Grecia y otros lugares donde se ha pasado de la etapa experimental a la de aceptación general de este concepto, demuestran que se logran unas reducciones significativas en las temperaturas exteriores e interiores de los edificios con techo naturalado”* (Cruz, 1999).

### **Selección de mejor alternativa**

#### *Desarrollo del criterio de evaluación*

El criterio de evaluación de las alternativas seleccionadas es uno de carácter ambiental. Es importante indicar que este proyecto busca una alternativa ambientalmente efectiva. Por tanto, lo que se busca en las alternativas, es un beneficio ambiental que ayude a minimizar los efectos de la isla urbana de calor. Por lo tanto, el criterio de mayor

relevancia y que se desprende de la explicación de las alternativas es la temperatura. En este caso, en términos cuantitativos, cuán efectiva es la alternativa en reducir la temperatura de edificios o áreas impermeabilizadas y a su vez, pueda ser implantada sin alterar de forma significativa el entorno urbano existente del CUT. El criterio seleccionado fue la disminución significativa en la temperatura de las superficies en grados Celsius (°C). Este criterio ambiental busca la capacidad que tienen las alternativas para reducir la temperatura de las superficies evitando que éstas absorban calor. La disminución en la temperatura de las superficies provoca menor absorción de calor, lo que a su vez contribuye a una disminución en la temperatura del microclima, contribuye a minimizar los efectos de la isla urbana de calor y permite ahorros en el consumo de energía eléctrica de las estructuras.

#### *Evaluación y selección de alternativa*

Según se desprende de las referencias y diferentes estudios, las alternativas van desde un rango de no intervención donde la condición de las temperaturas de las superficies permanece igual hasta condiciones donde se logra una disminución significativa en la temperatura.

La alternativa de la no intervención, no cumple con el criterio ambiental seleccionado, ya que con las condiciones actuales, se mantiene la condición de la isla urbana de calor. Aunque el Municipio continúa con un proyecto de forestación y arborización en el CUT, los árboles sembrados están en un estado juvenil y no promueven mayor sombra, por lo que su aportación es mínima.

Según lo indican los estudios de casos e información científica, el aumento en albedo de las superficies logra disminuir la temperatura de las superficies en

aproximadamente 33 grados centígrados. No obstante, la técnica del albedo no promueve la creación de espacios verdes, ya que es un proceso meramente cosmético. La metodología en la aplicación del albedo dependerá del juego de colores con que se pinten las superficies. La técnica de albedo en las superficies no permite la introducción y/o incorporación de otros elementos, que podrían contribuir aún más en la reducción de temperatura.

Según los datos obtenidos, la forestación urbana tiene la capacidad de disminuir la temperatura de las superficies en unos 18 grados centígrados. La limitación de la forestación urbana en el CUT sería que no se cuenta con espacios disponibles y/o área de siembra para establecer una siembra programada. Como se describió en los capítulos anteriores, existen limitaciones de espacio en las áreas públicas del CUT, además que de implantar esta alternativa, conllevaría costos indirectos en la adquisición de lotes, remodelación y ampliación de aceras, cuyos costos tienden a ser mayores que en otras áreas urbanas.

Con relación a la alternativa de la naturación urbana, la información obtenida de los estudios de casos e información científica, la misma tiene la capacidad de disminuir la temperatura de las superficies en aproximadamente 45 grados centígrados. Además, la naturación tiene la cualidad de proveer espacios verdes en áreas ya desarrolladas y/o impermeabilizadas, sin tener que alterar el entorno urbano existente.

Luego de evaluar las diferentes alternativas tomando en consideración los estudios de casos, la revisión de literatura, la condición físico espacial actual del CUT, los aspectos cualitativos de las alternativas y su impacto en el criterio de evaluación; se determinó que la alternativa con la mayor efectividad para contribuir en minimizar las

temperaturas y los efectos de la isla urbana de calor lo es la naturación urbana. Esta técnica no solo ha demostrado su potencial en la disminución de las temperaturas de las superficies de las estructuras, sino que también se ha demostrado mediante investigación científica, cómo esta tecnología ha contribuido al mejoramiento de la ecología urbana y la calidad de vida en ciudades de diferentes países.

Entre las cualidades ambientales de la naturación están el mejoramiento en la calidad del aire del microclima urbano, aporta al control de la contaminación por ruido, aumenta las zonas de captación de lluvia, disminuye las escorrentías, renueva la habitabilidad de los espacios abiertos, provee zonas de esparcimiento y recreación, devuelve la biodiversidad a la zona urbana e integra la naturaleza en la vida de las ciudades. Desde el punto de vista estructural, la naturación de techos y fachadas ayuda a la conservación de energía de los edificios, evita filtraciones, aumenta el ciclo de vida de las membranas impermeabilizantes y aumenta el valor de la propiedad. (Dunnett & Kingsbury, 2004)

### **Implantación de alternativa seleccionada**

#### *Objetivos y Estrategias de Implantación*

La naturación urbana como alternativa para minimizar los efectos de la isla urbana de calor presenta una serie de acciones que hay que tomar en consideración al momento de implantarla en el Centro Urbano Tradicional. Como todo proyecto de planificación, se requiere sentar las bases legales, normativas, procesales, de aplicación y alcance jurídico necesarias para que la alternativa cumpla con el requisito de efectividad ambiental que deseamos. Es por esto, que se deben establecer objetivos operacionales y estrategias de implantación para asegurar el éxito de esta alternativa en minimizar el

problema de estudio. Ninguna acción se establece por sí sola, sino que requiere de un andamiaje que sienta las bases y se pueda establecer como política a nivel de ciudad.

A continuación se esbozan los objetivos operacionales y aquellas estrategias relacionadas que establecen los parámetros para el desarrollo de esta alternativa:

*Objetivo 1:*

**Identificar y establecer la condición de las estructuras con potencial para ser utilizadas en proyectos de naturación.** (Tabla 3)

*Estrategia 1.1*

*Inventario de estructuras públicas con potencial de uso.*

El inventario de las estructuras pertenecientes al gobierno municipal y estatal dentro del CUT nos permite tener una idea clara de las posibles áreas donde se podrían comenzar proyectos de naturación, teniendo en cuenta la posible creación de corredores verdes. La entidad responsable de implantar ésta estrategia es la Oficina de Planificación-Municipio Autónomo de Caguas. El costo de implantación será determinado antes del periodo de 30 días requerido para completar la tarea. El resultado esperado es un inventario completo de las estructuras con potencial de uso en proyectos de naturación.

*Estrategia 1.2*

*Evaluación de las condiciones físicas o estructurales actuales (localización, accesos e infraestructura presente) de los edificios o superficies con potencial de uso.*

Con esta estrategia esperamos establecer las condiciones a nivel estructural de las edificaciones previamente inventariadas. La evaluación nos permite conocer aspectos como facilidad de acceso, condición de las superficies de las fachadas y techos, área en metros cuadrados de superficies a ser trabajadas,

inclinación del techo, necesidad de impermeabilización o condición actual del sistema instalado, capacidad de carga de la estructura, entre otras. La entidad responsable de la implantación de la estrategia es la Secretaría de Infraestructura, Ornato y Conservación del Municipio Autónomo de Caguas. Los costos de implantar esta estrategia serán determinados en su momento con un periodo requerido de implantación de 90 días. El resultado esperado de esta estrategia es un informe de evaluación de las condiciones estructurales de los edificios previamente inventariados.

### *Objetivo 2*

**Desarrollar un proyecto piloto en algunas de las edificaciones previamente evaluadas para demostrar los beneficios de la naturación en el CUT (Tabla 4)**

### *Estrategia 2.1*

#### *Proyecto piloto de techo naturado en el Centro de Gobierno Municipal Ángel Rivera Rodríguez*

El establecimiento de un proyecto piloto permitiría realizar experimentación científica dirigida a establecer los beneficios de la naturación de techos y fachadas a nivel ambiental y estructural. En términos ambientales se mediría la efectividad en la disminución de la temperatura de superficie y ambiente y a nivel estructural se estaría midiendo la efectividad en la disminución de transferencia de calor hacia la estructura y los posibles ahorros en consumo de energía eléctrica. Las entidades responsables de implantar ésta estrategia son la Oficina de Asuntos Ambientales y la Secretaría de Infraestructura, Ornato y Conservación del Municipio Autónomo de Caguas. El costo aproximado es de \$100,000 dólares y el tiempo requerido para implantarla es de aproximadamente

180 días. El resultado esperado es tener el techo naturado experimental instalado.

### *Objetivo 3*

**Desarrollar política pública ambiental dirigida a la implantación de tecnologías de reducción de consumo energético y estrategias para combatir el calentamiento local, global y el cambio climático, entre ellas la naturación urbana.** (Tabla 5)

#### *Estrategia 3.1*

*Promover la creación de ordenanza municipal dirigida hacia la promoción de alternativas que contribuyan a minimizar los efectos de la isla urbana de calor*

Esta estrategia está dirigida a utilizar la ordenanza municipal como mecanismo para establecer las estrategias que el gobierno municipal entienda ayuden al mejoramiento del microclima urbano y la calidad de vida del ciudadano en general. La entidad responsable de implantar la estrategia es el Municipio Autónomo de Caguas a través de la Oficina del Alcalde y la Legislatura Municipal. El costo aproximado de implantación es mediante la aportación en especie ("in kind") y el periodo requerido para implantarla es de 90 días. El resultado esperado es Ordenanza Municipal aprobada, dirigida a estos efectos.

#### *Estrategia 3.2*

*Promover la elaboración y aprobación de proyecto de ley ante la Asamblea Legislativa*

Mediante esta estrategia, se busca que la Asamblea Legislativa elabore y apruebe legislación para la adopción de prácticas dirigidas al mejoramiento del microclima urbano donde se incluyan mecanismos para incentivar la naturación urbana. La entidad responsable de implantar la estrategia es la Asamblea Legislativa mediante una aportación en especie y el tiempo requerido de



implantación aún no ha sido determinado. El resultado que esperamos es una Ley sobre implantación de naturación urbana aprobada.

### *Estrategia 3.3*

#### *Promover la elaboración y aprobación de órdenes administrativas en agencias estatales*

Esta estrategia busca que las agencias, mediante órdenes administrativas, establezcan procedimientos nuevos o algún tipo de exención a la hora de incorporar y/o implementar alternativas dirigidas al mejoramiento del microclima entre las cuales se incluya la naturación urbana. Las entidades responsables de implantar esta estrategia son el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, la Administración de Asuntos Energéticos, la Secretaría de Desarrollo Económico y Comercio; la Autoridad de Energía Eléctrica; la Junta de Planificación y la Administración de Reglamentos y Permisos. Los costos de implementación serán mediante aportación en especie con un periodo de implantación a ser determinado. El resultado esperado con esta estrategia son Órdenes Administrativas implantadas.

### *Estrategia 3.4*

#### *Promover la integración de organizaciones profesionales (Colegio de Ingenieros y Agrimensores, Colegio de Agrónomos, Colegio de Arquitectos y Arquitectos Paisajistas, Sociedad Puertorriqueña de Planificación) en la promoción de la naturación urbana.*

Con esta estrategia se busca como resultado que las instituciones y/u organizaciones profesionales sirvan como entes educadores a los profesionales que representan y a la comunidad en general, con relación a los beneficios de establecer alternativas ecológicas, como la naturación urbana. Además, las

organizaciones, una vez reconozcan los beneficios de este tipo de alternativas, podrían ser cabilderos ante las agencias del Estado para impulsar reglamentación al respecto. Las entidades responsables de implantar esta estrategia son el Municipio Autónomo de Caguas, Agencias Estatales y la Asamblea Legislativa. Los costos de implementación son mediante aportaciones en especie y el periodo requerido para implementarla será determinado.

### *Estrategia 3.5*

*Promover la integración de dueños de edificios existentes y desarrolladores para que adopten la naturación urbana en sus proyectos.*

Esta estrategia persigue a través de incentivos económicos, subsidios y/o reglamentación; fomentar proyectos privados de naturación urbana que contribuyan al aumento de áreas verdes, disminución de la isla urbana de calor y la conservación de energía dentro del Municipio. La entidad responsable de implantar esta estrategia es el Municipio Autónomo de Caguas mediante aportación en especie, con un periodo de implantación a ser determinado. El resultado esperado son incentivos económicos, subsidios y/o reglamentación aprobados que fomenten proyectos privados de naturación urbana.

### *Estrategia 3.6*

*Adoptar programa LEED para nuevas construcciones y existentes en el CUT*

La estrategia está dirigida a que el Municipio adopte como parte de la política pública ambiental municipal que se establezca el programa de puntuación LEED, desarrollado por el US Green Building Council, a toda nueva estructura y a las existentes dentro del CUT. LEED otorga puntuación a toda aquella estructura que incorpore las mejores prácticas ambientales durante la fase de

diseño y construcción, incluyendo la naturación de techos y fachadas específicamente como una de estas prácticas deseadas. La entidad responsable de implantar ésta estrategia es el Municipio Autónomo de Caguas mediante aportación en especie, con un periodo de implantación a ser determinado. El resultado esperado de la estrategia es la adopción del programa LEED.

#### *Objetivo 4*

**Desarrollar un programa de concienciación y educación pública sobre los diversos beneficios que provee la naturación urbana como recursos de ahorro de energía y creación de espacios verdes dentro de CUT. (Tabla 6)**

#### *Estrategia 4.1*

*Desarrollo de talleres comunitarios sobre naturación urbana.*

La estrategia va dirigida a desarrollar talleres a los diferentes sectores del CUT en los cuales se les educa acerca de los beneficios de incorporar técnicas simples de naturación en sus residencias y sus beneficios asociados. Las entidades responsables de implantar ésta estrategia son el Municipio Autónomo de Caguas a través de la Oficina de Asuntos Ambientales y el Departamento de Autogestión Comunitaria. El costo aproximado de implantación es mediante la aportación en especie con un tiempo requerido de 90 días para su implementación. El resultado esperado son talleres educativos sobre naturación en diferentes sectores del CUT.

#### *Estrategia 4.2*

*Desarrollo de talleres educativos sobre naturación urbana en las escuelas públicas y privadas que ubican dentro del límite territorial del CUT*

Esta estrategia busca fomentar que en las escuelas se puedan desarrollar proyectos pilotos de naturación como fuente de investigación científica escolar donde los techos de las escuelas se conviertan en laboratorio de clase. La entidad

responsable de implantar ésta estrategia es el Municipio Autónomo de Caguas a través de la Oficina de Asuntos Ambientales mediante aportación en especie y con un periodo requerido de implantación de 90 días. El resultado esperado es la revisión del currículo en Ciencias y proyectos pilotos de naturación instalados en las escuelas dentro del CUT para investigación científica escolar.

#### *Estrategia 4.3*

*Desarrollo de nuevas áreas de esparcimiento y recreación comunitaria mediante proyectos de naturación.*

Uno de los beneficios de la naturación urbana es la creación de espacios verdes que pueden ser utilizados como parques o áreas de recreación pasiva y se conviertan en un espacio vivo dentro de la ciudad. La entidad responsable de hacer esto realidad es la Oficina de Planificación y la Secretaría de Infraestructura, Ornato y Conservación del Municipio Autónomo de Caguas. Esto, mediante aportación en especie con un periodo de implementación a ser determinado. El resultado esperado de ésta estrategia son espacios verdes en los techos para ser utilizados como áreas de esparcimiento y la formación de corredores a través del CUT.

#### *Estrategia 4.4*

*Desarrollo de proyectos de autogestión comunitaria dirigidos a la utilización de los techos naturados como espacio de siembra agrícola empresarial.*

Esta estrategia busca utilizar los techos como espacio o terreno agrícola para que los residentes del CUT puedan sembrar hortalizas u otros frutos menores que luego sean fuente de ingreso o sustento. Las entidades responsables de implantar esta estrategia son el Departamento de Autogestión Comunitaria, la

Secretaria de Desarrollo Económico Sustentable y la Oficina de Asuntos Ambientales del Municipio Autónomo de Caguas. El costo aproximado de implantación es mediante aportación en especie con un tiempo requerido para su implementación a ser determinado. El resultado esperado es la implantación de proyectos de agricultura urbana en los techos del CUT.

### **Guía de diseño para el desarrollo de un proyecto piloto de naturación urbana**

Como una aportación innovadora de este proyecto de planificación, se presenta una guía de diseño para el desarrollo de un techo naturado experimental. Este concepto representa la instalación de un techo naturado con el propósito de que se utilice como laboratorio de investigación. Mediante este proceso se pondrán a prueba los beneficios de las cubiertas naturadas en la disminución de las temperaturas que se generan desde los techos entre otros beneficios. La implantación de estos proyectos proveerá el espacio necesario para recopilar información valiosa que permitirá evaluar el desempeño de los diferentes tratamientos establecidos como por ejemplo su relación con el mejoramiento ambiental, conservación de energía y la salud de los ciudadanos. Además aportarán elementos que irán encaminados hacia la implantación de esta técnica fitoremediativa como una alternativa ecológica viable, dirigida a remediar los problemas ambientales y estructurales que se manifiestan en las zonas urbanas, en específico, el sobrecalentamiento de las mismas.

#### *Metodología del proyecto piloto*

El estudio descriptivo de tipo longitudinal se realizará utilizando la información obtenida de un segmento del techo del Centro de Gobierno del Municipio Autónomo de Caguas. El segmento de techo, mide 54 pies de largo (16.4m) por 31 pies de ancho

(9.4m) para un área de 1,674 pies<sup>2</sup> (154.2 m<sup>2</sup>). La superficie del techo a ser trabajada será dividida en seis parcelas, según el diseño incluido (Apéndice 2). Cada parcela medirá 14 pies de largo (4.2m) por 11 pies de ancho (3.3m) para un área de 154 pies<sup>2</sup> (13.9m<sup>2</sup>). Las mismas estarán separadas, unas de otras, así como del borde del techo por una distancia de tres pies (.9m). Las seis parcelas serán instaladas con tres tratamientos diferentes y tres réplicas respectivas a cada tratamiento para aumentar la calidad de los datos. El primer tratamiento consiste de dos parcelas, una experimental y su réplica (T1a y T1b), donde la membrana impermeabilizante no tendrá cubierta ajardinada. La membrana queda expuesta a las condiciones meteorológicas del área. El segundo tratamiento consiste de dos parcelas, experimental y réplica (T2a y T2b), donde la membrana impermeabilizante queda debajo de una cubierta ajardinada con tres pulgadas de medio de cultivo. El tercer tratamiento consiste de dos parcelas, experimental y réplica (T3a y T3b), donde la membrana impermeabilizante queda debajo de una cubierta ajardinada con seis pulgadas de medio de cultivo. La ubicación de cada tratamiento se determinará durante el proceso de instalación del techo experimental.

#### *Fuente de datos*

La muestra que se utilizará para este estudio se obtendrá mediante el uso del recopilador de datos HOBO Weather Station Data Logger, de Onset Computers Corporation, el cual posee una memoria de 512K y un rango de operación de -40°C hasta +70°C con baterías de Litio. Este sistema provee para recolectar hasta 15 canales de datos. Todos los datos relacionados a las variables a ser evaluadas, se estarán recopilando a intervalos de 10 minutos, durante 24 horas, 365 días. De esta manera, se espera una muestra de aproximadamente 7,500 datos por cada variable. Esta cantidad de datos

permitirá una mejor descripción de la información obtenida y aumentará la confiabilidad del estudio. Los datos serán analizados y procesados con el programa del recopilador de datos HOBO Smart Sensor y con el paquete estadístico, Statistical Package for Social Sciences software 11.0 for Windows (SPSS Inc., 2001). Ambos programas proveen formatos para el desarrollo de hojas de datos de acuerdo a la información y las variables a ser trabajadas.

#### *Instalación de la membrana impermeabilizante*

Se comenzará la preparación de la superficie lavando con agua, utilizando una máquina de 3,000 psi de presión. Finalizado el lavado y una vez seca la superficie, se procederá con la aplicación de una capa de imprimación bituminosa (Curidan, Danosa) utilizando cepillo o rodillo. El Curidan “es una emulsión asfáltica de base acuosa, especialmente orientada para la preparación de recubrimientos protectores e impermeabilización de cubiertas” (Danosa, 2008). El rendimiento es de .5kg/m<sup>2</sup> y el mínimo requerido es de .3kg/m<sup>2</sup>.

La imprimación bituminosa es la base para la instalación de la membrana impermeabilizante (Polydan 50/GP Jardín, Danosa). La misma “es una lámina bituminosa de superficie protegida tipo Estireno-Butadieno-Estireno (SBS por sus siglas en inglés) tratada con productos especiales para evitar ser perforada por la acción de las raíces. La membrana está compuesta por una armadura de fieltro de poliéster no tejido, recubierta por ambas caras con un mástico bituminoso de betún modificado con elastómero (SBS), usando como material de protección, en la cara externa de la lámina, gránulos de pizarra de color natural” (Danosa, 2008).

La membrana se adhiere totalmente al soporte o la base solapando las piezas

contiguas de 8 a 10 cm, esto aplicando calor con una antorcha de gas propano a toda la superficie. Para la unión entre los extremos de las piezas contiguas es necesario calentar previamente el borde de la lámina inferior en una franja de 12cm, eliminando o embebiendo el árido de protección en la masa bituminosa y seguidamente soldar el extremo de la pieza siguiente.

Aunque las membranas bituminosas son las más comúnmente utilizadas, en el mercado existen otros tipos de membranas impermeabilizantes como las de capa sencilla. Éstas están mayormente compuestas por plástico inorgánico o material sintético de goma. Todas las membranas tienen sus especificaciones, beneficios y desventajas. Todo depende del tipo de techo naturado que se desee instalar. Importante a la hora de escoger la membrana a ser utilizada, ésta debe ser resistente a la penetración de raíces.

#### *Instalación de la cubierta ajardinada*

Encima de la membrana impermeabilizante se instalará un sistema de drenaje sintético. El mismo consiste de una placa de poli estireno expandido de 0.03m de espesor (placa drenante, Danosa) que permitirá el flujo o remoción del exceso del agua que proceda del medio de cultivo. Sobre el sistema de drenaje se colocará una capa de geotextíl (Danofelt 150, Danosa) formado por un 100% de filamentos continuos de poliéster que permite el paso de líquidos, pero, no de particulado sólido hacia el sistema de drenaje.

Al igual que las membranas de impermeabilización, en el mercado existen diferentes opciones para cumplir con el componente de drenaje. Pueden ser utilizados diferentes sistemas de drenaje como; materiales granulares (grava, piedra granulada entre otras) hasta módulos livianos de plástico o poli estireno.



El medio de cultivo a ser instalado sobre el geotextíl, será una mezcla y/o combinaciones de tierra con composta, arena, mulch, y/o estireno espumado. Las proporciones o porcentos a ser utilizados de cada componente serán determinados durante el proceso. De las cuatro parcelas a ser naturadas, T2a y T2b, serán instaladas con una profundidad de tres pulgadas de medio de cultivo. Las parcelas T3a y T3b serán instaladas con seis pulgadas de medio de cultivo. Los tratamientos estarán delimitados por un borde de bloques ornamentales que mantendrán el medio de cultivo en su lugar

Instalado el medio de cultivo, se procederá a sembrar paños contiguos de grama *Zoysia matrella* (grama manila). Esta grama perteneciente a la familia Gramíneas es una herbácea perenne de crecimiento moderado a lento y rastrera. Esta grama tolera mucho el paso constante de personas al tener rizomas y estolones. También tolera suelos arcillosos y arenosos; requiere suelos con buen drenaje; tiene una tolerancia moderada a la salinidad y alta a la sequía (González, 2002). Una vez instalada la grama, se regará con agua manualmente por 15 días consecutivos durante la mañana, luego será regada manualmente de ser necesario en épocas de sequía. La primera poda y fertilización se hará al mes. En los espacios entre parcela y parcela, así como en el borde del segmento de techo seleccionado, se colocarán losas ornamentales o se rellenarán con dos pulgadas de grava para permitir el tránsito peatonal por estas áreas, sin dañar la membrana impermeabilizante.

#### *Instalación de equipo de recopilación de datos.*

Las seis parcelas serán equipadas con un sensor externo de temperatura modelo TMC6-HD (HOBO, Onset). El sensor posee una precisión de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$  y posee un rango de medición de  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta  $100^{\circ}\text{C}$  en aire. El instrumento se colocará en el centro

de cada parcela, en contacto directo con la membrana impermeabilizante y estará conectado por cable al recopilador de datos de la estación meteorológica. Las condiciones meteorológicas como lluvia, temperatura ambiente, humedad del suelo, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento estarán siendo almacenadas por el recopilador de datos de la estación meteorológica.

Las medidas de temperatura ambiente y humedad relativa, serán recopiladas en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) y porcentos (%) respectivamente con un HOBO Smart Sensor de temperatura y humedad relativa (HOBO, Onset). Este instrumento posee un rango de medición de  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta  $+75^{\circ}\text{C}$  para temperatura y un rango de 0 hasta 100% para humedad relativa. La lluvia se medirá en centímetros por hora (cm/h) con un Rain Gauge Smart Sensor (HOBO, Onset), el cual posee un mecanismo de vertido de cubo (Tipping bucket) con un rango de medición de 10cm o 0" hasta 5" por hora. La humedad del suelo será recolectada por un Soil Moisture Smart Sensor (HOBO, Onset) en porcentos desde 0% hasta 40.5% (0 hasta 0.405  $\text{m}^3/\text{m}^3$  de contenido volumétrico de agua) con una precisión de  $\pm 3\%$ .

Las medidas de velocidad y dirección del viento serán monitoreadas, en metros por segundos (m/s) y en grados ( $^{\circ}$ ) respectivamente por un Wind/Direction Smart Sensor (HOBO, Onset). Este instrumento posee un rango de medida de velocidad de 0 hasta 44m/s y un rango de dirección de  $0^{\circ}$  hasta  $358^{\circ}$  con una banda muerta de  $2^{\circ}$ . La precisión del equipo en velocidad es de  $\pm 0.5$  m/s para vientos  $< 17\text{m/s}$ ,  $\pm 3\%$  para vientos de 17m/s hasta 30m/s y  $\pm 4\%$  para vientos de 30m/s hasta 44m/s y la precisión en grados de dirección es de  $\pm 5^{\circ}$ .

La radiación solar se estará midiendo con un Silicon Pyranometer Smart Sensor

(HOBO, Onset), el cual posee un rango de medición de 0 hasta 1,280 vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ) con un rango de espectro de 300nm hasta 1,100nm. Este instrumento posee una precisión de  $\pm 10W/m^2$  con un error inducido de temperatura de  $\pm 0.38W/m^2/^\circ C$  desde  $25^\circ C$ .

Los datos almacenados por el recopilador de datos será transportado vía cable USB a una computadora DELL Inspiron 700m (72G) y los datos serán manejados con un programa HOBOware Software (HOBO, Onset). El mismo, provee una programación sencilla, que permite hacer y ver gráficas compuestas con diferentes variables, análisis de datos, exportar datos a otros programas, comparar datos etc.

#### *Evaluación de los datos recopilados*

Definimos como variable dependiente numérica, las medidas de temperatura en  $^\circ C$ . Como parte de las variables independientes, categorizaremos las parcelas por tipo de tratamiento para identificar los seis grupos que serán parte de las descripciones y comparaciones. La parcela con tratamiento no naturado (T1a), se codificará como 0 y su réplica T1b se codificará como 1. Así mismo, el naturado a 3" de medio de cultivo (T2) será codificado como 2 y su réplica T2b como 3 y el naturado a 6" de medio de cultivo (T3) será codificado como 4 y su réplica T3b como 5. En adición, evaluaremos la relación entre otras variables como temperatura ambiental, radiación solar, velocidad y dirección del viento, lluvia, humedad relativa y humedad del suelo.

El análisis estadístico a emplearse en este estudio de cohorte, consistirá de dos componentes relativo a las medidas obtenidas para cada parcela:

- Descripción de las variables numéricas, a través de diagramas de dispersión, medidas de resumen (valores máximos y mínimos, moda, media, mediana,

desviación y error estándar y frecuencia) y pruebas de ajuste de distribución. De esta manera, se podrá identificar, *a posteriori*, el mejor método para evaluar diferencias. En adición, los datos recopilados por variable durante los 365 días, se estratificarán por día, semana, mes para observar el comportamiento de las medidas por intervalos de tiempo.

- Las comparaciones entre las parcelas para identificar muestras en temperatura, serán evaluadas mediante la técnica de análisis de varianza (ANOVA) para datos con distribución ajustada a una normal o con la técnica de Wilcoxon Signed Rank Test para datos con distribución no ajustada a una normal. Esta técnica compara la media de dos muestras relacionadas para determinar si existen diferencias entre ellas. De identificar que existe diferencia entre alguna de las parcelas, se ejecutarán comparaciones múltiples entre las parcelas para observar, qué parcelas se diferencian entre sí. La correlación entre temperatura y las variables adicionales serán evaluadas utilizando el método de correlación de Pearson.

El índice de Alpha para las pruebas antes mencionadas, se estableció a un 5% ( $p < 0.05$ ). Esto significa que al comparar dos o más muestras tenemos una probabilidad de error baja.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

El desarrollo histórico del Centro Urbano Tradicional del Municipio Autónomo de Caguas en términos físicos espaciales ha permitido la transformación del uso de los suelos de área verde a área construida. Este aumento en superficies impermeabilizadas, que tiene como consecuencia la absorción del calor diurno, provocó que hoy día el CUT experimente un sobrecalentamiento del microclima, permitiendo la formación del fenómeno de isla urbana de calor. Este fenómeno, mediante estudios, se ha comprobado que tiene unos efectos sobre la temperatura del ambiente urbano, el consumo de energía y la concentración de gases atmosféricos que son perjudiciales a la salud de los individuos.

Es por esta razón, que este proyecto estableció como meta recomendar una alternativa que ayudará a minimizar los efectos de la isla urbana de calor. Los objetivos delineados nos llevaron a analizar el problema de estudio, la condición físico espacial actual del CUT y a desarrollar alternativas dirigidas a minimizar el problema. Luego de establecer un criterio de evaluación ambiental y evaluar las diferentes alternativas, se seleccionó la naturación urbana como aquella que mejor cumplía con el criterio ambiental seleccionado. Una vez seleccionada, establecimos objetivos y estrategias dirigidos a la implementación de la naturación urbana como alternativa para minimizar los efectos de la isla urbana de calor.

#### **Recomendaciones**

Dentro de los objetivos de implantación desarrollados como parte de este proyecto se incluyeron varias estrategias para ser implantadas a corto, mediano y largo

plazo. Nuestra recomendación a corto plazo es que el Municipio, primero, desarrolle los talleres sobre naturación urbana dirigidos a la comunidad y las escuelas del CUT. Ésta estrategia es la menos costosa y la que mas rápido se podría implementar. Además la educación a la comunidad y la incorporación de todos los actores en la toma de decisiones es una pieza fundamental para asegurar el éxito de cualquier proyecto que se quiera comenzar en el área.

Segundo, se debería establecer el proyecto piloto en un edificio del Municipio. La importancia de implementar un proyecto piloto es poder desarrollar estrategias dirigidas a establecer y demostrar los beneficios de la naturación en las zonas urbanas y en específico en el CUT. Más aún, son muy pocos los estudios científicos que se han llevado a cabo en Puerto Rico y actualmente no hay ningún estudio que se haya establecido en las condiciones geográficas de valle donde ubica el CUT de Caguas. Este proyecto piloto daría paso a la expansión de proyectos en naturación hacia edificios de carácter institucional municipales, estatales y hacia edificios comerciales privados.

Aunque la naturación urbana demostró ser la alternativa de mayor efectividad en la reducción de las temperaturas de las superficies, adicional a otro sinnúmero de beneficios, no podemos excluir las otras alternativas evaluadas. Es por esto, que recomendamos la incorporación de la forestación urbana y el aumento en albedo de las superficies como parte de las estrategias dirigidas a minimizar el sobrecalentamiento del CUT y los efectos de isla urbana de calor. Entendemos que la combinación de éstas alternativas es complementaria ya que, por ejemplo, en los lugares donde no se pueda naturar los techos se podría incorporar el aumento en albedo. De igual forma, cualquier acción dirigida a la recuperación de espacios dentro del CUT, que se puedan transformar

en áreas de siembra para árboles, estaría ayudando a alcanzar nuestro objetivo primordial.

Además, recomendamos la creación de corredores verdes en el CUT atados al Proyecto Honor al Río. Esta iniciativa permitiría incorporar áreas verdes existentes en la periferia con áreas verdes a ser desarrolladas dentro del CUT. Esto haría posible también, que áreas verdes que hoy día están dispersas dentro del CUT y periferia puedan convertirse en espacios continuos con vegetación, comenzado a proveer los beneficios ambientales que esta conexión provee y que son deseados dentro del CUT.

Por último, recomendamos realizar investigación científica para demostrar el comportamiento de la isla urbana de calor en el Valle del Turabo. Mediante esta investigación se podría monitorear a lo largo y ancho del valle diferentes variables como temperatura superficial y ambiental, dirección del viento, radiación solar, concentración de gases entre otras. Establecer el perfil de la isla urbana de calor en el valle, permitiría desarrollar estrategias específicas para mitigar sus efectos por área.

### **Limitaciones del estudio**

Encontramos como limitaciones del estudio que la mayoría de las investigaciones y modelos utilizados para demostrar el desempeño de las diferentes alternativas evaluadas se han llevado a cabo en climas templados y es muy poca la información disponible sobre sus beneficios en climas tropicales o subtropicales. Además, se encontraron limitaciones económicas para implantar un techo experimental durante el período de realización de este proyecto.

### **Limitaciones del proyecto piloto**

#### *Posibles condiciones estructurales*

El establecimiento de proyectos de naturación urbana implica un proceso de

evaluación de las edificaciones potenciales en términos estructurales. Una de las posibles limitaciones es la carga que la naturación podría ejercer sobre el techo a ser naturado. Esto debe ser evaluado por un ingeniero estructural, el cual determinaría si el techo cumple con esta condición. Otra limitación es que la estructura podría estar catalogada como una de valor histórico y por motivos de preservación o conservación de la estructura en su condición original, no se permita este tipo de alteración en el techo o fachada del edificio. La accesibilidad a la estructura también podría considerarse como una limitación.

#### *Costos de implantación*

A través de la Oficina de Asuntos Ambientales del Municipio, se habían realizado una serie de reuniones de manera independiente dirigidas a subvencionar el desarrollo de un techo naturado en alguna de las instalaciones municipales, a tono con las nuevas iniciativas del Municipio en proyectos de generación y uso de fuentes de energía renovable y de conservación de energía. Se realizó una inspección ocular al techo del Centro de Gobierno Municipal con personal técnico del Municipio y un ingeniero independiente. Durante esa inspección, se verificó el estado del techo, la infraestructura existente y los posibles espacios donde se pudiera establecer un proyecto demostrativo.

Es importante indicar que esta iniciativa se detuvo por razones presupuestarias, aunque se realizó una exhaustiva búsqueda a través de fondos federales por competencia. Ahora, con las propuestas del Plan de Estímulo Económico del Presidente de los Estados Unidos y la asignación en bloque de los fondos del Programa de Eficiencia Energética, esta iniciativa cobra relevancia. Además, hoy día, con la proliferación de esta técnica a nivel mundial y con más compañías dirigidas hacia este mercado, los precios de los



materiales cada vez son más competitivos, lo que disminuye los costos de implantación.

### *Voluntad política*

Dentro de las posibles limitaciones se encuentra el interés del Municipio para adoptar esta técnica como una viable. Aunque el Municipio de Caguas se distingue por implantar proyectos de vanguardia y ser portavoz de la gestión ambiental a nivel local, no podemos pasar por alto que la estructura administrativa municipal, los procesos burocráticos internos y externos y la imposición de medidas y reglamentos por parte del Gobierno Central, pueden considerarse un obstáculo a la hora de implantar estos proyectos.

## LITERATURA CITADA

- Administración de Asuntos Energéticos. (2009). Política Pública Energética de Puerto Rico, 28 de diciembre de 1993. Orden Ejecutiva OE-1993-57. Extraído en febrero 2, 2009. <http://www.gobierno.pr/NR/rdonlyres/2B760A1D-3942-452C-AA50-1CE25CABA076/29694/PoliticaPublica.pdf>
- Antonio Di Mambro & Associates. (1998). *Caguas 20/20 A Summary of the Strategic Urban Design Study for the Urban Zone*. Caguas.
- Anderson, L. (1995). *Guidelines for Preparing Urban Plans*. Chicago, Illinois. APA Planners Press.
- Asamblea Legislativa. (1972). Ley Orgánica del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, Ley Num. 23 de 20 de junio de 1972. Recuperado el 14 de marzo de 2008, de <http://www.drna.gobierno.pr/biblioteca/leyes/Ley023.pdf>
- Asamblea legislativa. (2004a). Ley para el Plan Maestro para el Uso de Terrenos, Ley núm. 550 de 3 de octubre de 2004. 23 L.P.R.A. § 227. Recuperado el 13 de marzo de 2008, de <http://pr.microjuris.com/Search>
- Asamblea Legislativa. (2004b). Ley sobre Política Pública Ambiental, Ley núm. 416 de 22 septiembre de 2004. 12 L.P.R.A. § 8001. Recuperado el 13 de marzo de 2008, de <http://pr.microjuris.com/Search>
- Asamblea legislativa. (2004c). Ley sobre Política Pública de Desarrollo Sostenible, Ley núm. 267 de 2004. 23 L.P.R.A. § 501. Recuperado el 10 de mayo de 2007 de <http://www.lexjuris.com/LEXLEX/Leyes2004/lex12004267.htm>
- Beatley, T. (2000). *Green urbanism: Learning from European cities*. Washington, DC, EE. UU.: Island Press.
- Botkin, D. y Keller, E.(Ed.)(2000). *Environmental Science:Earth as a living Planet*. New York, New York: John Wiley & Sons.
- Briz, J. (Ed.) (2004). *Naturación Urbana: Cubiertas Ecológicas y Mejora Medioambiental* (2da. ed). Madrid, España: Mundi- Prensa.
- Campbell, S. & Fainstein, S. (2003). The Structure and Debates of Planning Theory. En S. Campbell & S.S. Fainstein (Eds.), *Readings in Planning Theory* (pp. 1-16). Malden, MA, U.S.A.: Blackwell Publishing

- Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable. (s.f.). *Cómo Alcanzar el Desarrollo Inteligente*, 100 políticas para su implementación. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana: San Juan, Puerto Rico.
- Cruz, A. (2003, septiembre). El Potencial de Mercado para Techos Naturados en Residencias Unifamiliares en Puerto Rico: un Estudio Preliminar. *Seminario Naturación Urbana: Retos y Perspectivas*. San Juan, Puerto Rico.
- Daniels, T. y Daniels, K. (2003). *The Environmental Planning Handbook for Sustainable Communities and Regions*. Chicago, IL. Planners Press
- Deck, J., Frank, A., Miley, B., Weber, T. (2005). *Investigating and Promoting Extensively Nured, Green Urban Rooftops in Puerto Rico*. Manuscrito no publicado, Worcester Polytechnic Institute, EE.UU.
- Dietz, J. L. (1997). *Historia Económica de Puerto Rico*, Estados Unidos: Ediciones Huracán, pag. 201-257.
- Dunnet, N. & Kingsbury, N. (2004). *Planting Green Roofs and Living Walls*. Portland, Oregon, EE.UU.: Timber Press.
- Environmental Protection Agency. (1992). *Cooling Our Communities: A Guide on Tree Planting and Light-Colored Surfacing*. (EPA 22P-2001). Washington, D.C., EE.UU.: U.S. Government Printing Office.
- Environmental Protection Agency. (s.f.). Energy Savings from Trees and Vegetation. Recuperado el 6 de abril de 2009 [www.epa.gov/heatisland/images/extra/level\\_3treesavings.html](http://www.epa.gov/heatisland/images/extra/level_3treesavings.html)
- Environmental Protection Agency. (s.f.). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Cool Roofs [Draft]. Recuperado el 6 de abril de 2009 <http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/CoolRoofsCompendium.pdf>
- Environmental Protection Agency. (s.f.). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Trees and Vegetation [Draft]. Recuperado el 6 de abril de 2009 en <http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/TreesandVegCompendium.pdf>
- Estes, M. Jr., Quattrochi, D., & Stasiak, E. (2003). The Urban Heat Island Phenomenon: How Its Effects Can Influence Environmental Decision Making in Your Community. *Public Management*. 85(3). 8-12. Recuperado el 8 de mayo de 2007, de la base de datos Wilson Web.
- Estudios Técnicos Inc. (2001). Puerto Rico, *En ruta hacia el Desarrollo Inteligente*. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana:

San Juan, Puerto Rico.

Friedman, J. (1987). *Planning in the public domain: From knowledge to action*. Princeton, New Jersey. Princeton University Press.

González, S. (2002). *Manual del Curso HORT 4014, Plantas para el Diseño Panorámico*. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Departamento de Horticultura.

Imada, S.J. (2003). *An Environmental Management Plan for the Construction of Green Buildings*. Disertación de maestría publicada. Universidad de Calgary, Calgary, Canada. Recuperado el 8 de mayo de 2007 de la base de datos ProQuest 5000.

Junta de Calidad Ambiental. (2005). Informe sobre el estado y condición del ambiente en P.R. 2004. Estado Libre Asociado de Puerto Rico. San Juan: P.R.

Junta de Planificación de Puerto Rico. (2008). Ley Orgánica de la Junta de Planificación de Puerto Rico, Ley núm. 75 de 24 de junio de 1975. 23 L.P.R.A § 62-64H. Recuperado el 14 de marzo de 2008, de <http://www.jp.gobierno.pr/>

Junta de Planificación de Puerto Rico Oficina del Censo (s.f.). Serie Histórica de Datos Censales. Recuperado el 27 de abril de 2007, de <http://www.gobierno.pr/Censo/SerieHistoricaDatosCensales>

Laberge, K. M. (2006). Becoming the Greenest City in America. *The Green Roof Infrastructure Monitor*, 8(2): 6-10. Recuperado el 10 de abril de 2007, de [http://www.greenroofs/resources/GRIM\\_Fall2006.pdf](http://www.greenroofs/resources/GRIM_Fall2006.pdf)

Liu, K. (2004). Engineering performance of rooftop gardens through field evaluation. *Journal of the Roof Consultants Institute*, 22(2), 4-12.

Matos, R. y Rodríguez, M. (1997). *Análisis del Fenómeno de la Isla de Calor Urbana: Definición y Propuesta de Intervención para el Municipio de Caguas*. Disertación de tesis de maestría no publicada. Escuela Graduada de Planificación, Universidad de Puerto Rico Recinto de Río Piedras, San Juan, Puerto Rico.

Municipio Autónomo de Caguas. (1998). Plan de Ordenación Territorial, Reglamento de Ordenación. Caguas.

Municipio Autónomo de Caguas. (2002). Propuesta de Actualización del Sistema de Información Geográfica. Caguas.

- Municipio Autónomo de Caguas. (2005). Plan Estratégico Caguas 2005-2008.
- Municipio Autónomo de Caguas. (2007). Plan de Área Centro Urbano Tradicional. Oficina de Ordenamiento Territorial.
- Murphy, D. (2007). *The Relation between Land Cover and the Urban Heat Island in Northeastern Puerto Rico*. Disertación de maestría publicada. State University of New York, College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, New York. Recuperado el 7 de abril del 2009 de la base de datos Dissertation Full Text.
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Karen, K., Liu, Y. & Rowe, B. (2007). Green Roofs as Urban Ecosystem: ecological structures, functions and services. *Bioscience* 57(10). Recuperado el 2 de abril de <http://vnweb.hwwilsonweb.com>
- Oficina del Comisionado de Asuntos Municipales (2007). Ley Municipios Autónomos de Puerto Rico, Ley Número 81 de 30 de agosto de 1991. Recuperado el 23 de marzo de 2007, de <http://www.gobierno.pr/OCAM/Inicio/Base Legal/BaseLegal.htm>
- Peck, S. & Kuhn, M. (2003). *Design Guidelines for Green Roofs*. Ontario, Canada Mortgage and Housing Corporation and Ontario Association of Architects. Recuperado el 5 de diciembre de 2005, de <http://www.cmhc.ca/en/inpr/bude/himu/codear/loader/.cfm?url=/commonspot/security/getfile.cfm&PageID=70146>
- Rivera, J. (2006) Curso en Planificación de Suelos. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan, Puerto Rico
- Rivera, J., Crespo, W., Compañía de Parques Nacionales (2005). El estado de la infraestructura verde en Puerto Rico: pasado, presente y futuro. En *Infraestructura verde y nuestros parques*. San Juan
- Santana, D. (1994). “El desarrollo económico, la lucha ambiental y el poderío comunitario en Puerto Rico”, *Revista Homines*, 17(1 y 2), Tomo extraordinario Núm.11, 148-154.
- Scarano, F. A. (2000). *Puerto Rico Cinco Siglos de Historia*, México: Segunda Edición, McGraw-Hill, pág. 845-914.
- Severino, C. E. (1999). Los procesos de urbanización y metropolización de San Juan: Factores principales del consumo de espacio y de la configuración territorial de la sociedad puertorriqueña. En Editorial de la Universidad de Puerto Rico (Eds.), *Futuro Económico de Puerto Rico* (pp. 315-343). San Juan, Puerto Rico.

- Senado de Puerto Rico. (2001). Enmiendas a Ley Orgánica de la Junta de Planificación, Ley num. 26 de 30 de abril de 2001. 23§ L.P.R.A.62. Recuperado el 14 de marzo de 2008, de <http://prmicrojuris.com/Search>
- Sharpe, G.M., Hendee, J.C & Sharpe, W.F. (2003). Urban Forestry. En *Introduction to forest and renewable resources* (pp. 449-470). 7ma edición New York, NY, EE. UU.: McGraw Hill
- Shmaefsky, B.R. (2006). One Hot Demonstration: The Urban Heat Island Effect. *Journal of College Science Teaching*. 5(7): 52-54. Recuperado el 8 de mayo de 2007, de la base de datos Wilson Web.
- Stone, B. Jr., Rodger, M. O. (2001). Urban form and thermal efficiency: how the desing of cities influences the urban heat island effect. *Journal of the American Planning Association*. 67(2). 186-198. Recuperado el 8 de mayo de 2007, de la base de datos Wilson Web.
- Synnefa, A., Dandou, A., Santamouris, M., & Tombrou, M. (2008). On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 47(11). 2846-2856. Recuperado el 6 de abril de 2009, de la base de datos Wilson Web.
- U.S. Census Bureau. (2000). *Census 2000 Data for Puerto Rico*. Recuperto el 27 de abril de 2007, de [http:// www.census.gov/census2000/status/pr.html](http://www.census.gov/census2000/status/pr.html)
- U.S. Department of Energy. (2004). Federal Technology Alert. (DOE/EE-0298). Recuperado el 18 de abril de 2009 de <http://www.eere.energy.gov/femp/>
- U.S. Green Building Council. (2009). LEED Rating System. Recuperado el 7 de abril del 2009 de <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=222>
- Van Weverberg, K., De Ridder, K. & Van Rompaey, A. (2008). Modeling the Contribution of Brussels Heat Island to a Long Temperature Time Series. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(4) pp 976-90. Recuperado el 6 de abril del 2009, de la base de datos General Science Full Text.
- Velásquez, A. (2002). *Urban Heat Island Effect Analysis for San Juan Puerto Rico*. Disertación de maestría publicada. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Mayagüez, P.R.. Recuperado el 8 de mayo de 2007 de la base de datos Dissertation Full Text.
- Wells, H. (1972). *La modernización de Puerto Rico*, México: Editorial Universitaria, Págs. 169-196.

(2000). *Study shows benefits of urban Trees*. Journal of Environmental Health. 63 (4) p.40. Recuperado el 7 de abril de 2009 de la base de datos Applied Science Full Text.

(2007). Influence of Air-Conditioning Waste Heat on Air Temperature in Tokio. Bulletin of the American Meteorological Society. 88(2). Recuperado el 7 de abril de 2009 de la base de datos Applied Science Full Text.

## **TABLAS**



Tabla 1

*Área construida en el Municipio de Caguas*

Área Construida en el Municipio de Caguas		
Año	Cuerdas Añadidas	Acumuladas
1937	258.3	258.4
1951	429.9	688.3
1960	268.7	957.0
1965	907.1	1,864.1
1972	1265.7	3,129.8
1985	819.2	3,949.0
1993	1648.4	5,597.4
<b>Total</b>	<b>5,597.30</b>	<b>16,444.10</b>

(Fuente: Memorial POT, 1997)

Tabla 2.

*Comparación de alternativas*

<b>Criterio de evaluación</b>	
<b>Alternativas</b>	<b>Disminución en la temperatura de las superficie (°C)</b>
No intervención	0°C
Albedo	42°C
Forestación Urbana	18°C
Naturación urbana	45°C

Tabla 3

*Matriz de Estrategias de Implantación - Objetivo 1*

<b>Objetivo</b>	<b>Estrategias</b>	<b>Entidad Responsable</b>	<b>Costo Aproximado</b>	<b>Periodo requerido implantar estrategia</b>	<b>Resultado Esperado</b>
1. Identificar y establecer la condición de las estructuras con potencial para ser utilizadas en proyectos de naturación	1.1 Inventario de estructuras públicas con potencial de uso	Oficina de Planificación- Municipio Autónomo de Caguas	A ser determinado	30 días	Inventario completo de las estructuras con potencial de uso en proyectos de naturación
	1.2 Evaluación de las condiciones físicas o estructurales actuales (localización, accesos e infraestructura presente) de los edificios o superficies con potencial de uso	Secretaría de Infraestructura, Ornato y Conservación del Municipio Autónomo de Caguas	A ser determinado	90 días	Informe de evaluación de las condiciones estructurales

Tabla 4

*Matriz de Estrategias de Implantación - Objetivo 2*

Objetivos	Estrategias	Entidad Responsable	Costo Aproximado	Periodo requerido implantar estrategia	Resultado Esperado
2. Desarrollar un proyecto piloto en alguna de las edificaciones previamente evaluadas para demostrar los beneficios de la naturación en el CUT	2.1 Proyecto piloto de techo naturado en el Centro de Gobierno Municipal Ángel Rivera Rodríguez	Oficina de Asuntos Ambientales y Secretaría de Infraestructura, Ornato y Conservación del Municipio Autónomo de Caguas	\$ 100,000.00	180 días	Techo naturado experimental instalado

Tabla 5

*Matriz de Estrategias de Implantación - Objetivo 3*

Objetivo	Estrategias	Entidad Responsable	Costo Aproximado	Periodo requerido implantar estrategia	Resultado Esperado
3. Desarrollar política pública ambiental dirigida a la implantación de tecnologías de reducción de consumo energético y estrategias para combatir el calentamiento global y el cambio climático, entre ellas la naturación urbana.	3.1 Promover la creación de ordenanza municipal dirigida hacia la promoción de alternativas que contribuyan a minimizar los efectos de la isla urbana de calor	Municipio Autónomo de Caguas-Oficina del Alcalde, Legislatura Municipal	Aportación en especie ("in kind")	90 días	Ordenanza municipal aprobada
	3.2 Promover la elaboración y aprobación de proyecto de ley ante la Asamblea Legislativa	Asamblea Legislativa	Aportación en especie ("in kind")	A ser determinado	Ley sobre implantación de naturación urbana aprobada
	3.3 Promover la elaboración y aprobación de ordenes administrativas en agencias estatales	Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, la Administración de Asuntos Energéticos, la Secretaría de Desarrollo Económico y Comercio; la Autoridad de Energía Eléctrica; la Junta de Planificación y la Administración de Reglamentos y Permisos	Aportación en especie ("in kind")	A ser determinado	Ordenes administrativas implantadas
	3.4 Promover la integración de organizaciones profesionales (Colegio de Ingenieros y Agrimensores, Colegio de Agrónomos, Colegio de Arquitectos y Arquitectos Paisajistas, Sociedad Puertorriqueña de Planificación) en la promoción de la naturación urbana	Municipio Autónomo de Caguas, Agencias Estatales y Asamblea Legislativa	Aportación en especie ("in kind")	A ser determinado	Instituciones y/u organizaciones profesionales sirvan como entes educadores a los profesionales que representan y a la comunidad en general, con relación a los beneficios de establecer alternativas ecológicas, como la naturación urbana.
	3.5 Promover la integración de dueños de edificios existentes y desarrolladores para que adopten la naturación urbana en sus proyectos.	Municipio Autónomo de Caguas	Aportación en especie ("in kind")	A ser determinado	Incentivos económicos, subsidios y/o reglamentación para fomentar proyectos privados de naturación urbana
	3.6 Adoptar programa LEED para nuevas construcciones y existentes en el CUT	Municipio Autónomo de Caguas	Aportación en especie ("in kind")	A ser determinado	Adopción del Programa LEED

Tabla 6

*Matriz de Estrategias de Implantación - Objetivo 4*

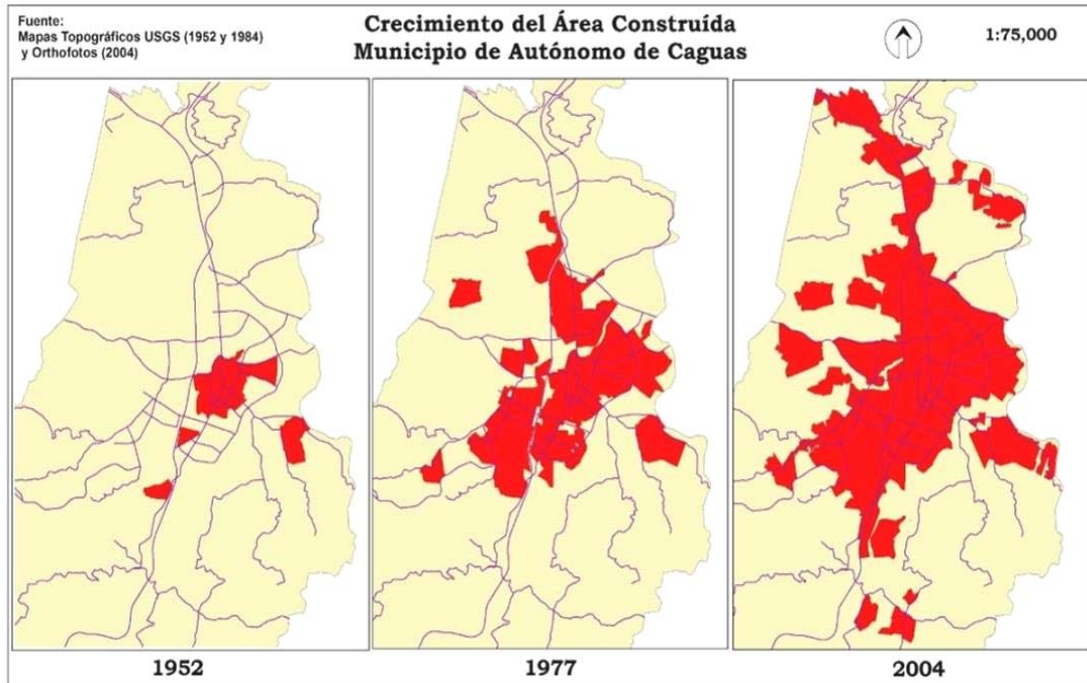
Objetivo	Estrategias	Entidad Responsable	Costo Aproximado	Periodo requerido implantar estrategia	Resultado Esperado
4. Desarrollar un programa de concienciación y educación pública sobre los diversos beneficios que provee la naturación urbana como calidad de vida, recurso de ahorro de energía y creación de espacios verdes dentro de CUT	4.1 Desarrollo de talleres comunitarios sobre naturación urbana	Municipio Autónomo de Caguas - Oficina de Asuntos Ambientales, Departamento de Autogestión Comunitaria	Aportación en especie ("in kind")	90 días	Talleres educativos sobre naturación en diferentes sectores del CUT
	4.2 Desarrollo de talleres educativos sobre naturación urbana en las escuelas públicas y privadas que ubican dentro del límite territorial del CUT	Municipio Autónomo de Caguas, Oficina de Asuntos Ambientales	Aportación en especie ("in kind")	90 días	Revisión del currículo en Ciencias y proyectos pilotos de naturación para investigación científica escolar.
	4.3 Desarrollo de nuevas áreas de esparcimiento y recreación comunitaria mediante proyectos de naturación	Oficina de Planificación, Secretaria de Infraestructura, Ornato y Conservación del Municipio Autónomo de Caguas	Aportación en especie ("in kind")	A ser determinado	Creación de espacios verdes que puedan establecer corredores a través del CUT
	4.4 Desarrollo de proyectos de autogestión comunitaria dirigidos a la utilización de los techos naturados como espacio de siembra agrícola empresarial.	Departamento de Autogestión Comunitaria, Secretaria de Desarrollo Económico Sustentable y Oficina de Asuntos Ambientales del Municipio Autónomo de Caguas	Aportación en especie ("in kind")	A ser determinado	Implantación de proyectos de agricultura urbana

## **FIGURAS**



Figura 1. Área de estudio (Foto aérea 2007 Centro Urbano Tradicional)





*Figura 2.* Mapa Crecimiento del área construida Municipio Autónomo de Caguas



*Figura 3.* Foto aérea Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 1937.



*Figura 4.* Foto aérea Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 1951.



*Figura 5.* Foto aérea Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 1967.



*Figura 6.* Foto aérea Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 1991.





*Figura 7.* Foto aérea Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 2006.



*Figura 8.* Foto aérea Centro Urbano Tradicional Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 1937.



*Figura 9.* Foto aérea Centro Urbano Tradicional Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 1951.





*Figura 10.* Foto aérea Centro Urbano Tradicional Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 1967.



*Figura 11.* Foto aérea Centro Urbano Tradicional Municipio Autónomo de Caguas serie histórica 2006.



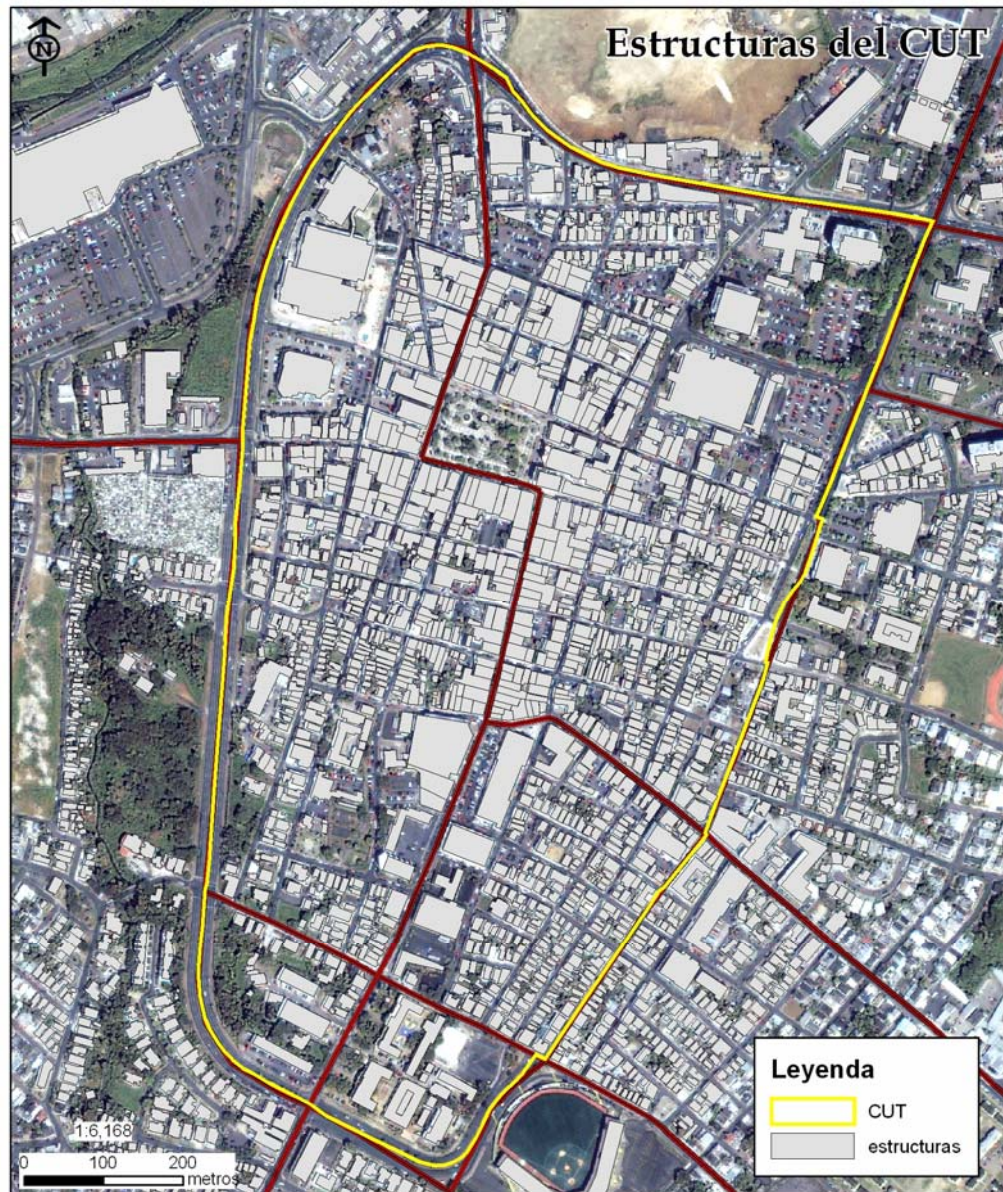


Figura 12. Mapa de estructuras dentro del Centro Urbano Tradicional



Figura 13. Mapa de uso de suelo del Centro Urbano Tradicional



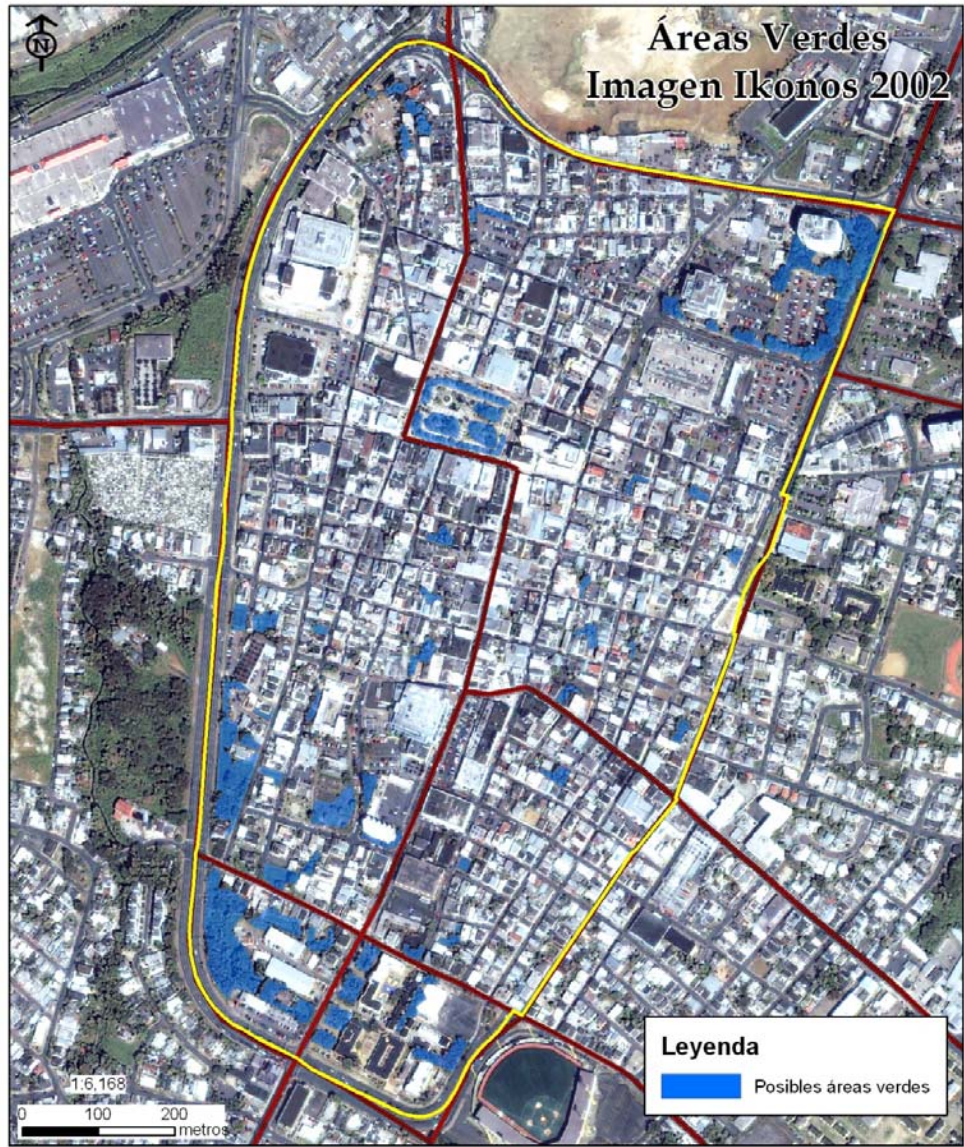


Figura 14. Imagen satélite Ikonos 2002, Áreas verdes



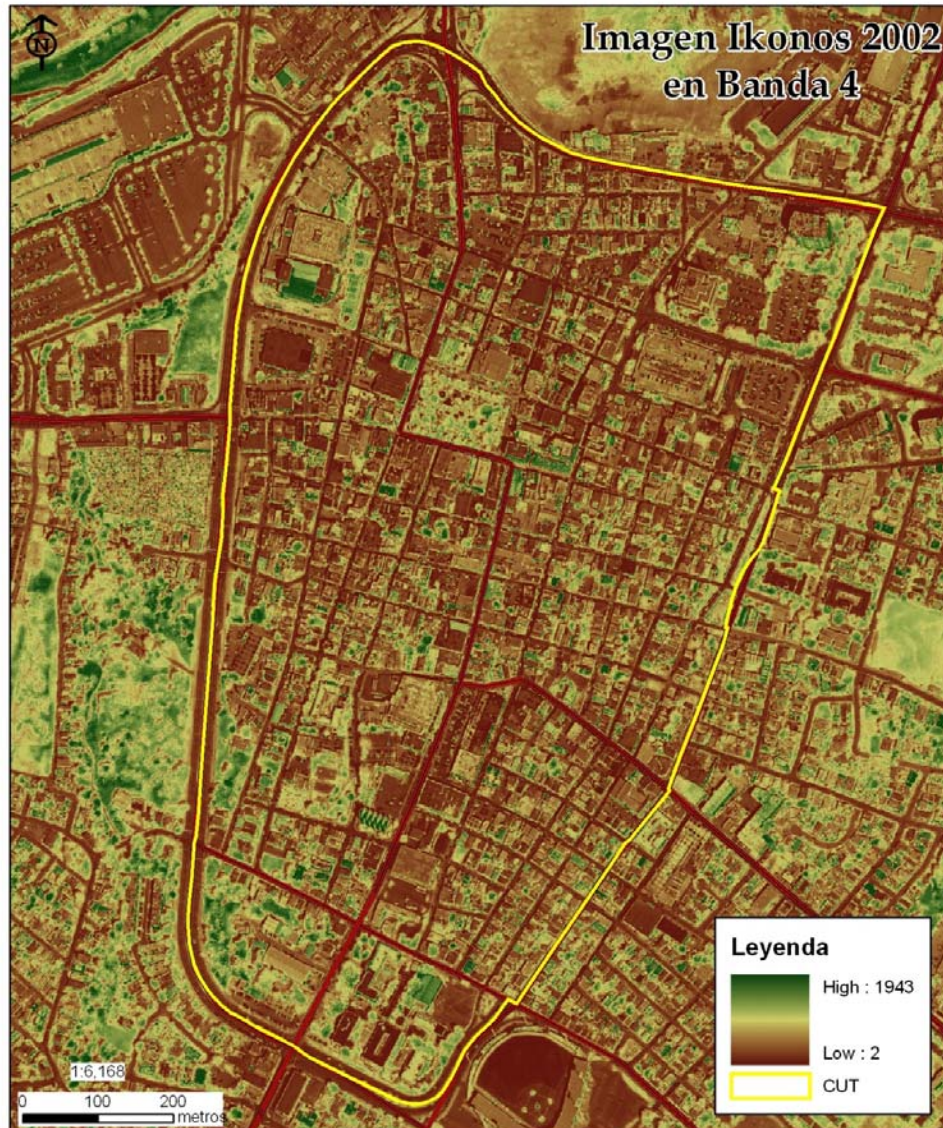


Figura 15. Imagen satélite Ikonos 2002, Banda 4.

## **APÉNDICES**

**APENDICE 1**

**FOTOS DIGITALES DE LA CONDICIÓN ACTUAL  
DEL CENTRO URBANO TRACIONAL  
DEL MUNICIPIO AUTÓNOMO DE CAGUAS**





*Foto1.* Calle Padilla El Caribe



*Foto2.* Vista parcial del CUT calle Padial esquina Calle José Celis Aguilera

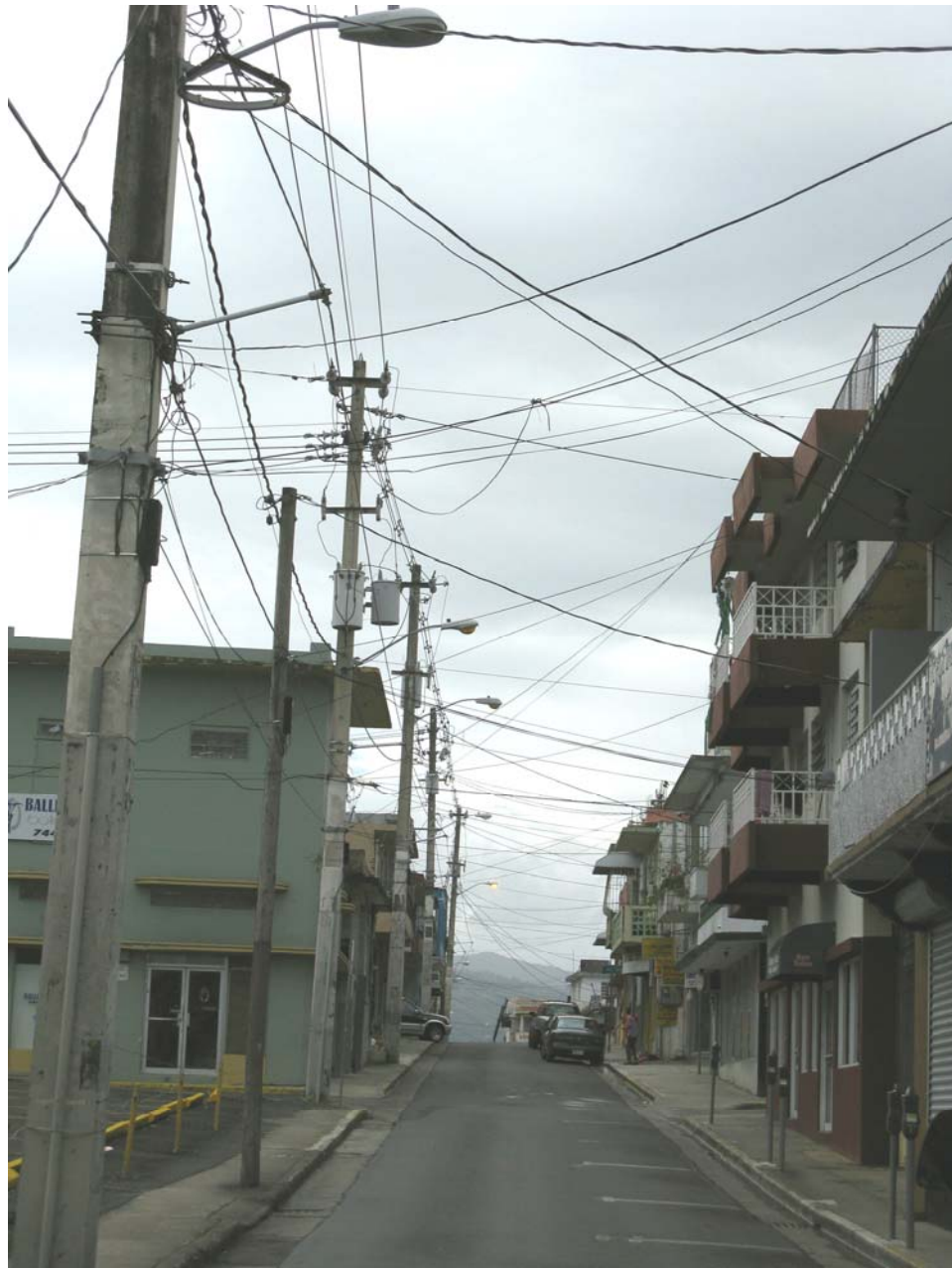


*Foto3.* Lote utilizado como estacionamiento



*Foto 4. Lote utilizado como estacionamiento*





*Foto5.* Calle Muñoz Rivera

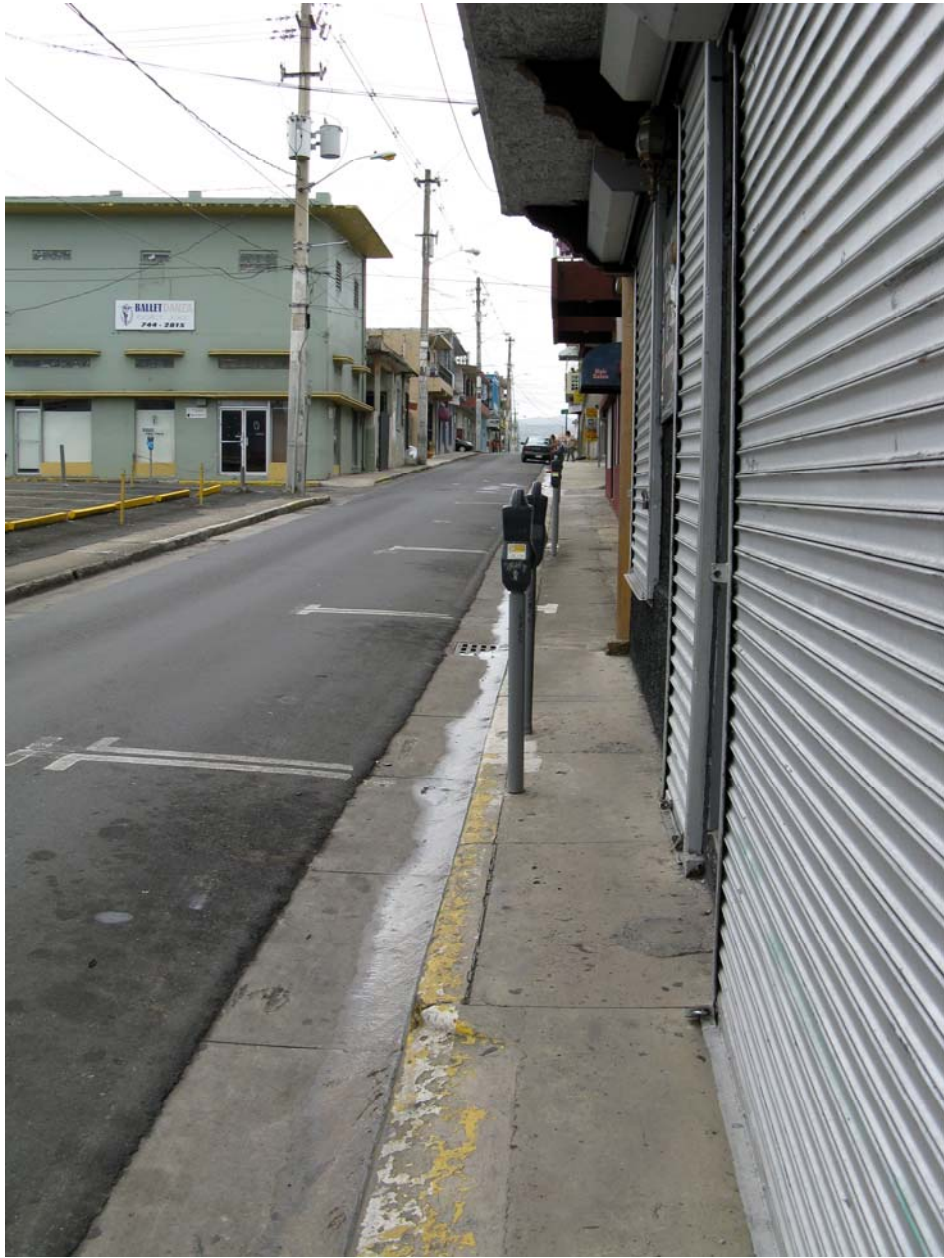


*Foto 6. Calle Vizcarrondo*



*Foto7. Calle Jiménez Sicardó*





*Foto 8. Aceras calle Muñoz Rivera*



## **APÉNDICE 2**

### **POSIBLE DISEÑO PROYECTO TECHO NATURADO EXPERIMENTAL**

