



Escuela Técnica Superior de
Ingeniería de Edificación

ISLAS TERMICAS URBANAS – ORIGEN EFECTOS Y RESPUESTAS

Aplicación a Calle Lumbreras de Sevilla

JOSE ALEXANDER RIAÑO PIRAJAN

Bajo la dirección de Dr. Arquitecto Francisco Javier Guevara García

Departamento: Construcciones arquitectónicas 2

Master Universitario en Gestión Integral en Edificación

Junio, 2022

Agradecimientos

A DIOS quien hizo posible cumplir un propósito personal, A mi esposa e hijos por su incondicional apoyo, a mi tutor Francisco J, Guevara de quien aprendí académicamente y con su buena actitud me aporoto de forma positiva como persona

DÉCLARACION

1. Este trabajo es fruto de un trabajo personal y constituye un documento original.
2. Tengo conocimiento que pretender ser autor de una obra escrita por otra persona es sancionado por la ley.
3. Nadie más que yo tiene derecho a reclamar esta obra en todo o en parte
4. Les escritos en los que me baso en esta tesis están sistemáticamente referenciados de acuerdo con un sistema de referencia bibliográfico claro y preciso.

NOMBRE: José Alexander

APELLIDO: Riaño Pirajan

FECHA: 29 de junio de 2022

Índice

Capítulo I: Introducción	1
1.1. Identificación de Consecuencias Generadas por las Islas Térmicas	2
1.2. Crecimiento Acelerado de la Población Mundial Habitando las Ciudades.....	3
1.3. Éxodo Rural y Pobreza Energética	4
1.4. Materiales Ajenos al Contexto Climático.....	5
1.5. Geometría Urbana – Cañón Urbano.....	6
1.6. Aumento del Consumo de Energía	7
1.7. Incremento de las Emisiones de Gases Efecto Invernadero / Aire Contaminado.....	8
1.8. Afectación sobre los Sistemas Acuáticos.....	9
1.9. Falta de Confort y Riesgos para la Salud de las Personas.....	9
Capítulo II: Justificación del Tema.....	12
2.1. Contextualización General.....	12
2.2. Aplicabilidad “Calle Lumbreras Sevilla – España”	13
Capítulo III: Objetivos.....	15
3.1. Objetivo General.....	15
3.2. Objetivos Específicos	15
Capítulo IV: Estado de la Cuestión	16
4.1. Contextualización Climática de la Ciudad de Sevilla- España	16
4.1.1. Temperatura Promedio de Sevilla – España	17
4.1.2. Temporada de Lluvia.....	19
4.1.3. Días de Sol	19
4.1.4. Humedad.....	21
4.1.5. Análisis de Vientos	21
4.1.6. Temperatura del Agua.....	22
4.1.7. Energía Solar.....	23
4.2. Contextualización de la Calle Lumbreras.....	24
4.2.1. Monitoreo y Caracterización de las Islas Térmicas	26
4.2.2. Estrategias y Tecnologías para Combatir las Islas Térmicas.....	27
Capítulo V: Metodología	30
5.1. Etapa 1	30
5.2. Etapa 2	30
5.3. Etapa 3	30
5.4. Etapa 4	31

5.4.1. Espacio Publico.....	31
5.4.2. Edificación	31
5.5. Etapa 5	32
Capítulo VI: Cuerpo del Trabajo	33
6.1. Análisis	33
6.1.1. Como se de Origen a una Isla Térmica.....	33
6.1.2. Identificación de Causas Controlables y No Controlables.....	34
6.1.3. Consecuencias / Impactos más Relevantes de los Efectos de las Islas Térmicas.....	35
6.2. Estudio y Propuestas	36
6.2.1. Materiales a Utilizar en Edificaciones y Espacio Público Urbano.....	36
6.3. Espacio Público Urbano – Estrategias contra las Islas Térmicas.....	37
6.3.1. Problemas Ciudades Impermeables.....	37
6.3.2. Estructuras Verdes para la Ciudad	41
6.3.3. Solerías y Pavimentos Permeables.....	43
6.3.4. Enfriamiento adiabático	48
6.3.5. Toldos	54
6.3.6. Equipamiento – Mobiliario urbano	57
6.4. Edificación – Estrategias contra las Islas Térmicas	63
6.4.1. Características Importantes para Definir los Materiales	63
6.4.2. Impactos y Efectos de la Producción Materiales	65
6.4.3. Alternativas de materiales apropiadas contra las IT.....	66
6.4.4. Análisis Comparativo entre Color y Envejecimiento	68
6.4.5. Techos Verdes y Jardines Verticales.....	70
6.5. Normalización para Ciudades Sostenibles Ambientalmente y Eficientes Energéticamente.....	77
6.5.1. Diseños y Adopción de Normas Estratégicas de Obligatorio Cumplimiento	79
6.5.2. Planificación de Ciudades con Estructuras Verdes	79
6.5.3. Impuestos Verdes y/o Medio Ambientales.....	84
6.5.4. Requerimientos Precontractuales y Contractuales para el Escenario Publico	86
Conclusiones	89
Referencias Bibliográficas	93

Índice de Figuras

Figura 1 Representación gráfica del perfil térmico de la ICU sobre perfil urbano	1
Figura 2 Evolución de la Población Mundial	3
Figura 3 Pobreza Energética en Europa	4
Figura 4 El trazado de las calles como herramienta que afecta el comportamiento térmico de estas .	6
Figura 5 Imagen aérea de la Junta Municipal de Moratalaz.....	6
Figura 6 Cañón urbano en la calle 42 , Midtown Manhattan , Ciudad de Nueva York.....	7
Figura 7 Emisiones Mundiales de CO2 de 1995 a 2020	8
Figura 8 Calle Lumbreras – Sevilla España. Enero de 2022.....	13
Figura 9 Calle Lumbreras – Sevilla España. Enero de 2022.....	13
Figura 10 Obras en la Calle Lumbreras. Sevilla – España	14
Figura 11 Calle Lumbreras – Sevilla España. Enero de 2022.....	16
Figura 12 Calle Lumbreras – Sevilla España. Enero de 2022.....	16
Figura 13 Clima de la Ciudad de Sevilla – España	17
Figura 14 Temperatura Máxima y Mínima de Sevilla- España.....	17
Figura 15 Temperatura Promedio por hora en Sevilla - España	18
Figura 16 Probabilidad de precipitación diaria en Sevilla - España	18
Figura 17 Promedio Mensual de Lluvia en Sevilla - España	19
Figura 18 Horas de luz natural y crepúsculo en Sevilla - España	20
Figura 19 Salida y puesta del sol – crepúsculo y horario de verano en Sevilla - España	20
Figura 20 Niveles de comodidad en el verano en Sevilla - España	21
Figura 21 Velocidad promedio del viento en el verano en Sevilla - España	22
Figura 22 Temperatura promedio del agua durante el verano en Sevilla - España.....	23
Figura 23 Energía solar de onda incidente diaria promedio en el verano en Sevilla - España	23
Figura 24 Calle Lumbreras – Sevilla España, enero de 2022.....	25
Figura 25 Efectos de la urbanización sobre el clima a diferentes escalas	33
Figura 26 Efectos de la impermeabilización del suelo sobre la escorrentía y la infiltración	37
Figura 27 Problema de las inundaciones en la Ciudad de Barranquilla – Colombia.....	38
Figura 28 Escenas como esta de las inundaciones en Altenburg en el mes de junio 2016 podrían volverse más comunes en el futuro.....	39
Figura 29 Año 1.398 Canalización del Rio San francisco, en el centro de Bogotá, D. C Colombia.....	39

Figura 30 Año 1.398 Canalización del Rio San francisco, en el centro de Bogotá, D. C Colombia.....	39
Figura 31 Mapa de la estructura ecológica de Bogotá, D. C	40
Figura 32 Imagen de la Calle 26 de la ciudad de Bogotá D. C - Colombia.....	41
Figura 33 Franja de Pasto y Trinchera.....	42
Figura 34 Trinchera	42
Figura 35 Canales Vegetados	43
Figura 36 Estructura del pavimento permeable de infiltración total	44
Figura 37 Estructura del pavimento permeable de infiltración parcial.	44
Figura 38 Estructura del pavimento permeable de infiltración nula.....	45
Figura 39 Hormigón Drenante	46
Figura 40 Plan Distrital de Seguridad Vial 2017-2026.....	48
Figura 41 Torre de refrigeración adiabática en Bambú – sistema alternativo sin electricidad – Ciudad de Vietnam.....	49
Figura 42 Torre de refrigeración adiabática en Bambú – sistema alternativo sin electricidad – Ciudad de Vietnam.....	50
Figura 43 Estadística actual del porcentaje de agua dulce en el mundo.....	51
Figura 44 Sistemas de refrigeración adiabático para espacios abiertos.....	53
Figura 45 Toldos utilizados en espacio público.....	55
Figura 46 Doblhoffpark, Baden, Baja Austria / Invernadero Barroco Restaurado – Jardín de rosas más grande de Austria	58
Figura 47 Lotusland, Santa Bárbara, California Huerto con limoneros, naranjas, limas, kumquat, toronjas y guayabas	59
Figura 48 Imágenes de las peatonales de Córdoba con sus pérgolas.....	59
Imagen 49 Sevilla - Pérgola en el Muelle Nueva York.....	59
Figura 50 La Plaça Mallorca de Inca será un gran espacio sombreado con pérgolas	60
Figura 51 Planteamiento de recolección de aguas lluvias	61
Figura 52 Subbase de estructuras de plástico de Permavoid Limited (2008).....	62
Figura 53 Codificación, denominación, características formales, temperatura superficial (T_s °C) e Índice de reflectancia solar (SRI%) de materiales evaluados.....	67
Figura 54 Distribución normal de materiales horizontales -pavimentos y tejas- para la condición inicial (SRI1) y envejecida (SRI3) según color.....	67
Figura 55 Distribución normal de materiales verticales -revestimientos texturados y pinturas látex- para la condición inicial (SRI1) y envejecida (SRI3) según color.	68
Figura 56 Pueblos blancos de Andalucía España – Málaga.....	69

Figura 57 Clima de una cubierta según color “negro y blanco”	69
Figura 58 Jardines en azoteas. Una forma de combatir la contaminación y ahorrar energía	71
Figura 59 Casa tradicional de turba en Islandia.....	71
Figura 60 Casa tradicional en los asentamientos del nuevo mundo.	72
Figura 61 Patio circular en Tulou, viviendas multifamiliares arquitectura excepcional en tierra en Djenné, Mali (desde milenio III a. C. Patrimonio de la Humanidad UNESCO desde 1988).....	76
Figura 62 Secuencias de patios en conjuntos habitacionales, tradicionales construidas entre los siglos XV y XX en la provincia de Fujian, China (Patrimonio de la Humanidad UNESCO desde 2008). Fotografía: UNESCO. Fotografía: Song Xiang Lin	76
Figura 63 El patio elemento que ayuda a conformar condiciones térmicas	77
Figura 64 Anarquía y desarrollo a través de la planificación de las Ciudades	80
Figura 65 Dos personas se protegen con máscaras de la contaminación en Pekín. Archivo EFE/ Wu Hong.....	80
Figura 66 Ecobarrio Vauban en Friburgo, Alemania	81
Figura 67 Proyectos de azoteas verdes.....	82
Figura 68 Waterplein Square Benthemplein, Poises Bajos.....	82
Figura 69 Proyecto Aquaval. Gestión eficiente del agua lluvia.....	83

Resumen

El fenómeno denominado Isla Térmica (IT) se reconoce cuando la temperatura, bien sea por frío o por calor, de un segmento de ciudad es mayor que el de la periferia inmediata o el de su contexto rural cercano. Este evento ocurre por factores ya reconocidos como por ejemplo el hecho de impermeabilizar el suelo urbano con materiales como la piedra, el asfalto y hormigón o utilizar en las edificaciones materiales de fachada y cubierta con colores oscuros que absorben y retienen el calor; adicionalmente, a nivel de proyectos urbanos las intervenciones no planificadas que eliminan las zonas verdes y los árboles, ayudan en gran medida a la configuración de las islas térmicas. El retiro de estos elementos naturales ha comprometido a gran escala el confort climático de las ciudades debido a que, dependiendo de la especie, la temperatura bajo sus copas puede ser menor entre 2º y 6 ºC.

En el presente trabajo, se explica y define el significado de isla Térmica, se abordarán ejemplos de dos ciudades que están afectadas por este fenómeno, se expondrán alternativas que ayuden a mitigar y/o prevenir los efectos y ocurrencia de este para finalmente dejar claro que las estrategias para la lucha contra las IT y sus efectos debe ser un esfuerzo aunado entre el sector público y privado, que requiere ser estructurado por una normativa urbana de carácter obligatoria.

Con las propuestas recogidas en el presente trabajo, combinadas entre sí, se puede lograr mantener una temperatura urbana entre 12º y 30ºC durante todo el año. Estas propuestas y/o ejemplos ya materializados se tomarán con fundamento en los resultados de su aplicación que se han obtenido en algunos países.

Palabras claves: Albedo. Climatización Urbana. Eficiencia Energética. Isla de Calor. Isla Térmica.

Abstract

The phenomenon known as Thermal Island (TI) is recognized when the temperature, either due to cold or heat, of a segment of a city is higher than that of the immediate periphery or its nearby rural context. This event occurs due to already recognized factors such as the fact of waterproofing the urban soil with materials such as stone, asphalt and concrete or using in building's facade and roof materials with dark colors that absorb and retain heat; additionally, at the level of urban projects, unplanned interventions that eliminate green areas and trees, help greatly to the configuration of thermal islands. The removal of these natural elements has compromised the climatic comfort of cities on a large scale because, depending on the species, the temperature under their canopies can be lower by 2 to 6 degrees¹⁰.

Additionally, there are factors that are inherent to the current rhythm of human life and contribute positively to the consolidation of thermal islands, these are associated to the daily routines of people and in general to the dynamics of modern society, which demands large displacements to comply with issues associated with work, education, commerce and housing. These activities can be affected by tools such as urban planning, which is why, in this document, the importance of involving in urban regulations elements or criteria that regulate human interventions on the land will be made explicit.

In this paper, the meaning of thermal island is explained and defined, examples of two cities that are affected by this phenomenon will be discussed, alternatives that help to mitigate and/or prevent the effects and occurrence of this phenomenon will be presented, and finally it will be made clear that the strategies for the fight against TI and its effects must be a joint effort between the public and private sectors, which needs to be structured by mandatory urban regulations.

Key words: Albedo. Urban Air Conditioning. Energy Efficiency. Heat Island. Thermal Island.

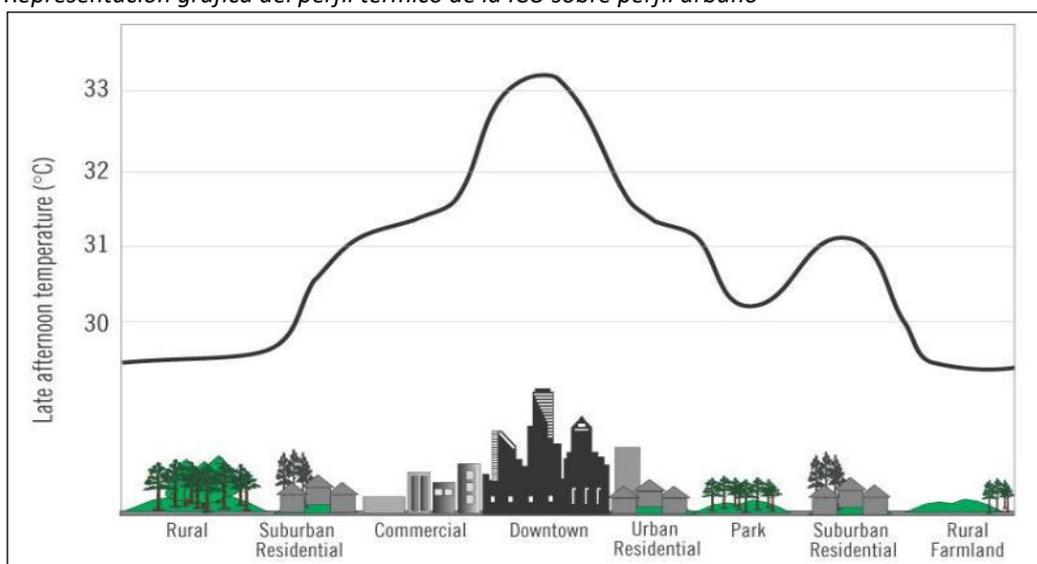
Capítulo I: Introducción

Gordon Manley en la década de los 50, acuñó el término “isla de calor urbana” para denominar al contraste térmico entre lo urbano y lo rural (Manley, 1958) (Moreno García & Serra Pardo, 2016).

El fenómeno denominado Isla Térmica (IT) se reconoce cuando la temperatura de un segmento de ciudad, bien sea por frío o por calor, es mayor que el de la periferia inmediata o el de su contexto rural cercano. Son múltiples las causas generadoras de este fenómeno, las cuales en adelante se identificarán y desarrollarán, sin embargo, es importante mencionar que algunas de estas son imputables al actuar el hombre sobre su contexto (por ejemplo, los procesos de urbanización descontrolada y no alineada con las necesidades medioambientales y bioclimáticas), otras causas que históricamente se han venido arrastrando como por ejemplo la falta de exploración de nuevos materiales ambiental y climáticamente responsables con su contexto geográfico inmediato y otras que se derivan de la búsqueda del ser humano por encontrar en los espacios públicos y privados zonas de confort que les permita utilizar estos como áreas que posibilitan la permanencia y apropiación de estos. Esta última circunstancia es la que conlleva al uso de equipos de calefacción y refrigeración que generan cantidades importantes de emisiones contaminantes, incrementando de esta manera los impactos adversos en el medio ambiente y fortaleciendo las causas origen de las que en adelante se denominan Islas Térmicas.

Figura 1

Representación gráfica del perfil térmico de la ICU sobre perfil urbano



Nota. (Arrau & Pena, 2010)

El aumento de las temperaturas asociadas a las islas térmicas no es uniforme en todo el conjunto urbano. Existen variaciones térmicas dentro de la propia ciudad, generalmente influidas por el tipo de uso, edificación, y la presencia o no de masas vegetales.

1.1. Identificación de Consecuencias Generadas por las Islas Térmicas

Son diversas y reconocidas las consecuencias de las islas térmicas, sin embargo, las más importantes impactan directamente en la salud de las personas, especialmente a la población de niños y ancianos, a lo que se suma el incremento del consumo energético de las edificaciones que están dentro del perímetro de la isla térmica y la falta de confort en el espacio público, cambio y detrimento de la economía del sector afectado donde se presenta el fenómeno y en la ciudad; que trae consigo limitaciones frente a la calidad de vida del residente y/o ciudadano del espacio urbano, esencialmente de las calles, plazas o plazoletas y parques, así como la de los residentes de las edificaciones que están situadas dentro del área afectada.

Cuando un espacio urbano se ve afectado por el incremento puntual de temperatura derivado de la materialización del fenómeno de isla térmica, los espacios interiores de las viviendas, los edificios de oficinas e industria de este sector de ciudad, se ven condicionados a incrementar por mayor tiempo los sistemas de aire acondicionado, esto para buscar obtener el confort térmico dentro de estos espacios.

A los factores antes mencionados se suma el crecimiento acelerado de las ciudades, el ritmo vertiginoso con el que nuevas tecnologías incursionan en la rutina diaria del ser humano y en general todos los eventos que hoy constituyen el concepto de modernidad, así como la migración de población y economías rurales al contexto urbano de forma descontrolada, el uso desmedido de medios de transporte altamente contaminantes y los costos que implican para la sociedad migrar a tecnologías que se integren y conserven o mitiguen o no impacten negativamente el medio ambiente.

Es prioritario que los proyectos de arquitectura e ingeniería incluyan criterios de sostenibilidad e inclusión de aspectos ambientales que finalmente van a determinar la respuesta de estos a una ciudad y sociedad moderna cambiante que ha venido observando cómo se ha deteriorado nuestro ambiente físico por acciones propias del ser humano; cuyos impactos negativos son evidentes y se pueden identificar en fenómenos como las Islas Térmicas, las cuales que hacen parte de la problemática mundial del cambio climático y serán el tema central a desarrollar en el presente trabajo.

Estrategias para atemperar la ciudad y las edificaciones, así como argumentos por los cuales se deben incluir en el presupuesto y programación de los proyectos, los recursos necesarios para ejecutar actividades y componentes que respondan a las necesidades funcionales asociadas al cambio climático y específicamente al efecto Isla Térmica; serán temas para desarrollar en adelante. Así

mismo, se expondrán posibles beneficios al aunar esfuerzos entre la administración pública y la inversión privada, de lo que se espera de lugar a nuevas acciones de orden preventivo que mitiguen los efectos negativos en el medio ambiente.

En función de lo anterior, se estudiarán algunos materiales utilizados en proyectos como el pavimento flexible (asfalto), rígido (Hormigones), algunas tipologías de fachadas de construcciones construidas con materiales que por su color o composición física absorben y retienen calor; todo lo cual se suma como causa al incremento de temperatura en algunos segmentos urbanos. Quedarán plasmados conceptos inapropiados como el de ciudad impermeable, densificación urbana, entre otros, así como los efectos de estos en el medio ambiente para luego presentar al lector conclusiones que le muestren un panorama claro del fenómeno Isla Térmica y la transición obligatoria, a nivel mundial, que deben proyectar las ciudades hacia los conceptos de sostenibilidad y las buenas prácticas a que haya lugar.

«La ciudad bioclimática, no es exclusivamente, la suma de edificios que incorporen técnicas de acondicionamiento pasivo. La nueva escala, implica otro tipo de interacciones y problemática que es necesario abordar con una perspectiva sistémica. En este sentido, son muy oportunos los criterios bioclimáticos para el planeamiento general, al objeto de intentar cerrar los ciclos ecológicos de materia y energía, reducir las huellas ecológicas de los asentamientos, minimizar los impactos negativos sobre el aire, el agua y el suelo y además usar eficientemente las energías disponibles. En definitiva, se trata de avanzar en el camino de la sostenibilidad y arquitectura de nuestras ciudades.» (Higuera, et al., 2010).

1.2. Crecimiento Acelerado de la Población Mundial Habitando las Ciudades

Figura 2
Evolución de la Población Mundial



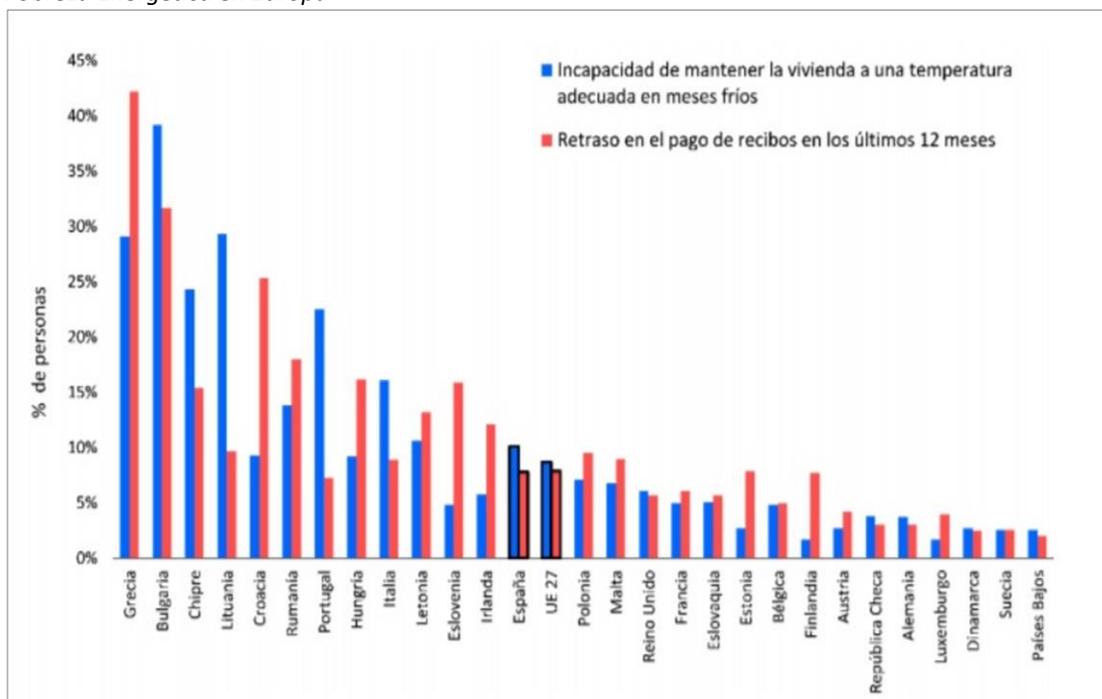
Nota. (ONU)

La problemática mundial que por efectos del cambio climático enfrenta el mundo con los fenómenos denominados Islas Térmicas afectan las condiciones de habitabilidad y confort del espacio público y de las edificaciones, haciendo que la ciudad, en algunos sectores sea más cálida que en áreas rurales, (esto más en horas de la noche que en el día), deterioran la calidad del aire y traen efectos no solo en detrimento del confort sino también y principalmente en la salud de las personas. Una de las causas generadoras de este fenómeno es el incremento acelerado de la población mundial cuyos datos estadísticos reportan que hacia finales de 2020 había 7.76 MM de personas en la tierra con una tasa de crecimiento estimada en el 1.02%. (Datosmundial.com)

El crecimiento de la población mundial trae inmerso la migración de poblaciones rurales a la ciudad, generando mayor demanda en cuanto a vivienda, comercio y crecimiento de la industria y construcción de infraestructura para responder a temas de saneamiento básico (redes de abastecimiento y alcantarillado) movilidad interna, generación de empleo y medios de transporte para lograr la comunicación entre ciudades.

1.3. Éxodo Rural y Pobreza Energética

Figura 3
Pobreza Energética en Europa



Nota. (Inarquia)

Del éxodo rural mundial y las respuestas de las ciudades a esta circunstancia, se identifican, entre otras, consecuencias como el incremento de construcciones para suplir las necesidades de vivienda de la población migrante, la densificación del suelo urbano con edificios que se construyen en altura aumentando la densidad de población por metro cuadrado, se incrementa la demanda de

nuevos trazados y construcción de redes viales internas y externas con las que se incrementa la cantidad de medios de transporte con alto grado de contaminación (vehículos de combustible fósil); Lo anterior, trae entre otros efectos, la pérdida y/o reemplazo de las zonas verdes y la tala de árboles por suelos impermeables hechos con asfalto, hormigón y adoquines (hechos en hormigón, granito y, en el caso de algunos países como Colombia, de arcilla) dando lugar al descenso o pérdida de la evotranspiración (*Cantidad de agua del suelo que vuelve a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas. Para que esto suceda se deben combinar dos procesos 1) Evaporación desde el suelo y desde la superficie cubierta por las plantas, 2) Transpiración desde las hojas de las plantas.*) Este proceso interrumpe el ciclo hídrico normal debido a que los acabados de las áreas urbanas más representativas como son las vías, plazoletas, andenes, esencialmente son impermeables, interrumpiendo, contaminando el agua lluvia e incrementando el riesgo de inundación.

El crecimiento de la ciudad y por ende de las edificaciones que responden a las necesidades de la población migrante, especialmente de vivienda, en condiciones económicas de vulnerabilidad; evidencian que en este escenario el uso de sistemas de refrigeración pasiva es limitado y por el contrario, en algunos casos estas familias carecen de equipos de refrigeración o los que adquieren o tienen en algunos casos son altamente generadores de gases contaminantes, que ayudan a incrementar y potencializar la presencia de las islas térmicas.

La combinación de la pobreza energética y la falta de disponibilidad de sistemas pasivos hace que estos hogares sean más vulnerables a la UHI en ciudades densamente pobladas. Esta situación lleva a estas clases de población a gastar el 40% de sus ingresos en gastos de explotación, superando en un 30% la media de la población europea. (Synnefa, Santamouris, & Akbari, 2007)

1.4. Materiales Ajenos al Contexto Climático

Se han construido edificaciones con materiales que no tienen en cuenta sus condiciones climáticas, lo que hace que estos edificios sean elementos urbanos de alto consumo energético y generadores de grandes cantidades de emisiones de GEI (Gas efecto invernadero); convirtiéndolos en elementos que absorben, retienen el calor y modifican las condiciones climáticas propias y de su contexto inmediato. Las causas anteriores, contribuyen a dar origen al fenómeno llamado Isla Térmica IT. Estas se clasifican en tres tipos: a) isla de calor de dosel; b) isla de calor de borde; c) e isla de calor de superficie. Es importante aclarar que el concepto que se va a desarrollar es el denominado Isla térmica ya que este recoge las condiciones de verano como las de invierno.

1.5. Geometría Urbana – Cañón Urbano

Otra de las causas generadoras de las islas térmicas, corresponde a la geometría urbana que se implementa en la planificación de ciudades, “que incluye la geometría del diseño de calles, orientación, ejes de calles y altura de los edificios, factor de vista y escala de barriadas locales. Todos estos factores afectan variables ambientales como el flujo de radiación solar y dirección y velocidad de vientos[6]. Los patrones de sombras e intercambio de flujos de calor de las edificaciones son alterados por la geometría urbana modificando las variables ambientales mencionadas”. (Candanedo, 2020)

Figura 4

El trazado de las calles como herramienta que afecta el comportamiento térmico de estas



Nota. Ponencias / Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid.

Figura 5

Imagen aérea de la Junta Municipal de Moratalaz.



Nota. Google Earth

Bajo el mismo concepto anterior, se da origen al denominado Cañón urbano, que consiste en calles que tienen en sus dos costados como paramentos edificios altos.

Figura 6

Cañón urbano en la calle 42 , Midtown Manhattan , Ciudad de Nueva York



Nota. (Wikipedia)

De este fenómeno climático denominado Islas Térmicas o también Islas de Calor Urbano, es importante entender algunos efectos directos ya demostrados por la ciencia y que, entre otros, corresponden a:

1.6. Aumento del Consumo de Energía

El incremento de la temperatura en espacios urbanos genera mayor demanda en uso de sistemas de refrigeración del contexto construido inmediato. *“Los estudios revelan que la demanda de electricidad para aire acondicionado o refrigeración aumenta en un rango de 1.5 a 2 por ciento por cada 1°F (0.6°C) de aumento en la temperatura del aire (rangos de 68 a 77°F (20 a 25°C), lo que implica que la comunidad requiere alrededor de 5 a 10 por ciento más de demanda de electricidad para satisfacer el efecto del calor urbano”*. Lo anterior afecta la economía del usuario debido al uso exacerbado de energía para refrigeración, así como incrementa la contaminación por efectos de emisiones de CO₂ de equipos para el fin mencionado, poco eficientes u obsoletos. Esta es una razón que debe motivar a impulsar el uso de energías renovables como, por ejemplo: sistemas fotovoltaicos, la solar térmica y combustibles como la biomasa.

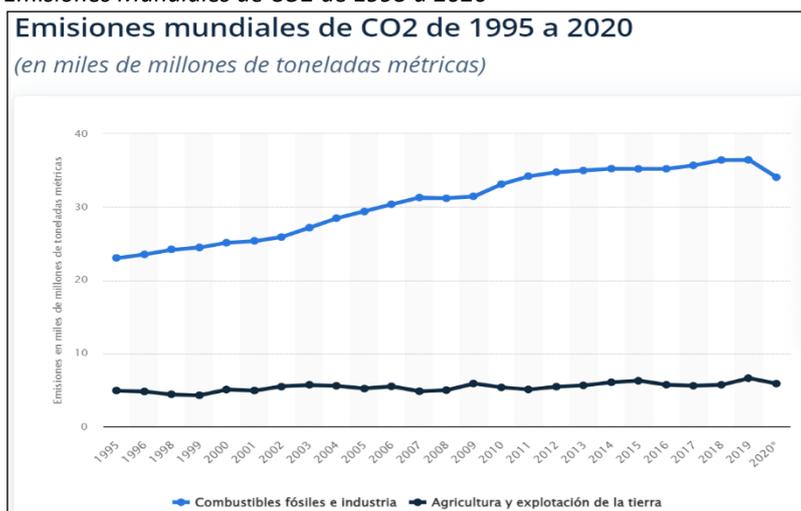
1.7. Incremento de las Emisiones de Gases Efecto Invernadero / Aire Contaminado

El uso creciente de sistemas de refrigeración industrializados en las ciudades exige a las centrales eléctricas que deben proveer este servicio, responder ante la demanda. Estas para su funcionamiento utilizan combustibles fósiles para generar la energía y suministrarla, con lo cual se aumenta la emisión de gases efecto invernadero y adicionalmente se contamina el aire. Los principales gases de efecto invernadero y contaminantes son el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂), el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), las partículas y el mercurio (Hg). El incremento de estos gases es uno de los factores que ocasiona el calentamiento global y cambio climático. (Planeta Terra)

Con respecto a las emisiones de carbono urbanas, éstas son responsables del 97% del CO₂ antropogénico, de los cuales 60% proviene del transporte y la construcción y 40% del sector industrial. A partir de 1957 el CO₂ se incrementó de 315 a 362 ppm, lo que representa la principal causa del calentamiento global (Vitousek et al., 1997) citado por (Ramírez A & Domínguez, 2010).

Figura 7

Emisiones Mundiales de CO₂ de 1995 a 2020



Nota. (Statista, 2022)

Es importante resaltar que la industria de la construcción genera un aproximado del 30% de gases efecto invernadero, y la industria cementera a nivel mundial aporta en este negativo impacto al planeta un estimado del 5% de producción de GEI. Estudios sugieren que las ciudades son responsables de generar el 75% del total de las emisiones de CO₂ a nivel global (Programa ambiental ONU, 2019), compuesto principalmente por las emisiones de la edificación existente y la correspondiente al sector transporte público y privado.

Estos son los países que más producen gases efecto invernadero (Ge, Friedrich, & Vigna, 2021):

Otra de las causas por las cuales se incrementa la producción de gases efecto invernadero y que contribuyen a la formación de islas térmicas en las ciudades, corresponde al alto consumo de combustible fósil en medios de transporte público y vehículos particulares: los cuales se hacen

necesarios debido a la gran cantidad de actividades que se desarrollan y concentran en las ciudades, como por ejemplo: los desplazamientos de materiales e insumos para la industria y el comercio, la movilización de la población trabajadora que debe cubrir distancias importantes entre su sitio de descanso-vivienda y el de trabajo, hace que los gases generados por estos factores se concentren en algunos segmentos de la ciudad y modifique las condiciones climáticas del sector físico.

Los criterios de consumo utilizados por la población mundial, que no tienen en cuenta los sistemas de producción de los productos y por consiguiente el impacto ambiental en los recursos, la escasa vida útil que se le asigna a los productos “obsolescencia programada” son factores que hoy constituyen una variable que incrementa los impactos ambientales y particularmente de los recursos naturales, ya que por ahora debemos aprender y asimilar el concepto que “el mejor residuo es aquel que no se produce y aquel que se produzca indefectiblemente es porque se puede reutilizar”

1.8. Afectación sobre los Sistemas Acuáticos

Donde se presenta el incremento de temperatura en la ciudad allí las cubiertas de los edificios y el pavimento (Anden y vía) tienen un papel determinante en este efecto, ya que estas modifican e incrementan la temperatura del agua lluvia *“Las pruebas han demostrado que los pavimentos con temperaturas de 100°F (38°C) pueden aumentar la temperatura del agua de lluvia inicial de aproximadamente 70°F (21°C) a más de 95°F (35°C)”*. (Planeta Terra) el agua lluvia con mayor temperatura es la que se va a disponer en cuerpos de agua naturales (arroyos, ríos y el mar) afectando allí el sistema biótico, particularmente en cuanto a su metabolismo y reproducción.

1.9. Falta de Confort y Riesgos para la Salud de las Personas

Se identifican tres factores importantes que comprometen la salud de las personas, a) el incremento de la temperatura durante el día b) en la noche la temperatura no baja o lo hace de una manera muy lenta, y c) el aire contaminado que genera las acciones para buscar el confort térmico. Algunos de los síntomas observados corresponden a: molestias generales, agotamiento, mortalidad relacionada con el calor, los problemas respiratorios, los dolores de cabeza, la insolación y los calambres por calor, siendo los niños y las personas de la tercera edad los más afectados. Por ejemplo, en España: *“Se estima que en nuestro país se dan 1.300 muertes cada año debido al calor”, afirma Julio Díaz, responsable de la Unidad de Cambio Climático, Salud y Medio Ambiente Urbano del Instituto Carlos III (ISCIII), para Univadis España. “Aunque ya tuvimos algunas olas de calor en 1991 y 1995, no se empezó a tomar conciencia hasta el 2003, cuando a principios de agosto acabamos con una*

mortalidad de 70.000 personas en Europa. En España dejó hasta 6.660 muertes atribuibles al calor en poco más de 10 días”, añade el experto.

Generalmente, un individuo sano tolera una variación de su temperatura interna de aproximadamente 3 °C sin que su organismo se vea alterado de forma importante. A partir de 37 °C se produce una reacción fisiológica de defensa. “Los grupos más vulnerables son los lactantes, los niños menores de cinco años y la gente de edad avanzada”, explica Clara Hernando, geriatra del Hospital Central de la Cruz Roja de Madrid a Univadis España. “Debido a la edad, los ancianos cuentan con numerosas glándulas sudoríparas fibrosadas y su capacidad de vasodilatación capilar se encuentra disminuida. Esto hace que desarrollen una termólisis reducida, que también ocurre en pacientes con diabetes y con enfermedades neurodegenerativas. Otro grupo vulnerable lo forman aquellos con patologías cardiovasculares, neurológicas, renales y respiratorias. No olvidemos, además, que existen medicamentos que producen deshidratación...”, explica Hernando. (Jiménez, 2021)

El aumento de la temperatura tiene serias consecuencias para la salud del hombre y del medioambiente. Los NOx, producidos en los procesos de combustión a alta temperatura, son un precursor para la formación del ozono troposférico (O3), un gas tóxico de color azul, principal contaminante de lo que se define como smog fotoquímico. La producción de O3 se produce bajo la acción de los rayos solares y es mayor en los meses más calurosos y en las horas de mayor soleamiento.

Jan Gehl (1987) afirma que el bienestar de los espacios depende de la protección ofrecida a las condiciones climáticas negativas y la exposición a las positivas. Asimismo, Ralph Erskine (1988) define los espacios sociales como el lugar para el desarrollo de las actividades espontáneas, fuertemente influenciado por las condiciones climáticas, y Finnish Reima Pietila (1988) habla de la arquitectura y el clima como una “pareja dinámica”. (Tumini, 2010)

Asociado a temas de bienestar, el microclima urbano y la sensación térmica están directamente relacionadas con el confort de los ciudadanos, aunque es necesario tener presente que las condiciones de confort varían con la función metabólica, el grado de vestimenta y la adaptación psicológica al entorno; las condiciones exteriores sí afectan significativamente el uso de los espacios urbanos, es decir, las personas se apropian o no de estos, permanecen o son transitorias y en ocasiones los evitan. Temperatura, grado de humedad, exposición a los vientos, luminosidad e intensidad de los rayos solares son los principales factores que condicionan la calidad de los espacios urbanos. (Tumini, 2010)

Desde el sector de la construcción, se han desarrollado ejercicios de orden científico y práctico, experimentando con materiales de construcción en los edificios que atenúen las altas

temperaturas, alternativas de mobiliario de espacio público, elementos verdes de orden paisajístico para combatir los efectos de las islas térmicas. Con el presente trabajo se pretende identificar e integrar las buenas prácticas con las que se ha abordado el tema en diferentes países y reconocer las alternativas de diseño que se puedan fusionar y con las cuales se mitiguen los efectos de las islas de calor.

Capítulo II: Justificación del Tema

2.1. Contextualización General

Uno de los objetivos planteados en esta tesis es la identificación y entendimiento de las causas y consecuencias de las Islas térmicas. De igual manera se analizarán criterios relacionados con este fenómeno como, por ejemplo: Materiales y su comportamiento térmico, estrategias pasivas de enfriamiento, herramientas de diseño; hasta llegar a plantear aspectos normativos a nivel urbano orientados a la mitigación del origen, así como los efectos de las Islas Térmicas

Tras las consultas y estudios previamente realizados para alcanzar este objetivo, se han observado y/o identificado causas generadoras del cambio climático y que dieron origen al fenómeno objeto del presente trabajo – Islas Térmicas, (incremento de la población, el cambio en el uso de los suelos, la eliminación en la ciudad de las zonas verdes, el uso desmedido de la energía, sistemas de transporte con alto grado de consumo de combustible fósil, entre otros). Los efectos de estas causas quedan plasmados y se describen de forma clara en este documento, con el propósito de fundamentar en las nuevas generaciones el principio de sostenibilidad urbana y replantear el modelo de pensamiento actual que atropella el medio ambiente debido a la búsqueda del confort propio y que además ignora o resta importancia a las manifestaciones que tienen las ciudades y los campos por efecto del Cambio Climático (CC).

El presente documento deja claro la necesidad de tomar acciones inmediatas frente a las consecuencias actuales y la necesidad de asumir medidas preventivas y no correctivas mirando el futuro de nuestro planeta, las ciudades y el ser humano. Presentará alternativas de acometer las causas identificadas, enfocadas a utilizar herramientas de origen natural como el agua, los vientos, la ubicación geográfica, así como también se relacionarán materiales, sistemas para ayudar a disponer de espacio público con un nivel de confort adecuado para su uso.

El tema de islas térmicas se desarrolla en este documento buscando: a) ampliar el conocimiento frente a este fenómeno y b) generar conciencia frente a las causas y sus efectos del mismo. Estas motivaciones son relevantes para países en vía de desarrollo, como Colombia, en los que se están dando los primeros pasos para combatir estos fenómenos climáticos y en las que actualmente, las profesiones como la Arquitectura e Ingeniería civil y afines, tienen la oportunidad de incorporar paulatinamente en los proyectos, los conceptos que se plasman en este documento

2.2. Aplicabilidad “Calle Lumbreras Sevilla – España”

Los objetivos antes mencionados serán aplicados a la Calle Lumbreras ubicada en Sevilla – España, considerando que esta calle actualmente tiene las siguientes características:

- a) Es una calle estrecha
- b) Está totalmente impermeabilizada, es decir su pavimento no permite la penetración del agua lluvia al subsuelo. Los materiales son la piedra en la vía y los prefabricados hormigón en el andén.
- c) Esta paramentada por edificios que le proyectan sombra permanente.
- d) Es una calle de escasa y/o casi nula presencia de vegetación y arborización
- e) Es una calle paramentada por edificaciones de hasta tres pisos, lo cual puede indicar la densidad ocupacional que tiene actualmente.
- f) Es evidente la necesidad de utilizar la vía y el andén como elementos de recolección de agua lluvia para retornarla al subsuelo y utilizarla luego como insumo para buscar el confort térmico de esta.
- g) A la calle Lumbreras se conectan otras calles que se encuentran en las mismas condiciones físicas como las citadas en los numerales anteriores.

Figura 8

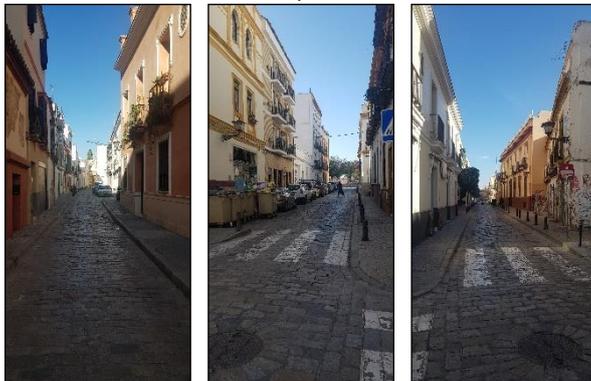
Calle Lumbreras – Sevilla España. Enero de 2022



Nota. Autor

Figura 9

Calle Lumbreras – Sevilla España. Enero de 2022



Nota. Autor

Adicionalmente, EMASESA actualmente tiene un proyecto en esta calle para vincular al sector privado aunando esfuerzos con el público para abordar soluciones y / o respuestas al fenómeno de isla térmica y en general de cambio climático; utilizando alternativas como por ejemplo el programa de uso de Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles, con el que se busca modernizar todas las infraestructuras de tratamiento y depuración de aguas residuales, el presente documento toma este proyecto como punto de partida para analizar las causas, efectos y posibles planteamientos de mejora alienados con los conceptos de sostenibilidad a nivel urbano que puedan ser aplicados en el contexto de la calle lumbreras y en otros que tengan las mismas o similares características.

Figura 10

Obras en la Calle Lumbreras. Sevilla – España



Nota. (EMASESA, 2020)

Capítulo III: Objetivos

3.1. Objetivo General

Estudiar y analizar el fenómeno de Isla Térmica - IT identificando los efectos directos en la salud de las personas y en el medio ambiente urbano, precisando las posibles estrategias disponibles para el ser humano para mitigar sus efectos e intentando conseguir con estas su climatización sin el uso de energía para mantener los espacios entre 12 y 30°C durante el año.

Aplicación a Calle Lumbreras – Sevilla (España)

3.2. Objetivos Específicos

1. Analizar la forma en cómo se originan las islas térmicas
2. Identificar las causas controlables y no controlables por el ser humano, que le permitan mitigar los efectos de las islas térmicas
3. Analizar las consecuencias e impactos más relevantes de los efectos de las islas térmicas
4. Realizar un análisis de estudios y propuestas, hasta ahora documentadas y materializadas, tendientes a mitigar y/o prevenir la ocurrencia de las islas térmicas en el espacio público de la ciudad.
5. Realizar un análisis de estudios y propuestas, hasta ahora documentadas y materializadas, tendientes a combatir, mitigar y/o prevenir la ocurrencia de las islas térmicas, relacionadas con las edificaciones, investigando temas relacionados con materiales y estrategias de diseño e identificar la aplicabilidad de estas en la Calle Lumbreras - Sevilla
6. Plantear estrategias de obligatorio cumplimiento, que de manera incluyente involucren al sector privado, para aunar esfuerzos con el sector público; y desde la edificación privada dar respuesta a la problemática que genera la ocurrencia de las islas térmicas, atacando las causas que la generan.

Capítulo IV: Estado de la Cuestión

Muchas ciudades del mundo, actualmente presentan en alguna parte de su territorio, el fenómeno de Isla térmica (comúnmente reconocido más por el fenómeno de calor denominado: isla de calor urbana). El caso de estudio del presente trabajo se ubica en el país de España – Municipio de Sevilla – Calle Lumbreras; por esta razón, en adelante se describirá detalladamente lo relacionado con el clima de esta ciudad, se presenta una reseña histórica de la calle objeto de estudio y se hará una descripción de cómo actualmente se monitorean y caracterizan las islas térmicas, así como de las estrategias y tecnologías más.

Figura 11

Calle Lumbreras – Sevilla España. Enero de 2022



Nota. Autor

Figura 12

Calle Lumbreras – Sevilla España. Enero de 2022



Nota. Autor

Análisis del clima del contexto general – Ciudad de Sevilla – España

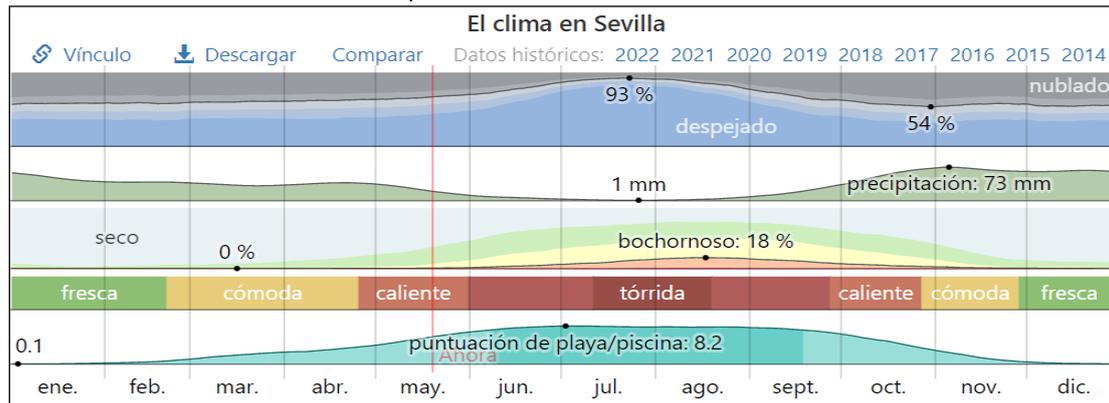
4.1. Contextualización Climática de la Ciudad de Sevilla- España

Para efectos de entender el contexto en el que se ubica la calle objeto de aplicación y estudio, es importante realizar una descripción del clima de la ciudad de Sevilla. Para tal efecto, se van a describir los siguientes criterios relevantes: El clima en la temporada de calor, en la temporada fresca, en un día mojado, temporada de lluvia, días de sol, humedad, análisis de vientos, temperatura del

agua y energía solar. Todos y cada uno de estos factores inciden en el confort o desconfort térmico de la ciudad y sus edificaciones; es por esto que se van explicar los datos más relevantes para poder entender las condiciones que determinan el clima de Sevilla.

En Sevilla, los veranos son cortos, cálidos, áridos y mayormente despejados y los inviernos son fríos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6 °C a 36 °C y rara vez baja a menos de 1 °C o sube a más de 40 °C.

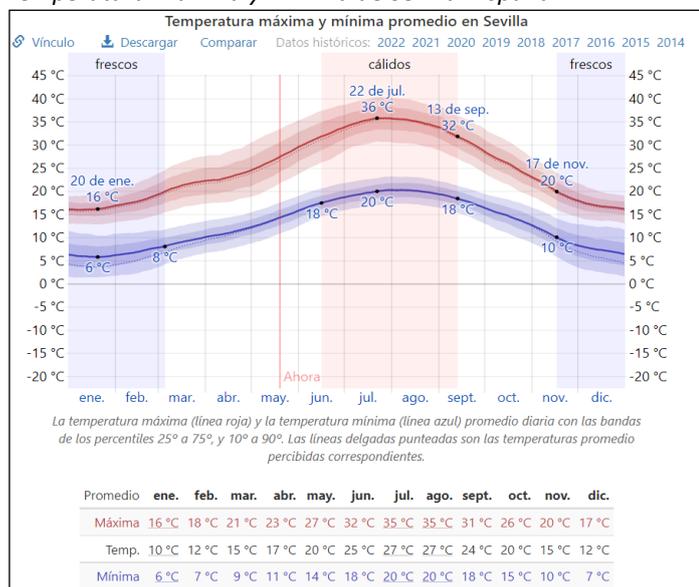
Figura 13
Clima de la Ciudad de Sevilla – España



Nota. (Weather Spark)

4.1.1. Temperatura Promedio de Sevilla – España

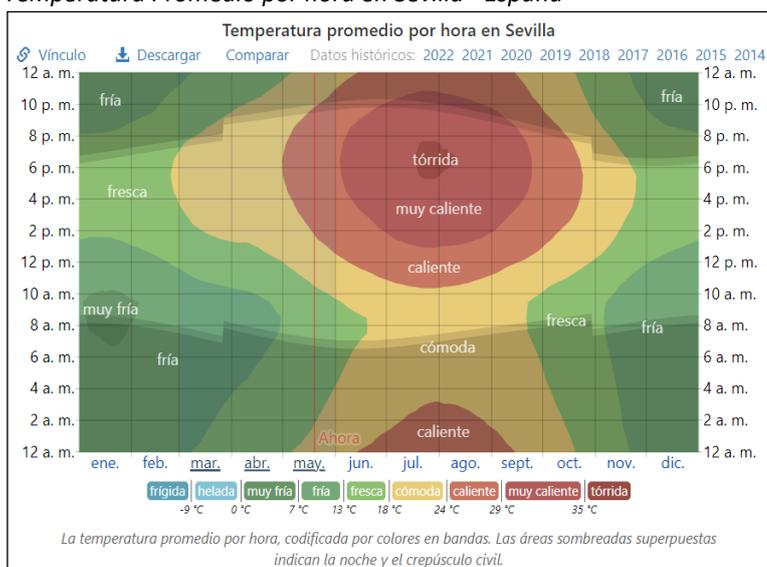
Figura 14
Temperatura Máxima y Mínima de Sevilla- España



Nota. (Weather Spark)

La temporada de calor *dura* 2,9 meses, y va desde el 16 de junio al 13 de septiembre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 32 °C. El mes más cálido del año en Sevilla es julio, con una temperatura máxima promedio de 35 °C y mínima de 20 °C.

Figura 15
Temperatura Promedio por hora en Sevilla - España

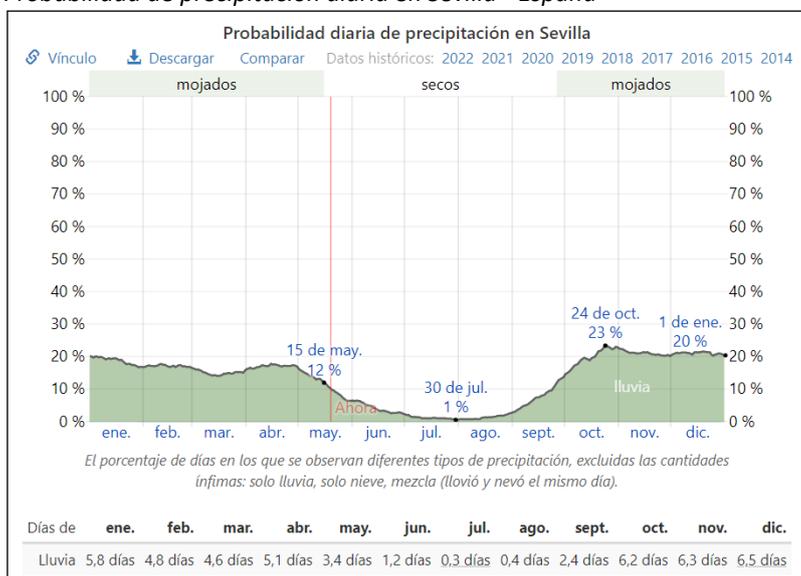


Nota. (Weather Spark)

La *temporada fresca dura 3,6 meses, del 17 de noviembre al 5 de marzo*, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 20 °C. El mes más frío del año en Sevilla es *enero*, con una temperatura mínima promedio de 6 °C y máxima de 16 °C.

Precipitaciones.

Figura 16
Probabilidad de precipitación diaria en Sevilla - España



Nota. (Weather Spark)

Un *día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido*. La probabilidad de días mojados en Sevilla varía durante el año.

La *temporada más mojada dura 7,7 meses, de 26 de septiembre a 15 de mayo*, con una probabilidad de más del 12 % de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados en Sevilla es *diciembre*, con un promedio de 6,5 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

La temporada más seca dura 4,3 meses, del 15 de mayo al 26 de septiembre. El mes con menos días mojados en Sevilla es julio, con un promedio de 0,3 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

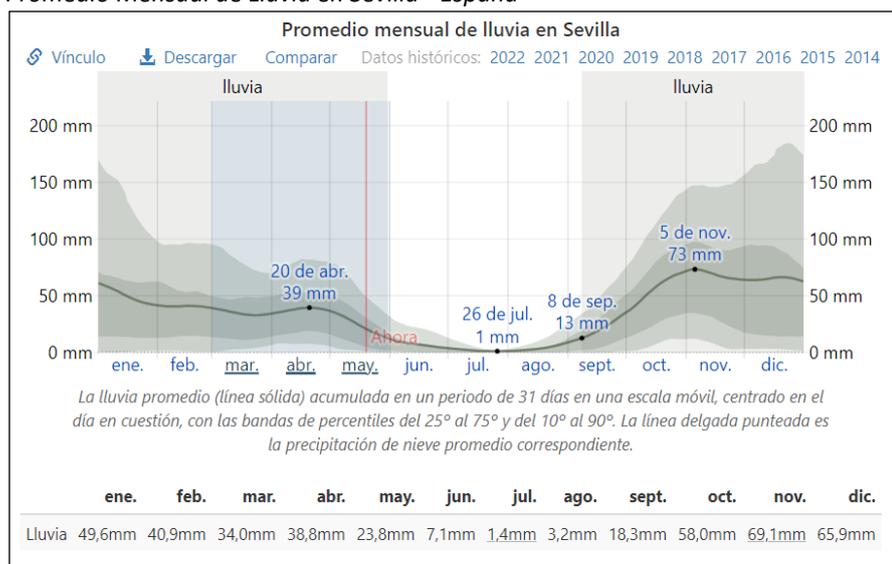
Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. El mes con más días con solo lluvia en Sevilla es diciembre, con un promedio de 6,5 días. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 23 % el 24 de octubre.

4.1.2. Temporada de Lluvia

La temporada de lluvia dura 8,7 meses, del 8 de septiembre al 30 de mayo, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. El mes con más lluvia en Sevilla es noviembre, con un promedio de 69 milímetros de lluvia.

El periodo del año sin lluvia dura 3,3 meses, del 30 de mayo al 8 de septiembre. El mes con menos lluvia en Sevilla es julio, con un promedio de 1 milímetros de lluvia.

Figura 17
Promedio Mensual de Lluvia en Sevilla - España



Nota. (Weather Spark)

4.1.3. Días de Sol

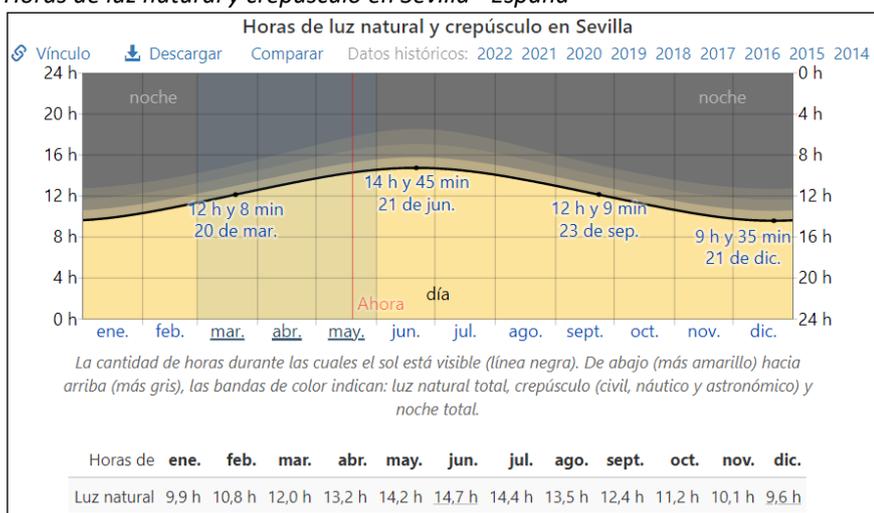
Conceptos importantes: Radiación solar: Es la transferencia de energía emitida por el sol mediante ondas electromagnéticas. Radiación solar directa: es la que llega directamente a la tierra sin tener cambio de dirección. Radiación difusa o indirecta: son las ondas que llegan a la superficie terrestre con un cambio de dirección en el ángulo de incidencia afectados este por algún tipo de choque con las partículas de un gas atmosférico. Radiación global o total: es la sumatoria de las dos primeras y antes mencionadas.

La radiación solar nos proporciona efectos fisiológicos positivos tales como: estimular la síntesis de vitamina D, que previene el raquitismo y la osteoporosis; favorecer la circulación

sanguínea; actúa en el tratamiento de algunas dermatosis y en algunos casos estimula la síntesis de los neurotransmisores cerebrales responsables del estado anímico. (IDEAM)

La duración del día en Sevilla varía considerablemente durante el año. En 2022, el día más corto es el 21 de diciembre, con 9 horas y 35 minutos de luz natural; el día más largo es el 21 de junio, con 14 horas y 45 minutos de luz natural.

Figura 18
Horas de luz natural y crepúsculo en Sevilla - España

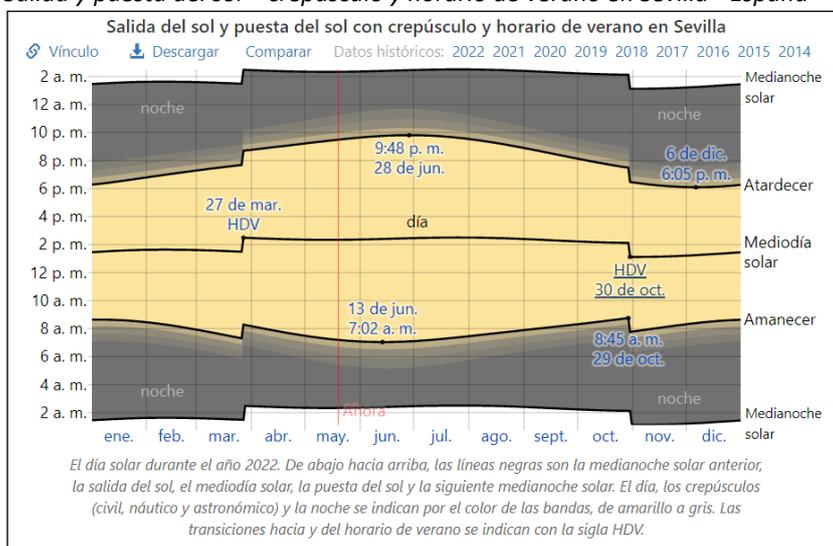


Nota. (Weather Spark)

La salida del sol más temprana es a las 7:02 a. m. el 13 de junio, y la salida del sol más tardía es 1 hora y 43 minutos más tarde a las 8:45 a. m. el 29 de octubre. La puesta del sol más temprana es a las 6:05 p. m. el 6 de diciembre, y la puesta del sol más tardía es 3 horas y 43 minutos más tarde a las 9:48 p. m. el 28 de junio.

Se observó el horario de verano (HDV) en Sevilla durante el 2022; comenzó en la primavera el 27 de marzo, duró 7,1 meses, y se terminó en el otoño del 30 de octubre.

Figura 19
Salida y puesta del sol – crepúsculo y horario de verano en Sevilla - España



Nota. (Weather Spark)

La radiación solar en Sevilla es intensa, en la medida que durante el año hay muchas horas de sol. Esta condición ya establece parámetros de confort, como por ejemplo la búsqueda de elementos que generen sombra lo cual directamente también condiciona el tener que pensar en la debida orientación de las calles y edificaciones.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, la radiación solar directa es una variable que necesariamente hay que controlar para lograr el confort del espacio exterior y de las edificaciones. Si bien esta no aumenta la temperatura del aire, si incide sobre las superficies de las edificaciones (techos, pisos, fachadas) las cuales son calentadas por el sol. Estas superficies transmiten el calor o frio al aire de su contexto inmediato mediante los procesos de conducción y/o convección.

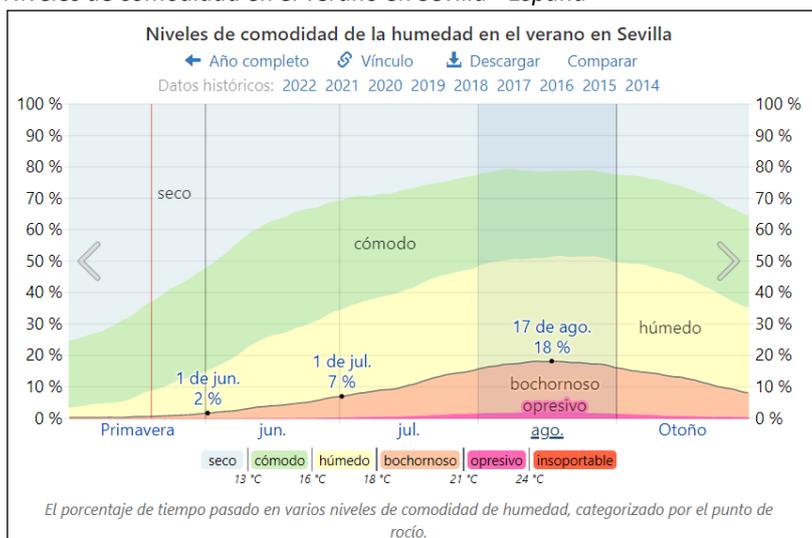
4.1.4. Humedad

Basamos el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que, aunque la temperatura baja en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda.

El período más húmedo del año dura 3,9 meses, del 20 de junio al 17 de octubre, y durante ese tiempo el nivel de comodidad es *bochornoso, opresivo o insoportable* por lo menos durante el 5 % del tiempo. El mes con más días *bochornosos* en Sevilla es *agosto*, con 5,4 días *bochornosos* o peor.

El mes con menos días *bochornosos* en Sevilla es *marzo*, con 0,0 días *bochornosos* o peor.

Figura 20
Niveles de comodidad en el verano en Sevilla - España



Nota. (Weather Spark)

4.1.5. Análisis de Vientos

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la

topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

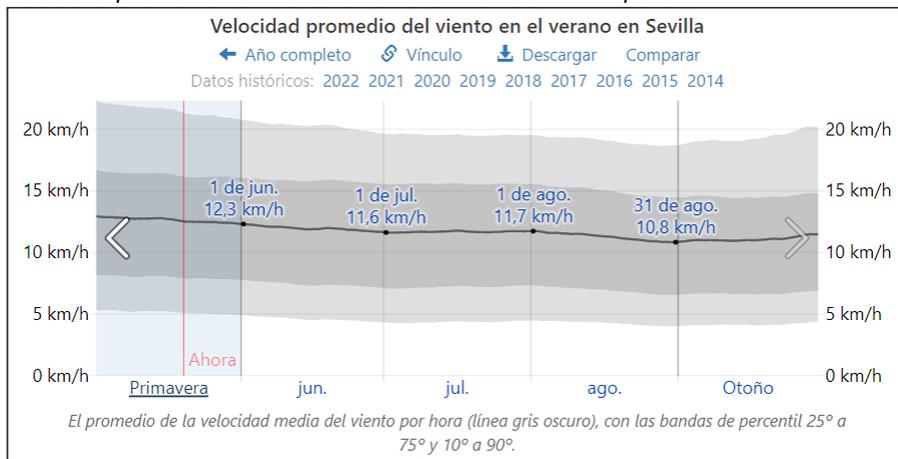
La velocidad promedio del viento por hora en Sevilla *disminuye gradualmente* durante el verano, y *disminuye* de *12,3 kilómetros por hora* a *10,8 kilómetros por hora* durante el transcurso de la estación.

Como referencia, el *7 de abril*, el *día más ventoso* del año, la velocidad promedio diaria del viento es *13,8 kilómetros por hora*, mientras que el *31 de agosto*, el *día más calmado* del año, la velocidad promedio diaria del viento es *10,8 kilómetros por hora*.

La mínima velocidad diaria promedio del viento durante el verano es *10,8 kilómetros por hora* el *31 de agosto*.

Figura 21

Velocidad promedio del viento en el verano en Sevilla - España



Nota. (Weather Spark)

4.1.6. Temperatura del Agua

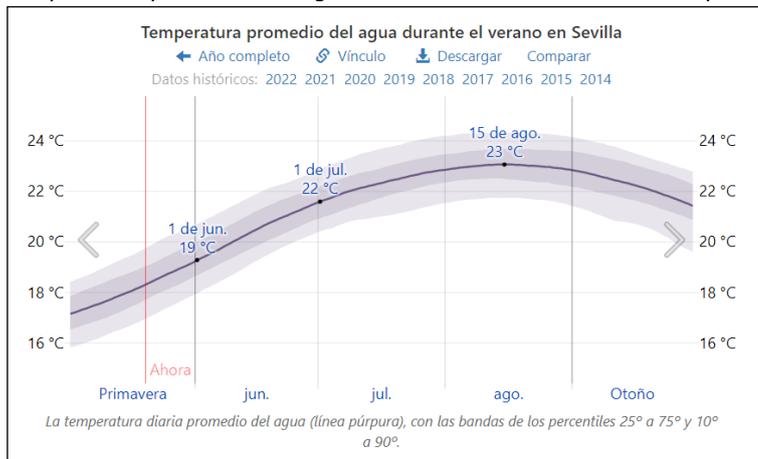
Sevilla se encuentra cerca de una masa grande de agua (p. ej. un océano, mar o lago grande).

Esta sección reporta la temperatura promedio de la superficie del agua de un área amplia.

La temperatura promedio de la superficie del agua en Sevilla aumenta en el verano, aumenta 4 °C, de 19 °C a 23 °C en el transcurso de la estación.

La temperatura promedio máxima del agua durante el verano es 23 °C el 15 de agosto.

Figura 22
 Temperatura promedio del agua durante el verano en Sevilla - España



Nota. (Weather Spark)

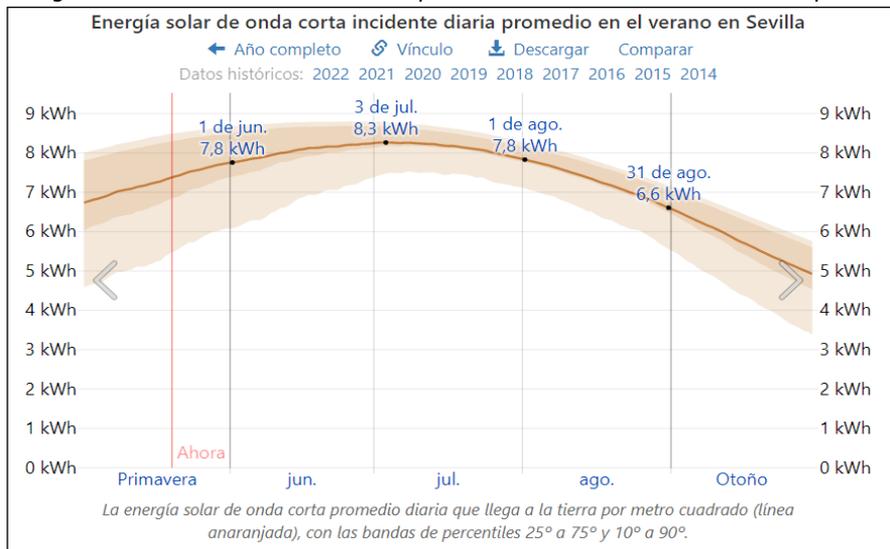
4.1.7. Energía Solar

Esta sección trata sobre la energía solar de onda corta incidente diario total que llega a la superficie de la tierra en un área amplia, tomando en cuenta las variaciones estacionales de la duración del día, la elevación del sol sobre el horizonte y la absorción de las nubes y otros elementos atmosféricos. La radiación de onda corta incluye luz visible y radiación ultravioleta.

La energía solar de onda corta incidente diario promedio en Sevilla *disminuye* durante el verano, con una *disminución* de 1,2 kWh, de 7,8 kWh a 6,6 kWh en el transcurso de la estación.

La energía solar de onda corta incidente diario promedio más alta en el verano es 8,3 kWh el 3 de julio.

Figura 23
 Energía solar de onda corta incidente diaria promedio en el verano en Sevilla - España



Nota. (Weather Spark)

Se concluye que Sevilla es una ciudad con un clima seco y veranos muy cálidos. Esta ciudad pertenece al valle del Guadalquivir donde se registran temperaturas tanto extremas como medias. En el tramo medio del valle se encuentra el área metropolitana de Sevilla, donde se desarrollan fenómenos atmosféricos de carácter local como la isla de calor.

La temperatura es uno de los elementos más importantes para determinar los cambios urbanos en el clima, razón por la cual, hablar de los factores fundamentales para definir el clima, como los anteriormente expuestos, resulta vital para comprender el contenido del presente documento. A los factores ya mencionados se suman los cambios o alteraciones de la superficie que ha venido desarrollando el hombre, especialmente en las ciudades, donde el terreno natural se ha reemplazado por elementos que han “sellado” el suelo teniendo como efecto inmediato la modificación de las condiciones climáticas de la calle.

La calle Lumbreras tiene las siguientes características morfológicas: es una calle estrecha, los materiales de acabado de la superficie de la calzada vehicular en es piedra y hormigón, materiales totalmente impermeables, su arborización es escasa, los andenes tienen como material de acabado los prefabricados en hormigón, la piedra, y el granito, los edificios tienen una altura promedio de tres pisos con fachadas de diferentes colores; todo lo cual ayuda o aporta a la conformación de isla térmica. Bajo este contexto, se realiza un breve descripción histórica: la calle Lumbreras de Sevilla fue habitada hacia 1914 por migrantes judíos.

En 1914, cincuenta y cuatro años después de la vuelta cantada y soñada, hay en nuestra ciudad judíos con más de cuarenta años habitando entre nosotros. Curiosamente, para vivir y revivir lo tantas veces cantado y declamado en la nostalgia del exilio, no se ubicarán en las inmediaciones de la antigua judería. Aquella que abandonaron para no renegar de sus ideas y que alimentó, durante siglos, el mito del tesoro judío enterrado bajo los jardines de sus casas. Todo lo contrario. Se ubicarán en un punto absolutamente opuesto a San Bartolomé. Y entre la calle Feria y la calle Lumbreras vivirán cerca de doce familias mosaicas dedicadas, en gran parte, a actividades comerciales ya de cierto rango.

Nota. (SFARAD.es)

4.2. Contextualización de la Calle Lumbreras

Tomo el nombre de calle Lumbreras desde la edad media “Debe su nombre al Husillo Real. Una alcantarilla gigante que desaguaba en el río “y tenía bocas que llamaban lumbreras”, según el libro de las calles de Félix González de León. Analogía hidráulica de la luz porque lumbrera es en el diccionario de María Moliner “cuerpo que despide luz”. Es una de las palabras más repetidas en el primer relato del Génesis, en el relativo al cuarto día de la creación. “Haya lumbreras en el firmamento de los cielos que separen el de la noche, y que sirvan de señales para estaciones, días y años”. (Correal, 2019)

En esta calle se ubican dos construcciones históricamente importantes: El Husillo Real y la Torre de la Reconquista.

Figura 24

Calle Lumbreras – Sevilla España, enero de 2022



Los judíos en la calle Lumbreras

Un Husillo Real y una Torre con la Reconquista

Nota. Autor

En esta calle la empresa de servicios públicos EMASESA tiene planeado intervenir la red sanitaria y el fin principal es la integración/cooperación de las redes públicas y privadas teniendo como premisa el uso del agua como elemento energético. *“La principal idea del Proyecto es la integración de los sistemas públicos y privados para luchar contra el efecto de isla térmica que se produce en los climas con temperaturas extremas (tanto frío como calor), tanto en el presente como su proyección en el futuro con los efectos del cambio climático.”*

Considerando el contexto urbano antes referido, se analizarán las condiciones actuales de la calle Lumbreras y en el marco de estas, serán estudiadas alternativas de intervención que unidas reduzcan, controlen y/o en el mejor de los casos, eliminen las IT que se presentan allí y de igual manera se reduzcan los incrementos en el uso de energía con lo cual se optimizará este recurso y disminuirá la emisión de gases contaminantes; este ejercicio servirá como punto de partida para futuras consultas e investigaciones para profundizar en los diferentes temas desarrollados.

El cambio climático y los fenómenos que de este se derivan son un hecho irreversible en este momento, es una circunstancia que el mundo está viviendo desde hace muchos años y que en Sevilla – España , ciudad en la que se ubica la calle lumbreras objeto del presente estudio, se ha evidenciado en la medida que la temperatura de Sevilla ha cambiado, solo teniendo como referencia que en el año 1951 la temperatura media era de 18.4°C y la cifra ha aumentado hasta los 19.7°C (Martes 22 de febrero de 2022 diario de Sevilla) Esta ciudad en el invierno que está pasando ha tenido 212 horas más de sol que equivalen nueve días completos *“Si continúa la tendencia actual y no se ponen en marcha actuaciones de mitigación, Sevilla habrá ganado en 2050 más de cuatro grados de temperatura media anual con respecto a hace cincuenta años..”* menciona el artículo del diario de Sevilla.

“El verano es ahora cinco semanas más largo que hace 40 años. En los 70, el periodo estival más caluroso solía comenzar el 15 de julio y terminaba el 16 de septiembre, mientras que hoy empieza el 11 de junio y finaliza el 22 de septiembre. Según este informe, en Sevilla la estación veraniega ha ido ganando diez días por décadas desde entonces hasta el periodo actual.”

Según datos reportados por el informe *El clima en Andalucía en el siglo XXI* “éste ha sido el invierno con temperaturas máximas en promedio más altas, casi 2 grados por encima de la media del periodo 1981-2010. Además, ha sido una estación muy soleada. Uno de los indicadores de este hecho son los valores de insolación, es decir, las **horas de sol**. Horas en las que el cielo ha estado despejado y sin precipitaciones. Así, Sevilla ha tenido este invierno **212 horas más de sol** de lo normal, teniendo como referencia los valores de los últimos 30 años (desde 1981 a 2010). Este dato equivaldría a 8,8 días completos. Según la estadística, en la estación del Aeropuerto de San Pablo se han registrado **739,7 horas de sol** cuando lo normal en esta base de medición de la Agencia Estatal de Meteorología son 527,6 horas.”

Lo antes expuesto no solo sucede en la ciudad de Sevilla - España, este es un fenómeno mundial. Es una situación que debe ser asumida por los diferentes países y sectores de la economía, y que desde el sector de la construcción se puede ayudar a mitigar y/o eliminar eventos climáticos como las Islas Térmicas, sus causas, efectos y medidas o acciones de tipo preventivo, que impulsan aceleradamente los efectos del cambio climático. El presente documento estudiará las islas térmicas dentro del contexto urbano y explicará los efectos sobre las personas, el clima y la ciudad.

4.2.1. Monitoreo y Caracterización de las Islas Térmicas

Para monitorear y controlar hoy el comportamiento de las islas térmicas en la ciudad, se utilizan herramientas como la llamada (MOHURD Eco-Garden City es la única metodología de evaluación que toma en cuenta los materiales de las superficies, el empleo de la vegetación y las emisiones de GEI por edificaciones. Sin embargo, no emplea indicadores asociados a la densidad, la morfología urbana, la orientación, entre otras.)

Estudios a nivel mundial, para espacios rurales y urbanos, han sido desarrollados en torno al fenómeno de IT. Por ejemplo, una ciudad promedio de un millón de habitantes puede tener una temperatura entre 1 y 3 °C más alta que su contexto inmediato; con una noche clara y vientos en calma la temperatura se puede disipar hasta llegar a los 10°C.

Se pueden encontrar dos tipos de islas de calor urbano: las superficiales (“surface urban heat island”) y las atmosféricas (“atmospheric urban heat island”). Difieren básicamente en la manera como se forman, en las técnicas usadas para identificarlas y medirlas y en sus impactos y métodos disponibles para mitigarlas.

En las islas de calor urbano se pueden identificar dos zonas:

1. *Capa superficial de la isla de calor urbano. Es la capa de aire que encuentra donde la gente vive, desde el suelo hasta la cima de los árboles o edificios.*

2. Capa límite de la isla de calor urbano. Comienza en la parte alta de los edificios a las copas de los árboles hasta aquella zona de la atmósfera que no se ve influenciada por los cambios térmicos de la ciudad. Esta capa no tiene una extensión mayor de 1.5 km desde la superficie.

La capa superficial de la Isla térmica debido a su ubicación es la más identificable, es la que entra en contacto directo con las personas y por tanto cuando en el presente documento se haga referencia a IT es porque se hace alusión a esta capa. Esta es débil en la mañana y transcurso del día y comienza a ser más pronunciada después de la puesta de sol, debido a que la pérdida de calor de las infraestructuras urbanas (vías, edificios, andenes, entre otros) es más lenta que las de las áreas rurales.

Las características de los materiales con las que se hace la ciudad y sus edificaciones, son proporcionales a la intensidad del fenómeno de IT, de la estación del año y de las condiciones meteorológicas. Entre los factores más relevantes que le aportan a la formación de IT están: eliminación de la cubierta vegetal de las ciudades, las propiedades de los materiales urbanos (poca reflectancia, la geometría urbana, las fuentes de calor con origen antropogénico, entre otros. A continuación, se van comentar brevemente algunos de ellos.

La principal relación entre la isla de calor y el espacio edificado (superficie de la ciudad) tiene que ver con la aparición de nuevos materiales no naturales (hormigón, acero, asfalto, etc.), cuyo comportamiento, con respecto a la capacidad de absorción y reflexión del calor, es muy distinto a las zonas naturales. Como consecuencia se produce una mayor capacidad de retención calorífica y un aumento de la temperatura urbana. En este sentido, es obvio que la extensión superficial de la ciudad es un factor con incidencia directa, ya que a mayor área edificada mayor superficie e intensidad tendrá la de isla de calor (Gráfico 4).

4.2.2. Estrategias y Tecnologías para Combatir las Islas Térmicas

Pensar en estrategias para combatir y/o mitigar el riesgo de materialización del fenómeno de isla térmica, implica beneficiarse de la reducción del consumo energético de las edificaciones y de mejorar el confort del espacio público urbano. Para ello, en las edificaciones se pueden plantear estrategias que controlen el calor que estos reciben con elementos de fachadas (materiales, techos, vegetación, entre otros) y en las calles es posible mejorar el confort térmico con elementos verdes, geometría y orientación, entre otros. Estos conceptos aplicados constituyen criterios de refrigeración pasiva. A continuación, se mencionan las estrategias en las que se va a profundizar en el presente trabajo:

Árboles y vegetación (en inglés): los árboles de sombra y las plantas más pequeñas, como arbustos, enredaderas, pastos y la cobertura natural del suelo, ayudan a enfriar el entorno urbano proporcionando sombra y eliminando el calor del aire a través de la evapotranspiración.

Los árboles y la vegetación también pueden reducir la escorrentía de aguas de tormenta y proteger contra la erosión. Para crear lugares frescos distintos en toda la ciudad, las comunidades pueden cultivar árboles y vegetación en áreas áridas, proporcionar sombra al pavimento con árboles plantados alrededor de perímetros y medianas dentro de estacionamientos y calles de la ciudad. (EPA)

Techos ecológicos (en inglés): un techo ecológico, o un jardín en azotea, es una capa vegetativa que crece en una azotea. Los techos ecológicos proporcionan sombra, eliminan el calor del aire y reducen las temperaturas de la superficie del techo y del aire circundante. (EPA)

Usar techos ecológicos en ciudades u otros entornos construidos con vegetación limitada puede moderar el efecto de isla de calor y mejorar la gestión de las aguas de tormenta. La temperatura de los techos ecológicos puede ser de 30 a 40 °F más bajas que las de techos convencionales y pueden reducir la temperatura ambiente de toda la ciudad hasta 5 °F. (EPA)

Techos fríos: un techo frío está elaborado con materiales o recubrimientos que reflejan considerablemente la luz solar y reducen el calor de un edificio. Un techo frío transfiere menos calor al edificio que cubre, por lo tanto, el edificio se mantiene más fresco y demanda menos energía para alimentar los sistemas de aire acondicionado. (EPA)

Al reducir el uso de energía, los techos fríos disminuyen la generación de contaminación del aire asociada y las emisiones de gases de efecto invernadero. Al reducir la temperatura del aire dentro de los edificios con y sin sistemas de aire acondicionado, los techos fríos también pueden mejorar la salud y el confort de las personas.

Pavimentos fríos (en inglés): un pavimento frío está elaborado con materiales de pavimentación que reflejan más energía solar, mejoran la evaporación del agua (pavimentos permeables) o se modificaron para que permanezcan más fríos que los pavimentos convencionales. Usar materiales de pavimentación fríos en las aceras, estacionamientos y calles no solo enfría la superficie del pavimento y el aire circundante, sino que también puede reducir las escorrentías de aguas de tormenta y mejorar la visibilidad nocturna. (EPA)

Desarrollo inteligente (en inglés): el desarrollo inteligente, también llamado crecimiento inteligente, se refiere a estrategias de desarrollo y conservación que ayudan a proteger el entorno natural y al mismo tiempo hacen que nuestras comunidades sean más atractivas, habitables y económicamente más fuertes. Incluyen la creación de comunidades transitables, la preservación de espacios abiertos, el suministro de opciones sostenibles de transporte y el fomento de la colaboración comunitaria en las decisiones de desarrollo, entre otras. (EPA)

El diseño urbano típico (áreas con pocos árboles o espacios verdes, acres de pavimento y terrenos cubiertos de edificios) contribuye considerablemente a la formación de islas de calor. Las carreteras, estacionamientos y edificios habitualmente se construyen con materiales que reflejan

menos la energía del sol y la absorben más. Además, las ciudades habitualmente se diseñan para que sean densas y compactas, lo cual impide la liberación adecuada de calor. Al combinar crecimiento inteligente y estrategias de enfriamiento urbano, las comunidades pueden reducir la temperatura de las islas de calor y al mismo tiempo fomentar la habitabilidad de los vecindarios. (EPA)

Capítulo V: Metodología

Para cumplir con los objetivos propuestos, tanto general como específicos; el desarrollo del trabajo comprende 5 etapas, por medio de las cuales se logra la comprensión de las definiciones y de los estudios realizados alrededor del tema de las Islas térmicas, que fueron consultados en la literatura científica y académica utilizadas como sustento del presente documento.

5.1. Etapa 1

Definición del fenómeno Isla térmica e identificación de causas y consecuencias

- Crecimiento acelerado de la población mundial habitando las ciudades
- Éxodo rural y pobreza energética
- Materiales ajenos al contexto climático
- Geometría Urbana – Cañón urbano
- Aumento del consumo de energía
- Incremento de las emisiones de gases efecto invernadero / aire contaminado.
- Afectación sobre los sistemas acuáticos
- Falta de confort y riesgos para la salud de las personas

5.2. Etapa 2

Se expondrán las razones por las cuales se seleccionó el tema de islas térmicas, dejando manifiesto la necesidad de concienciar a las futuras generaciones sobre la importancia de apropiar el concepto de sostenibilidad en el ejercicio de la arquitectura e ingeniería. Para ello se definen las características de la Calle Lumbreras – ámbito de futura aplicación del presente trabajo, particularmente cuando este proyecto será objeto de ejecución con la empresa EMASESA y uno de sus objetivos planteados será el aunar esfuerzo entre la inversión público y la privada.

5.3. Etapa 3

Contextualización climática de la ciudad de Sevilla – España. Para efectos de entender el comportamiento del clima de la ciudad de Sevilla, se explicarán los siguientes criterios:

Temperatura promedio de Sevilla – España

Precipitaciones

Temporada de Lluvia

Días de Sol

Humedad

Análisis de Vientos

Temperatura del agua

Energía Solar

Una vez entendido el contexto climático de Sevilla, se realizará una reseña histórica de la calle lumbreras, abordando temas como su origen histórico, usos y edificaciones importantes. Se presentarán datos estadísticos relacionados con la medición de las islas térmicas y caracterización de estas.

5.4. Etapa 4

Se hace mención de algunas Estrategias y tecnologías para combatir las Islas Térmicas, las cuales han sido consultadas y analizadas a través de los diferentes medios disponibles.

Los temas desarrollados son:

5.4.1. Espacio Público

- a) Ciudades Impermeables – Acabados de las calles
- b) Estructuras verdes para la ciudad. Revegetalización urbana.
- c) Alternativas de pavimentos. Estrategias contra la impermeabilización de la ciudad y la recuperación del ciclo hídrico
- d) Enfriamiento adiabático
- e) Rociadores urbanos.
- f) Toldos.
- g) Equipamiento y Mobiliario urbano con criterios de sostenibilidad - Pérgola vegetal, jardines verticales y techos verdes
- h) Sistemas de gestión de agua

5.4.2. Edificación

- a) Pinturas de fachada y cubierta (materiales termocrómicos como estrategia pasiva.
- b) Cubiertas verdes y/o espacios de reserva de agua lluvia.
- c) Materiales termocrómicos
- d) Materiales históricamente utilizados. La Cal

- e) El patio – Medida pasiva de enfriamiento
- f) Propuesta y/o aplicabilidad

5.5. Etapa 5

Identificadas las causas y efectos de las islas térmicas, y con fundamento en lo proyectado por EMASESA en su proyecto de la calle Lumbreras, se estructura un capítulo que tiene como finalidad proponer la inclusión de los temas relacionados con la mitigación de las Islas Térmicas y demás temas relacionados con el cambio climático, en los estudios previos o documentos que hacen parte de la etapa precontractual y contractual de los proyectos de infraestructura; lo cual trascendería en incluir normas de carácter obligatorio con la visión de construir ciudades sostenibles ambiental y energéticamente eficientes.

Este documento, deja abierta la posibilidad de desarrollar futuras líneas de trabajo, en temas relacionados con la verificación de las medidas que se expongan con las cuales se haya logrado mitigar los efectos de las islas térmicas. Este ejercicio se puede desarrollar teniendo disponible una herramienta tecnológica como el software denominado ENVI-MET con el cual se pueden lograr simulaciones en la que se incluyan las alternativas y/o soluciones al fenómeno de isla térmica aplicado a la calle Lumbreras o al lugar que se quiera trabajar.

Capítulo VI: Cuerpo del Trabajo

6.1. Análisis

6.1.1. Como se de Origen a una Isla Térmica

Para entender cómo se conforma el efecto de isla térmica en la ciudad, a continuación, se explican las diferentes escalas en las que este fenómeno se presenta a nivel urbano, así:

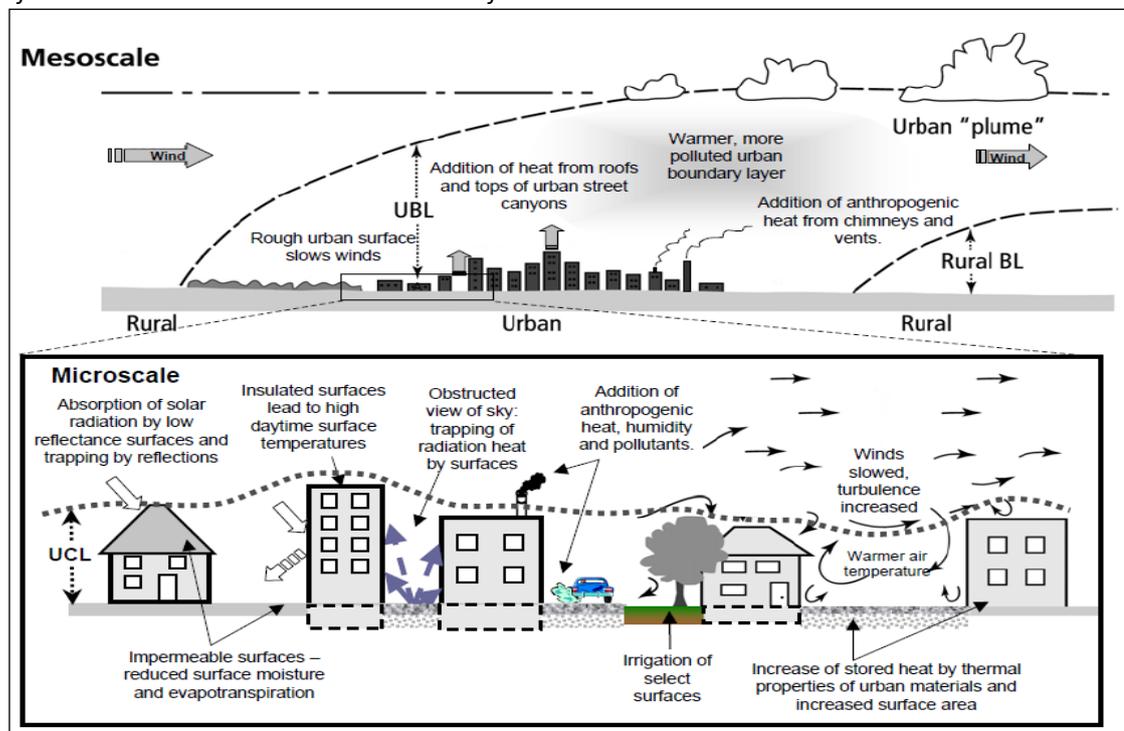
Las modificaciones del clima a consecuencia de las condiciones propias de las zonas urbanas se producen a varias escalas:

A) micro-escala, se producen perturbaciones atmosféricas debidas, por ejemplo, a la presencia de materiales no naturales, calles, edificios y parques, como consecuencia del planeamiento urbano.

B) los procesos a meso-escala que pueden producirse a decenas o incluso cientos de kilómetros de la ciudad. En este contexto incluyen las modificaciones sobre la velocidad del viento o perturbaciones de la superficie urbana en el clima (Coral et al., 2013) citado por (Voogt J. , 2007).

Figura 25

Efectos de la urbanización sobre el clima a diferentes escalas



Nota. (Voogt, 2008)

En la literatura internacional encontramos referencia a dos categorías de isla de calor: la *canopy layer heat island (CLHI)*, y la denominada *boundary heat layer (Oke, 1976)*:

- **Palio urbano (García, 1997)1** o *capa bajo la cubierta urbana (Canopy Layer Heat Island, CLHI)* se refiere a la capa de aire más cercana a la superficie, y que se extiende hasta la altura de la edificación en las ciudades. Se corresponde con la micro-escala del gráfico bajo estas líneas (Figura 25).
- **Isla de calor de la capa límite urbana (Boundary Layer Heat Island, BLHI)**. Se encuentra ubicado sobre la capa anterior, y va desde los tejados de los edificios hasta un nivel por debajo del cual las características meteorológicas están modificadas por la ciudad en superficie. Puede tener un espesor que varía desde varios cientos de metros durante la noche, hasta 1 kilómetro o incluso más durante el periodo diurno (García, 1992). Ésta se corresponde con la meso-escala citada anteriormente. (Moreno García & Serra Pardo, 2016).

Los efectos de las islas térmicas en el medio ambiente varían a lo largo del día, alcanzando su máximo efecto horas después de la puesta del sol. Esto es debido a que la energía absorbida por las superficies urbanas es liberada lentamente en comparación con la liberada por las superficies rurales que cuentan con bastante cobertura vegetal y arborización. (Coral et al., 2013) citado por (Voogt J. , 2007).

Una vez explicadas las escalas en las que se evidencian los efectos de las islas térmicas, a continuación, presentaremos algunas causas generadoras de este efecto, como, por ejemplo:

La generación directa de calor producido en las actividades humanas dentro de la ciudad, que se define como liberación de calor antropogénico, movilidad urbana basada en vehículos con motor de combustible fósil, actividades rutinarias de los hogares y sus instalaciones de aparatos de climatización que buscan el confort de los usuarios, liberación de calor en las fábricas o cualquier otra fuente humana (Rizwan, Dennis, & Chunho, 2008), así como la colocación de acabados que impermeabilizan las calles y el espacio público en general, el uso de materiales que por su condición física, color y/o textura, absorben el calor, el reemplazo de las zonas verdes y la arborización por zonas duras y mobiliario urbano, respectivamente; son causas de las más relevantes y que generan efectos que se derivan en los impactos climáticos que causan y se identifican en las islas térmicas. Con sustento en la descripción de las actividades humanas antes relacionadas que aportan de forma positiva a la conformación de islas térmicas, a continuación, se presenta un análisis de causas generadoras.

6.1.2. Identificación de Causas Controlables y No Controlables

Las causas antes referidas se pueden caracterizar como “controlables”, es decir que, con la intervención del ser humano, pueden ser controladas, mitigadas y/o hasta anuladas, sin embargo, hay

variables no controlables por el ser humano, como por ejemplo las dependientes del clima: la velocidad del viento, la radiación solar o la nubosidad.

Los aspectos anteriores y la radiación solar son los principales factores meteorológicos que influyen en la formación de la isla térmica, generalmente con mayor intensidad en condiciones de cielo despejado y viento en calma, por lo cual, en días con cielo claro y viento cálido, la intensidad de la isla de calor es máxima, ya que la cantidad de radiación solar que llega a las superficies es casi máxima y la acción mitigadora del viento es anulada por la ausencia de este.

Las ciudades costeras, o que albergan un cuerpo de agua, podrían beneficiarse de la reducción de la temperatura gracias a la generación de vientos que ayuden a disipar el calor acumulado de las superficies de edificios y espacios abiertos.

6.1.3. Consecuencias / Impactos más Relevantes de los Efectos de las Islas Térmicas

6.1.3.1. Mayor Consumo de Energía

La temperatura en las ciudades es superior, especialmente durante las noches de verano. Esto genera un incremento de la demanda de energía para los aires acondicionados bien sea por calefacción o refrigeración, lo que a su vez aumenta el precio de la electricidad.

• Impacto sobre la Salud de las Personas

Las altas temperaturas pueden afectar a la salud de los habitantes de las ciudades, provocando malestar general, problemas respiratorios, insolaciones, deshidratación, cansancio e incluso aumentar la mortalidad por golpes de calor.

6.1.3.2. Mayor Contaminación Atmosférica

Las islas térmicas generan detrimento en la calidad del aire, ya que en paralelo al incremento del consumo de combustibles fósiles lo hace la emisión de CO₂ y otros contaminantes, como el dióxido de azufre (SO₂) o los óxidos de nitrógeno (NO_x), culpables del efecto invernadero.

• Impacto sobre la Economía

Un estudio reciente, publicado por la editorial científica IOP Publishing, indica que los efectos asociados al calentamiento por las islas térmicas urbanas podrían duplicar las pérdidas económicas previstas por el cambio climático. (IBEDROLA)

Una vez identificadas las causas y los impactos de las islas térmicas (en la salud de las personas, en la economía, en el medio ambiente, en el confort urbano, entre otros), para asumir medidas de orden preventivo y correctivo y con la finalidad de combatir los efectos de isla térmica en adelante se desarrolla y estructura el presente trabajo focalizado en las causas “controlables” con base en los siguientes criterios:

6.2. Estudio y Propuestas

6.2.1. Materiales a Utilizar en Edificaciones y Espacio Público Urbano

Los materiales urbanos que se utilizan para construir proyectos de orden público y privado tienen propiedades o características físicas que contribuyen a la materialización de los efectos de la isla Térmica. Las propiedades que deben ser observadas con atención y minucia son: la capacidad que tienen para reflejar la radiación solar, conocida como albedo, la emisividad térmica (es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a su temperatura) y la capacidad calorífica (es la energía necesaria para aumentar la temperatura de una determinada sustancia en una unidad de temperatura). Conociendo estas características se puede determinar cuanta energía procedente del sol es reflejada, emitida y absorbida en una ciudad.

La implementación o uso de materiales es uno de los factores determinantes de las edificaciones y que más incidencia tiene en la retención y aumento de temperatura en el ambiente, especialmente aquellas que son bastante antiguas y a las que no se les invierte recursos en mantenimiento y/o actualización de materiales con nuevas tecnologías que se adapten a los factores climáticos. En respuesta a lo anterior, es necesario pensar en materiales con características físicas o químicas que contrarresten los efectos de las islas térmicas y tomar y/o replicar las buenas prácticas de los países que han asumido y atendido esta problemática.

A continuación, se despliegan los puntos con los que se estructuran cada uno de los dos temas mencionados

6.2.1.1. Espacio público urbano – estrategias contra las islas térmicas

- a) Ciudades Impermeables – Acabados de las calles
- b) Estructuras verdes para la ciudad.
- c) Solerías y pavimentos permeables. Estrategias contra la impermeabilización de la ciudad y la recuperación del ciclo hídrico
- d) Enfriamiento adiabático
- e) Toldos.
- f) Equipamiento y Mobiliario urbano con criterios de sostenibilidad - Pérgola vegetal, jardines verticales y techos verdes
- g) Sistemas de gestión de agua

6.2.1.2. Edificación – estrategias contra las islas térmicas

- a) Pinturas de fachada y cubierta (materiales termocrómicos como estrategia pasiva).
- b) Cubiertas verdes y/o espacios de reserva de agua lluvia.
- c) Materiales termocrómicos
- d) Materiales históricamente utilizados. La Cal
- e) El patio – Medida pasiva de enfriamiento

f) Propuesta y/o aplicabilidad

6.3. Espacio Público Urbano – Estrategias contra las Islas Térmicas

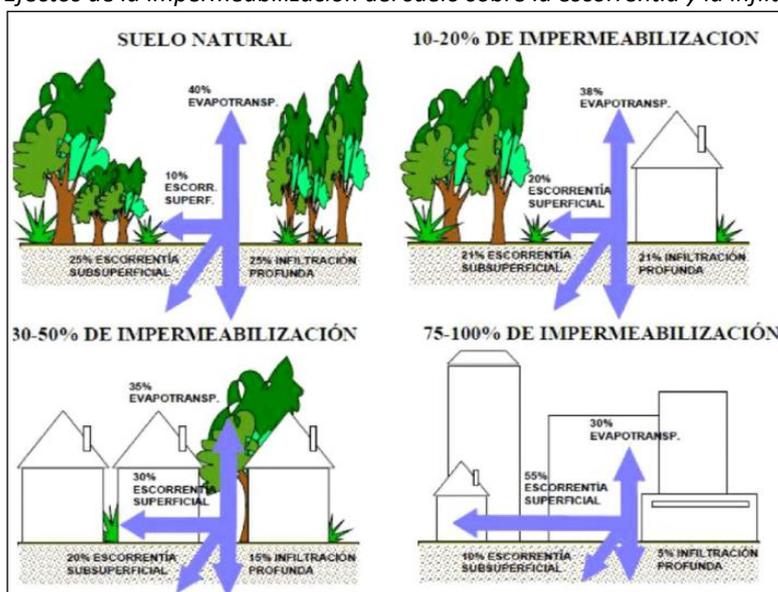
6.3.1. Problemas Ciudades Impermeables

El crecimiento urbano de las ciudades, tanto en lo físico como en lo poblacional, ha generado impactos directos en el uso del suelo urbano. debido a la gran cantidad de personas que migran entre ciudades, que migran del campo a la ciudad con objetivos de trabajo, estudio o simplemente nuevas oportunidades de vida, ha generado cambios y respuestas emergentes, a veces casi improvisadas que se reflejan en los nuevos proyectos de soluciones de vivienda que se desarrollan en altura con los cuales se densifica en suelo urbano, se proyectan y construyen vías con materiales como el asfalto y el hormigón, materiales de bajo albedo (es una característica física de los materiales que se define como el porcentaje de radiación que refleja una superficie frente a la radiación que recibe), las redes de alcantarillado cada vez tienen mayor demanda y no son renovadas haciéndose cada vez más insuficientes en su capacidad, las zonas verdes y los árboles comienzan a ser relegados a tal punto de desaparecer .

Las ciudades y los materiales de acabados para las calles de estas, las hacen cada vez más impermeables disminuyendo la capacidad de infiltrar, retener, evaporar y transpirar el agua lluvia. Por otra parte, la alteración en la topografía buscando el manejo de las escorrentías superficiales y el aumento de zonas con poca rugosidad incrementan la velocidad de la escorrentía, lo que materializa la probabilidad de inundaciones al verse excedida la capacidad de la red (volumen del caudal) y el tiempo de drenaje. (CIRIA, 2007)

Figura 26

Efectos de la impermeabilización del suelo sobre la escorrentía y la infiltración



Nota. Adaptado de Arnold y Gibbons (1996) por Del Río (2011). (Molina, Fernández-Aracil, Melgarejo, & Sevilla, 2017)

Otro de los efectos que tiene la impermeabilización de las ciudades aplica sobre el nivel de contaminación que esta condición del suelo genera en el agua. Toda la contaminación y las basuras que están sobre las calles son recogidas en un buen porcentaje por las aguas superficiales en el recorrido de estas sobre las calles hasta llegar a los sumideros. De ahí iniciara el recorrido por las redes hasta llegar a las fuentes hídricas más cercanas y descargar allí el agua recogida con los contaminantes arrastrados durante el recorrido. Algunos de los agentes que contaminan el agua en las ciudades son: aceites, sedimentos, detergentes, metales pesados, fertilizantes, patógenos, plaguicidas, basuras, entre otros. Lo cual afecta la calidad del agua y compromete los costos que posteriormente se requieren para los procesos de tratamientos para su consumo.

Figura 27

Problema de las inundaciones en la Ciudad de Barranquilla – Colombia



Nota. (Arroyos de Barranquilla)

Debido a las causas antes descritas, en temporadas de lluvia, en esta ciudad se forman “arroyos” en las calles, lo que ha generado desastres en la propiedad privada y han cobrado vidas de personas. (Arroyos de Barranquilla)

Los acabados de las calles como el hormigón y especialmente el asfalto, retienen el calor y modifican la temperatura de las calles, haciendo que la temperatura en lugares específicos de la ciudad sea mayor que en otros donde el suelo tiene la capacidad de infiltrar, retener, evaporar y transpirar el agua lluvia, este es uno de los factores que ayuda a conformar las IT. Se ha verificado el impacto de distintos pavimentos comúnmente usados en ciudades y han encontrado que el asfalto incrementa la temperatura superficial y almacena más calor comparado con pavimentos de hormigón. (Berg & Quinn, 1978), mencionan que pintar los pavimentos de blanco con albedos cercanos a 0.55 iguala la temperatura superficial del pavimento a la temperatura urbana, mientras que dejar de pintar los pavimentos reduce el albedo a 0.15 y puede llegar a producir una diferencia de temperaturas cercana a los 11°C. (Taha, Sailor, & Akbari, 1992), han medido el albedo para distintas superficies y encontraron una diferencia de 4 a 8°C en la temperatura superficial entre un material blanco con albedo 0.72 y un material negro con albedo 0.08.

En Alemania, se han pensado alternativas y en este sentido se ha planteado el término 'Stadtschwamm', o 'ciudad-esponja' que hace referencia a evitar sellar lo máximo posible el suelo urbano y permitir que estas superficies sean permeables al agua.

Figura 28

Escenas como esta de las inundaciones en Altenburg en el mes de junio 2016 podrían volverse más comunes en el futuro



6.3.1.1. Revegetalización de la Ciudad para Incorporar el Agua a Nivel del Peatón

Desde el planteamiento de las propuestas actuales de diseño Urbano (o diseño de ciudad) es fundamental revegetalizar la ciudad, incorporar espacios cuya textura o piel principal sean los elementos naturales verdes y el agua. De esta manera, se ataca una de las causas fundamentales que originan las IT y que corresponde a la *impermeabilización de las ciudades*, acción con la que se han venido reemplazando las zonas verdes, los árboles, los corredores o cauces de ríos y/ canales, por materiales con alto nivel de absorción de calor y que cortan el ciclo hídrico, como, por ejemplo: el asfalto, el hormigón, los adoquines, los prefabricados de hormigón, entre otros.

Figura 29

Año 1.398 Canalización del Río San Francisco, en el centro de Bogotá, D. C Colombia



Nota. (Archivo de Bogotá, 2018)

Imagen actual del curso del Río san Francisco. Hoy es una vía de la Troncal Transmilenio y se le denominó "Eje Ambiental"

Figura 30

Año 1.398 Canalización del Río San Francisco, en el centro de Bogotá, D. C Colombia



Nota. (Archivo de Bogotá, 2018)

Vestigio de lo que fuera uno de los puentes que estaba sobre el Río San Francisco.

El río quedó cubierto por una vía que presta servicio a una troncal de transporte público de la ciudad.

Para entender y dimensionar la problemática actual que implica la impermeabilización de las ciudades con el acelerado proceso de urbanización y el uso de materiales nada amigables con el clima y el medio ambiente, a continuación, se relacionan dos casos de ciudades de condiciones geográficas, extensión de suelo y densidad poblacional muy diferentes, pero que requieren resolver de forma preventiva y correctiva factores que han incidido en la conformación de IT dentro de sus espacios urbanos.

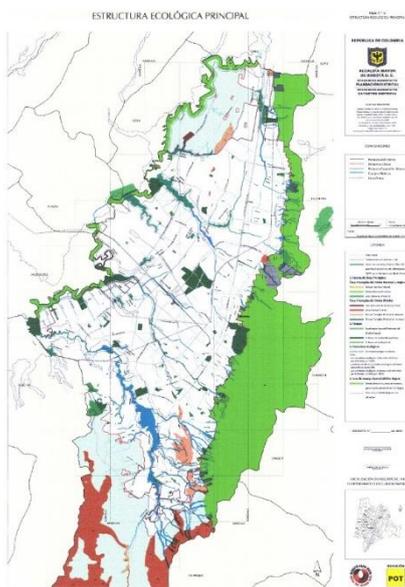
• Caso Ciudad Bogotá, Capital de Colombia

Siendo una ciudad de aproximadamente 7.901.000 (Siete Millones Novecientos un Mil) habitantes y con 8.800 hectáreas de parques y zonas verdes. Bogotá es la tercera capital más alta del mundo después de La Paz y Quito. Está por encima de los 2.600 metros sobre el nivel del mar en algunos sectores de la ciudad, lo que hace que los primeros días puede que notes una sensación de falta de aire y ahogo un tanto molesta. (Statista)

La temperatura media es de unos 12° a 14°C, siendo más fría cuando anochece y algo más elevada en las horas centrales del día, pudiendo sobrepasar los 20°C, sobre todo si sale el sol.

Figura 31

Mapa de la estructura ecológica de Bogotá, D. C



Nota. (Colombia. Alcaldía Mayor de Bogotá)

Según el informe de Greenpeace, Situación Actual del Espacio Público Verde en Bogotá, el 80% de la población total de Bogotá vive con déficit de áreas verdes, ya que de sus 19 localidades 13 presentaron déficit en este aspecto. El estudio realizado por la organización ambientalista buscó conocer la cantidad de espacios públicos verdes (EPV) existentes y su estado actual. Entre los hallazgos, se determinó que mientras cada ciudadano debería contar con

un indicador mínimo 10m², como bien sugiere la Organización Mundial de la Salud (1), las localidades en déficit cuentan con 4-8m² por habitante.

Durante los últimos 40 años se ha evidenciado el aumento en la temperatura de la ciudad de hasta tres grados. Las áreas verdes con sus parques, árboles y plantas contribuyen a regular el clima y disminuir las altas temperaturas en las calles y avenidas en las ciudades (3). **De hecho, Céspedes sostiene que** “el efecto neto de enfriamiento de un solo árbol joven y saludable, equivale a 10 aparatos de aire acondicionado para una habitación, funcionando 20 horas al día...” (Greenpeace, 2020)

• **Caso Sevilla Capital de Andalucía- España**

Es una ciudad de aproximadamente 684.234 habitantes.

Con corte al 5 de mayo de 2022, se estima que *Sevilla es una de las ciudades más verdes de España, con 22 metros cuadrados de zona verde por habitante: 697 hectáreas en total. La ciudad cuenta con un gran número de jardines y parques, entre los que destacan: los Jardines del Real Alcázar, el Parque de María Luisa, los Jardines de las Delicias, los Jardines de Catalina de Ribera, los Jardines de Murillo, o el Parque del Alamillo.* (Parejo, 2021)

Según una publicación del 31 diciembre de 2021 concluyó que la contaminación y la falta de espacios verdes han generado muertes en los habitantes de esta ciudad. *El estudio ha revisado los datos de más de 1.000 ciudades europeas, incluidas las capitales andaluzas y las áreas metropolitanas de Granada y Sevilla, y la conclusión es contundente: cada año se producen 2.084 fallecimientos prematuros por estos dos factores en Andalucía. Dicho de otra manera, y tal y como recoge un trabajo que se ha publicado en The Lancet Planetary Health, centrado en los efectos de la carencia de arbolado, “una gran cantidad de muertes por causas naturales en las ciudades europeas podrían prevenirse anualmente aumentando los espacios verdes”.* (Morente, 2021)

6.3.2. Estructuras Verdes para la Ciudad

Actualmente se pueden proyectar - diseñar la ciudad con estructuras que ayudan a controlar y mitigar las causas origen de las IT, tales como:

6.3.2.1. Separadores Verdes

Figura 32

Imagen de la Calle 26 de la ciudad de Bogotá D. C - Colombia



Nota. (Secretaría de Ambiente)

6.3.2.2. Franjas de Pasto y Trincheras

Figura 33

Franja de Pasto y Trinchera



Nota. (Melbourne Water)

Son franjas densamente vegetadas con poca pendiente, creadas con el fin de mejorar la calidad del agua a través del proceso de filtración y de sedimentación que sufre la escorrentía al pasar por el sistema. Estas franjas a menudo funcionan como pre tratamiento y se combinan comúnmente con trincheras y estanques para disminuir los riesgos de colmatación y aumentar la vida útil de las mismas. Una de las ventajas más importantes de las franjas de pasto es que no necesitan un mantenimiento para evitar la colmatación, pues las partículas contaminantes una vez sedimentadas o filtradas son absorbidas por la vegetación (Centro de aguas urbanas, 2011), típicamente las franjas de pasto se combinan con trincheras.

Figura 34

Trinchera



Nota. (Center for Sustainable Communities)

Las trincheras son excavaciones de poca profundidad que se llenan con grava gruesa, generando una zona de almacenamiento temporal de agua, su evacuación se realiza por medio de la percolación o por medio de tubería perforada (Tubo dren). Este sistema está diseñado para recibir el flujo de manera lateral (idealmente de franjas de pasto), y proporciona un aumento en la calidad del agua mediante el filtrado. (Centro de aguas urbanas, 2011)

Figura 35
Canales Vegetados



Nota. (Thomas Engineering PA)

Son estructuras longitudinales completamente vegetadas usadas para amortiguar, almacenar y transportar el agua lluvia, mediante escurrimiento de tipo laminar o drenaje en zonas donde el terreno lo permita. Este tipo de estructuras generan un aumento en la calidad del agua por medio de la sedimentación, debido al flujo laminar los sólidos suspendidos caen por su propio peso. (CIRIA, 2007)

A la propuesta de sumar estructuras verdes en la ciudad, se añade la de implementar vías con pavimentos porosos y estructuras anexas que ayuden a recoger las aguas lluvias y permitan su infiltración, retención temporal y percolación de forma natural. De esta manera, mejora las condiciones de calidad del agua que va a llegar a los cuerpos hídricos. A continuación, se describen algunas estructuras urbanas que coadyuvan con este objetivo:

6.3.3. Solerías y Pavimentos Permeables

Una de las causas por la cuales se ha intensificado el calor en la ciudad es atribuible a la impermeabilización de sus calles (Actualmente entre el 70% y el 90% de las áreas urbanas están impermeabilizadas), es decir, al uso intensificado de materiales impermeables utilizados para su acabado, como por ejemplo las antiguas calles en piedra, el asfalto y los pavimentos de hormigón (El asfalto y las terrazas de los edificios pueden alcanzar temperaturas entre 27 a 50 °C más elevadas que las que se registren en el aire. (De la Morena Carretero). Cada uno de estos casos se convierten en importantes receptores de radiación solar, lo que traduce en el incremento de la temperatura en el espacio público. Ante esta realidad, algunos países han desarrollado e implementado en las calles los pavimentos porosos, los cuales se definen como: un pavimento que permite la penetración del agua a través de su superficie y permite el almacenamiento temporal de esta en la sub-base, para su posterior infiltración en el terreno. Pueden ser construidos en asfalto o en hormigón.

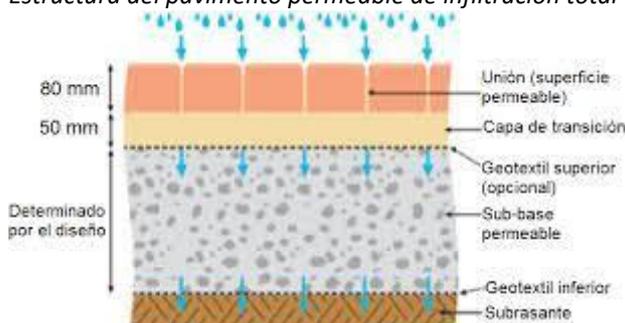
Se denominan de esta manera porque permiten la penetración del agua a través de su superficie y el almacenamiento natural de ésta en la sub-base, para su posterior infiltración en el terreno. Estos pueden ser construidos y clasificados de acuerdo con su capa de rasante final (rodadura), así:

- i. Pavimentos de asfalto poroso,
- ii. pavimentos de concreto poroso, y
- iii. pavimentos de adoquín y modulares (Brattebo & Booth, 2003) (Ferguson, 2005) citado por (Castro Espinosa, 2011).

Estos pavimentos constituyen una estrategia para responder al crecimiento de las ciudades y a la obsolescencia de las redes de servicios, máxime si se tiene en cuenta que, de la superficie horizontal de las ciudades, los pavimentos ocupan entre el 20% y 40% de esta.

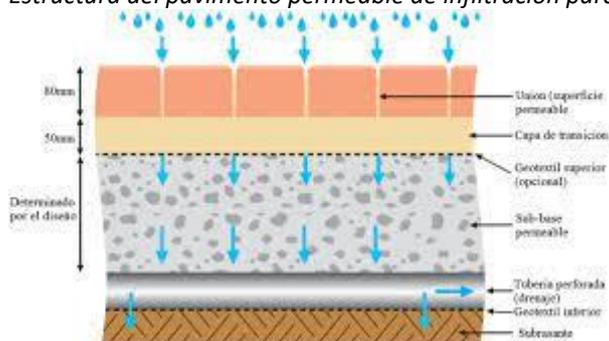
La característica técnica de estos pavimentos se basa en el porcentaje de vacíos que tienen, lo que permite tener una superficie permeable por donde el agua se infiltra a la zona de almacenamiento o amortiguamiento (Capa de Sub Base). Presenta ventajas ya que mejora la tracción, la visibilidad, y disminuye la velocidad y volumen de escorrentía superficial ante los eventos lluviosos (Ferguson, 2005) citado por (Castro Espinosa, 2011). Estos pavimentos, por su misma condición, retienen el calor en menor cantidad, lo cual le genera mayor confort térmico a las áreas urbanas en las que se instalen.

Figura 36
Estructura del pavimento permeable de infiltración total



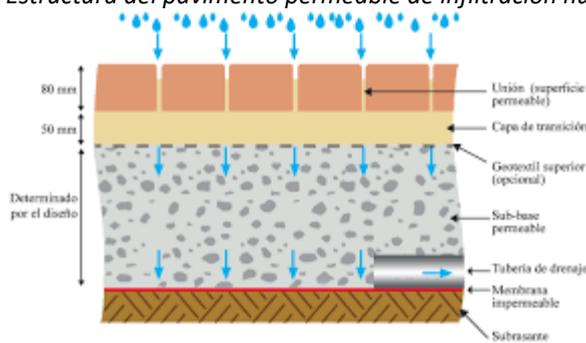
Nota. (Cárdenas Gutiérrez, Albiter Rodríguez, & Jaimes Jaramillo, 2017)

Figura 37
Estructura del pavimento permeable de infiltración parcial.



Nota. (Cárdenas Gutiérrez, Albiter Rodríguez, & Jaimes Jaramillo, 2017)

Figura 38
Estructura del pavimento permeable de infiltración nula



Nota. (Cárdenas Gutiérrez, Albiter Rodríguez, & Jaimes Jaramillo, 2017)

Los beneficios de los pavimentos porosos frente al fenómeno de Islas Térmicas, se pueden resumir de la siguiente manera:

- a) Reduce los riesgos de inundación ya que permite que el agua lluvia se infiltre al subsuelo. El principio general del sistema de pavimento permeable es simplemente recoger, tratar e infiltrar libremente cualquier escorrentía superficial para apoyar la recarga de las aguas subterráneas.
- b) Con el crecimiento precipitado de las grandes ciudades, la construcción de nuevas soluciones de vivienda y de infraestructura complementaria; las redes pluviales y su capacidad de diseño de almacenamiento y transporte de agua se han quedado obsoletas, lo cual, ocasiona que las calles, al no tener capacidad para dirigir el caudal de aguas lluvias, se inunden y generen grandes desastres. A lo anterior, se suma la gran cantidad de contaminantes que arrastran de las calles las aguas lluvias y que llevan por las redes pluviales para finalmente llegar a los acuíferos.
- c) En efecto, utilizar pavimentos porosos ayuda a la gestión de las aguas de lluvia en zonas urbanas, lo cual es de vital importancia para la reducción de contaminantes y el retardo de volúmenes de descarga de agua a los cuerpos receptores. Muchos de los sistemas de gestión del agua, que vienen bajo el título genérico de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) (Scholz, 2013), se basan en dos principios: “Maximizar la capacidad de almacenamiento” y “Maximizar la capacidad de recarga” (Altarejos García, 2007). Estas técnicas alternativas pretenden complementar, o en algunos casos sustituir, los sistemas de drenaje convencionales aliviando las demandas excesivas que se presentan de manera puntual en el tiempo de las redes de alcantarillado pluvial y combinado. (Torres, Ortega, & Daza, 2011).

Figura 39
Hormigón Drenante



Nota. (PaviReal)

- **Poroso:** A diferencia de ser un bloque sólido, el hormigón drenante tiene espacios interiores para que el agua fluya.
- **Resistente:** Si bien el bloque no es sólido sino poroso, este no pierde resistencia. Al contrario, su superficie porosa hace que la sea mucho más resistente y duradero.
- **A prueba de erosión:** Gracias a que este hormigón permite el paso del agua, la erosión por la misma se reduce significativamente. Esto lo hace especialmente resistente ante climas húmedos.
- **Versátil:** Tiene la capacidad de adaptarse a cualquier proyecto. Así, obtendrás la versatilidad y flexibilidad que solo este material tiene.
- **Consistencia:** Mediante el uso de diferentes áridos y aditivos se obtiene una consistencia plástica. Esto hace que el agua se mueva con mayor fluidez ofreciendo, además, una mayor estética.
- **Peso:** Comparado con el hormigón sólido, el hormigón poroso resulta más ligero. Esto supone una gran ventaja en tu construcción al no añadir peso adicional.
- **Compatible con otros tratamientos:** Además, este hormigón es compatible con tratamientos estéticos siempre y cuando no afecten su porosidad.

6.3.3.1. Aportes de los Pavimentos Porosos para atender los efectos de las Islas Térmicas

- Teniendo en cuenta las características ya mencionadas, los pavimentos porosos se presentan aquí como una alternativa a implementar en las vías y calles peatonales de las ciudades, alternativa que ayuda a controlar los efectos negativos que alteran el ciclo hidrológico del agua y que, al no retener la radiación solar en las mismas condiciones de un pavimento normal, baja la temperatura del contexto urbano en que se ubica.
- Al retener la humedad por más tiempo, favorece las áreas verdes, además de permitir la recarga de los mantos freáticos (Saucedo Vidal, 2012). Esto combate una de las causas más importantes por las que se generan las Islas Térmicas que es la escasez de zonas verdes.

- Favorece y fortalece el crecimiento de la vegetación plantada alrededor de las vías que utilicen este sistema.
- Los pavimentos porosos pueden ser utilizados en los estacionamientos, carreteras y otras áreas pavimentadas; son particularmente útiles para las calles y calzadas de zonas residenciales y en áreas de estacionamiento en áreas comerciales; no es efectivo en las áreas que reciben escorrentía con altas cantidades de sedimentos debido a la tendencia de los poros a obstruirse (EPA, 1999).

Adicional a lo anteriormente expuesto, se propone construir Grandes tanques de almacenamiento de agua lluvia, utilizando las intersecciones viales más importantes, como herramienta de almacenamiento y distribución de agua, la cual será utilizada para irrigar las intersecciones, las vías que a éstas llegan y la vegetación circundante. Esto se fundamenta en las siguientes razones:

- a) Las intersecciones viales de las grandes ciudades son áreas bastante amplias
- b) A estas intersecciones llegan vías de dos, tres o más carriles. En el peor de los casos van a confluir 16 carriles.
- c) En estas intersecciones, siempre van a haber carros parados a la espera de un cambio de semáforo, lo que implica que el calor y la contaminación que generan los motores de los carros que no están en movimiento, se suma a los que si lo están.
- d) Alrededor de las grandes intersecciones se pueden generar corredores verdes, que pueden ser irrigados con el agua almacenada en los tanques propuestos.
- e) Al recuperar la vegetación, se retoma y da lugar al proceso de evapotranspiración, el cual *“constituye un importante componente del ciclo y balance del agua. Se estima que un 80% del total de agua recibida por una zona (precipitación) es devuelta a la atmósfera a través del proceso, mientras que el 20% restante constituye la escorrentía superficial y subterránea. Junto con ser un componente del ciclo hidrológico, la evapotranspiración interviene en el balance calorífico y en la redistribución de energía mediante los traspasos que de ella se producen con los cambios de estado del agua, permitiendo así un equilibrio entre la energía recibida y la perdida. El conocimiento de las pérdidas de agua mediante el proceso permite tener un acercamiento a las disponibilidades del recurso y consecuentemente puede realizarse una mejor distribución y manejo del mismo.”* (Wikipedia)
- f) Se plantea la instalación de irrigadores tanto en el área de la intersección, como en las vías que a esta llegan.

En conclusión, con esta propuesta se pretende controlar los efectos de la contaminación generada por los vehículos que utilizan combustible fósil, mitigar los efectos sobre la temperatura que generan los carros cuando se encuentran parados esperando su turno de circulación y recuperar en la ciudad las zonas verdes y las franjas de arborización que se han venido perdiendo con el acelerado crecimiento urbano; y con la recuperación de los elementos verdes, se puede retomar el ciclo hidrológico y el de evapotranspiración.

Figura 40

Plan Distrital de Seguridad Vial 2017-2026



6.3.4. Enfriamiento adiabático

6.3.4.1. Definición

Se define proceso adiabático cuando un sistema no pierde ni gana calor, dicho en otros términos no pierde ni gana energía calorífica. Otra característica de los elementos adiabáticos es que impiden la transferencia de calor con el entorno.

Como ya se ha venido mencionando, uno de los efectos que conlleva la conformación de islas térmicas, es el incremento de la temperatura en la calle, lo que genera discomfort en el peatón, incremento en el uso de sistema de aire acondicionado al interior de las edificaciones del contexto inmediato, afecta la economía y principalmente la salud de las personas.

Una de las opciones de mejora que se presenta se denomina Enfriamiento Adiabático, que consiste en el enfriamiento del aire mediante la evaporación del agua previamente añadida

6.3.4.2. Como Funciona

Explicado de manera técnica, el enfriamiento adiabático es aquel que se logra al evaporar el agua que reside en el aire. Es un *“proceso de reducción del calor a través de un cambio en la presión del aire causado por la expansión del volumen”*, lo anterior en concordancia con la primera ley termodinámica que establece que la energía, en un sistema cerrado no desaparece, solo se va a alguna parte. Algo que, obviamente, hace que el clima sea menos seco y aumentará la humedad. Y es por ello que también se le denomina **enfriamiento por evaporación**. Esto es porque el agua lanzada se evapora en el ambiente y lo vuelve más húmedo y fresco, mejorando la sensación térmica para las personas.

Las estrategias de enfriamiento adiabático también son aplicadas a sistemas de refrigeración para espacios cerrados, funcionando de la siguiente manera: *Un sistema de enfriamiento adiabático típico extrae aire del ambiente externo, reduce su temperatura al evaporar el agua en su presencia y luego alimenta el aire enfriado a un intercambiador de calor.*

El intercambiador térmico elimina la energía térmica del proceso / equipo asociado y la transfiere al aire ambiente frío. Una vez calentado, la temperatura del aire circulante se reduce por evaporación antes de un nuevo ciclo de enfriamiento. (ClimNatur)

Tipos de enfriamiento adiabático.

El enfriamiento adiabático puede ser de tres tipos:

- Refrigeración adiabática directa
- Enfriamiento adiabático indirecto / directo (dos etapas)
- Refrigeración adiabática indirecta

En Vietnam, se ha diseñado un prototipo de refrigeración urbana adiabática. Allí se esperan inundaciones, tifones, olas de calor y sequías en los próximos años. Las olas de calor se padecerán especialmente en las ciudades. El uso intenso y no controlado de aires acondicionados, muy frecuentemente de tecnología obsoleta, para combatir el calor tiene gran impacto en el medio ambiente. El gran consumo de energía y la fuga de gas refrigerante a la atmósfera, hace que las tecnologías de refrigeración actuales alimenten directamente el cambio climático. Con el objetivo de aportar alguna solución a esta problemática, se desarrolló un prototipo utilizando el bambú.

El concepto base es utilizar la frescura natural del agua mediante el principio adiabático, Para evaporarse, el agua necesita energía que es absorbida del calor del aire ambiente, generando así el efecto de refrigeración. Estos criterios permitieron diseñar un dispositivo de refrigeración de baja tecnología que usa el principio adiabático junto con los conocimientos de los artesanos locales que trabajan el bambú.

Figura 41

Torre de refrigeración adiabática en Bambú – sistema alternativo sin electricidad – Ciudad de Vietnam



Nota. (EcoHabitar)

“La torre de refrigeración de bambú tiene una forma hiperboloide para lograr una mayor estabilidad estructural. Entre los postes principales se encuentra un medio por el que fluye el agua por gravedad. En el centro del sistema hay un soplador que capta el aire caliente de la parte superior y lo empuja hacia los niveles inferiores. Al cruzar el agua dos veces, el aire se enfría de forma natural gracias al principio adiabático.” (EcoHabitat)

Figura 42

Torre de refrigeración adiabática en Bambú – sistema alternativo sin electricidad – Ciudad de Vietnam



Nota. (EcoHabitat)

Con este prototipo consiguieron reducir la temperatura en 6°C (de 30°C a 24°C), lo que demostró la viabilidad del diseño y supuso una enorme diferencia en el confort exterior.

Considerando el ejemplo anteriormente expuesto, diseñado en Vietnam, el interés del presente documento es identificar la aplicación de esta estrategia de enfriamiento adiabático del ambiente, en espacios exteriores, es decir, la vía pública (andenes, plazoletas, parques, entre otros).

El ejemplo más habitual de enfriamiento adiabático está asociado a los aspersores de vapor, lo cual se logra mediante la pulverización de gotas de agua que se vuelven vapor en el aire. Esto se logra gracias a los aspersores que pulverizan únicamente vapor o microgotas de agua.

Los procesos de enfriamiento adiabático en climatización pueden encontrarse aplicados al aire de aportación, lo que se denomina **enfriamiento adiabático directo**, o bien aplicados a sistemas de doble flujo con recuperador de calor, enfriando el aire de extracción previamente a su paso por el intercambiador de calor, en tal caso se denomina **enfriamiento adiabático indirecto**. Así funciona:

1. A través del sistema de climatización se dispara el aire seco. En el aspersor, se lanzan gotas de agua diminutas o vapor, en el caso de ser este el medio utilizado. Si se trata de un panel, la corriente de aire disparada por ventilación atraviesa la superficie húmeda.
2. El aire aumenta su nivel de humedad, y junto a la circulación de aire seco en el exterior provoca la evaporación directa de las micro gotas de agua.
3. El aire se enfría y aumenta la humedad.

Este proceso termodinámico en la climatización es económico y muy funcional. Sin embargo, no es la solución perfecta para cualquier ambiente. Puede ser una buena alternativa en determinados ambientes y climas.

- Es muy económico. La instalación de los equipos necesarios no requiere de grandes artificios y un equipo de enfriamiento adiabático en la climatización gasta muy poca energía. Menos que casi cualquier electrodoméstico común.
- La temperatura puede disminuir entre 2º y 10º centígrados, dependiendo de dónde se instale.
- Suele funcionar bien en ambientes al aire libre, así que es apto en épocas de verano para espacios abiertos terrazas, calles, parques, plazoletas, y en espacios cerrados como patios interiores. Este en particular, es la cualidad de mayor interés del presente trabajo.
- Papel o roll del agua dentro de esta propuesta de refrigeración del espacio público
- El agua como energía para el enfriamiento
- El agua es un recurso que cada día se hace más escaso en el mundo. *La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de m³, de estos el 97.5% es agua salada, el 2.5%, es decir 35 millones de m³, es agua dulce y de ésta casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo., el agua dulce se encuentra en los ríos, lagos y mantos subterráneos. Con las intervenciones urbanas el hombre ha cortado su ciclo natural y la ha contaminado, por consiguiente, ha condicionado los buenos usos que esta le puede aportar a la sociedad y ciudad moderna.*

Figura 43

Estadística actual del porcentaje de agua dulce en el mundo



Nota. (Agua.org.mx)

“Del agua que técnicamente está disponible para consumo humano, sólo una pequeña porción se encuentra en lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos relativamente poco profundos, cuya renovación es producto de la infiltración. Mucha de esta agua teóricamente

utilizable se encuentra lejos de las zonas pobladas, lo cual dificulta o vuelve imposible su utilización efectiva. Se estima que solamente el 0.77% se encuentra como agua dulce accesible al ser humano.” (Agua.org.mx).

Considerando las estrategias antes mencionadas, es decir, aprovechando el agua lluvia, permitiendo que el suelo filtre y sea permeado por el agua que a él llega, se propone, como mecanismo para atemperar los espacios públicos abiertos (la calle principalmente) utilizar el agua lluvia filtrada por el subsuelo como insumo primario para crear mecanismos que funcionen como irrigadores e “inyecten” al aire caliente, gotas de agua que cuando se vaporicen, logren bajar la temperatura y hacer el medio ambiente inmediato un espacio confortable para el uso y apropiación del ciudadano. Este mecanismo aplica en zonas de clima cálido seco y de baja humedad.

Para que se genere el enfriamiento adiabático o refrigeración evaporativa, el agua debe evaporarse (pasar del estado líquido al vapor), y para esto requiere de suministro de calor (calor latente de vaporización). La evaporación del agua provoca un enfriamiento del aire. Ejemplo de esto es la arquitectura islámica, los jardines de la Alhambra de Granada, las torres evaporativas y torres de viento, humedad del suelo y fuentes en Irán. Sin embargo, este proceso tiene un límite y es cuando el aire alcanza la saturación máxima y no puede absorber más vapor de agua.

Cuando se evapora agua, el cambio de estado de fase líquida a gaseosa requiere gran cantidad de energía, cedida por el aire que está en el entorno donde se produce la evaporación. Al ceder energía el aire se enfría y el vapor de agua pasa a formar parte de la masa de aire, que eleva su humedad (o vapor de agua). (SIMM ENGINEERING, S.R.L.) (Penichet Castillejo, 2011)

El sistema de enfriamiento por agua atomizada se basa en esta ley termodinámica: mediante una bomba hidráulica pulveriza agua a muy alta presión (70 bares), transformándola en partículas extremadamente finas que al contactar con el aire, bajan la temperatura de éste. Cuanto más alta es la temperatura del aire, más se puede notar el efecto refrescante. Para obtener una atomización perfecta es necesario evitar los fenómenos de corrosión mecánica. Por ello, el material utilizado en las boquillas de micronización es acero inoxidable y su orificio, de 0,1 a 0,4 mm, se realiza mediante tecnología láser. Las boquillas se colocan a una distancia de 0,75 m, aproximadamente (teóricamente 1 litro de agua atomizada en gotas de 10 micras de diámetro, tiene una superficie de intercambio de 600 m².) (SIMM ENGINEERING, S.R.L.)

Figura 44
Sistemas de refrigeración adiabático para espacios abiertos



Nota. (SIMM ENGINEERING, S.R.L.)

Este sistema de enfriamiento evaporativo permite bajar la temperatura hasta 12° en lugares abiertos o cerrados, mejorando la calidad del aire sin mojar. Su principal utilidad suele ser para la refrigeración de zonas críticas o grandes espacios a nivel global. Entre las principales ventajas de este sistema tenemos:

- El pequeño impacto que producen este tipo de instalaciones en los diferentes lugares.
- La limpieza del aire que produce las pequeñas partículas en suspensión. • Su utilidad en lugares totalmente abiertos.
- El bajo consumo energético.
- Gran sensación de bienestar, manteniendo un grado de humedad correcto.
- Absorción de olores, tanto en lugares abiertos como cerrados

El sistema de enfriamiento evaporativo se alinea con términos como sostenibilidad y ahorro de emisiones de CO₂ a la atmosfera, ya que como sabemos, el calor latente de vaporización del agua es de 540 cal/gramo, por lo que podemos decir que cada gramo de agua que conseguimos evaporar absorbe 540 calorías en forma de calor del ambiente. Adicionalmente, la atomización del agua limpia la atmosfera de impurezas como el polvo y de otras que generan malos olores. Bondades que se ven aplicadas en las plantas de producción de agregados pétreos y en el segundo caso en plantas de tratamiento de residuos.

La aplicabilidad del sistema adiabático, en el presente documento, se orienta a:

- Implementar sistemas de enfriamiento adiabático con rociadores que atomicen el agua, en calles y espacios estratégicos.
- Las calles y espacios estratégicos se deben clasificar de acuerdo con la demanda rutinaria de los ciudadanos y con las actividades que es estas se desarrollen.
- Se debe tener en cuenta el nivel de tránsito vehicular alrededor de los sitios donde se proyecten instalar.
- El agua debe ser extraída del subsuelo, por consiguiente, recoge agua lluvia ya filtrada.

- Para viabilizar el punto anterior, se deben construir tanques de almacenamiento, que recojan el agua lluvia y que garanticen que se pueda renovar periódicamente, lo que implica tener una conexión con la red principal que transporta el agua lluvia.
- Son las administraciones públicas las encargadas de operar y realizar mantenimiento a estos sistemas.

Con la implementación de sistemas de enfriamiento evaporativo con elementos como micronizadores, se verá beneficiada la población de las ciudades ya que el medio ambiente se va a percibir más limpio, las edificaciones contiguas a donde sean implementados estos sistemas reducirán el uso de los equipos de aire acondicionado y los efectos de las islas térmicas se verán directamente mitigados y controlados por este mecanismo de enfriamiento. A lo anterior se suman los ahorros en dinero por menor consumo energético y menor impacto al medio ambiente por la disminución de producción CO₂ de los equipos de aire acondicionado.

6.3.5. Toldos

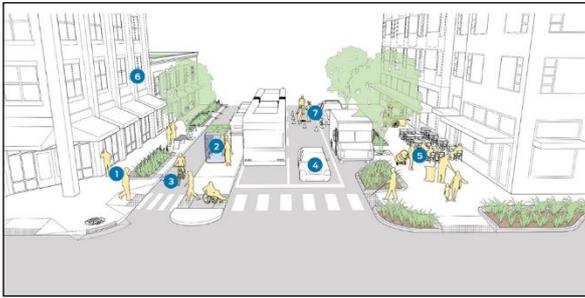
Es un elemento puntual para terrazas, parques y sitios con carácter de permanencia. Estos elementos controlan el paso de la radiación solar mitigando los efectos de calor y generando espacios, esencialmente públicos en áreas comerciales, de confort térmico para el usuario.

La escala urbana de aplicación de los criterios presentados en este trabajo es la llamada “Capa límite Urbana”. Una vez se planteen alternativas que controlen los efectos del calor sobre los espacios urbanos, la calle será más amable y las personas se apropiaran de esta ya que encuentran condiciones de confort, aptas para desarrollar actividades de socialización, permitiendo que en épocas de calor las personas salgan a la calle y de esta manera en los espacios interiores se reduzca el consumo de energía y de emisiones de CO₂ debido al no uso de equipos de refrigeración.

Disponer en el espacio público de elementos o estrategias que controlen los efectos de las islas térmicas, incide en el comportamiento y hábitos de las personas, en el ahorro energético en las viviendas, oficinas y demás espacios ya que no se utilizarían los equipos de calefacción. *“Jan Gehl (1987) afirma que el bienestar de los espacios depende de la protección ofrecida a las condiciones climáticas negativas y la exposición a las positivas. Asimismo, Ralph Erskine (1988) define los espacios sociales como el lugar para el desarrollo de las actividades espontáneas, fuertemente influenciado por las condiciones climáticas, y Finnish Reima Pietila (1988) habla de la arquitectura y el clima como una “pareja dinámica”. (Tumini, 2010).*

Uno de los sistemas, accesible para la administración pública y para el propietario de las edificaciones (sector privado) son los toldos, los cuales tienen las siguientes ventajas:

Figura 45
Toldos utilizados en espacio público.



Nota. (Paisaje Transversal, 2018)

- Son elementos generadores de sombra
- Su implementación tiene costos asequibles
- Permite la apropiación de las personas de los espacios exteriores en cualquier hora del día.
- Protege tanto del calor como de la lluvia.
- Reduce el calor entre un 30% y 50%

Existen también los toldos verticales, que se utilizan en los espacios internos de las edificaciones, lo cuales pueden reducir la temperatura hasta 4 grados, generando con esto ahorro energético y económico.

Los colores fríos como el azul marino o el verde son ideales para protegerse del sol y del calor, creando una mayor sensación de frescura. Por su claridad, el verde y determinados tonos de azul aportan una sensación de mayor amplitud. De los toldos, como elemento de protección, se deben conocer las siguientes características:

6.3.5.1. Tejido

El tejido es el otro elemento fundamental del toldo junto con la estructura y no se debe basar únicamente en el color del mismo. Para obtener un rendimiento óptimo es importante saber elegir un tejido adecuado a nuestras necesidades, ya que existen varias calidades en cuanto a material, densidad y tecnología de fabricación, que influirán fuertemente en el nivel de protección solar que obtendremos.

6.3.5.2. Transmisión de la luz

Cuando la luz alcanza una superficie, de la naturaleza que esta sea, una parte de esta atraviesa los materiales existentes, otra parte es reflejada hacia el exterior y el resto de la luz se absorbe en el tejido siendo irradiada a posteriori en forma de calor

- **Reflexión:** energía solar reflejada hacia el exterior por el tejido
- **Absorción:** energía solar absorbida por el tejido, que posteriormente, éste irradia progresivamente en forma de calor

- **Transmisión:** energía solar que atraviesa el tejido y se transmite al interior

Esta intensidad de iluminación ejerce un efecto directo sobre el ser humano, su capacidad de visión, bienestar, seguridad en el trabajo y economía, creando deslumbramientos en superficies planas y pantallas, efectos térmicos inadecuados y daños en materiales.

La transmisión de la luz a través de un sistema de protección solar viene determinada, en gran medida, por tres características del tejido: la densidad, el espesor y el color.

La cantidad de luz reflejada es menor en un color oscuro pero su porcentaje de absorción aumenta. Así, los colores claros reflejan más radiación, mientras que los oscuros pueden hacer aumentar más la temperatura ambiental en verano, ya que la radiación que absorbe el tejido para el interior en forma de calor.

6.3.5.3. Tipos de Tejido

Existen tres tipos de tejido empleados en la creación de un toldo que son el tejido acrílico, el técnico y el de PVC.

1. **Tejido Acrílico:** Entre las fibras modernas, la acrílica es la que mejor responde a las exigencias de estar al aire libre. Se revela como un formidable aislamiento térmico. Para las lonas de toldo se aconseja la fibra acrílica teñida en masa. Esto significa que el color se impregna en la fibra misma durante su fabricación, al contrario que otras fibras que se colorean mediante remojo simple. La fibra acrílica teñida en masa garantiza unos colores brillantes y duraderos. Además, incorpora el acabado Teflón, lo cual permite una mayor protección del tejido formando una barrera que repele el agua y retrasa la adherencia de la suciedad.
2. **Tejido Técnico:** Se trata de tejidos especiales de última generación que aparecieron en el mercado como respuesta a la regulación térmica y lumínica y el ahorro de energía. Están compuestos de poliéster recubiertos de PVC o fibra de vidrio recubierta de PVC, se lavan muy fácilmente y resisten muy bien a lo largo del tiempo. Los toldos equipados con lonas micro-perforadas regulan el calor y la luz en el interior de una habitación y protegen a quienes viven de la mirada exterior al tiempo que conservan una visibilidad al exterior. Estas lonas se recomiendan para los toldos verticales. Gracias a su estructura micro-perforada, el tejido se convierte en un auténtico filtro térmico. Repele hasta el 92 % del calor de la radiación solar, por lo que evita el efecto invernadero y el recalentamiento de los edificios en verano. En invierno, el proceso se invierte para conservar el calor en el interior del edificio.
3. **Tejido de PVC:** Están compuestos de hilos de poliéster recubiertos de PVC. La principal característica de este tipo de tejidos es su impermeabilidad. También su resistencia a

jirones y roturas. Está disponible en diferentes gramajes dependiendo de la aplicación que se vaya a utilizar. En algunas de sus calidades se ofrece un tratamiento ignífugo.

La implementación de Toldos como elementos que ayuden a controlar los efectos de las IT, tales como las altas temperaturas que a su vez generan discomfort en las personas, corresponden a una solución versátil y de fácil acceso. Actualmente, para su elección se tienen en cuenta variables tales como: el tejido que los conforma, el color, los materiales, el sistema de movilización, entre otros. Este conjunto de características y la versatilidad de ofertas que tiene el mercado, hace que la adquisición de estos productos se realice muy conforme a las necesidades del espacio, del usuario y del propietario. Estos elementos que están muy en función de negocios, aportan a la ciudad espacios de convivencia y apropiación, con ellos se han atendido problemas de carácter ambiental relacionados con la temperatura y la reflectancia, dos variables que, al no ser atendidas, son generadoras de las islas térmicas.

El tejido de los toldos actualmente se diseña como filtro térmico. Repelen hasta el 92% del calor de la radiación solar evitando el efecto invernadero, así como que los edificios contiguos se calienten. Son estructuras muy versátiles en su diseño, de fácil adaptación y que brinda respuesta inmediata. No tienen mayor costo de mantenimiento.

6.3.6. Equipamiento – Mobiliario urbano

“Si en el año 2050, 66 % de la población mundial vivirá en áreas urbanas (de acuerdo con la ONU), ya necesitamos ciudades inclusivas, recipientes y más verdes para disfrutar vidas sostenibles”. (Almevi)

“El equipamiento urbano es el conjunto de edificios y espacios, predominantemente de uso público. En donde se realizan actividades complementarias a las de habitación y trabajo. Estas proporcionan a la población servicios de bienestar social y de apoyo a las actividades económicas, sociales, culturales y recreativas”. (Banco de Desarrollo del Ecuador B.P., 2021)

El equipamiento urbano debe ser accesibles para todo tipo de población: Niños, ancianos, jóvenes, personas con movilidad reducida, hombres, mujeres y hasta mascotas. Es de carácter inclusivo y debe ser seguro para los usuarios. Tiene como finalidad impactar en conductas y hábitos cotidianos favorables para la salud física y mental, actuar en aspectos simbólicos como cohesión social o percepción de seguridad, con nuevas tecnologías, con servicios sociales, comercio de baja escala, espacios públicos y equipamiento recreativos y culturales, promover la movilidad sostenible.

Uno de los efectos generados por las islas térmicas al medio ambiente, particularmente al espacio público de las ciudades, se deriva en el no uso o apropiación por parte de las personas de los espacios abiertos, debido a las incomodidades de temperatura que esta tiene (discomfort). Pensando

en esta situación se plantea la necesidad de incorporar en la ciudad, dentro de los equipamientos, mobiliario urbano que permita y motive a las personas a reencontrarse en los espacios exteriores y disfrutar de estos.

Es así, como el mobiliario urbano, que en algunos casos no pasa de ser elementos fabricados con hormigón y acero lo cual debe ser replanteado y en aras de combatir las IT en los espacios públicos, es importante diseñar, proyectar y fabricar mobiliario urbano con criterios de sostenibilidad, que se adapte a los fenómenos climáticos que hoy debemos mitigar y en el presente inmediato anular. Para colocar el mobiliario en un proyecto se debe tener en cuenta el producto final, los insumos, los procesos de fabricación, entre otros, pensando entre otros, en los siguientes criterios:

1. Salud humana y ambiental.
2. Capacidad de reciclaje.
3. Consumo de energía renovable.
4. Emisiones de CO2.
5. Consumo de agua.
6. Responsabilidad Social Empresarial

Dentro de las posibilidades de mobiliario urbano sostenible que actualmente se pueden desarrollar y que serían aplicables a la calle Lumbreras, objeto de aplicación de algunas alternativas que en este documento se presenten, enseguida se mencionaran, con la intención de mostrar un panorama general:

6.3.6.1. Pérgolas Vegetales

Son estructuras que generan sombra y un ambiente fresco por medio de plantas. Se pueden soportar en elementos metálicos como aluminio, hierro y también la madera, entre otros. Sin embargo, por temas de diseño y durabilidad, el más recomendado es el aluminio. La versatilidad de estos materiales, permite diseñar pérgolas de diferentes dimensiones y formas.

Estas estructuras pueden ser instaladas en espacios interiores y exteriores

Figura 46

Doblhoffpark, Baden, Baja Austria / Invernadero Barroco Restaurado – Jardín de rosas más grande de Austria



Nota. (Verzo)

Figura 47

Lotusland, Santa Bárbara, California Huerto con limoneros, naranjas, limas, kumquat, toronjas y guayabas



Nota. (Verzo)

En espacios exteriores, como parques, plazoletas y calles, se pueden instalar sobre ejes de circulación y zonas de estar o permanencia. Dependiendo del área disponible, pueden variar sus formas y tamaños. Las especies de plantas pueden variar dependiendo de las zonas geográficas en las que se instalen.

Figura 48

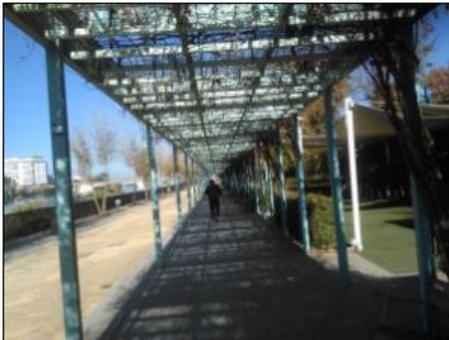
Imágenes de las peatonales de Córdoba con sus pérgolas



Nota. (Díaz Terreno)

Imagen 49

Sevilla - Pérgola en el Muelle Nueva York



Nota. (Bonells)

Las anteriores imágenes corresponden a pérgolas instaladas en dos ciudades españolas, Córdoba y Sevilla, con las cuales se dio una solución en espacios específicos de la ciudad, al inconveniente de las altas temperaturas que se tienen en el verano.

Las pérgolas vegetales son estructuras sencillas y que aportan a la ciudad y al medio ambiente, calidad del aire, confort térmico y belleza paisajística. Es una herramienta de diseño que debería ser promovida por las administraciones de las ciudades. Cada proyecto urbano de vías, espacio público y demás, debería considerar dentro de su alcance el integrar estas estructuras verdes a los segmentos de ciudad que se intervengan. De igual manera las grandes empresas constructoras (urbanizadores) en el sector privado, dentro de las zonas de cesión a la ciudad podrían incorporar estos elementos.

Figura 50

La Plaça Mallorca de Inca será un gran espacio sombreado con pérgolas



Nota. (Frau, 2017)

Con esta última imagen asociada al tema de pérgolas vegetales, se pretende dejar una visión de las opciones y mejoras que ofrecen estos elementos, tanto para el perfil urbano, como y principalmente frente al tema que ocupa el presente trabajo, para mitigar los efectos de las Islas térmicas.

6.3.6.2. Sistema de Gestión del Agua

Comprender los beneficios que están inmersos en la naturaleza y que esta puede aportar a los entornos urbanos, específicamente para el caso objeto del presente estudio, lo referido a la problemática que enfrentan las ciudades por efectos de contaminación y temperaturas elevadas, ha ayudado a que se planteen soluciones basadas en los principios de la naturaleza y que se hable de proyectos “grises a verdes” en Europa, donde las superficies impermeables son reemplazadas total o parcialmente por elementos verdes (plantas, árboles, zonas verdes, entre otros). Estas soluciones requieren soportarse en el manejo y gestión del agua, ya que estos dos componentes van de la mano (Elementos verdes y agua)

Se han generado soluciones basadas en la naturaleza, buscando tres beneficios de esta gestión:

- Durante períodos de lluvia, capturar el agua de lluvia donde cae "en el origen" y reducir la velocidad a la que se transporta el agua al sistema de alcantarillado.
- En períodos secos, recolectar el agua de lluvia para su reutilización y proporcionar riego pasivo para plantas y espacios verdes vivos.

- Durante períodos calurosos, reducir el efecto urbano de "isla de calor", utilizando los efectos de enfriamiento del agua y las plantas.

A continuación, se relacionan algunas estrategias por la cuales se ha venido optando para utilizar el agua lluvia como energía para sustentar los elementos verdes y para usos en los que no se requiera agua potable.

Recolección de agua lluvia por medio de las cubiertas de los edificios y de las casas. Esta acción se puede llevar a cabo mediante contenedores o tanques que bien pueden ser ubicados a nivel de peatón o puede estar enterrados. En los dos casos el agua lluvia puede ser recolectada para servicios diferentes a los relacionados con el consumo humano, por ejemplo: riego de planteas y zonas verdes, agua para aseo general de las edificaciones, alimentación de fuentes o espejos de agua que en época de verano ayuden a refrescar la temperatura ambiente, entre otros.

Figura 51

Planteamiento de recolección de aguas lluvias



Nota. (Captación de agua de lluvia en techos de edificios) (iagua)

6.3.6.3. Nuevas Tecnologías de Pavimento

- a) Se encuentran en el mercado tecnologías como la llamada Permavoid, que utiliza una balsa geocelular modular de lata resistencia dentro de cuya estructura se puede almacenar agua. Se instala como acabado de superficies y puede ser impermeable y permeable, y de manera controlada es adecuada para la circulación de vehículos sobre esta. Este sistema reduce la cantidad y velocidad de agua lluvia que llega al sistema de alcantarillado, mitigando así el riesgo de inundaciones. Además, el agua de lluvia almacenada en el depósito poco profundo puede utilizarse para fines de riego con la utilización de conos capilares registrados para proporcionar riego pasivo. Estos sistemas se están estableciendo muy bien en el norte de Europa, y planificadores y diseñadores reconocen el potencial que ofrece Permavoid para crear espacios verdes sostenibles y agradables con el mínimo uso de agua potable. El potencial es quizás mayor en el sur de Europa, donde los problemas de altas temperaturas urbanas y el estrés hídrico agudo son más graves

Figura 52*Subbase de estructuras de plástico de Permavoid Limited (2008)**Nota. (Rodríguez Hernández, 2008)*

Las capas inferiores de un firme permeable también pueden estar compuestas por estructuras de plástico con la resistencia necesaria para recibir las cargas de las capas superiores y transmitir las a las capas inferiores. Las estructuras de plástico pueden tener diversos tamaños, que van desde cajones de 408 mm x 680 mm x 880 mm a celdas drenantes de 30 mm de altura (Rodríguez Hernández, 2008). Estos módulos resisten repartiendo las cargas mediante sistemas de celosía y enganches machihembrados que aseguran la correcta trabazón entre las piezas de plástico.

La principal ventaja que ofrecen las estructuras de plástico frente a las capas granulares es la mayor capacidad de almacenamiento de agua en su interior. Estos módulos ofrecen un porcentaje de volumen libre por encima del 90%, más del doble del 40% que pueden llegar a tener las capas granulares.

Estructuras como esta, pueden ser instaladas en segmentos de la ciudad específicos, donde por condiciones de:

- a) Topografía del sector,
- b) Afectaciones por el incremento de temperatura (fenómeno materializado de isla térmica)
- c) Posible riesgo de inundación,
- d) Gran afluencia de peatones,
- e) Cercanía de zonas verdes, arborización y demás elementos naturales que requieran irrigación,

Sea conveniente su ubicación, para el debido aprovechamiento de las aguas lluvias que se contienen o reservan dentro de estas estructuras; para luego aprovecharlas para la diversidad de fines que esta ofrece (mitigar la temperatura, riego de estructuras verdes, reducción del volumen de agua que llegue a la red, entre otros).

A nivel de edificación, se presentan a continuación, alternativas de materiales que ayudan a mitigar y/o eliminar el fenómeno de isla térmica.

6.4. Edificación – Estrategias contra las Islas Térmicas

6.4.1. Características Importantes para Definir los Materiales

Los materiales que se utilizan para construir proyectos de orden público y privado tienen propiedades o características físicas que contribuyen a la materialización de los efectos de la isla Térmica. Las propiedades que deben ser observadas con atención y minucia están relacionadas con: **a)** la capacidad que tienen para reflejar la radiación solar, conocida como albedo, **b)** la emisividad térmica (es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a su temperatura) y, **c)** la capacidad calorífica (es la energía necesaria para aumentar la temperatura de una determinada sustancia en una unidad de temperatura).

Es importante entender que el balance térmico de los espacios urbanos está radicalmente influenciado por los materiales de las envolventes de las edificaciones, ya que estas, absorben la radiación solar y posteriormente por procesos de convección y radiación disipan el calor acumulado hacia la atmósfera, modificando las condiciones de temperatura de su contexto inmediato.

Conociendo estas características se puede determinar cuánta energía procedente del sol es reflejada, emitida y absorbida por un material específico en un contexto urbano, y de esta manera desde la etapa de diseño, se pueden pensar los materiales con los cuales se va a desarrollar el proyecto.

Frente a lo antes mencionado, se han hecho mediciones y simulaciones que establecen indicadores respecto a la cualidad de los materiales para reducir las temperaturas del aire exterior. Una de las muestras se realizó en la ciudad de Mendoza – Argentina con 152 materiales: tejas, membranas, revestimientos texturados, pinturas para fachadas y pavimentos peatonales. Para cuantificar la capacidad reflectiva (albedo) y el comportamiento térmico superficial de los materiales, se utilizó un método variante de la norma ASTM E-1918 propuesto por Akbari, Levinson y Stern (2008). Dicho método mide la reflectancia solar de un material sobre 1 m² de superficie, mediante el uso de un piranómetro y un par de máscaras de color blanco y negro. Los resultados han sido publicados en diversos trabajos nacionales e internacionales (Alchapar, Correa, & Cantón, 2014; Alchapar & Correa, 2015).

Los resultados obtenidos demostraron que el color es determinante para definir el desempeño térmico de un material, sin embargo, su comportamiento puede ser mejorado con otras características como: acabado, composición y envejecimiento. A escala urbana, los resultados muestran que la selección adecuada de materiales de la envolvente podría disminuir hasta 3 °C la temperatura del aire y 12 °C la temperatura de las superficies, lo cual ayuda frente al consumo por refrigeración de las edificaciones. *Para la consecución de ciudades más sustentables, en términos*

ambientales, resulta determinante desarrollar y seleccionar aquellos materiales de construcción con tecnologías que permitan un modelo urbano energéticamente eficiente y una economía de bajo carbono durante todo el ciclo de vida del material. En la construcción tradicional, tanto los materiales empleados, como los modos de producción, ocasionan un fuerte impacto medioambiental, estos implican la extracción de materias primas las cuales, en su mayoría, son recursos no renovables. (Alchapar, Sánchez, Correa, Gaggino, & Positieri, 2020)

La implementación o uso de materiales para la envolvente (fachadas y techos) es uno de los factores determinantes de las edificaciones y que más incidencia tiene en la retención y aumento de temperatura en el ambiente, es decir, que contribuye al aumento o disminución de la temperatura de la ciudad; especialmente aquellas edificaciones que son bastante antiguas y a las que no se les invierte recursos en mantenimiento y/o actualización de materiales con nuevas tecnologías que se adapten a los factores climáticos que hoy afectan las ciudades. En respuesta a lo anterior, es necesario pensar en materiales con características físicas que contrarresten los efectos de las islas térmicas y tomar y/o replicar las buenas prácticas de los países que han asumido y atendido esta problemática. Se deben utilizar *materiales con alto albedo y alta emitancia térmica en la envolvente. Estos materiales se denominan en la bibliografía internacional como cool material (Santamouris et al., 2011), ellos se mantienen más frescos expuestos a la radiación solar y tienen mayor habilidad para entregar durante la noche el calor en forma de radiación de onda larga, reduciendo así la demanda energética para refrescar edificios y mejorando el confort interior de los edificios sin aire acondicionado. (Alchapar, Sánchez, Correa, Gaggino, & Positieri, 2020).*

El comportamiento térmico de los materiales constructivos está determinado por sus características térmicas y ópticas; donde los factores más importantes son: la emisividad térmica a la radiación de onda larga y el albedo a la radiación solar o de onda corta. (Alzate Gaviria, 2020)

Los techos en las edificaciones y los pavimentos vehiculares y peatonales en el espacio público, son las superficies opacas horizontales más expuestas a la radiación solar, y, por lo tanto, son los que absorben la mayor carga térmica de una estructura (Givoni, 1994). Numerosos estudios han descrito los beneficios de los techos con alto albedo como una eficaz estrategia pasiva para el enfriamiento (Simmons, Gardiner, Windhager, & Tinsley, 2008), cuantificando la energía ahorrada en diferentes tipos de edificios y climas (Simpson & McPherson, 1997; Zinzi & Agnoli, 2012).

La mayoría de los materiales de construcción tienen baja reflectancia solar en comparación con los materiales naturales. Esta combinación de baja reflectancia solar y alta capacidad calorífica difícilmente ocurre en la naturaleza. Debido a que los materiales que componen las envolventes urbanas son responsables de la interacción entre el edificio y el medio ambiente, afectan tanto el

consumo de energía para el acondicionamiento térmico de los edificios como las temperaturas de la ciudad.

En el marco de lo antes expuesto, se deja claro que, para alcanzar un desarrollo urbano sostenible, que mitigue o elimine los efectos del calor intenso en las ciudades, es necesario efectuar una caracterización precisa de propiedades físicas de materiales regionales de cada ciudad / país, de acuerdo a tecnologías endógenas, nuevos desarrollos y de producción local. Es por ello, que a manera de pre conclusión; se debe optar como norma y buena práctica, que cada país, ciudad, región caractericen el comportamiento opto-térmico y mecánico de los materiales para fachadas, techos y pisos, de tecnología tradicional y reciclada, de acuerdo a sus propiedades para disminuir las temperaturas urbanas. Para lo anterior existen criterios como el cálculo del Índice de Reflectancia Solar (SRI) de acuerdo a la norma ASTM E1980-11.

6.4.2. Impactos y Efectos de la Producción Materiales

Una vez expuestas algunas características de los materiales que se deben buscar en función de que estos mitiguen y/o eliminen los efectos de las islas térmicas; se debe tener en cuenta un tema fundamental, asociado a lo anterior, que corresponde a la etapa y/o procesos de fabricación, transporte y embalaje de los materiales de construcción. Esta actividad en algunos casos es la que mayor demanda de recursos naturales requiere, como por ejemplo la madera, los minerales, el agua y la energía, y dentro de sus procesos, el transporte demanda actualmente grandes cantidades de combustible fósil. De la misma forma, *los edificios, una vez construidos, siguen siendo una causa directa de contaminación, por las emisiones que generan, y así producen un impacto ambiental sobre el territorio, por el consumo que hacen tanto de energía como del agua, necesarios para su funcionamiento.* (Cuitiño-Rosales, Rotondaro, & Esteves, 2020)

Durante las etapas de fabricación de los materiales de construcción y de los productos derivados, se produce, generalmente, un alto impacto ambiental. Dicho impacto tiene su origen en la extracción de los recursos naturales necesarios para el proceso de fabricación y en el consumo de energía requerido durante cada etapa del proceso. A raíz de ello, se generan emisiones tóxicas a la atmósfera, las cuales resultan contaminantes, corrosivas y altamente perjudiciales para la salud. Dicho proceso se repite tanto en la operación como en el uso del edificio, hasta su disposición final, reducido en partes esenciales que permitirán su reciclado o su reúso para una obra nueva. (Cuitiño-Rosales, Rotondaro, & Esteves, 2020)

Por lo anterior, es necesario planear y desarrollar o ejecutar los proyectos con la menor cantidad posible de materiales industrializados, así como evitar utilizar materiales cuyo ciclo de vida tenga un fin ya determinado y no permitan ser reutilizados o reciclados. *Los principales efectos que los materiales utilizados en la construcción provocan sobre el ambiente incluyen: consumo energético,*

producción de residuos sólidos, incidencia negativa en el efecto invernadero, perjuicio a la capa de ozono y otros factores de contaminación ambiental. (Cuitiño-Rosales, Rotondaro, & Esteves, 2020)

6.4.3. Alternativas de materiales apropiadas contra las IT

A continuación, se presentarán alternativas de materiales con características enfocadas a combatir el fenómeno de isla térmica, los cuales tienen en cuenta las variables antes mencionadas.

6.4.3.1. La Pintura

Aplicada particularmente en techos y fachadas, la estrategia de pintar de color blanco, corresponde a una técnica llamada “enfriamiento radiativo pasiva simple”. La pintura blanca no afecta significativamente la tasa de radiación por la noche, sin embargo, su valor agregado es tener una menor absorción de radiación solar durante el día, por lo que la temperatura sigue siendo inferior, Por lo tanto, al elemento que se le aplique puede ser enfriado fácilmente por la radiación en la noche. (ssecoconsulting.com)

El color de una superficie es vital para definir su temperatura superficial, en este sentido La reflectividad solar (RS) y la emitancia son las dos las características físicas relevantes.

Actualmente existe una gran variedad de pinturas para exteriores, es por ello que, para seleccionar la mejor opción se deben tener en cuenta las siguientes variables, tomadas como referencia de las simulaciones hechas en la ciudad de Mendoza - Argentina:

La composición impermeable es levemente más eficiente que la acrílica, alcanzando una temperatura superficial entre 31 a 43 °C y SRI entre 100 y 88 %. Mientras que la temperatura superficial de las alternativas de composición acrílica se ubica en un rango de 44,5 °C y 40 °C y SRI entre 94 a 86 %. Cabe destacar, que la pintura de composición atérmica-L01-, a pesar de su condición, no presenta un comportamiento notablemente mejor que el resto de las alternativas, con registros de temperatura superficial de 10,5 °C por encima de la opción más eficiente evaluada (Impermeable satinada blancaL07). Es decir, que no basta con elegir una pintura atérmica, de acuerdo a lo que ofrece el mercado, sino que es necesario un estudio más profundo, que pondere el potencial de enfriamiento pasivo; y de esta forma asegurar que su aplicación en la envolvente edilicia sea efectiva. (Ver L01 en la figura 58)

Análisis de materiales de acuerdo con sus características al envejecimiento.

Para determinar la eficiencia térmica de un material es importante tener en cuenta las condiciones del entorno físico donde se aplicará, particularmente lo relacionado con el nivel de contaminación. Esta circunstancia causa detrimento en su aspecto exterior y por ende visual, así como afecta el comportamiento y aptitud para disminuir las temperaturas superficiales.

El resultado de las temperaturas superficiales de los materiales se deriva del efecto combinado de la composición, textura, color y forma, donde el color resulta ser la variable de mayor impacto en el comportamiento térmico. Las figuras 58 y 59 grafican mediante la función gaussiana la

curva normal de niveles de SRI de los materiales bajo la condición nueva (SRI1) y envejecida al tercer año de exposición (SRI3) (Alchapar & Correa, 2015).

Figura 53

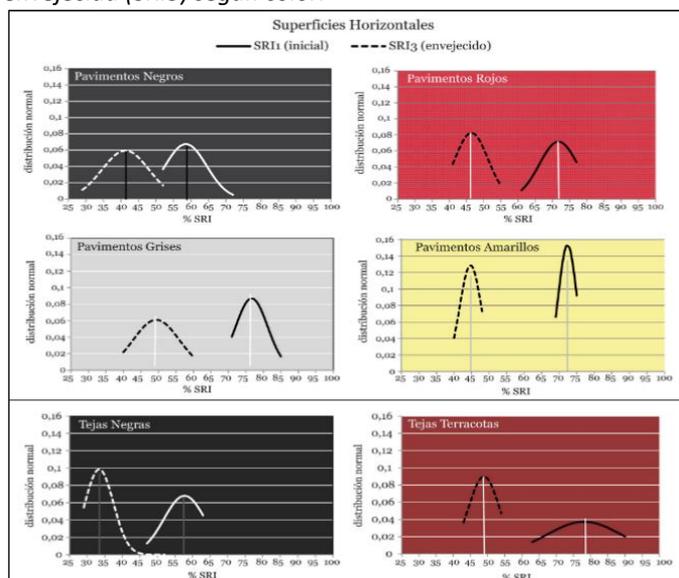
Codificación, denominación, características formales, temperatura superficial (Ts °C) e Índice de reflectancia solar (SRI%) de materiales evaluados.

COD.	CARACTERÍSTICAS	Ts	SRI	COD.	CARACTERÍSTICAS	Ts	SRI				
PAVIMENTOS PEATONALES	P02	Cementicio rústico circular araña negro	58	59	TEJAS	T11	Cementicia natural colonial terracota	55	64		
	P05	Cementicio rústico circular abanico negro	62	52		T12	Cementicia mate francesa negra	64	47		
	P07	Cementicio rústico recto cuadrado negro	60	55		T13	Cementicia acrílica francesa negra	61	53		
	P19	Cementicio rústico liso mosaico negro	58	59		T15	Cementicia mate colonial negra	56	63		
	P20	Cementicio rústico recto cuadrado gris	49	77		T16	Cementicia mate francesa terracota	56	63		
	P25	Granítico pulido liso mosaico gris multicolor	45	85		CW 72	Cementicio Sulpítrate planchado gris plomo	68	40		
	P27	Cementicio rústico circular andalucía negro	61	52	CW 76	Cementicio Granitex medio ocre	59	57			
	P29	Granítico pulido liso mosaico negro murcia	56	62	CW 80	Cementicio Granitex medio gris plomo	47	80			
	P30	Cementicio-pétreo pulido recto cuadrado gris multicolor	49	76	REVESTIMIENTOS TEXTURADOS	SIP 10	Acrílico Rulato-travertino grueso marfil	38	99		
	P31	Granítico pulido liso mosaico verde jade	53	69		SIP 11	Acrílico Rulato-travertino grueso piedra paris	40	94		
	P33	Cementicio rústico recto cuadrado negro	58	59		SIP 18	Acrílico Llanado fino marfil	60	55		
	P34	Granítico pulido liso mosaico travertino	30	100		SIP 27	Acrílico Llanado grueso piedra paris	57	61,5		
	P35	Cementicio-calcáreo pulido recto dos panes negro	58	58		SIP 36	Acrílico Granitex medio ocre	47	80,5		
	P36	Cementicio-calcáreo pulido recto dos panes rojo	51	72		SIP 40	Acrílico Granitex medio gris plomo	70	35		
	P37	Cementicio-calcáreo pulido recto dos panes amarillo	53	69		PINTURAS	L01	Atérmica mate blanca	41,5	92	
	P38	Cementicio-calcáreo pulido recto vainilla amarillo	50	74			L02	Acrílica mate negra	70	36,5	
	TEJAS	To1	Cerámica natural colonial terracota	43			90	L07	Impermeable satinada blanca	31	100
		To4	Cerámica brillante bisacación francesa negra	56			63,5	L16	Impermeable satinada terracota	59,5	58

Nota. (Alchapar & Correa, 2015)

Figura 54

Distribución normal de materiales horizontales -pavimentos y tejas- para la condición inicial (SRI1) y envejecida (SRI3) según color.



Nota. (Alchapar & Correa, 2015)

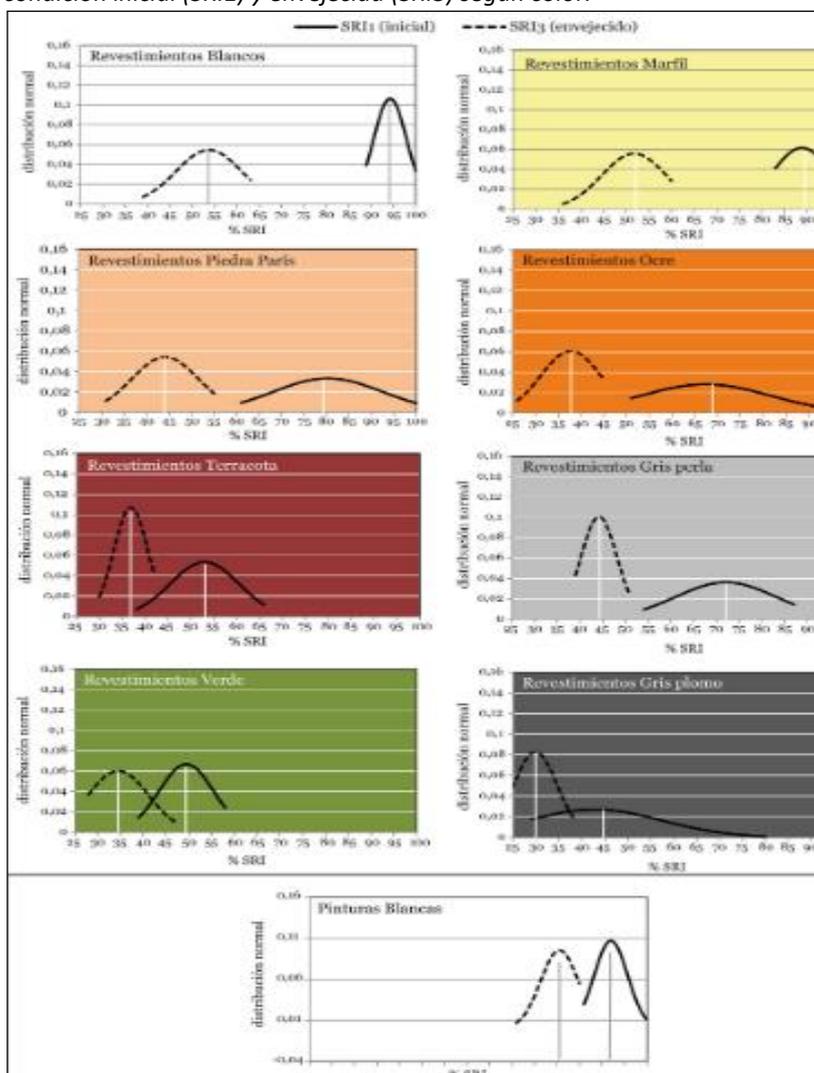
6.4.4. Análisis Comparativo entre Color y Envejecimiento

Con base en las gráficas contenidas en las tablas, luego de tres años de uso; se concluye que:

- a) Los materiales utilizados en pavimentos y tejas, disminuyen su SRI (Índice de reflectancia solar) entre el 18% y 29%, lo que conlleva a que la temperatura superficial se incremente de 10°C a 18°C (Tabla 2)
- b) En las superficies verticales como fachadas, los revestimientos texturados en tonalidades claras (blanco, marfil, piedra parís, ocre y gris perla) son los que menos resisten al envejecimiento y presentan disminución del SRI entre el 28 y 40%. En contraste con las pinturas blancas que modifican su SRI promedio 11% y elevan la temperatura superficial 6°C luego de envejecidas (Tabla 3)

Figura 55

Distribución normal de materiales verticales -revestimientos texturados y pinturas látex- para la condición inicial (SRI1) y envejecida (SRI3) según color.



Nota. (Alchapar & Correa, 2015)

En la figura 60 se comparan el rendimiento energético de dos soluciones de fachadas: revestimientos texturados blancos frente a pinturas látex blancas. Se observa que el SRI inicial

promedio de revestimiento texturado blanco es de 94% y el de las pinturas blancas es de 92%, es decir que ambos materiales registran una temperatura superficial aproximada de 40°C. Sin embargo, durante la etapa de envejecimiento el SRI promedio al final del tercer periodo es mucho menor en los revestimientos que en las pinturas (SRI3 revestimiento=54% vs. SRI3 pintura=81%). En este periodo el revestimiento texturado eleva 12°C su temperatura superficial sobre las pinturas. Este hecho pone de manifiesto que, si se desea seleccionar el color blanco para la resolución de una fachada, las pinturas brindan mejores prestaciones térmicas, permaneciendo más fresca luego de su envejecimiento. (Ver Revestimientos Blancos vs. Pinturas Blancas en Figura 60).

Ejemplo de lo anterior son los pueblos blancos de Andalucía – España y las islas griegas, donde se utiliza el color blanco y se tienen identificados los beneficios en cuanto a que refleja la luz solar e impide que se acumule el calor.

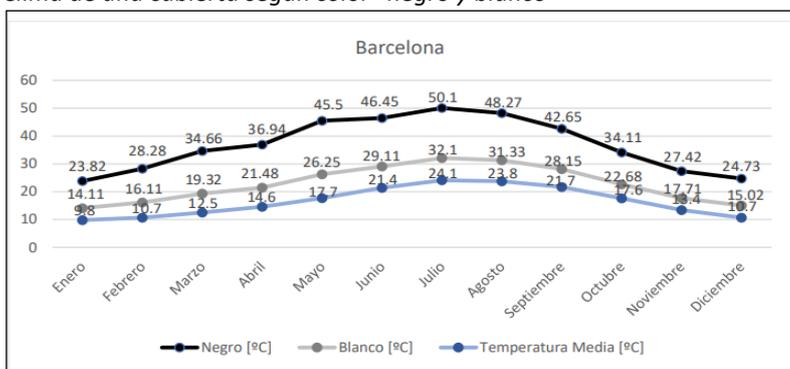
Figura 56
Pueblos blancos de Andalucía España – Málaga



Nota. (Chacón, 2017)

Un ejemplo demostrativo de los efectos sobre el clima de una cubierta pintada con color blanco es: *En Barcelona la temperatura superficial de una cubierta blanca llega a alcanzar temperaturas de 32,1°C en Julio, aproximadamente 20°C por debajo respecto el acabado negro. Mientras que, en diciembre una cubierta negra alcanza temperaturas de 23,82°C, aproximadamente 10°C por encima del acabado blanco.*

Figura 57
Clima de una cubierta según color “negro y blanco”



Nota. (Masip Vilà, 2019)

Recientes investigaciones por parte de ingenieros de la Universidad de Purdue (Indiana, EE. UU.) han diseñado y presentado una pintura blanca “La más blanca del mundo” *capaz de reflejar hasta el 98 % de la luz solar y de reducir hasta en 4,5o C la temperatura dentro de los edificios. La presentan como una solución sostenible de refrigeración pasiva y alternativa a los aires acondicionados.*

Un dato interesante hace referencia que:

“Si se usara esta pintura para cubrir un área de tejado de aproximadamente 93 metros cuadrados, estimamos que se podría obtener una potencia de enfriamiento de 10 kilovatios. Eso es más poderoso que los aires acondicionados centrales que usan la mayoría de las casas”, ha afirmado Xiulin Ruan, profesor de ingeniería mecánica en la universidad norteamericana”. (BBVA, 2021)

Para evaluar los materiales más convenientes a utilizar en fachadas y planos horizontales, se ha de tener en cuenta también, la densidad, dado que aumentar los niveles reflectancia solar resulta una estrategia beneficiosa en torno a disminuir las temperaturas máximas y promedio de aire. En cambio, en la alta densidad esta estrategia resulta perjudicial durante el período de calentamiento (17hs), debido a que se disminuye la porción de visión efectiva al cielo dado por la altura de las edificaciones quedando atrapada la radiación reflejada por las superficies con alto reflectancia solar. *“Tanto para la baja, como para la alta densidad los escenarios con reflectancia solar combinada (R3 - alta reflectancia solar en superficies horizontales y baja reflectancia solar en superficies verticales-), registran menor temperatura de aire para todas las configuraciones ensayadas”. (Alchapar & Correa, 2015)*

Para concluir el tema inicial, la pintura blanca es una opción asequible y universalmente conocida, que la ciencia actualmente está investigando en pro de la mejora de sus resultados hasta ahora obtenidos frente al cambio climático y aplica totalmente para el tema del presente trabajo ya que se constituye en una herramienta con la que se pueden contrarrestar las causas y los efectos de las Islas térmicas.

6.4.5. Techos Verdes y Jardines Verticales

Las edificaciones, por determinación de los propietarios, diseñadores y constructores, podrían plantear cubiertas ajardinadas o también denominadas cubiertas vegetales ecológicas.

¿Cómo funcionan? La vegetación de las cubiertas retiene las partículas de polvo en suspensión. Además, absorbe el dióxido de carbono generando a cambio oxígeno, mejorando en consecuencia la calidad del aire, limpiándolo. Por otra parte, la incidencia de los rayos solares sobre las cubiertas vegetales evita que éstos sean reflejados y absorbidos por el hormigón, acumulan esa energía recibida invirtiéndola en procesos como la fotosíntesis y la transpiración.

Figura 58

Jardines en azoteas. Una forma de combatir la contaminación y ahorrar energía



Nota. (Palou, 2017)

Ya en los antiguos **zigurats** que se construyeron en Mesopotamia, se incluían jardines que aparecían en la cubierta (dentro de la propia construcción). Diversos autores consideran los jardines vivos de Babilonia (construidos en el 600 a. C.) como **uno de los primeros ejemplos de una cubierta vegetal** [1]. Otro ejemplo que incide en la multiculturalidad a la hora de construir jardines son los **mausoleos** de los emperadores romanos Augusto y Adriano que estuvieron, originalmente, rematados por un montículo de tierra de forma cónica con plantaciones de árboles [2].

En Europa, durante la Edad Media y el Renacimiento, las cubiertas sólo fueron **construidas por la clase alta y el clero**. El siguiente ejemplo de cubiertas vegetales es mucho más modesto y la nobleza no tiene nada que ver, se tratan de las **construcciones de los vikingos** donde se utilizaba turba en sus tejados y en sus paredes **para impermeabilizar el interior de la vivienda y evitar las fugas de temperaturas** [3].

Figura 59

Casa tradicional de turba en Islandia.



Nota. (hurstwic.org)

También existen testimonios de que en los asentamientos americanos de la **Gran Pradera americana** también se utilizó esta misma técnica. Países con una tradición de cubiertas con

turba o césped son: Suecia, Finlandia, Islandia, Dinamarca, Noruega, Groenlandia, Vinland (isla de Terranova) y las Islas Feroe.

Figura 60

Casa tradicional en los asentamientos del nuevo mundo.



Nota. (hurstwic.org)

Fue a finales del **siglo XIX** cuando se desarrollaron las cubiertas vegetales tal y como las concebimos actualmente. Estas cubiertas, se caracterizaban por sus **capas impermeables** que eran construidas con una combinación de un subproducto alquitranado proveniente de la producción del carbón junto con cuatro capas de papel (*tarred paper*), a la que se superpone una capa de grava junto con una capa de arena para protegerlo de la radiación ultravioleta y del calor [4]. Con el paso del tiempo, está cubierta sufre un proceso de **colonización natural de especies vegetales**.

En los años 30 se construye en el **Rockefeller Center** (EEUU) una cubierta vegetal que perdura hoy en día, aunque entonces todavía no existía un conocimiento consolidado como para desarrollar las construcciones de las cubiertas vegetales. Por esta razón, las cubiertas vegetales sufren un estancamiento del que no saldrán hasta la **década de los 60**.

El siguiente paso a la hora de analizar estas cubiertas, diseñadas un siglo antes, lo da el que es considerado como “padre” de las cubiertas vegetales **Reinhard Bornkamm**, un botánico de la Universidad de Berlín, que comienza a estudiar la ecología de las cubiertas construidas por Koch [4], a partir de los resultados de este equipo de investigación, **se empieza a propagar por Alemania** este tipo de construcción.

Para hacernos una idea del éxito de estas cubiertas, **en 1989 se instalaron en toda Alemania 1 millón de metros cuadrados de cubiertas vegetales, cifra que se disparó hasta los 10 millones de metros cuadrados en 1996**. (Urbanismo y Transporte, 2014)

Luego de esta reseña por la histórica de las cubiertas vegetales, se pone de manifiesto la necesidad de transformación de las ciudades y de su integración en el medio en la medida de lo posible, compatibilizando el desarrollo urbano con la ecología y la sostenibilidad. Para impulsar este proceso, las administraciones, las empresas y la opinión pública deben conocer las numerosas ventajas tanto económicas como ecológicas de estas cubiertas.

En este sentido, las cubiertas vegetales, se constituyen en barreras que impiden que el calor impacte de forma directa sobre las cubiertas de las edificaciones, lo cual incide de forma directa en la temperatura interior de esta; actuando como aislante térmico en verano y en invierno y ayudando a controlar la humedad del ambiente. Este planteamiento se podría entender como devolver a la tierra el suelo abruptamente ocupado, producto de la construcción deliberada de urbanizaciones residenciales y grandes edificios de oficinas cuya área de cubierta es mínima frente a la densidad ocupacional de persona por metro cuadrado que compromete su capacidad construida.

Plantear estas estructuras vegetales en las cubiertas, implica un estudio juicioso de las especies más idóneas, teniendo en cuenta temas de mantenimiento, autosuficiencia y durabilidad.

6.4.5.1. Beneficios de las Cubiertas Vegetales

Es importante que se fortalezca la implementación de las cubiertas vegetales o ajardinadas, con el apoyo de la legislación urbanística de las ciudades. Diseñar estrategias que fomenten en las personas la conciencia de las bondades a nivel ambiental y de ahorro energético que estas traen, que hagan de esta práctica un deber dentro del sector de la construcción; constituye una manera de acometer los efectos de las islas térmicas y de prevenir la ocurrencia de estas. (Urbanismo y Transporte, 2015)

- **Materiales Termocrómicos**

Cromogenia es la propiedad de ciertos materiales de cambiar de color cuando se exponen a estímulos externos. Este cambio puede ser reversible o irreversible.

Dependiendo del estímulo externo se pueden clasificar en diferentes tipos: Fotocrómicos, hidrocrómicos, electrocrómicos, ultravioleta y termocrómicos.

Ilustración 6: Tipo de materiales cromogénicos. Ilustración: propia

- Los materiales fotocromicos reaccionan ante cambios en el tipo de iluminación, de modo que si existe radiación solar incidente o algún otro tipo de iluminación el material padece un cambio de color que concluye con el cese de la iluminación. El nivel de transformación que sufren depende de la intensidad de la luz incidente, es por ello que en la oscuridad no se ven.

- Los materiales hidrocrómicos reaccionan al ser humedecidos, el contacto con el agua provoca una reacción en su estructura y como consecuencia su caracterización óptica. Normalmente los hidrocrómicos muestran en su estado de sequedad un color, mientras que humedecidos se vuelven translucidos.

- La familia de los electrocrómicos está compuesta por materiales que cambian su aspecto como consecuencia directa de un cambio en su estado de oxidación al ser tratados o conectados a una fuente eléctrica externa.

- *Los materiales ultravioletas son muy conocidos en el ámbito de los cosméticos. Se trata de materiales susceptibles a la radiación de luz ultravioleta y que únicamente son apreciables bajo esta.*

- *Los termocrómicos son aquellos con la capacidad de cambiar de color dependiendo de la temperatura. Estos materiales cambian de aspecto en función de una temperatura de transición. En la actualidad la mayoría de efectos termocrómicos son reversibles.*

Estos materiales se ven directamente afectados en su comportamiento y desempeño dependiendo de la época del año. La pintura termocrómica, que puede ser aplicada a fachadas y techos, de carácter reversible que reacciona con el calor, no tiene casos de estudio en el presente trabajo, sin embargo, queda aquí registrado como incentivo para futuras investigaciones y dentro de sus aportes a los efectos de islas térmicas, se identifican: Reducen la demanda energética y reflejan más energía solar. Estos materiales son adecuados para zonas de clima cálido e inviernos fríos.

6.4.5.2. La Cal como Revestimiento de Fachadas y de Elementos Urbanos

Teniendo en cuenta las características físicas de la cal, este elemento se convierte en una opción interesante para aplicar en las fachadas de las edificaciones. Tiene, entre otras las siguientes propiedades: Abunda, fácil fabricación, fácil pigmentación, luminosidad, plasticidad antes y después de fraguar, manejabilidad, adherencia a variedad de soportes, variedad de trabajos ornamentales, impermeabilidad natural, transpiración, endurecimiento con el paso del tiempo, no agresividad a hierro y madera, aislamiento térmico, protección de superficies, economía y durabilidad. Disminuye el cambio climático (1Kg de cal aplicado elimina 150 gr de CO₂). (Robador González, 2015).

En busca de materiales que sean amigables con el medio ambiente, desde su origen, aplicación y durabilidad, la cal ha reaparecido, mostrándose como un material sostenible y ecológico, destacando en el las siguientes ventajas como mortero:

- Su huella de carbono es muy reducida. De hecho, se limita casi a lo generado en el transporte desde el lugar de producción al lugar de su uso, porque el proceso industrial para su obtención es sumamente simple. Prácticamente basta con recogerlo en la mayoría de los casos.
- Por su alta *alcalinidad*, la cal tiene un efecto fungicida y desinfectante, lo que mejora la calidad de vida de las personas que habitan los edificios. revestidos con morteros de cal.
- Es permeable al vapor de agua, lo que permite que la construcción “respire”. Esto también beneficia la salud de las personas, además de que de esta forma las construcciones requieren menor mantenimiento y prolongan su vida útil.

- A pesar de ser permeable al vapor de agua, el mortero de cal es impermeable al agua en estado líquido, una característica vital si se quiere usar para edificaciones.
- Entre sus características se cuenta que es un gran aislante térmico, lo que permite mejorar el confort de las viviendas.
- También tiene ventajas como aislante acústico y esto lo hace ideal en espacios donde se requiere mejorar el ambiente.
- Es un material que no se agrieta fácilmente y se adapta a las condiciones de inestabilidad.

La cal se puede utilizar:

- Como mortero para cimentaciones y asentamientos de piedra natural y para la fabricación de bloques.
- Para la construcción de piscinas y estanques naturales, debido a su capacidad impermeabilizante para aislar de la humedad
- Para revestimientos y enfoscados de exteriores e interiores.
- Lechadas y pinturas, especialmente con función impermeabilizante.
- Para fijar tejas, suelos de exterior e interior, piezas de decoración, murales, mosaicos, etc.
- Para estabilizar construcciones en tierra elaboradas con tapial, adobe, tierra comprimida. Además de lograr que aumente la resistencia de estos materiales, también aumentaremos su resistencia al agua.

6.4.5.3. El patio como Medida Pasiva de Enfriamiento

El concepto: Medidas pasivas son aquellas que se aplican al diseño arquitectónico, aprovechando o haciendo buen uso del entorno, sus condiciones y de los elementos naturales que este ofrece, reduciendo de esta forma el uso de sistemas de consumo energético, para alcanzar el confort.

La implementación de los patios en la tipología de las edificaciones, es una medida pasiva que debe ser impulsada por las administraciones públicas, a través de la normatividad urbanística. Este elemento (patio) que hace parte de diferentes culturas a nivel mundial, ha venido menguando su presencia en la ciudad, debido a que las edificaciones se han convertido en un gran negocio y los propietarios de estas buscan construir y densificar sus áreas disponibles en el mayor porcentaje posible, sacrificando de esta manera, criterios como ventilación, acústica, iluminación y confort térmico, los cuales se logran a través de los patios; los cuales también ayudan a mitigar los efectos de las islas térmicas en los espacios públicos inmediatos a estos y caracterizando los espacios con armonía, jerarquía, calidad y confort.

Se encuentran en formas tan diversas, desde la ortogonalidad y la introversión en los patios de viviendas mesopotámicas y greco-romanas, como respiro de la presión urbana en asentamientos

en constante crecimiento. Hasta la fluidez de los patios circulares o confinados por una serie de módulos habitacionales, en culturas originarias en África, América, Oriente y Oceanía.

Figura 61

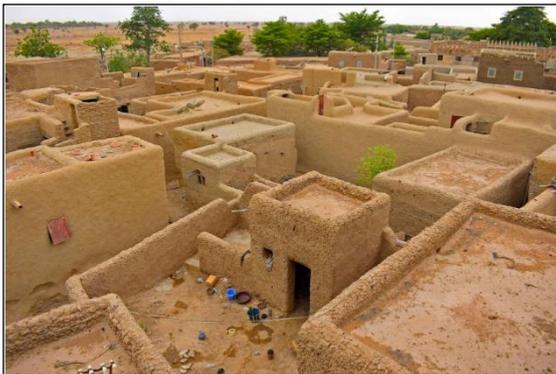
Patio circular en Tulous, viviendas multifamiliares arquitectura excepcional en tierra en Djenné, Mali (desde milenio III a. C. Patrimonio de la Humanidad UNESCO desde 1988).



Nota. (Tapia)

Figura 62

Secuencias de patios en conjuntos habitacionales, tradicionales construidas entre los siglos XV y XX en la provincia de Fujian, China (Patrimonio de la Humanidad UNESCO desde 2008). Fotografía: UNESCO. Fotografía: Song Xiang Lin



Nota. (Tapia)

El patio tiene características de espacio interior “en función de las actividades de la edificación” y de espacio exterior, ya que permite articularse con las construcciones inmediatas. Este elemento ayuda a generar condiciones térmicas de confort para la vivienda, generando un microclima en este cuya temperatura es diferente a la exterior. Este elemento es de vital importancia, por sus aportes, en zonas de clima cálido, como por ejemplo en la ciudad de Dubái, donde se han realizado estudios que demuestran que un edificio que en su tipología se incluya el patio, consume el 6.9% menos de energía total anual que un edificio sin este elemento y de acabados similares.

Cuando se suman, en la trama urbana, muchas edificaciones que tienen el patio como elemento de su composición, los efectos que estos tienen en el clima exterior se van a reconocer de una forma más clara. Sin embargo, “la eficiencia” en cuanto a medida pasiva de enfriamiento dependerá de factores geográficos como la latitud y altitud, climáticos como los vientos, las lluvias y las estaciones, la geometría urbana, la orientación y las dimensiones. Estos factores van a impactar

directamente lo relacionado con la radiación solar y con la ventilación e iluminación de los espacios interiores de la edificación.

En cuanto a la morfología de los patios, para climas cálidos o época de verano, son recomendados los patios profundos. Mientras que para climas fríos se logran mejores resultados con patios poco profundos ya que reciben más radiación solar. Para el primero de los casos, se han observado diferencias de temperatura entre el interior de la vivienda y el exterior de hasta 8°C.

A los patios se les puede sumar elementos como espejos o fuentes de agua, vegetación horizontal o vertical, logrando efectos como el enfriamiento evaporativo. Esto afecta no solamente la temperatura del patio, sino también, la temperatura de los espacios interiores de la vivienda, en los cuales se logra un estado de confort con estrategias pasivas. De esta manera, el uso de equipos de refrigeración, consumo de energía y emisión de gases efecto invernadero, se disminuye notablemente. Esta característica, en algunas ciudades con ciertas condiciones climáticas, puede llegar a convertirse en una herramienta para diseñar y construir edificios de consumo energético nulo o casi nulo. (Alzate Gaviria, 2020)

Figura 63

El patio elemento que ayuda a conformar condiciones térmicas



(El Patio y el Consumo Energético)

El concepto de patio debe ser retomado en las nuevas urbanizaciones y por medio de la normatividad urbanística debe ser de carácter obligatorio en las nuevas edificaciones. Sus aportes, como estrategia pasiva, relacionados con la disminución del consumo energético, el incremento del confort térmico y, por consiguiente, su aporte para combatir los efectos o la generación de las islas térmicas; deben generar nuevamente una cultura que fusione intereses y esfuerzos en los público y lo privado, donde los dos actores se vean beneficiados.

6.5. Normalización para Ciudades Sostenibles Ambientalmente y Eficientes Energéticamente

Si bien, el desarrollo del trabajo ha dejado claro la definición de isla térmica, las causas que la originan, los efectos que esta tiene en la salud de las personas, en la economía, en el medio ambiente,

se han abordado las posibles estrategias que pueden coadyuvar a controlar y/o mitigar y/o eliminar la probabilidad de ocurrencia del fenómeno de isla térmica; la implementación de estas medidas a nivel de administración pública y de inversión privada, resulta ser económicamente representativa.

Es necesario contextualizar el momento actual del mundo, afectado por los impactos derivados de la pandemia ocasionada por el COVID-19, entre los cuales se destacan: la desestabilización de las economías a nivel industrial, comercial, institucional; todo lo cual redundando y afecta el factor presupuestal al núcleo familiar, industrial e institucional

Para poder acceder a los beneficios en cuanto a salud, confort y economía que representa la implementación de estructuras que contrarresten los efectos de las islas térmicas y por consiguiente del cambio climático, es claro que se necesita el compromiso de la administración pública y el del sector privado. A continuación, se relacionan los pasos que, de acuerdo con los temas estudiados, se consideran importantes para aunar los esfuerzos y poder avanzar en la transformación de las ciudades y todos sus componentes (calles, plazas, parques, edificaciones, entre otros):

- a) concienciación de la población. Esto es dejarle claro a las personas las condiciones actuales del medio ambiente de las ciudades y los efectos de las mismas.
- b) Proyectar, desde la administración pública, planes, programas y proyectos de inversión, que motiven al ciudadano como propietario de la infraestructura privada, a realizar inversiones alineadas con los propósitos de sostenibilidad ambiental y eficiencia energética, y
- c) Elaborar e implementar normas estratégicas de obligatorio cumplimiento, aplicadas en la etapa precontractual y contractual de los proyectos públicos y privados

Teniendo en cuenta que el objetivo del presente aparte está relacionado específicamente con el literal C antes descrito, este será el tema a desarrollar a continuación:

Para llegar a elaborar e implementar “normas estratégicas de obligatorio cumplimiento, aplicadas en la etapa precontractual y contractual de los proyectos públicos y privados” se debe realizar la gestión que corresponda por parte de las entidades de carácter público y privado para dar cumplimiento a los literales a y b. esto implica trabajo con la ciudadanía, utilizando los medios físicos, tecnológicos actualmente disponibles, haciendo uso de la academia en todos los niveles de formación que cada país tenga dentro de su estructura de educación y para el caso de “proyectar desde la administración pública, planes, programas y proyectos de inversión, que motiven al ciudadano como propietario de la infraestructura privada, a realizar inversiones alineadas con los propósitos de sostenibilidad ambiental y eficiencia energética” este punto debe ser pensado en función de apoyar técnica, social y financieramente a la población, que desde cualquier sector de la ciudad, quiera alinearse con estas políticas ambientales y energéticas.

6.5.1. Diseños y Adopción de Normas Estratégicas de Obligatorio Cumplimiento

Para el caso de mayor interés en este documento expresado en el literal C, se recomienda disponer de un Benchmarking de medidas de adopción, estrategias e implementación de normas realizadas en diferentes ciudades, esto es: *Partir de las buenas prácticas ya comprobadas* esto con el objetivo de identificar los buenos ejemplos y los que sean potencial y realmente replicables.

Los diez países que han logrado resultados en el aspecto antes mencionado y que nos sirven como referente, en su orden son:

1. Finlandia.
2. Suecia.
3. Dinamarca.
4. Alemania.
5. Bélgica.
6. Austria
7. Noruega
8. Francia
9. Eslovenia
10. Estonia

Para llegar a la adopción de las buenas prácticas identificadas, especialmente en países en vía de desarrollo, a continuación, se plantearán algunas estrategias que pueden llegar a estructurar el cuerpo normativo y/o las directrices de los que se puede denominar “directrices normativas ambiental y energéticamente sostenibles”.

Aquí se recoge todo lo que se expuso durante el desarrollo de este documento, particularmente lo relacionado con la industria de la construcción y se deja un lineamiento que pueda ser aplicado en contextos urbanos afectados por fenómenos como las islas térmicas y los demás derivados del cambio climático, donde las normas ambientales estén en proceso de desarrollo, como por ejemplo Colombia, contexto al que hago referencia por ser ciudadano de este país.

El alcance del tema de “Diseño y Adopción de Normas estratégicas de obligatorio cumplimiento” se definirá desarrollando los siguientes puntos:

- a) Planificación de ciudades y espacios verdes
- b) Impuestos verdes
- c) Requerimientos en los documentos precontractuales (escenario público)

6.5.2. Planificación de Ciudades con Estructuras Verdes

Las grandes ciudades del mundo, han enfrentado eventos inadvertidos y que se convierten en fuerzas que obligan al cambio, por ejemplo:

El crecimiento acelerado de su población cuyas causas y consecuencias fueron anteriormente desarrolladas, sin embargo, entre las más relevantes, cabe mencionar: la sobrepoblación, el incremento de la informalidad. Estos espacios urbanos, generalmente son los más afectados por los efectos climáticos negativos como el de las islas térmicas.

Figura 64

Anarquía y desarrollo a través de la planificación de las Ciudades



Nota. (Guerrero, 2018)

El incremento de medios de transporte que utilizan combustible fósil (altamente contaminante). En este sentido hay una conexión importante entre una economía basada en el petróleo y el cambio climático: las emisiones vehiculares y de los aviones contribuyen de forma significativa a las emisiones de gases de efecto invernadero. Como respuesta a una era post-petróleo, las “actuales” estrategias de planificación de ciudad deben plantearse la imperiosa necesidad de planificar sistemas de desplazamiento basados en el transporte público y peatonal;

Figura 65

Dos personas se protegen con máscaras de la contaminación en Pekín. Archivo EFE/ Wu Hong



Nota. (EFE: Verde, 2020)

- El comportamiento inestable de las economías propias y externas “En los países desarrollados, las empresas han buscado costos de producción más bajos reubicando sus instalaciones en países en desarrollo, trasladándose a regiones menos desarrolladas dentro del mundo en desarrollo o incluso cambiando áreas del interior de las ciudades por la periferia. Las crisis económicas globales afectan a los ciudadanos urbanos de modo desproporcionado. La actual recesión global que comenzó en 2008 ha acelerado la reestructuración económica y el rápido crecimiento del desempleo en todas las partes del

mundo. Un efecto importante de estos procesos económicos ha sido el rápido crecimiento de la economía informal en todos los centros urbanos, pero en particular en los países en desarrollo. Por lo tanto, la planificación urbana del futuro tanto en países desarrollados como en los países en vías de desarrollo tendrá lugar en un contexto de desigualdad y pobreza y con altos niveles de actividad informal". (Un Habitat, 2012)

- y el evento que más nos interesa en el presente documento, está relacionado con el cambio climático y uno de sus efectos "isla térmica" el cual afecta elementos básicos de la vida de las personas en aspectos como: Acceso al agua, la salud, la producción y transporte de alimentos, el confort térmico en el espacio público y los costos energéticos que impactan directamente los recursos naturales, los cuales cada vez en el mundo son más escasos.

Frente a los eventos antes mencionados, es necesario que la planificación urbana actual, incorpore de manera obligatoria: estructuras verdes de escala urbana (parques, alamedas, barreras de árboles en zonas industriales, entre otros), así como, elementos y/o tecnologías que garanticen la optimización del agua como recurso generador de energía y de climatización, de igual manera el diseño y construcción de ECO-BARRIOS como esquema de nuevos desarrollos urbanos con los que se pretende disminuir el impacto sobre el medio ambiente cambiando los hábitos de vida de sus habitantes. Para ello, deberán incorporar más zonas verdes, regenerar espacios públicos y fomentar la educación ambiental; todo lo cual debe estar alineado con el entendimiento de las nuevas necesidades de nuestras ciudades y del actual estilo de vida de quienes las habitamos.

A continuación, se presentan imágenes de eco barrios, de proyectos con estructuras verdes en sus cubiertas, de edificaciones que utilizan el agua lluvia y gestionan su uso y de infraestructura urbana que también aporta en la gestión de las aguas lluvias.

Figura 66
Ecobarrio Vauban en Friburgo, Alemania



Nota. (Tiempo de Actuar, 2012)

Figura 67
Proyectos de azoteas verdes



Nota. (Romero)

Los grandes proyectos de infraestructura urbana y de urbanizaciones, de carácter público y privado, deben plantear dentro de su alcance físico y financiero, aportes urbanos para la ciudad por medio de estructuras que mitiguen los efectos del calor, la contaminación del agua, el uso de las aguas lluvias, la habilitación de vías vehiculares y peatonales con nuevos sistemas constructivos como lo ya mencionados (pavimentos porosos, senderos con adoquines ecológicos y permeables, entre otros)

Figura 68
Waterplein Square Bentemplein, Poises Bajos



Nota. (ArchDaily)

“La Plaza del Agua, en Rotterdam, fue inaugurada en 2013 y diseñada por la oficina De Urbanisten con la intención de combinar el almacenamiento del agua con el mejoramiento de un espacio público.

El uso que se le daría a la plaza fue determinado en parte por los lugares más visitados que hay en el entorno, la intención de crear un lugar de encuentro para los jóvenes y la necesidad de gestionar de mejor manera el agua sin invertir grandes sumas en estructuras que no tienen un mayor uso.

Para esto, se decidió que la mayor superficie fuera la encargada de recoger las aguas lluvias y separarlas en una serie de cuencas de alcantarillado mixto que integran la plaza que sirven para regar la vegetación del lugar”. (ArchDaily)

A continuación, un ejemplo de infraestructura urbana con en su alcance esta la gestión eficiente de las aguas lluvias.

Figura 69*Proyecto Aquaval. Gestión eficiente del agua lluvia*

Nota. (AdapteCCa.es)

“El proyecto AQUAVAL persigue la gestión eficiente de las aguas pluviales en el ámbito urbano, aportando soluciones innovadoras a problemas relacionados con la cantidad y la calidad de las escorrentías urbanas, ocasionados por la impermeabilización creciente de suelos en los municipios. Para ello propone la utilización de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), integrando las infraestructuras hídricas en el paisaje y morfología urbana de tales municipios, disminuyendo así los impactos de su desarrollo urbanístico y aportando valores sociales y ambientales a las actuaciones programadas”. (AdapteCCa.es)

Desde la planificación de las ciudades se debe pensar en ajustar la urbanización existente, esas que hoy están generando un volumen importante de gases contaminantes, que tienen un alto consumo energético y que no ofrecen al usuario un ambiente mínimo de confort, se debe hacer la futura urbanización y proyectos urbanos con criterios ambientalmente sostenibles, bioclimáticos y energéticamente eficientes : diseñar y adaptar la morfología urbana, las tipologías edificatorias y el diseño de los espacios exteriores en función de las condiciones bioclimáticas que garanticen un comportamiento térmico adecuado para el ser humano. Lo anterior, se puede lograr mediante una normativa técnicamente detallada que tenga entre sus variables más importantes aspectos como la orientación, las posibilidades de aprovechamiento de la radiación solar, la incorporación de vegetación en función de los metros cuadrados construidos, así como del agua lluvia y el sombreado, la distribución interior, la iluminación y la ventilación naturales y el aislamiento térmico.

Algunas ciudades ya están trabajando en iniciativas de este tipo, como:

Aveiro (Fomentar la arquitectura bioclimática en nuevos edificios, fachadas y cubiertas existentes; Promover e impulsar medidas bioclimáticas y estrategias de adaptación en la edificación; Mejorar la eficiencia de la ventilación natural; ver apartado 4.1.2 aquí)

- Guarda (Promover la arquitectura bioclimática en nuevos edificios, fachadas y cubiertas existentes, ver apartado 4.1.2 aquí)
- Salamanca (Redacción del Plan para la conservación y fomento de la biodiversidad en edificios y construcciones del municipio de Salamanca, ver Plan especial de protección de

infraestructura verde de salamanca (PEPIV). Identificar las islas de calor urbanas y mitigar la radiación solar (cambio de pavimentos, sombras, vegetación, color de fachadas y techos, etc.); Ordenanza para establecer criterios bioclimáticos y compra verde sostenible en la rehabilitación de edificios, ver apartado 3.2 aquí)

- Viseu (Contribuir a la mejora del confort térmico del parque residencial, en particular los más vulnerables; Promover la resiliencia pasiva de los edificios al cambio climático mediante la introducción de espacios verdes en edificios nuevos o renovados, ver apartado 6.1 aquí)

Finalmente se aclara y concluye con estos parámetros normativos, se atacan aspectos relacionados con las islas térmicas, con el uso inadecuado de la energía y se promueve la gestión del agua lluvia y las aguas grises.

6.5.3. Impuestos Verdes y/o Medio Ambientales

Se debe entender que los impuestos verdes son los que se destinan a gravar y/o castigar los comportamientos inadecuados que quienes. Sin embargo, esta estrategia también puede ser aplicada en los siguientes escenarios:

- Cuando a través de una licitación pública, se adjudique la ejecución de proyectos, a los cuales se le solicite realizar algún tipo de aporte (dependiendo de la tipología de intervención) con miras a frenar impactos negativos al medio ambiente, como es el caso de las islas térmicas.
- Los impuestos verdes también deben tener dentro de su alcance a aquellos fabricantes que consumen insumos para desarrollar sus productos. Estos insumos requieren de transportes (entrada y salida), combustibles para procesarlos, energía para los procesos de fabricación y de la operación administrativa que demandan las empresas, *“En un escenario sin regulaciones, una empresa podría fabricar un producto de manera contaminante sin considerar su impacto sobre la salud del planeta o del medio ambiente. Esto es lo que en economía se conoce como externalidad. La finalidad de los impuestos verdes es obligar a pagar una tasa a los contaminadores bajo el principio de quién contamina paga, de tal forma que el precio refleje también el coste de estas externalidades.”* (IBERDROLA)

El Fondo Monetario Internacional ha propuesto que los países que más gases de efecto invernadero emiten establezcan un impuesto sobre las emisiones de CO₂. Según esta organización, esa tasa tendría que ser de 75 dólares/68 euros por tonelada en 2030. El organismo sostiene que esta tasa impactará, principalmente, en el uso del carbón para generar electricidad. Este tipo de impuestos buscan desplazar las formas de energía más contaminantes para ser reemplazados por otras menos contaminantes, como las renovables.

La situación ideal de la fiscalidad ambiental es lo que se conoce como la hipótesis del doble dividendo. Contrariamente al prejuicio de que los impuestos verdes lastran la economía, un escenario en el que la subida de estos impuestos se viera compensada con una bajada de impuestos al trabajo, al capital o al consumo redundaría en un doble beneficio: la mejora de la calidad ambiental y de la eficiencia del sistema económico. (IBERDROLA)

Una de las ventajas decisivas de los impuestos verdes y/o medioambientales es que incorporan a los precios de mercado normal los costes de la contaminación y otros costes medioambientales -un proceso que consiste tanto en 'determinar correctamente los precios' como en aplicar el 'principio de que quien contamina, paga'. Esta ventaja de los impuestos verdes fue reconocida por el Consejo en las conclusiones del Consejo sobre Medio Ambiente del 12 de diciembre de 1991, que presentó una plataforma comunitaria común para la CNUMAD de 1992:

"Para conseguir la necesaria reasignación de recursos económicos en orden a conseguir el desarrollo sostenible, los costes sociales y medioambientales totales deberían incorporarse a las actividades económicas, con objeto de internalizar las externalidades. Esto significa que los costes ambientales y otros costes relacionados con la explotación de los recursos naturales de manera sostenible y soportados por el país proveedor deben reflejarse en las actividades económicas. Entre las medidas utilizadas para alcanzar este fin se encuentran los instrumentos económicos y fiscales"

De acuerdo con la OCDE Organización Para La Cooperación Y El Desarrollo Económicos, una buena regulación ambiental debería seguir los siguientes principios:

- Los impuestos ambientales deben dirigirse a la actividad que causa el perjuicio, con mínimas excepciones.
- El ámbito del impuesto ambiental debe cubrir todo el daño.
- El tipo impositivo debe ser proporcional al daño medioambiental causado.
- Los impuestos deben ser creíbles y predecibles para incentivar comportamientos coherentes con la protección del medio ambiente.
- Los ingresos procedentes de la reforma fiscal medioambiental pueden servir como ingresos adicionales o para reducir otros impuestos.
- Los problemas de equidad deben solucionarse mediante otro tipo de políticas específicas.
- Los posibles problemas de competitividad deben ser tenidos en cuenta, pero no para frenar los impuestos sino para plantear la posibilidad de coordinar políticas o establecer periodos transitorios a la aplicación de la reforma.
- La imposición medioambiental debe ser explicada a la opinión pública para facilitar su aceptación.

- En ciertos casos, los impuestos medioambientales no son suficientes para solucionar un determinado problema y deben ser utilizados en coordinación con otros instrumentos de política ambiental. (IBERDROLA) (CIUDADES VERDES CENCYL, 2021)

6.5.4. Requerimientos Precontractuales y Contractuales para el Escenario Público

Se han desarrollado dos puntos que son la planificación y los impuestos verdes. Para complementar el capítulo presente relacionado con la adopción de normas, se estructura el tercer punto denominado requerimientos precontractuales. El concepto básico, a que hace referencia este último, se fundamenta en que desde que el proyecto se encuentre en la etapa de estructuración y/o evaluación y luego pase a la etapa precontractual en donde se definirán los estudios previos, los documentos técnicos, administrativos y financieros que darán lugar a la licitación pública y posterior adjudicación de este a un contratista de obra, se deben establecer criterios en estos documentos, de obligatorio cumplimiento en la etapa contractual. Estos criterios consisten en definir los aportes de los ejecutores de los proyectos, los cuales hacen parte de lo mencionado en los literales a y b de este capítulo (planificación urbana e impuestos verdes).

Dentro del estudio técnico, todo proyecto tiene relacionado el contexto geográfico, climático, económico y social de la zona donde se ubica; conocidas y estudiadas estas variables, debe iniciar el proceso de análisis, en donde se consideren las siguientes variables:

- El clima de la zona
- Identificación de fenómenos presentes, como el de las islas térmicas u otros.
- Intensidad y periodos de lluvia
- orientación
- Uso predominante y demandas energéticas de estos.
- Consolidación de zonas verdes e inventario de arborización
- Vegetación propia de la zona o región
- Materiales propios de la zona o región
- Posibilidades en lo relacionado con la gestión del agua
- Tipos de pavimentos existentes y análisis de los que podrían ser colocados
- Análisis de las redes existentes (edad, mantenimientos que reciben, futuras intervenciones)
- Sistemas urbanos de movilidad predominantes
- Sistemas o infraestructura alternativa de movilidad (Ciclo rutas, senderos peatonales, entre otros)
- Contexto social de la población afectada y beneficiaria

Lo que se propone: Cada una de las variables anteriores, deben ser parte del documento técnico que estructure las condiciones con las que se adjudique un proceso licitatorio. Las estrategias de cómo sean acometidas y/o cómo sean mejoradas; serán parte de la propuesta técnica y económica del futuro contratista y será objeto de evaluación por parte de la entidad contratante. Es pertinente que las entidades que administran las ciudades (alcaldías, ayuntamientos o lo que corresponda) diseñen unas guías de contratación focalizada en temas de sostenibilidad ambiental y eficiencia energética. Allí deben establecer parámetros mínimos para mitigar los efectos de las islas de calor, y de otros fenómenos relacionados con el cambio climático; de igual manera, deben contener directrices relacionadas con temas de eficiencia energética, políticas de uso del agua, propuestas de revegetalización urbana, y demás aspectos que atiendan los temas desarrollados en el presente documento.

Teniendo en cuenta que actualmente hay herramientas tecnológicas que permiten calcular económicamente los impactos ambientales de cada uno de los componentes de un presupuesto de obra, las futuras ofertas con las que se pretenda ganar un proceso licitatorio han de tener inmersos todos los criterios antes expuestos y los demás que apliquen de acuerdo con el proyecto a ejecutar y con el alcance del mismo.

Este aparte de requerimientos precontractuales directamente relacionado con los impactos del cambio climático, especialmente el que estamos desarrollando llamado islas térmicas, puede constituir un capítulo en el estudio previo que se denomine: Aportes a la sostenibilidad ambiental y eficiencia energética.

Contextualizando lo antes descrito, en una ciudad como Bogotá Distrito Capital de Colombia, contexto que conozco; un paso importante que se sugiere consiste en implementar, en un plazo debidamente programado, las medidas que apliquen en este contexto, buscando atender las recomendaciones descritas en cuanto a los impactos ambientales y las demandas energéticas excesivas. Entre las medidas más identificables por implementar, están: Uso de pavimentos porosos, tanques urbanos para la recolección de agua lluvia, siembra de árboles, jardines verticales, techos ajardinados, eliminación del mercado comercial de materiales altamente contaminantes; así como diseñar e incluir en la normativa urbanística nuevos criterios de adopción obligatoria orientados a la atención y respuesta de los impactos negativos generados por el cambio climático el mal y/o desobligante uso de los recursos naturales

Se han documentado estrategias para combatir las islas térmicas y sus efectos, analizando los impactos de estas en dos escenarios: la edificación y el espacio público urbano. en ambos casos se ha planteado la aplicación de medidas como: uso de materiales que cumplan con unas especificaciones técnicas específicas como el caso de las pinturas y materiales termocrómicos, uso de elementos verdes

(cubiertas verdes y arborización), uso de pavimentos que permitan dar continuidad al ciclo hídrico, uso de nuevas tecnologías de pavimentos, estrategias administrativas de las ciudades asociadas a normatividad urbana y a aspectos tributarios relacionados con el medio ambiente. Cada uno de los puntos anteriores, puede ser objeto de aplicación en la Calle Lumbreras, en la medida que individual y colectivamente ayudan a combatir la materialización de las islas térmicas y sus efectos en la ciudad.

Conclusiones

Fueron planteados un objetivo general y seis objetivos específicos, cada uno de estos fue desarrollado, teniendo como premisa, las consultas correspondientes en diferentes fuentes.

Del Objetivo General:

Con el desarrollo de este documento, se logra entender en qué consiste el fenómeno denominado isla térmica; así como cuales son las causas más relevantes que la generan. En primera instancia queda claro que, de los efectos más relevantes de la ocurrencia de las islas térmicas, impacta sobre la salud de las personas, generando estrés por la falta de confort térmico y graves enfermedades que en ocasiones han repercutido en cobrar la vida de las personas. Dentro de las causas generadoras más importantes se identificaron:

- a) la sobrepoblación de las ciudades, especialmente, las grandes metrópolis,
- b) la impermeabilización de las ciudades las cuales se cubren con materiales que sellan totalmente la superficie,
- c) la eliminación de las zonas verdes y la arborización; esto como consecuencia del crecimiento urbano acelerado que no da paso a la planificación urbana.
- d) las actividades humanas, que de manera deliberada utilizan recursos como la energía de forma poco responsable, generando grandes impactos en el medio ambiente.

De los Objetivos Específicos:

Muchos países en el mundo han realizado estudios e investigaciones relacionados con el fenómeno de Islas térmicas o islas de calor urbano, debido a esto se han diseñado nuevas técnicas o herramientas para el cálculo, simulación, predicción y representación de este fenómeno. Los métodos más empleados a nivel mundial para el cálculo del fenómeno de las Islas de Calor Urbano, son los relacionados al procesamiento digital de imágenes satelitales; esto explicado principalmente a la facilidad para acceder a este tipo de información y a la cantidad de aplicaciones a la que se puede someter.

Con las estrategias expuestas en este trabajo se puede hablar de neutralizar o disminuir las isla térmicas, teniendo como variables fundamentales la ubicación de una zona de influencia, los materiales del contexto urbano y los usos del suelo; especialmente el de tipología industrial.

Las causas que dependen del ser humano y que ayudan a generar los efectos de isla térmica, están asociadas muy particularmente, a la adopción de hábitos y cultura del buen uso de los recursos

y del consumo, teniendo claro que el concepto de consumo debe estar asociado a la energía que necesitamos para lograr el confort de nuestros espacios.

Por lo anterior, se requiere que el ser humano replantee hábitos en sus rutinas diarias y en su comportamiento, orientado a aunar esfuerzos en pro de aportar al uso adecuado de los recursos naturales y a optimizar los recursos energéticos disponibles.

En el sector de la construcción, se requiere retomar estrategias pasivas, que sean concordantes con las políticas ambientales y climáticas para que adopten en los sistemas constructivos las estrategias necesarias para desarrollar proyectos ambientalmente sostenibles y energéticamente eficientes. Se ha hecho referencia a elementos aplicables a la edificación y que ayudan a mitigar los efectos de las islas térmicas tales como techos ajardinados, materiales con características físicas como alto albedo, implementación de pinturas, inclusión de los patios en las edificaciones, entre otras.

A nivel urbano, se concluye que los pavimentos permeables, corresponden a una alternativa eficiente para las ciudades modernas. Esta alternativa, ayuda a prevenir el fenómeno de isla térmica y a mitigar sus efectos (cuan ya se ha materializado), adicionalmente aporta al desarrollo del ciclo hídrico.

A nivel de ciudad se plantea el mobiliario urbano como un elemento urbano que aporta al confort térmico de nuestros espacios públicos. Las pérgolas y los sistemas adiabáticos, son estrategias muy favorables y de fácil implementación en cualquier contexto urbano y social, con las cuales se puede promover el uso y apropiación de los espacios públicos por parte de la ciudadanía. Esta es una estrategia relevante en este documento, ya que hay países y ciudades en los que las personas no utilizan el espacio público (parque, plazas, plazoletas, alamedas, entre otros) por temas de confort, lo que a su vez los han convertido en espacios abandonados e inseguros. Implementar las medidas de mobiliario antes mencionadas y otras como las relacionadas con la gestión del agua, permitirán al ciudadano retomar las actividades y el buen uso de estos espacios.

Cada proyecto, de carácter público o privado, tiene la oportunidad de aportar de forma positiva al medio ambiente y al confort térmico en los espacios de la siguiente manera: a) asumiendo acciones preventivas o de mitigación de las islas térmicas que contrarresten las causas generadoras relacionadas en este documento, b) con el uso de materiales de acabados exteriores e interiores que desde su etapa de fabricación tengan en cuenta criterios ambientales y energéticos y que permitan ser reciclados o reutilizados.

Los materiales como por ejemplo: asfaltos, concretos, pinturas, vidrio, lonas o materiales sintéticos; actualmente constituyen un universo de posibilidades, ya que la comercialización de insumos y productos entre distintos países cada vez es más sencilla, y adicionalmente cada país, zona,

región y/o ciudad tiene dentro de su contexto muchas alternativas propias y naturales que deben ser exploradas por la ciencia y la tecnología; este esfuerzo debe ser canalizado en función de la industria de la construcción y uno de sus objetivos debe ser la búsqueda constante de nuevas alternativas cada vez más coherentes con el medio ambiente, el clima y la salud de las personas.

Aunar esfuerzos es sinónimo del alcance y efectividad.

El proyecto de EMASESA en la calle Lumbreras es un buen ejemplo a desarrollar en cuanto a unir y direccionar esfuerzos entre lo privado y lo público. Aplicando dos o más alternativas para acometer las islas térmicas se hace posible climatizar esta calle y conseguir una temperatura ambiente de confort para los propietarios y residentes de las edificaciones y el para el peatón. Teniendo en cuenta lo leído y estudiado para consolidar este trabajo, como conclusión queda que una de las mejores opciones para implementar en esta calle es precisamente motivar la participación de los propietarios de las edificaciones para que los materiales de sus fachadas se cambien por pintura, el pavimento que se utilice, sea de concreto o asfalto, sea permeable y se implementen árboles en las áreas de esta calle que así lo permitan.

A nivel privado, estas ideas se pueden materializar en la medida que desde el sector público y especialmente lo relacionado con el sector de la construcción y normatividad urbana así como el sector tributario, se implementen normas y/o leyes que obliguen al cumplimiento de parámetros relacionados con: **a)** desde la planeación de los proyectos y hasta la etapa de maduración de los mismos (en el contexto en el que se desarrolla este documento la etapa de maduración hace referencia a la integralidad con la cual un proyecto, especialmente de carácter público, antes de ser objeto de licitación pública, garantiza que los componentes técnico, ambiental, social, de seguridad y salud en el trabajo, y los demás que correspondan, se encuentran totalmente cubiertos por la condiciones de la licitación y tiene el alcance que en términos de ley debe tener), se deben incorporar criterios ambientales y de eficiencia energética en cuanto a: procesos constructivos, usos de tecnologías de bajo consumo energético y baja en emisiones contaminantes, materiales que certifiquen su condición desde su cuna u origen incluyendo la relación con el medio ambiente y las posibilidades de reutilización y/o reciclaje, **b)** se deben incorporar a las normativas urbanas y tributarias para el sector de la construcción, impuestos “verdes” que motiven la revegetalización de las ciudades, **c)** desde la etapa precontractual, para los proyectos públicos de infraestructura urbana de escala mediana y grande, como puentes, vías, túneles, canales, edificios institucionales de servicios, educación, salud, seguridad, entre otros, los constructores deberán incorporar en estos proyectos, como valor agregado a cada uno, elementos o criterios constructivos orientados a mitigar los efectos de fenómenos como las islas térmicas y otros similares.

De conformidad con las conclusiones antes descritas, para continuar con el desarrollo del presente trabajo se pueden investigar los siguientes temas asociados a:

- Pensar y diseñar en nuevas tecnologías que midan y monitoreen el comportamiento climático de los sectores más afectados por temas como la contaminación ambiental y como consecuencia directa de esto, lo relacionado con el cambio climático y el fenómeno de islas térmicas (que incluye las islas de calor urbana)
 - Simulaciones apoyadas en software especializado que incorporen alternativas de mitigación de islas térmicas, que afecten el espacio público (calles, plazoletas, parques, alamedas, entre otros) a las edificaciones y luego sumadas en conjunto analizar los resultados.
 - Materiales de origen autóctono en la región que corresponda, preferiblemente de uso tradicional, que puedan ser retomados y que, por sus condiciones físicas y químicas, se demuestre que se convierten en estrategias pasivas para combatir las islas térmicas y sus efectos, así como se conviertan en una estrategia bioclimática. Por ejemplo, el uso de la cal, de la tierra, de la guadua y/o bambú, entre otros.
 - Estrategias y costos enfocados en la gestión del agua, desde la vivienda unifamiliar, multifamiliar, la industria, el comercio, los edificios institucionales. En sería una investigación que determine metodologías y procedimientos para diseñar sistemas de gestión y aprovechamiento del agua lluvia, del subsuelo, entre otras, sin embargo, es relevante que a cada propuesta que se piense le sea asociado el presupuesto en lo que respecta a la inversión inicial, puesta en marcha y mantenimiento rutinario, preventivo y correctivo.
 - Estructura normativa aplicada a la etapa precontractual de los proyectos de construcción de infraestructura pública, en la que se incorporen criterios técnicos, presupuestales, sociales, ambientales direccionados a fortalecer los aportes de estos en su ambiental y energético; de tal forma que ya en el proceso licitatorio, estos sean criterios de obligatorio cumplimiento para los posibles oferentes.

Referencias Bibliográficas

- AdapteCCa.es. (s.f.). Proyecto AQUAVAL: gestión eficiente del agua de lluvia en el ámbito urbano. Obtenido de <https://www.adaptecca.es/casos-practicos/proyecto-aquaval-gestion-eficiente-del-agua-de-lluvia-en-el-ambito-urbano>
- Agua.org.mx. (s.f.). ¿Cuánta agua hay en el planeta? Obtenido de <https://agua.org.mx/en-el-planeta/#:~:text=La%20disponibilidad%20de%20agua%20promedio,de%20glaciares%2C%20nieve%20o%20hielo>
- Akbari, H., Levinson, R., & Stern, S. (2008). Procedure for measuring the solar reflectance of flat or curved roofing assemblies. *Solar Energy*, 82(7), 648-655.
- Alchapar, N., & Correa, E. (octubre-diciembre de 2015). Reflectancia solar de las envolventes opacas de la ciudad y su efecto sobre las temperaturas urbanas. *Informes de la Construcción*, 67. Obtenido de <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4457/5172>
- Alchapar, N., Correa, É., & Cantón, A. (2014). Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones. *Energy and Buildings*(69), 22-32.
- Alchapar, N., Sánchez, M., Correa, E., Gaggino, R., & Positieri, M. (2020). Energy-efficient urban buildings. Thermo-physical characteristics of traditional and recycled roofing technologies. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 35(1). Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v35n1/0718-5073-ric-35-01-73.pdf>
- Almevi. (s.f.). 5 Propuestas de Mobiliario Urbano Sostenible. Obtenido de <https://almevi.mx/post/5-propuestas-de-mobiliario-urbano-sostenible>
- Altarejos García, L. (2007). Aplicación de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible en el Desarrollo Urbanístico de Paterna. Valencia.
- Alzate Gaviria, S. (2020). La influencia del albedo en el microclima de patios: mitigación del efecto isla de calor urbana. *[Trabajo de fin de Master]*. Universidad de Sevilla. Departamento de Construcciones Arquitectónicas I (ETSA).
- ArchDaily. (s.f.). 4 espacios públicos que destacan por incluir el agua en la vida urbana. Obtenido de <https://www.archdaily.co/co/787067/4-espacios-publicos-que-destacan-por-incluir-el-agua-en-la-vida-urbana>
- Archivo de Bogotá. (8 de abril de 2018). Canalización del río San Francisco. Obtenido de <https://archivobogota.secretariageneral.gov.co/noticias/canalizacion-del-rio-san-francisco>

- Arrau, C., & Pena, M. (2010). The Urban Heat Island (UHI) Effect. Obtenido de <http://www.urbanheatlands.com>
- Arroyos de Barranquilla. (s.f.). Un punto de encuentro. Obtenido de https://www.google.com/search?q=problema+de+inundaciones+en+barranquilla&rlz=1C1CHBD_esCO997CO997&sxsrf=ALiCzsYJx0PquhVNbXuDLPr4JGf0YCFEBA:1651792594389&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwintNL2vsn3AhW3mGoFWZuA2QQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1920&bih=902&dpr=1#i
- Banco de Desarrollo del Ecuador B.P. (2021). Obtenido de <https://bde.fin.ec/equipamiento-urbano-ydesarrollo-multiple/>
- BBVA. (29 de julio de 2021). La “pintura blanca más blanca” contra el cambio climático. Obtenido de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/la-pintura-blanca-mas-blanca-contra-el-cambio-climatico/>
- Berg, R., & Quinn, W. (1978). Use light colored surface to reduce seasonal thaw penetration beneath embankments on permafrost. *Proceedings of the International symposium on cold regions*, 86-99. University of Alaska.
- Bonells, J. E. (s.f.). Jardines sin Fronteras. Obtenido de <https://jardinessinfronteras.com/2019/10/28/de-la-pergolaclasica-a-la-pergola-urbana/>
- Brattebo, B., & Booth, D. (2003). Long-term storm water quantity and quality performance of permeable pavement systems. *Water Research*, 37(26), 4369–4376.
- Candanedo, M. (2020). Efecto de las islas de calor urbano en las principales vías de la Ciudad de Panamá. *Revista de I+D Tecnológico*, 16(2). Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/339/3391369004/html/>
- Captación de agua de lluvia en techos de edificios. (s.f.). Obtenido de https://www.google.com/search?q=Captaci%C3%B3n+de+agua+de+lluvia+en+techos+de+edificios&tbm=isch&ved=2ahUKEwjbpdl11NL3AhVRYTABHXANBp4Q2-cCegQIABAA&oq=Captaci%C3%B3n+de+agua+de+lluvia+en+techos+de+edificios&gs_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ7wMQJzoFCAAQgAQ6BAgAE Bg6BA
- Cárdenas Gutiérrez, E., Albitier Rodríguez, Á., & Jaimes Jaramillo, J. (2017). Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua. *Ciencia Ergo Sum*, 24(2), 173-180. México: Universidad Autónoma del Estado de México. Obtenido de https://www.google.com/search?q=:+Estructura+del+pavimento+permeable+de+infiltraci%C3%B3n+total.&rlz=1C1CHBD_esCO997CO997&sxsrf=ALiCzsa94Xt2TvndggeLXcOl4wLDQ41G9w:1651848123730&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj72Yzljcv3AhXwl2oFHerdBosQ_AUoAXoECAEQAw&
- Castro Espinosa, M. L. (2011). Pavimentos Permeables como Alternativa de Drenaje Urbano. *[Monografía de Grado]*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil.

- Center for Sustainable Communities. (s.f.). Obtenido de http://www.csc.temple.edu/tvssi/images/survey_BMP/delaware_countycc/dccc_2008_infiltration_tren.jpg
- Centro de aguas urbanas. (2011). Recuperado el 26 de Septiembre de 2011, de <http://www.centroaguasurbanas.cl>
- Chacón, B. (9 de junio de 2017). 7 pueblos blancos de Málaga que debes ver este verano. *El Viajero Fisgón*. Obtenido de https://www.google.com/search?q=pueblos+blancos+malaga&tbm=isch&rlz=1C1CHBD_esCO997CO997&h=es&sa=X&ved=2ahUKEwi1kKrYxaD3AhX9dzABHWGWB2UQrNwCKAB6BQgBEPgB&biw=1899&bih=902#imgrc=srLteOKT4TddbM
- CIRIA. (2007). *The SuDS Manual*. Lóndres: Ciria.
- CIUDADES VERDES CENCYL. (abril de 2021). Directrices Estratégicas para el Desarrollo de Infraestructura Verde en las Ciudades Cencyl, Mediante Soluciones Basadas en la Naturaleza. Obtenido de http://www.redciudadescencyl.eu/pdf/E2.3_Directrices_CENCYL_20210527.pdf
- ClimNatur. (s.f.). Enfriamiento adiabático. Obtenido de <https://climnatur.com/enfriamiento-adiabatico/>
- Colombia. Alcaldía Mayor de Bogotá. (s.f.). Estructura Ecológica Principal. Obtenido de <http://recursos.ccb.org.co/ccb/pot/PC/files/img/12-Estructura-Ecologica-Principal-Distrital.jpg>
- Colombia. Congreso de la República. (12 de julio de 2011). Diario Oficial 48.128.
- Correal, F. (8 de septiembre de 2019). Un Husillo Real y una real torre de la Reconquista. *Diario de Sevilla*. Obtenido de https://www.diariodesevilla.es/sevilla/Husillo-Real-real-torre-Reconquista_0_1389161663.html
- Cuesta Navarro, J. (2020). Caracterización de la isla de calor urbana mediante el uso de imágenes obtenidas por satélite, procesadas mediante software de código abierto QGIS. Aplicación al caso de Valencia. *[TFM ETS Ingenieros de Caminos Canales y Puertos]*. Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos - Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports. Universitat Politècnica de València. Departamento de Urbanismo - Departament d'Urban. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/147986>
- Cuitiño-Rosales, M. G., Rotondaro, R., & Esteves, A. (2020). Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 22(1). doi:<https://doi.org/10.14718/revarq.2020.2348>
- Datosmundial.com. (s.f.). Crecimiento de la población por país. *Crecimiento de la población 2011 - 2020*. Obtenido de <https://www.datosmundial.com/crecimiento-poblacional.php#:~:text=La%20poblaci%C3%B3n%20mundial%20aumenta%20constantemente,tasa%20de%20crecimiento%20del%201.0%25>

- De la Morena Carretero, B. A. (s.f.). Estudio de la isla de calor urbana en el área metropolitana de Sevilla. *Congreso Nacional del Medio Ambiente*. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) .
- Díaz Terreno, F. (s.f.). El lugar de todos. Consideraciones sobre el área central de la ciudad de Córdoba. *Café de las Ciudades*. Obtenido de https://cafedelasciudades.com.ar/planes_104.htm
- EcoHabitar. (s.f.). Torre de refrigeración adiabática, sistema de refrigeración urbano alternativo sin electricidad. Obtenido de <https://ecohabitar.org/109119-2/>
- EFE: Verde. (18 de mayo de 2020). La contaminación en China supera la del año pasado tras la vuelta a la actividad. Obtenido de <https://www.efeverde.com/noticias/contaminacion-china-supera-ano-pasado/>
- El Herald. (20 de 8 de 2021). Temperaturas Externas Frio, Calor, Muertes . Obtenido de <https://www.heraldo.es/noticias/sociedad/2021/08/20/temperaturas-extremas-frio-calor-muertes514058.html>
- El Patio y el Consumo Energético. (s.f.). Obtenido de [https://www.emasesa.com/emasesa-avanza-en-la-sustitucion-de-las-redes-de-abastecimiento-y-saneamiento-de-la-calle-becas-en-el-distrito-casco-antiguo/](https://www.google.com/search?q=el+patio+y+el+consumo+energetico&tbm=isch&ved=2ahUKewi1tM7zzuz3AhWWcTABHUEFBUQQ2-cCegQIABAA&oq=el+patio+y+el+consumo+energetico&gs_lcp=CgNpbWcQAzoECCMQJzoECAAQZoFCAAQgAQ6CAgAEIAEELEDOgsIABCABBCxAxCDAToGCAAQHhAIQgQIABAYUNEJEMASESA. (4 de septiembre de 2020). Emasesa avanza en la sustitución de las redes de abastecimiento y saneamiento de la calle Becas en el Distrito Casco Antiguo. Obtenido de <a href=)
- EPA. (1999). Preliminary data summary of urban storm water. 214. Washington DC.
- EPA. (s.f.). Using Trees and Vegetation to Reduce Heat Islands. Obtenido de <https://www.epa.gov/heatlands/using-trees-and-vegetation-reduce-heat-islands>
- EPA. (s.f.). Uso de techos fríos para reducir las islas de calor. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/uso-de-techos-frios-para-reducir-las-islas-de-calor>
- Ferguson, B. K. (2005). Porous pavements. Boca Raton, Florida: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Frau, J. (4 de 4 de 2017). La Plaça Mallorca de Inca será un gran espacio sombreado con pérgolas. *Diario de Mallorca*. Obtenido de <https://www.diariodemallorca.es/part-forana/2017/04/04/placa-mallorca-inca-sera-gran-3434453.html>
- Ge, M., Friedrich, J., & Vigna, L. (2 de Septiembre de 2021). Cuatro gráficos que explican las emisiones de gases de efecto invernadero por país y por sector. *WRI México*. Obtenido de <https://wrimexico.org/bloga/cuatro-gr%C3%A1ficos-que-explican-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pa%C3%ADs-y-por>
- Givoni, B. (1994). Refrigeración pasiva de edificios de bajo consumo. John Wiley & Sons.

- Greenpeace. (15 de diciembre de 2020). El 80% de la población en Bogotá vive con déficit de áreas verdes. Obtenido de <https://www.greenpeace.org/colombia/noticia/uncategorized/el-80-de-la-poblacion-en-bogota-vive-con-deficit-de-areas-verdes/>
- Guerrero, R. (9 de enero de 2018). De la Anarquía al Desarrollo a través de la Planificación de Ciudades Sostenibles. *Habitat y Desarrollo Urbano*. Obtenido de https://www.google.com/search?q=planificacion+de+ciudades+sostenibles&rlz=1C1CHBD_esCO997CO997&sxsrf=ALiCzsZW9r1_Tj_jv6eguwnV0356YAhFRYg:1653579041205&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKewjLp-_6vf33AhWhsoQIHXY-CcwQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1068&bih=774&dpr=1#imgr
- Higuera, E., Rodríguez, M., Galvez, M., Acha, C., & Román, E. E. (2010). Rehabilitación Ecoeficiente de la Ciudad Consolidada. *Cuaderno 305.01/7-24-04*. Instituto Juan de Herrera.
- hurstwic.org. (s.f.). Turf Houses in the Viking Age. Obtenido de http://www.hurstwic.org/history/articles/daily_living/text/Turf_Houses.htm
- iagua. (s.f.). ¿Cómo podemos diseñar eficientemente nuestros entornos urbanos para crear espacio para el agua? Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/polypipe/como-podemos-disenar-eficientemente-nuestros-entornos-urbanos-crear-espacio-agua>
- IBERDROLA. (s.f.). Las islas de calor urbanas y sus efectos adversos para sus habitantes. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/isla-de-calor>
- IBERDROLA. (s.f.). Los impuestos ambientales se abren paso para proteger el medio ambiente. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/impuestos-verdes-o-ambientales>
- IDEAM. (s.f.). Características De La Radiación Solar. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>
- Inarquia. (s.f.). La Pobreza Energética y sus Principales Causas. Obtenido de <https://inarquia.es/es-posible-acabar-con-la-pobreza-energetica-causas-y-medidas/>
- Jiménez, A. (7 de Julio de 2021). En España se estiman cada año 1.300 muertes por olas de calor. *Univadis*. Obtenido de <https://www.univadis.es/viewarticle/en-espana-se-estiman-cada-ano-1-300-muertes-por-olas-de-calor-747160>
- Masip Vilà, D. (16 de 10 de 2019). Materiales termocrómicos como tecnología pasiva en cubierta. *[Trabajo Final de Máster]*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona - UPC .
- Melbourne Water. (s.f.). Stormwater management. Obtenido de <http://wsud.melbournewater.com.au>
- Molina, A., Fernández-Aracil, P., Melgarejo, J., & Sevilla, M. (february de 2017). Herramientas para la gestión territorial sostenible del agua (Tools for a sustainable territorial water management). *ResearchGates*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Efectos-de-la-impermeabilizacion-del-suelo-sobre-la-escorrentia-y-la_fig19_314287040

- Moreno García, M., & Serra Pardo, J. (25 de noviembre de 2016). El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: Una revisión bibliográfica. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 21(1179). Obtenido de www.ub.edu/geocrit/b3w-1179.pdf
- Morente, A. (31 de diciembre de 2021). La contaminación y la falta de zonas verdes provocan 2.000 muertes prematuras al año en Andalucía. *elDiario.es*. Obtenido de https://www.eldiario.es/andalucia/sostenibilidad/contaminacion-falta-zonas-verdes-provocan-2-000-muertes-prematuras-ano-andalucia_1_8590656.html
- Noticias Parlamento Europeo. (7 de 3 de 2018). Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector (infografía). Obtenido de <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180301STO98928/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia>
- Oke, T. R. (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14(4), 268-277. doi:10.1080/00046973.1976.9648422 To link
- ONU. (s.f.). Obtenido de https://img.europapress.es/fotoweb/fotonoticia_20190617204702-1906784779_9999.jpg
- Paisaje Transversal. (19 de septiembre de 2018). Propuestas integrales para luchar contra la isla de calor en las ciudades. Obtenido de <https://paisajetransversal.org/2018/09/propuestas-integrales-para-combatir-la-isla-de-calor-ciudades-movilidad-sostenible-ecologia-urbanismo/>
- Palou, N. (2017). Jardines en azoteas, una forma de combatir la contaminación y ahorrar en energía. *La Vanguardia*. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/vivo/ecologia/20170206/414074741450/jardin-azotea-contaminacion-co2-ciudades.html>
- Parejo, J. (17 de mayo de 2021). Sevilla dispone de 22 metros cuadrados de zona verde por habitante. *Diario de Sevilla*. Obtenido de https://www.diariodesevilla.es/sevilla/Sevilla-dispone-22-metros-cuadrados-zona-verde-habitante_0_1574543278.html
- PaviReal. (s.f.). Hormigón drenante. Obtenido de <https://www.pavireal.es/hormigon-drenante/#%c2%bfque-es-el->
- Penichet Castillejo, M. (2011). El Potencial de la Refrigeración Evaporativa como Estrategia Bioclimática Pasiva. *[Tesis de Maestría]*. España: Universidad Internacional de Andalucía.
- Planeta Terra. (s.f.). Efectos y soluciones para la Isla de Calor Urbano. Obtenido de <https://planeta-tierra.info/energia/efectos-y-soluciones-para-la-isla-de-calor-urbano/>
- Ramírez A, Á. L., & Domínguez, E. (2010). Isla de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 34(131), 173-183.
- Rizwan, A. M., Dennis, L. Y., & Chunho, L. (2008). Una revisión sobre la generación, determinación y mitigación de la Isla de Calor Urbana. *Revista de Ciencias Ambientales*, 20(1), 120-128.

- Robador González, M. D. (25-27 de mayo de 2015). Sostenibilidad de la luminosa cal en la arquitectura. *Proceedings of the II International congress on sustainable construction and eco-efficient solutions: Seville*, 124-135.
- Rodríguez Hernández, J. (31 de 7 de 2008). Estudio, Análisis y Diseño de Secciones Permeables de Firmes para Vías Urbanas con un Comportamiento Adecuado Frente a la Colmatación y con la Capacidad Portante Necesaria para Soportar Tráficos Ligeros. *[Tesis Doctoral]*. Universidad de Cantabria. Obtenido de <http://www.thesisred.net/handle/10803/10711>
- Romero, M. (s.f.). Presentan proyectos de arquitectura en congreso mundial de azoteas verdes. Obtenido de <https://blog.melrom.com/arquitectura/presentan-proyectos-de-arquitectura-en-congreso-mundial-de-azoteas-verdes-179>
- Sangines Coral, D. E. (abril de 2013). Metodología de evaluación de la isla de calor urbana y su utilización para identificar problemáticas energéticas y de planificación urbana. *[Tesis de Doctoral]*. España: Universidad de Zaragoza. Ingeniería Mecánica.
- Saucedo Vidal, A. (2012). Concreto hidráulico permeable, una alternativa para la recarga de los mantos acuíferos del Valle de México. México: Universidad Nacional de México.
- Scholz, M. (2013). Rendimiento de mejora de la calidad del agua de los geotextiles dentro de los sistemas de pavimento permeable: una revisión crítica. *Agua*, 5(2), 462-479.
- Secretaría de Ambiente. (s.f.). Las bondades de los árboles en la ciudad. Obtenido de https://ambientebogota.gov.co/search?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column3&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=3&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=1171734&_101_type=content&_101_urlTit
- SFARAD.es. (s.f.). Los Judíos de las Calles de las Lumbreras. Obtenido de <https://www.sfarad.es/los-judios-de-calle-lumbreras/>
- SIMM ENGINEERING, S.R.L. (s.f.). Enfriamiento por agua atomizada. Obtenido de <https://tectonica.archi/materials/enfriamiento-por-agua-atomizada/>
- Simmons, M., Gardiner, B., Windhager, S., & Tinsley, J. (2008). Los techos verdes no son iguales: el rendimiento hidrológico y térmico de seis techos verdes extensivos diferentes y techos reflectantes y no reflectantes en un clima subtropical. *Ecosistemas Urbanos*, 11(4), 339-348.
- Simpson, J., & McPherson, E. (1997). The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona. *Energy Building*, 25, 127-137. doi:10.1016/S0378-7788(96)01002-X
- ssecoconsulting.com. (s.f.). Mejora del Confort Termico con Enfriamiento Pasivo. Obtenido de <http://www.ssecoconsulting.com/mejora-del-confort-teacutermico-con-enfriamiento-pasivo.html#:~:text=Existen%20diversas%20t%C3%A9cnicas%20dentro%20del,de%20principios%20de%20enfriamiento%20combinados>

- Statista. (2022). Emisiones mundiales de CO2 de 1995 a 2021. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/635894/emisiones-mundiales-de-dioxido-de-carbono/>
- Statista. (s.f.). Número de habitantes en Colombia en 2022, por departamento. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/1191612/numero-de-personas-en-colombia-por-departamento/#:~:text=En%20el%20mismo%20periodo%2C%20Bogot%C3%A1,6%2C89%20millones%20de%20habitantes>
- Synnefa, A., Santamouris, M., & Akbari, H. (November de 2007). Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings*, 39(11), 1167-1174. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778807000126>
- Taha, H., Sailor, D. J., & Akbari, H. (1992). High-albedo materials for reducing building cooling energy use. *Berkeley Lab*. doi:10.2172/10178958
- Tapia, J. (s.f.). El Patio: Herencia y Tradición de los Espacios Abiertos Domésticos desde la Antigüedad. *Landuum*. Obtenido de <https://www.landuum.com/historia-y-cultura/el-patio-herencia-y-tradicion-de-los-espacios-abiertos-domesticos-desde-la-antiguedad/>
- Thomas Engineering PA. (s.f.). Obtenido de <http://www.thomasengineeringpa.com/images/Swale%20.JPG>
- Tiempo de Actuar. (22 de octubre de 2012). Ecobarrios. Hacer habitable la sostenibilidad urbana. Obtenido de <https://tiempodeactuar.es/blog/ecobarrios/>
- Torres, A., Ortega, D. H., & Daza, H. E. (2011). Propiedades filtrantes de los pavimentos porosos rígidos. *Programa*. Universidad del Valle.
- Tumini, I. (2010). Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid. *Ponencia SB10 MAd, Edificación sostenible, Revitalización y Rehabilitación de Barrios*, 3. Madrid, España: GBC.
- Un Habitat. (2012). Planificación de Ciudades Sostenibles: Orientaciones para Políticas (Planning Sustainable cities) , Informe Global Sobre Asentamientos Humanos 2009(Summary of Global Report 2009) - Espanol Language ... [truncated]. Obtenido de <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-managerfiles/Planificaci%C3%B3n%20de%20Ciudades%20Sostenibles%20Orientaciones%20para%20Pol%C3%ADticas%20%28Planning%20Sustainable%20cities.pdf>
- Urbanismo y Transporte. (11 de diciembre de 2014). Antecedentes. Historia de las Cubiertas Vegetales (1ª Parte de la Serie «Cubiertas Vegetales»). Obtenido de <http://urbanismoytransporte.com/antecedentes-historia-de-las-cubiertas-vegetales/>
- Urbanismo y Transporte. (19 de marzo de 2015). La Isla de Calor (2ª Parte de la Serie “Cubiertas Vegetales”). Obtenido de <http://urbanismoytransporte.com/la-isla-de-calor-2a-parte-de-la-serie-cubiertas-vegetales/>

- Verzo, R. (s.f.). Flickr. Obtenido de <https://www.tree-hugger8.net/ pergola-pictures-from-around-the-world-4868889>
- Voogt, J. (julio de 2007). Cómo miden los investigadores las islas de calor urbanas. En la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), Programa de Energía y Clima Estatal y Local, Efecto Isla de Calor, Webcasts y Teleconferencias de Isla de Calor Urbano.
- Voogt, J. A. (January de 2008). How Researchers Measure Urban Heat Islands.
- Weather Spark. (s.f.). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Sevilla España. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/34152/Clima-promedio-en-Sevilla-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o#:~:text=En%20Sevilla%2C%20los%20veranos%20son,m%C3%A1s%20de%2040%20%C2%B0C>
- Wikipedia. (s.f.). Obtenido de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/05/W42nd_S_treet_canyon_jeh.JPG
- Wikipedia. (s.f.). Evapotranspiración. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Evapotranspiraci%C3%B3n>
- Zeunert, J. (2019). Arquitectura del Paisaje y Sostenibilidad Medioambiental. Optimizar el Paisaje con el Diseño. Blume.
- Zinzi, M., & Agnoli, S. (2012). Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. *Energy Building*, 55, 66-76. doi:10.1016/j.enbuild.2011.09.024